



---

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**

**ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y MATERIALES**

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL**

**CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y QUÍMICA DE  
ARCILLAS DE SUELOS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA  
LADRILLERA EN EL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO GEÓLOGO AMBIENTAL**

**PRESENTA**

**OSIRIS ANNEL YAÑEZ HERNÁNDEZ**

**ASESOR**

**DR. RAÚL MORENO TOVAR**

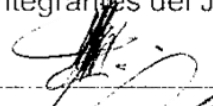
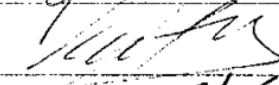
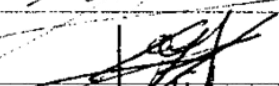


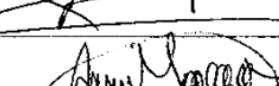



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**  
**DIRECCIÓN**

M. en C. Julio César Leines Medécigo  
Director de Administración Escolar de la  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
Presente

Por este conducto le comunico que el Jurado asignado a la pasante de la Licenciatura en Ingeniería en Geología Ambiental: **OSIRIS ANNEL YÁÑEZ HERNÁNDEZ**, quien presenta el trabajo de: **“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA Y QUÍMICA DE ARCILLAS DE SUELOS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA LADRILLERA EN EL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO”**., después de revisar el trabajo ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

PRESIDENTE:	M. en C. Timoteo Camargo Cruz	
PRIMER VOCAL:	Dr. Raúl Moreno Tovar	
SEGUNDO VOCAL:	Dr. Fidel Pérez Moreno	
TERCER VOCAL:	Dr. Enrique Cruz Chávez	
SECRETARIO:	M. en C. Evodio Pedro Castañeda Ovando	
PRIMER SUPLENTE:	Dr. Jaime Guerrero Paz	
SEGUNDO SUPLENTE:	Dr. Ventura Rodríguez Lugo	

Sin otro particular, le reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

Atentamente  
"Amor, Orden y Progreso"  
General de la Reforma: Hidalgo a 18 de Mayo de 2015



Dr. Claudio Ávila Pozos  
Director

El valor de una educación universitaria no es el aprendizaje de muchos datos, sino el entrenamiento de la mente para pensar.

**Albert Einstein**

## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar este trabajo a muchas personas únicas en mi vida, pero primeramente y antes de todo a esa fuerza, espíritu o chispa suprema que impulsa todo a continuar, no puedo decir si es una persona o una fuerza capaz de provocar movimientos tectónicos y cambios eustáticos de gran magnitud, por decir algunos eventos de gran escala, o bien proporcionar la quietud y paciencia de los segundos geológicos para lograr la formación de cristales minerales inimaginables por su dimensión o por su gran belleza y simetría como ningún otro elemento en la naturaleza. Para no entrar en conflicto le daré gracias a Dios, gracias por toda esa belleza junta que has puesto ante mis ojos, y me has dado la oportunidad de verla y observarla como merece ser apreciada, darme la capacidad de entender aunque sea un poco de su complejidad, y sembrar en mí el deseo de indagar y descubrir nuevas e interesantes maravillas de este mundo.

Especialmente voy a dedicar este logro a mis padres, ese par de personas de peculiar excepcionalidad que me trajeron a este mundo, me dieron la oportunidad de conocerlo y que a través del tiempo, enseñanzas y experiencias, han logrado formar a la persona que hoy en día he logrado ser, gracias a ustedes soy lo que soy. Quiero dedicar esto a mis hermanitos, años más, años menos que de alguna manera nos separan, y que quizás por ello aun no logran comprender lo que esto significa, pero sé que en un momento no muy lejano podrán hacerlo, quiero que sepan que ustedes son un impulso, un motor para continuar siempre y nunca dejar de lado los más grandes anhelos y proyectos, para que sepan que si se puede, que no desesperen en el camino porque todo, más temprano que tarde llega.

Agradezco a mi universidad, la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí por las facilidades brindadas en el Instituto de Metalurgia, al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) por el apoyo a esta investigación como parte del proyecto “Impulso al desarrollo tecnológico de la fabricación del ladrillo” en desarrollo por la Red Temática PROMEP “Tecnología Sustentable del Ladrillo” (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Universidad Autónoma de San Luis Potosí y Universidad de Guanajuato).

A todos los profesores que lograron dejar huella en mi formación, a todas esas gemas que lograron ver a un diamante en formación, y porque no, a todas esas gravas y guijarros que en su momento dificultaron el camino, pero lograron hacerlo más interesante al darme cuenta que no todo en este mundo es valle. Gracias a mi asesor por confiar en mí y tener paciencia para llegar a la conclusión de esta investigación, por compartirme sus conocimientos y aprender de usted, gracias a todos los colaboradores en esta tarea, investigadores, profesores, técnicos en laboratorio, comité revisor y amigos, cada quien que con su granito de arena de grueso a extra fino ayudaron a conformar y concluir este trabajo.

A todos mis compañeros de universidad, a mis entrañables amigos, a mis compañeros de generación, de los cuales no cambiaría a ninguno, porque de todos aprendí y disfrute del camino a lo largo de la carrera, a aquellos profesores, que más que un catedrático lograron ser amigos y terapeutas, pero sobre todo a ti, personita única y especial que me apoyo en todo momento, que me ayudo a crecer, a ver las cosas desde otra perspectiva, que me brindo inspiración y calma en los momentos más críticos y estresantes, y que con su compañía y entusiasmo llenó de alegría mis momentos más emotivos siempre sonriendo.

A todo y todos los que conforman mi mundo, como diría el buen Gustavo Cerati ¡Gracias totales!

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	xi
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	xii
<b>RESUMEN</b>	xiii
<b>I.- INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II.- OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO</b>	3
II.1.- Objetivo general	
II.1.- Objetivos específicos	
II.1.- Justificación	
<b>III.- ANTECEDENTES</b>	
III.1.- Antecedentes históricos del ladrillo	4
III.2.- Arcillas y minerales de la arcilla	5
III.3.- Investigación aplicada a la industria ladrillera	7
<b>IV.- LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b>	
IV.1.- Localización de muestreo	12
IV.2.- Geología regional	15
IV.3.- Geología local	16
IV.4.- Clima e hidrología	22
<b>V.- METODOLOGÍA</b>	
V.1.- Muestreo	24

	<b>Página</b>
V.2.- Preparación de muestras	25
V.3.- Técnicas para análisis granulométrico	
V.3.1.- Tamizado en seco y difracción laser	25
V.4.- Técnicas para caracterización mineralógica	
V.4.1.- Análisis por microscopía óptica de polarización (MOP)	26
V.4.2.- Análisis por difracción de rayos X (DRX)	27
V.4.3.- Análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS)	27
V.5.- Técnica para caracterización química	
V5.1- Análisis químico por espectrometría de plasma (ICP)	28
<b>VI.- RESULTADOS</b>	
VI.1.- Análisis granulométrico	
VI.1.1.- Tamizado en seco y difracción laser	30
VI.2.- Caracterización mineralógica	
VI.2.1.- Análisis por microscopía óptica de polarización (MOP)	35
VI.2.2.- Análisis por difracción de rayos X (DRX)	43
VI.2.3.- Análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS)	49
VI.3.- Caracterización química	
VI.3.1.- Análisis químico por espectrometría de plasma (ICP)	62
<b>VII.- CONCLUSIONES</b>	70
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	72
<b>DIRECCIONES ELECTRÓNICAS CONSULTADAS</b>	75
<b>ANEXOS</b>	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
<b>Figura 1.</b>	Mapa de localización de los municipios El Arenal (ARE), Actopan (ACT), Mineral de la Reforma (MIN-REF), Tulancingo de Bravo (TUL) y Santiago Tulantepec (SAN-TUL), Hgo.	13
<b>Figura 2.</b>	Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en cada una de las zonas de estudio; Actopan-Arenal (ACT-ARE), Mineral de la Reforma (MIN-REF) y Tulancingo-Santiago (TUL-SAN), Hgo.	15
<b>Figura 3.</b>	Mapa de las provincias fisiográficas presentes en el estado de Hidalgo. La mayor superficie de las zonas de estudio es influenciada por la Faja Volcánica Transmexicana (modificado de Solana, 2010).	17
<b>Figura 4.</b>	Mapa de climas y cuencas hidrológicas presentes en el estado. Las zonas de estudio se ubican dentro de la cuenca hidrológica del Río Moctezuma. El clima en las zonas es principalmente de templado (C(w0), C(w1), C(w2), C(m), a semiárido templado (BS1kw) (modificado de CONABIO, 1998).	23
<b>Figura 5.</b>	Curva granulométrica correspondiente a las muestras de la zona ACT-ARE, graficadas a partir de los resultados obtenidos por el método de tamizado en seco.	31
<b>Figura 6.</b>	Curva granulométrica correspondiente a las muestras de la zona MIN-REF, graficadas a partir de los resultados obtenidos por el método de tamizado en seco.	31
<b>Figura 7.</b>	Curva granulométrica correspondiente a las muestras de la zona TUL-SAN, graficadas a partir de los resultados obtenidos por el método de tamizado en seco.	32
<b>Figura 8.</b>	Curva de proporción porcentual de diámetro de partícula correspondiente a las muestras de la zona ACT-ARE, graficadas a partir de los resultados obtenidos por el método difracción laser.	33
<b>Figura 9.</b>	Curva de proporción porcentual de diámetro de partícula correspondiente a las muestras de la zona MIN-REF, graficadas a partir de los resultados obtenidos por el método difracción laser.	33
<b>Figura 10.</b>	Curva de proporción porcentual de diámetro de partícula correspondiente a las muestras de la zona TUL-SAN, graficadas a partir de los resultados obtenidos por el método difracción laser.	34
<b>Figura 11.</b>	Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas euhedrales (Euh), anhedrales (Anh), y subhedrales (Subh) nicoles cruzados, objetivo 4x, campo horizontal de la fotografía 2.00 mm. (Muestras ACT1-6 y AR2-1).	35
<b>Figura 12.</b>	Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas anhedrales de cuarzo (Qz), nicoles cruzados, objetivo 4x, campo horizontal de la fotografía 2.00 mm. (Muestras ACT1-2 y AR2-1).	36
<b>Figura 13.</b>	Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas euhedrales de feldespato (Fel), nicoles cruzados, objetivos 10x y 4x respectivamente, campo horizontal de la fotografía 0.98 y 2.00 mm (Muestras ACT3-1 y AR2-2).	36

	<b>Página</b>
<b>Figura 14.</b> Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas de feldespato (Fel) alterado por clorita (Chl) y óxidos de hierro (Ox-Fe), nicoles cruzados, objetivo 10x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestras ACT-1-4 y ACT-2-4).	37
<b>Figura 15.</b> Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas con una oxidación penetrativa (Ox-P), nicoles cruzados, objetivo 10x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestras ACT3-6 y AR1-5).	37
<b>Figura 16.</b> Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando feldespato (Fel) y plagioclasa (Pla) con escasa alteración, nicoles cruzados, objetivo 4x y 10x respectivamente, campo horizontal de la fotografía 2.00 y 0.98 mm (Muestras AZ2-2 y AZ2-5).	38
<b>Figura 17.</b> Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando feldespato (Fel), plagioclasa (Pla), clorita (Chl) y arcillas (Arc), nicoles paralelos, objetivo 10x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestras SAU5 y SAU6).	39
<b>Figura 18.</b> Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando abundantes arcillas (Arc), feldespato (Fel) y plagioclasa (Pla), nicoles cruzados, objetivo 10x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestras CAL-5 y CAL-7).	39
<b>Figura 19.</b> Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas de tipo anhedral (Anh) a subhedral (Subh), nicoles cruzados, objetivo 4x, campo horizontal de la fotografía 2.00 mm (Muestras TP 3BR-10 y RM1B-4).	40
<b>Figura 20.</b> Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas de plagioclasa (Pla) y feldespato (Fel) con alteración de limonita (Lim), nicoles cruzados, objetivo 4x y 10x respectivamente, campo horizontal de la fotografía 2.00 y 0.98 mm (Muestras TP3BR-1y TP1LP-13).	41
<b>Figura 21.</b> Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partícula de plagioclasa (Pla-M) maclada con alteración de óxidos de hierro (Ox-Fe), nicoles cruzados y paralelos respectivamente, objetivo 4x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestra TP1LP-12)	41
<b>Figura 22.</b> Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando diferentes grado de alteración por óxidos de hierro (Ox-Fe) de tipo penetrativa en silicatos, nicoles cruzados, objetivo 10x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestras ROM4R-5 y TP3BR-12).	42
<b>Figura 23.</b> Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas de cuarzo (Qz) con poca alteración de óxidos de hierro, nicoles cruzados, objetivo 4x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestras TP3BR-3 y TR2B-2).	42
<b>Figura 24.</b> Difractogramas de las muestras de la zona ACT-ARE, de las localidades a) Actopan (ACT) y b) Arenal (ARE). Simbología: (Qz) Cuarzo, (Ab) Albita, (And) Andesina, (Crs) Cristobalita, (Trd) Tridimita, (Or) Ortoclase, (Hm) Hematita, (Nn) Nontronita, (Kln) Kaolinita, e (Ill) Illita.	45
<b>Figura 25.</b> Difractogramas de las muestras de la zona MIN-REF, de las localidades a) Azoyatla (AZO) y b) Calera, Saucillo, Saucillo Río (CAL, SAU, SAU R). Simbología: (Qz) Cuarzo, (Or) Ortoclase, (Ab) Albita, (Crs) Cristobalita, (Trd) Tridimita, (Hm) Hematita, (Kln) Kaolinita e (Ill) Illita.	46



	<b>Página</b>
<b>Figura 26.</b> Difractogramas de las muestras de la zona TUL-SAN, de las localidades a) Paxtepec (PAX) y b) Romeros (ROM). Simbología: (Qz) Cuarzo, (Ab) Albita, (Crs) Cristobalita, (Trd) Tridimita, (Hm) Hematita, (Hy) Halloysita, (Mnt) Montmorillonita y (Fts) Ferrotschermakita.	47
<b>Figura 27.</b> Difractogramas de las muestras de la zona TUL-SAN, de las localidades a) Tulancingo Paraíso (TP) y b) Tulancingo Rayuela (TR). Simbología: (Qz) Cuarzo y (Ab) Albita, (Crs) Cristobalita, (Trd) Tridimita, (And) Andesina, (Kln) Kaolinita, (Hy) Halloysita, (Mnt) Montmorillonita, (Hm) Hematita, (Nn) Nontronita, y (Fts) Ferrotschermakita.	48
<b>Figura 28.</b> Diagrama del sistema ternario que muestra las composiciones (series sólidas) que pueden contener los feldespatos alcalinos y las plagioclasas sódico-cálcicas (modificado de Huang, 1968).	49
<b>Figura 29.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra morfología de partículas de tipo subhedral a anhedral y espectro elemental de la muestra AZ-1-a.	51
<b>Figura 30.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones secundarios, muestra morfología de partículas de tipo subhedral a anhedral y espectro elemental de la muestra AZ-2-a.	51
<b>Figura 31.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, se observa la morfología de un tectosilicato (sanidino?), determinado por su microanálisis y espectro de la muestra CAL-b.	52
<b>Figura 32.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, se observa la morfología de un tectosilicato típico (sanidino?), determinado por su microanálisis y espectro de la muestra CAL-d.	52
<b>Figura 33.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, se observa la morfología del cuarzo y/o polimorfo de este (cristobalita?, tridimita?) determinado por su microanálisis de la muestra SAU-b.	53
<b>Figura 34.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, se observa la morfología del cuarzo y/o polimorfo de este (cristobalita?, tridimita?) determinado por su microanálisis de la muestra SAU-f.	53
<b>Figura 35.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones secundarios, se observa la morfología de partículas de tipo anhedral y espectro de la muestra AR 1-b.	54
<b>Figura 36.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones secundarios muestra partículas con morfología tabular, y espectro de la muestra AR 1-i.	54
<b>Figura 37.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones secundarios, muestra partícula con morfología tabular, posible especie del polo sódico (andesina?) y espectro de la muestra AR 1-j.	55
<b>Figura 38.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula con morfología tabular, posible especie del polo potásico (sanidino?) y espectro de la muestra ACT 3-c.	55
<b>Figura 39.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología euhedral, posible especie de ilmenita-esfena y espectro de la muestra ACT 1-b.	56
<b>Figura 40.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología anhedral, posible especie de siderita y espectro de la muestra ACT 4-b.	56

	<b>Página</b>
<b>Figura 41.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología anhedral, con composición de la especie mineral siderita? y espectro de la muestra TR 1L-a.	57
<b>Figura 42.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología anhedral, con composición de la especie mineral hematita? y espectro de la muestra TR 1L-d.	58
<b>Figura 43.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología euhedral, con composición de la especie mineral ilmenita? y espectro de la muestra TR 2B-f.	58
<b>Figura 44.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología euhedral, con composición de la especie mineral sanidino? y espectro de la muestra PAX 1B-e.	59
<b>Figura 45.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología subhedral, con composición de la especie mineral sanidino? y espectro de la muestra PAX 2L-d.	59
<b>Figura 46.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología subhedral, con composición de la especie mineral sanidino? y espectro de la muestra PAX 4B-b.	59
<b>Figura 47.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología subhedral, con composición de la especie mineral albita? y espectro de la muestra RM IB-c'.	60
<b>Figura 48.</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología anhedral, con composición de la especie mineral hematita-goethita? y espectro de la muestra RM 3L-g.	60
<b>Figura 49</b> Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partículas de morfología anhedral, con composición de las especies anortita, hematita e ilmenita? y espectro de la muestra RM 3L-h.	61
<b>Figura 50</b> Diagramas ternarios que ilustran la relación que guardan los elementos mayores en base a óxidos de las diferentes muestras analizadas de las tres zonas de estudio.	65
<b>Figura 51.</b> Diagramas ternarios a) A-CN-K y b) A-C-N, mostrando los valores de IAQ e IAP en proporciones molares de las 30 muestras analizadas por ICP.	67

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>Página</b>
<b>Tabla 1.</b>	Datos de localización de los puntos de muestreo y características físicas de las muestras colectadas.	14
<b>Tabla 2.</b>	Análisis por difracción de rayos x (DRX), mostrando fases minerales mayoritarias, minoritarias e indicios contenidas en las muestras de las zonas de estudio ACT-ARE, MIN-REF y TUL-SAN.	44
<b>Tabla 3.</b>	Microanálisis químico puntual semicuantitativo por microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS) de muestras representativas de la zona MIN-REF.	50
<b>Tabla 4.</b>	Microanálisis químico puntual semicuantitativo por microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS) de muestras representativas de la zona ACT-ARE.	54
<b>Tabla 5.</b>	Microanálisis químico puntual semicuantitativo por microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS) de muestras representativas de la zona TUL-SAN.	57
<b>Tabla 6.</b>	Análisis químico de elementos mayores calculados en base a óxidos por ICP normalizados por Al, de las muestras de arcilla de las zonas ARE-ACT, MIN-REF y TUL-SAN. Se muestran los índices IAQ e IAP, en relaciones molares.	63
<b>Tabla 7.</b>	Análisis químico de elementos traza de las muestras analizadas por ICP, de las muestras de arcilla de las zonas ARE-ACT, MIN-REF y TUL-SAN.	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Página</b>
<b>Anexo 1.</b> Descripción megascópica de las muestras colectadas en las zonas de estudio, Actopan-Arenal (ACT-ARE), Mineral de la Reforma (MIN-REF), y Tulancingo-Santiago (TUL-SAN).	77
<b>Anexo 2.</b> Fotografías ilustrativas del muestreo realizado en los puntos: a) y b) localidad Actopan, c) y d) localidad Azoyatla, e) y f) localidad Rayuela, g) y h) localidad Paxtepec.	81
<b>Anexo 3.</b> Resultados del análisis granulométrico por tamizado en seco de la zona ACT-ARE.	82
<b>Anexo 3.1.</b> Resultados del análisis granulométrico por tamizado en seco de la zona MIN-REF.	83
<b>Anexo 3.2.</b> Resultados del análisis granulométrico por tamizado en seco de la zona TUL-SAN.	84
<b>Anexo 4.</b> Resultados estadísticos obtenidos del análisis granulométrico por difracción laser de cada muestra de las zonas de estudio ACT-ARE, MIN-REF, y SAN-TUL.	86
<b>Anexo 5.</b> Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas anhedrales de cuarzo (Qz), feldespatos (Fel), plagioclasas (Pla) y óxidos de hierro (Ox-Fe) de la zona ACT-ARE , nicoles cruzados y paralelos , objetivo 4x y 10x respectivamente, campo horizontal de la fotografía 2.00 y 0.98 mm.	87
<b>Anexo 5.1.</b> Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas anhedrales de cuarzo (Qz), feldespatos (Fel), plagioclasas (Pla) y óxidos de hierro (Ox-Fe) de la zona MIN-REF , nicoles cruzados y paralelos , objetivo 4x y 10x respectivamente, campo horizontal de la fotografía 2.00 y 0.98 mm.	89
<b>Anexo 5.2.</b> Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas anhedrales de cuarzo (Qz), feldespatos (Fel), plagioclasas (Pla) y óxidos de hierro (Ox-Fe) de la zona TUL-SAN , nicoles cruzados y paralelos , objetivo 4x y 10x respectivamente, campo horizontal de la fotografía 2.00 y 0.98 mm.	92
<b>Anexo 6.</b> Análisis por difracción de rayos X (DRX), presenta fases minerales mayoritarias, minoritarias e indicios, de las muestras de la zona ACT-ARE.	95
<b>Anexo 6.1.</b> Análisis por difracción de rayos X (DRX), presenta fases minerales mayoritarias, minoritarias e indicios, de las muestras de la zona MIN-REF.	97
<b>Anexo 6.2.</b> Análisis por difracción de rayos X (DRX), presenta fases minerales mayoritarias, minoritarias e indicios, de las muestras de la zona TUL-SAN.	98
<b>Anexo 7.</b> Fotomicrografías y microanálisis de las muestras analizadas por el método de microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS) de la zona ACT-ARE.	101
<b>Anexo 7.1.</b> Fotomicrografías y microanálisis de las muestras analizadas por el método de microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS) de la zona MIN-REF.	114
<b>Anexo 7.2.</b> Fotomicrografías y microanálisis de las muestras analizadas por el método de microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS) de la zona TUL-SAN.	123

## RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la caracterización mineralógica y química, a partir de métodos convencionales tales como la *microscopía óptica de polarización*, *microscopía electrónica de barrido*, *difracción de rayos x*, *análisis químico por espectrometría de plasma inductivamente acoplada* y *análisis granulométrico por difracción láser y tamizado en seco*, de 30 muestras de suelos, procedentes de los municipios de Actopan, El Arenal, Mineral de la Reforma, Santiago Tulantepec y Tulancingo, en el estado de Hidalgo, empleados en la manufactura del ladrillo. Los puntos de muestreo de cada municipio fueron agrupados formando tres zonas de estudio, conformándose la zona Actopan-Arenal (ACT-ARE), zona Mineral de la Reforma (MIN-REF), y zona Tulancingo-Santiago (TUL-SAN). Por medio del análisis granulométrico por tamizado en seco y difracción láser se obtuvo una proporción del tamaño de partícula para cada zona de estudio, encontrando resultados heterogéneos en la distribución de la fracción fina en cada una de las muestras. En la *microscopía óptica de polarización*, se identificó la presencia de partículas anhedrales, subhedrales y euhedrales, de minerales del grupo de los silicatos (cuarzo, feldespatos, plagioclasas, y minerales arcillosos) y óxidos de hierro (hematita, limonita, y goethita), presentes en las 3 zonas de estudio, difiriendo por la cantidad del contenido de minerales de alteración (minerales arcillosos y óxidos de hierro) en cada zona. A través de la *difracción de rayos x*, se determinó las fases minerales presentes en cada zona, encontrando como fases mayoritarias al cuarzo (Qz), andesina (And), albita (Ab), ortoclasa (Or), y cristobalita (Crs), en las diferentes zonas de estudio. De acuerdo a la *microscopía electrónica de barrido*, se identificaron posibles partículas de minerales como feldespatos potásicos (ortoclasa, microclina, sanidino), plagioclasas de la serie sólida sódico-cálcica (albita, andesina, anortita), polimorfos del cuarzo (cristobalita, tridimita), y óxidos de hierro y titanio (ilmenita, esfena, siderita, rutilo, hematita-goethita) en las tres zonas de estudio. A su vez, por medio del análisis químico por *espectrometría de plasma inductivamente acoplada*, se obtuvo la composición por elementos mayores en base a óxidos (porcentaje) y elementos traza (en mg/kg) determinando los valores de aluminio, silicio, y hierro, como los de mayor importancia, al reflejarse en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo. El conocimiento de las características mineralógicas y químicas de este material utilizado como parte de la materia prima para la manufactura del ladrillo, permitirá establecer procedimientos adecuados que contribuyan a la obtención de mejoras en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo.

## I.- INTRODUCCIÓN

La elaboración de materiales para la construcción es una de las más antiguas actividades del hombre, siendo una de las primeras industrias que ha perdurado hasta nuestros días, convirtiéndose en uno de los principales motores del desarrollo económico de un importante sector de la población. Las arcillas constituyen una parte importante de la materia prima en la fabricación de cerámicos utilizados en la construcción, éstas aparecen en todo tipo de formación rocosa, y a causa de ello, sus características físicas, químicas y mineralógicas varían ampliamente, incluso entre las capas de un mismo depósito (Barba *et al.*, 1997), por ello la composición química y mineralógica de las arcillas, al igual que las características granulométricas, son de las propiedades más importantes a evaluar, ya que estas influyen directamente en las cualidades físico-mecánicas y calidad que obtengan los productos cerámicos (Vieira *et al.*, 2008). Las investigaciones relacionadas con el estudio de las características mineralógicas y químicas de las arcillas, han tenido variadas aplicaciones tanto tecnológicas como en distintas disciplinas del conocimiento, las cuales han ido actualizando las metodologías y técnicas de análisis de acuerdo a los objetivos a cumplir.

En México, la industria del ladrillo representa una importante actividad económica para un gran sector de la población, sin embargo, no ha tenido la aplicación de metodologías para el conocimiento de las propiedades físicas, mineralógicas y químicas de la materia prima utilizada, ya que esta actividad generalmente se ha realizado de manera meramente artesanal, lo que conlleva a un subdesarrollo económico y ambiental en esta práctica.

El presente estudio se enfoca a la caracterización mineralógica y química de las arcillas que son parte de la materia prima empleada para la elaboración de ladrillos. Se seleccionaron los municipios de Actopan, El Arenal, Mineral de la Reforma, Santiago Tulantepec y Tulancingo de Bravo en el estado de Hidalgo, en función de la información proporcionada por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) acerca del número de hornos ladrilleros registrados en los diferentes municipios del estado. Dichos municipios fueron agrupados en tres zonas de estudio, formándose la Zona Actopan-Arenal (ACT-ARE), Zona Mineral de la Reforma (MIN-REF), y Zona Tulancingo-Santiago (TUL-SAN). Se realizó el reconocimiento geológico en campo, posteriormente el muestreo, el empaquetamiento de las muestras para su posterior tratamiento y análisis en el laboratorio por las técnicas analíticas de, difracción de rayos (DRX),

microscopía óptica de polarización (MOP) y microscopía electrónica de barrido (MEB), para identificar el contenido mineralógico presente; análisis químico por espectrometría de plasma inductivamente acoplado (ICP) para identificar el perfil químico de cada zona estudiada; y análisis granulométrico por tamizado en seco y por difracción laser para conocer la proporción de tamaño de partícula de cada una de las muestras. La elaboración de este trabajo busca generar conocimientos de las propiedades mineralógicas y químicas de la arcilla, empleada como parte de la materia prima en la producción del ladrillo, para contribuir en la mejora del proceso de producción y de la calidad del producto, al incorporar nuevas metodologías empleando este conocimiento.

## **II.- OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

### **II.1.- Objetivo general**

Generar conocimiento de la arcilla que se utiliza en la manufactura del ladrillo de las ladrilleras de los municipios de Actopan, El Arenal, Mineral de la Reforma, Santiago Tulantepec y Tulancingo, en el estado de Hidalgo, por medio de la caracterización de sus propiedades mineralógicas y químicas, para contribuir en la mejora del proceso de producción y de la calidad del producto al aplicar este conocimiento.

### **II.2.- Objetivos específicos**

- Conocer el origen de las especies mineralógicas de los suelos estudiados en los diferentes municipios.
- Determinar las características químicas de los suelos, para identificar el perfil químico que caracteriza cada municipio estudiado.

### **II.3.- Justificación**

Se han realizado estudios en otros países con los cuales se pudo obtener un aporte favorable en la mejora del proceso de producción del ladrillo y en la calidad del producto. En México la industria del ladrillo se ha desarrollado principalmente de manera artesanal, a causa de la falta de conocimiento científico de la materia prima utilizada y aplicación tecnológica en el proceso de producción, lo que conlleva a un subdesarrollo económico y ambiental. A pesar de esta situación, la fabricación del ladrillo representa un sustento económico para un importante sector de la población, por lo tanto el presente estudio hará una contribución a esta práctica, al generar el conocimiento de las características mineralógicas y químicas de las arcillas utilizadas en la manufactura de productos aplicados a la construcción, tales como el ladrillo en el estado de Hidalgo.



### **III.- ANTECEDENTES**

#### **III.1.- Antecedentes históricos del ladrillo**

El ladrillo es el material de construcción más antiguo fabricado por el hombre. En los primeros tiempos se comenzó elaborándolo en su forma cruda, conocida como adobe. El ladrillo fue el principal material en las antiguas Mesopotamia y Palestina. Los habitantes de Jericó en Palestina, fabricaban ladrillos desde hace 9 000 años. Los constructores sumerios y babilonios levantaron zigurats, palacios y ciudades amuralladas con ladrillos secados al sol, que recubrían con otros ladrillos cocidos en horno, más resistentes y a menudo con esmaltes brillantes formando frisos decorativos. En sus últimos años los persas construían con ladrillos al igual que los chinos, que levantaron la gran muralla. Los romanos construyeron baños, anfiteatros y acueductos con ladrillos, a menudo recubiertos con mármol. En la Edad Media, en el imperio Bizantino, al norte de Italia, en los Países Bajos y Alemania, así como en cualquier otro lugar donde escaseara la roca, los constructores valoran el ladrillo por sus cualidades decorativas y funcionales. Realizaron construcciones con ladrillos templados, rojos y sin brillo creando una amplia variedad de formas, como cuadros, figuras de punto de espina, de tejido de esterilla o lazos flamencos. Esta tradición continuó en el renacimiento y en la arquitectura georgiana británica y fue llevada a América por los colonos. El ladrillo ya era conocido por los indígenas americanos de las civilizaciones prehispánicas. En regiones secas construían casas de ladrillo de adobe secado al sol. Las grandes pirámides de los olmecas, mayas y otros pueblos fueron construidas con ladrillos revestidos de piedra. Pero fue en España donde con la influencia musulmana, el uso del ladrillo alcanzó más difusión, sobretodo en Castilla, Aragón y Andalucía. En tanto, en América, las civilizaciones precolombinas no muestran antecedentes del uso del ladrillo. Para la mayoría de las construcciones importantes se recurría a la piedra encuadrada y pulimentada. En el caso de las esculturas centroamericanas y mexicanas, se han encontrado vestigios del uso de adobe de grandes dimensiones, pero en templos y palacios se empleaba siempre la piedra. Con la llegada de los conquistadores españoles se incorporó el uso del ladrillo cocido a las nuevas construcciones de relevancia, pero el adobe, por razones de economía y facilidad, se continuó usando (Bianucci, 2009).

Es importante conocer la materia prima que constituye los ladrillos, su composición y el comportamiento de la misma, en especial la arcilla, que se considera como uno de los

constituyentes más importantes debido a las propiedades físicas que aportan a la mezcla para elaborar el ladrillo.

### **III.2.- Arcillas y minerales de la arcilla**

Las arcillas son unas de las sustancias minerales más extensas y tempranamente utilizadas por el hombre. Se utilizaron en la manufactura de tabletas, en edificaciones de ladrillo, monumentos, alfarería, etc., productos que retratan la historia del desarrollo humano a través de los tiempos (Chupina de León, 2006).

El término arcilla presenta una cierta complejidad, ya que oscila en torno a dos conceptos, fundamentados en la mineralogía y en el tamaño de partícula. Según el criterio granulométrico se considera arcilla toda fracción integrada por minerales cuyo tamaño de grano sea inferior a 2 micras.

Desde el punto de vista mineralógico, se considera arcilla a aquellos minerales de la subclase filosilicatos cuyas capas de tetraedros de  $\text{SiO}_4$  y octaedros de  $\text{AlO}_6$  están apiladas y unidas por enlaces de tipo residual o por moléculas de agua y que en caso de presentar cationes entre estas capas, éstos no constituyen un elemento estructural interlaminar. Sin embargo en muchas ocasiones ambos criterios se traslapan, toda vez que los minerales que pertenecen a los filosilicatos arcillosos muestran siempre tamaños de grano inferiores a 2 micras, si bien otros minerales (cuarzo, por ejemplo) pueden ser considerados arcilla granulométricamente, aunque no lo sean mineralógicamente. Para ordenar estas ideas, los comités de nomenclatura de la Asociación Internacional Para el Estudio de las Arcillas (AIPEA) y la Sociedad de Minerales de la Arcilla (CMS, por sus siglas en inglés), propusieron una definición para el término “arcilla” y otra para el término “mineral de la arcilla” (Guggenheim y Martin, 1995):

- “*Arcilla*”: Material natural compuesto fundamentalmente por minerales de granulometría fina, que presenta generalmente un comportamiento plástico con contenidos apropiados de agua y que endurece tras el secado o la cocción. Las fases asociadas de la arcilla pueden incluir a materiales que no proporcionen plasticidad y a la materia orgánica.
- “Mineral de la arcilla”: Minerales del grupo de los filosilicatos, que imparten plasticidad y que endurecen con el secado o la cocción.

En estas definiciones se pone de manifiesto que el término “mineral de la arcilla” no es cualquier mineral presente en las arcillas, sino aquellos que poseen determinadas propiedades plásticas, esto es, los filosilicatos, sin embargo, reducir el término “mineral de la arcilla” a filosilicatos como se ha venido haciendo tradicionalmente, privaría de mostrar la relación existente entre las propiedades de las arcillas y las de sus minerales constituyentes (Sanfeliu y Cepriá, 2001).

Las arcillas pueden estar compuestas de una mezcla de arcillas minerales de grano fino y de cristales del tamaño de la arcilla de otros minerales tales como el cuarzo, carbonatos, óxidos metálicos, feldespatos, plagioclasas, piroxenos, y materia orgánica. Sus propiedades son resultado de su origen, mineralogía y tratamientos posteriores a su formación, que agregaron nuevos minerales o transformaron los ya existentes (De Pablo, 1964).

Las arcillas rara vez son mono-minerales ya que se encuentran constituidas por minerales de origen primario y otros de origen secundario. Los minerales primarios son aquellos presentes en las rocas ígneas que dieron lugar a las arcillas que pueden encontrarse hoy en día sin haber sufrido una alteración apreciable en su composición. Los minerales secundarios a su vez, se han formado por acción de procesos de intemperismo, los cuales engloban disgregación física y descomposición química, que cambian la roca original formando arcillas minerales (Kabeto *et al.*, 2012).

Los minerales arcillosos se forman en ambientes superficiales por erosión de los preexistentes minerales que han cristalizado en condiciones de temperatura y presión del fluido muy diferentes, ya sea en ambientes magmáticos y metamórficos, de composición tales como feldespatos, piroxenos, anfíboles, micas, cloritas etc., o en ambientes sedimentarios como glauconitas, sepiolitas, zeolitas, etc. Cualquier proceso de desgaste comprende tres etapas:

- Disolución de los minerales primarios fuera de su campo de estabilidad,
- Transferencia de elementos químicos liberados de las zonas de disolución a las zonas de precipitación (circulación del fluido y /o difusión),
- Precipitación de minerales secundarios: arcillas minerales, oxihidróxidos de Fe-Mn.

Cada etapa está controlada por condiciones fisicoquímicas locales. La tasa de intemperismo se determina por la más lenta de las tres etapas. La formación de los minerales de la arcilla está íntimamente ligada a reacciones de hidrólisis de los minerales silicatados de las rocas. Estas reacciones pueden desarrollarse en el medio hidrotermal (durante la formación de un depósito

mineral), o como procesos exógenos (bajo condiciones atmosféricas). El clima, a través de los parámetros de humedad y temperatura, controla fuertemente el proceso formador de arcillas a partir de los silicatos. Así, en condiciones de humedad y calor la hidrólisis dará lugar a arcillas caoliníticas e incluso a un residuo final de gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). Por el contrario, en climas áridos la arcilla predominante resulta ser del tipo illita-esmectita.

Los minerales que componen el suelo pueden ser tan variados como lo sea la naturaleza de las rocas sobre las que se implanta. No obstante, hay una tendencia general de la mineralogía del suelo hacia la formación de fases minerales que sean estables en las condiciones termodinámicas del mismo, lo cual está condicionado por un lado por el factor composicional, y por otro por el climático, que condiciona la temperatura, la pluviosidad, y la composición de las fases líquida y gaseosa en contacto con el suelo (Meunier, 2005).

### **III.3.- Investigación aplicada a la industria ladrillera**

Las arcillas constituyen la principal materia prima para la fabricación de cerámicos utilizados en la construcción. Éstas aparecen en todo tipo de formación rocosa, y a causa de ello, sus características físicas, químicas y mineralógicas varían ampliamente, incluso entre las capas de un mismo depósito arcilloso (Barba *et al.*, 1997).

La arcilla tiene propiedades plásticas, lo que significa que al humedecerla puede ser modelada fácilmente. La capacidad aglomerante de la arcilla se manifiesta en la posibilidad de darle cohesión de los granos materiales no plásticos, como las arenas, provocando después del secado, un artículo con bastante resistencia mecánica. Al secarse se torna firme y cuándo se somete a altas temperaturas aparecen reacciones químicas que, entre otros cambios, causan que la arcilla se convierta en un material permanentemente rígido, denominado cerámica, es así como se fabrican objetos de alfarería, de uso cotidiano y objetos de arte. (Chupina de León, 2006).

Por ello la composición química y mineralógica de las arcillas, son de las características más importantes a evaluar, ya que estas influyen directamente en las propiedades que obtengan los productos cerámicos (Vieira *et al.*, 2008).

La distribución granulométrica es otra variable importante a analizar, dado que de ella va a depender el grado de empaquetamiento de las partículas y con ello, las propiedades físico-

mecánicas de los cerámicos (porosidad, absorción de agua, resistencia a la flexión etc.) (Santos *et al.*, 2011).

Las arcillas constituyen la principal materia prima en la fabricación de cerámicos de construcción. Por tanto, en cualquier industria cerámica el control de la calidad de los productos empieza con la caracterización y control de la calidad de sus arcillas (Santos *et al.*, 2011).

Las investigaciones relacionadas con el estudio de las características mineralógicas y químicas de las arcillas, han tenido variadas aplicaciones tanto tecnológicas como en distintas disciplinas del conocimiento, las cuales han ido actualizando las metodologías y técnicas de análisis de acuerdo a los objetivos a cumplir.

Como muestra de estos estudios se puede citar a Fernández (1999), quien reportó un trabajo realizado sobre caracterización mineralógica, petrográfica y granulométrica de las arcillas y antiplásticos utilizados en la alfarería tradicional de la Puna Jujeña. En esta investigación se estudiaron las materias primas arcillosas (arenas y arcillas) que los alfareros tradicionalmente combinan para obtener las propiedades de resistencia y dureza del producto final. En este trabajo se concluye que la composición mineralógica como la granulometría de los materiales antiplásticos utilizados, regulan los efectos negativos de la dilatación térmica y de la contracción por el enfriamiento brusco, semejante al conocimiento adquirido por los alfareros por medio de prueba y error durante muchos años, y que por esa experiencia se niegan a la introducción de nuevas técnicas que puedan eficientar los procesos de manufactura.

Bernal *et al.*, (2003), desarrollaron una metodología de trabajo para establecer el denominado “Análisis próximo” para calcular la composición mineralógica cuantitativa de minerales arcillosos simples e interestratificados y de los demás minerales presentes en las arcillas, con base en los datos obtenidos en el análisis químico y en la difracción de rayos X, logrando así, la relación del tipo de mineral arcilloso con su comportamiento en el proceso cerámico.

Duitama *et al.*, (2004), realizaron un estudio para determinar la composición mineralógica y química de las arcillas empleadas en las zonas de Medellín, Itagüí y Amagá en el Departamento de Antioquia (Colombia), teniendo como principal objetivo el estudiar y caracterizar las unidades geológicas y zonas favorables de arcillas para uso en cerámica roja, con el fin de predecir, desde el yacimiento, los problemas que puede originar en los procesos de elaboración de las piezas, la presencia o no de componentes indeseables, o explicar a través de la materia prima los acabados

o defectos que puedan presentar. En este trabajo se realizó la clasificación granulométrica, análisis químicos por absorción atómica, análisis mineralógico por difracción de rayos X (DRX), medidas de plasticidad por medio de los límites de Atterberg, contracción en crudo y en quema. Como conclusión se obtuvo que el conocer la composición química, mineralógica y los límites de Atterberg permiten predecir cuál va a ser el comportamiento de las arcillas durante la cocción, contribuyendo a mejorar los resultados obtenibles con cada tipo de arcillas.

Santos *et al.*, (2011), ejecutaron la caracterización química, mineralógica, granulométrica, plástica y térmica de tres arcillas, procedentes de Barichara, Santander, Colombia, además de la creación de pastas cerámicas aptas para la fabricación de ladrillos y tejas. En esta investigación, el principal objetivo era la obtención de estas características de cada una de las muestras y poder predecir el comportamiento que éstas tendrían al ser utilizadas en la industria cerámica. La técnica empleada para la caracterización mineralógica fue por difracción de rayos x (DRX), química por fluorescencia de rayos X (FRX), granulométrica por tamizaje y fotosedimentación, térmicamente por análisis térmico diferencial y termo gravimétrico (ATD-TG), y finalmente se determinó su plasticidad por medio del método de Atterberg. En base a las características observadas en las pastas cerámicas realizadas, los autores concluyeron que en función a la plasticidad correspondiente de cada muestra, éstas podrían ser utilizadas para la fabricación de cerámicos y/o ladrillos de construcción.

Se tienen investigaciones más particulares, dirigidas a alguna especie mineralógica específica o que emplean alguna técnica en particular. Por ejemplo Abayazeed y El-Hinnawi (2011), publicaron una investigación acerca de la caracterización de una arcilla de esmectita por el método *Methylene Blue Adsorption*, el cual, según los autores, es un método más rápido y económico en la estimación de la capacidad de intercambio catiónico y la superficie específica, en comparación con los métodos convencionales. El objetivo de esta investigación fue el evaluar la aplicabilidad de este método en la determinación de la capacidad de intercambio catiónico y la superficie específica de depósitos egipcios de arcilla de esmectita, y por lo tanto, estimar su contenido de arcillas expansivas. Concluyeron que este método es rápido y confiable en la caracterización de depósitos de arcilla de esmectita y de suelo que contengan esta especie mineral. Además de que puede ser una herramienta muy útil en diversas aplicaciones en la ingeniería geológica y la geología ambiental.

Ticona *et al.*, (2012), efectuaron la caracterización química, mineralógica y estructural de dos yacimientos de arcillas del departamento de La Paz, Bolivia; uno en la localidad de Viacha y el otro en la localidad de Kellani, con el fin de obtener información importante para la identificación de las propiedades que presenta cada yacimiento y analizar si cumple con las condiciones necesarias para la producción de cerámicos. Los métodos utilizados en este estudio para la caracterización química y estructura fueron, espectroscopía de fluorescencia de rayos X, espectrometría de plasma inductivamente acoplado (ICP), difracción de rayos X, y para la caracterización morfológica la microscopía electrónica de barrido (MEB).

Kabeto *et al.*, (2012), presentan una investigación para caracterizar y evaluar arcilla lacustre y depósitos diatomáceos de la cuenca del Lago Ashenge, localizado al norte de Etiopía, y comentar sus implicaciones industriales. En la metodología se utilizó la difracción de rayos X para la identificación de especies de minerales arcillosos, y la espectroscopía de fluorescencia de rayos X, para identificar los elementos menores y traza. En esta caracterización preliminar, se identificaron las características geológicas de los depósitos lacustres de donde se obtuvieron las muestras, se obtuvieron los componentes mineralógicos y se estimó de forma preliminar el recurso de arcillas que se tiene en el área de estudio, lo cual puede ser considerado como un futuro blanco como fuente de arcilla. Sin embargo no alcanzan a presentar las propiedades necesarias para su utilización en la industria.

Carretero-León, *et al.*, (2013) llevaron a cabo la caracterización mineralógica y físico-química de tres arcillas, esto con el objetivo de determinar si las arcillas estudiadas podrían ser utilizadas en la preparación de peloides, y ser aprovechados con finalidades cosméticas en balnearios españoles. Se realizó análisis mineralógico por medio de la técnica de DRX, tanto para la muestra total como para la fracción arcillosa ( $<2\mu\text{m}$ ). En las arcillas se midió color, densidad, superficie específica, calor específico, capacidad de intercambio catiónico y cationes de cambio, además de las determinaciones de color, porcentaje de agua, sólidos, cenizas, densidad, textura experimental, dureza, cohesividad, adhesividad, y elasticidad, para las mezclas de agua y arcilla realizadas. Obteniendo como resultado las especies mineralógicas presentes en cada muestra, y las propiedades físico-químicas que éstas les proporcionan, llegan a la conclusión que el uso de las bentonitas magnésicas son las más recomendables, ya que los valores de propiedades estudiadas son los más óptimos para su aplicación en la peloterapia.

En México no se tiene reporte de investigaciones similares a las expuestas anteriormente, y mucho menos enfocadas a la caracterización mineralógica y geoquímica de la arcilla utilizada en la elaboración de productos cerámicos, que posteriormente pueden ser aprovechados en la optimización del proceso de fabricación de materiales cerámicos de construcción como lo es el ladrillo.

Con referencia a la industria ladrillera, en el país se han realizado análisis de impacto ambiental por contaminación atmosférica, y con ello, se ha dado la investigación e implementación de hornos ecológicos, que además de reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera, permiten obtener mejoras significativas en el proceso de producción del ladrillo. Como ejemplo de estas investigaciones se puede citar el Instituto Nacional de Ecología (INE), que cuenta con una línea de investigación encargada de generar información sobre el impacto ambiental producido por la producción artesanal de ladrillo, esto a partir de la caracterización de las emisiones de contaminantes y de eficiencia energética (Cárdenas *et al.*, 2012).

Se cuenta con políticas públicas sobre la producción del ladrillo para mitigar el impacto ambiental, a diferentes niveles de jurisdicción así como dirigido a distintos ejes temáticos (en materia ambiental, social, política, y económica). Cabe resaltar que desde el 2012 se tienen proyectos en curso relacionados con la producción artesanal del ladrillo, la mayoría de ellos en relación a la reducción de contaminantes atmosféricos y evaluaciones ambientales, aunque también se tienen otros enfocados a los riesgos de salud que la población aledaña a esta industria puede sufrir, y otros más dirigidos a la eficiencia energética en los procesos de producción (Cárdenas, 2012).



## **IV.- LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **IV.1.- Localización de muestreo**

Los puntos de muestreo se ubican dentro de los municipios de Actopan, El Arenal, Mineral de la Reforma, Santiago Tulantepec y Tulancingo, pertenecientes al estado de Hidalgo, localizadas en la franja centro-sureste del estado, con coordenadas geográficas centrales de 20°18.75' N 98°53.44' W, 20°12.54' N 98°52.97' W, 20°3.11' N 98°43.43' W, 20°2.25' N 98°23.70' W, 20°6.49' N 98°21.61' W respectivamente. Dichos puntos se agruparon en 3 zonas de acuerdo a su cercanía y similitud en la geología circundante, formando las zonas de estudio, Actopan-Arenal (ACT-ARE), Mineral de la Reforma (MIN-REF) y Tulancingo-Santiago (TUL-SAN) (Figura 1).

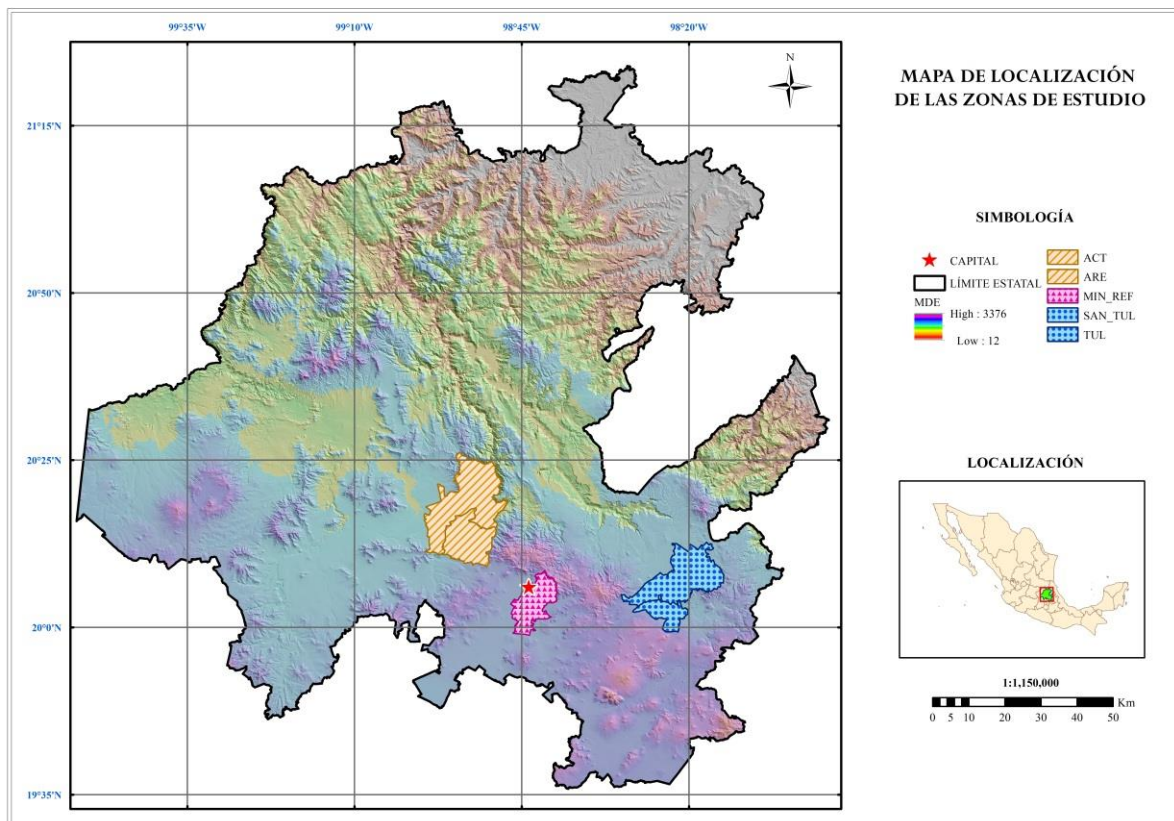
Para arribar a la zona Actopan-Arenal (ACT-ARE), se recorre por la Carretera Federal No.85, México-Nuevo Laredo, cerca de 28 km, teniendo como punto de partida la ciudad de Pachuca, llegando hasta el municipio de El Arenal, donde se tiene los puntos de muestreo a pie de carretera. Para la zona de Actopan, se continúa por esta carretera cerca de 5 km más, hasta el libramiento con dirección a Ixmiquilpan, recorriendo éste cerca de 2 km, hasta tomar la carretera que lleva a la localidad de El Meje, donde se encuentra otro punto de muestreo.

El acceso a la zona Mineral de la Reforma (MIN-REF), tomando como referencia la Ciudad del Conocimiento (UAEH), es recorriendo la Carretera Federal No.88 Pachuca-Cd. Sahagún, hasta llegar a la localidad de Calera-Saucillo. Para la localidad de Azoyatla, se recorre cerca de 5 km en camino pavimentado en dirección NE, a partir del punto de referencia ya mencionado.

Por último, para la zona Tulancingo-Santiago (TUL-SAN), se avanza desde la ciudad de Pachuca, con dirección a la ciudad de Tulancingo, cerca de 35 km, sobre la carretera Pachuca-Tulancingo, hasta llegar a la desviación hacia el poblado de Romeros, recorriendo cerca de 10 km de camino pavimentado, a lo largo del cual se localiza gran cantidad de ladrilleras, y en donde se determinaron dos localidades de muestreo para el municipio de Santiago Tulantepec (Romeros y Paxtepec). A su vez para las localidades de muestreo en el municipio de Tulancingo de Bravo (Rayuela y el Paraíso), se recorrió la carretera federal México-Tuxpan 132, retomándola a partir de la desviación del poblado de Romeros, en dirección a la ciudad de Tulancingo, por cerca de 5 km, hasta llegar a la desviación que lleva al municipio de Cuautepec de Hinojosa, recorriendo alrededor de 7 km, hasta llegar al poblado de La Rayuela, donde se ubica un punto de muestreo,

para posteriormente avanzar en dirección al centro de la ciudad de Tulancingo, por cerca de 1 km hasta arribar al poblado del Paraíso, donde se tiene otro punto de muestreo (Figura 2).

En la tabla 1 se muestran los datos de ubicación geográfica de los puntos de muestreo, incluyendo el municipio, localidad y coordenadas geográficas, así como una descripción general por localidad de las muestras colectadas. En el Anexo 1 se describe las características megascópicas a detalle de cada muestra colectada en las tres zonas de estudio.



**Figura 1. Mapa de localización de los municipios El Arenal (ARE), Actopan (ACT), Mineral de la Reforma (MIN-REF), Tulancingo de Bravo (TUL) y Santiago Tulantepec (SAN-TUL), Hgo.**

**Tabla 1. Datos de localización de los puntos de muestreo y características físicas de las muestras colectadas.**

MUNICIPIO	LOCALIDAD	MUESTRA	LAT (N)	LON (W)	DESCRIPCIÓN DE CAMPO	
ACTOPAN	El Meje	ACT 1	20°16.12'	98°55.28'	Material de coloración marrón, tamaño de partícula de gravas a arcillas. Presencia de aglomerados de material fino del tamaño de la grava, y fragmentos líticos.	
		ACT 2	20°16.12'	98°55.28'		
	ACT 3	20°16.12'	98°55.28'			
	ACT 4	20°16.71'	98°55.26'			
	ACT 5	20°16.71'	98°55.26'			
ARENAL	Arenal	AR 1	20°13.52'	98°54.99'	Material de coloración marrón claro a gris, el tamaño de partícula va de gravas a arcillas. Se observan líticos semi-angulosos.	
		AR 2	20°13.21'	98°54.86'		
		AR 3	20°13.21'	98°54.86'		
		AR TZ	20°13.25'	98°54.87'		
MINERAL DE LA REFORMA	Azoyatla	AZ 1	20°06.37'	98°41.30'	Material de coloración marrón intermedio a oscuro, con tamaño de partícula de gravas a limos. Se observan fragmentos líticos de gran dureza.	
		AZ 2	20°06.37'	98°41.30'		
		AZ 3	20°06.37'	98°41.30'		
	AZ 3.1	20°06.37'	98°41.30'			
	Calera	CAL 1	20°01.81'	98°43.71'		Material de color marrón intermedio a claro, con un tamaño que va de gravas a arcillas, con aglomerados de material fino y fragmentos líticos de gran dureza de formas irregulares.
	Saucillo	SAU	20°04.65'	98°44.96'		
	Saucillo Rfo	SAU R	20°04.54'	98°45.06'		
TULANCINGO	Rayuela	TR 1L	20°03.94'	98°20.75'	Material en coloración marrón claro en tonos amarillo-naranja, con un tamaño de partícula de gravas a arcillas. Presencia de aglomerados de material fino del tamaño de la grava y arena gruesa.	
		TR 2B	20°03.94'	98°20.75'		
		TR 3B	20°03.94'	98°20.75'		
	Paraíso (Presa la Esperanza)	TP 1L	20°03.94'	98°20.75'		Material en coloración marrón claro en tonos amarillo-naranja y gris, con un tamaño de partícula de arenas a arcillas. Presencia de aglomerados de material fino del tamaño de la grava y arena gruesa. No se tiene presencia de fragmentos líticos considerables.
		TP 2B	20°03.94'	98°20.75'		
Romeros	RM 1B	20°01.79'	98°24.99'	Material en coloración marrón con tendencia al naranja-amarillo-rojizo, con un tamaño de partícula de arenas a arcillas. Presencia de aglomerados de material fino, formando partículas del tamaño de la grava a arena. No se tiene presencia de fragmentos líticos.		
	RM 3L	20°01.79'	98°24.99'			
	RM 4R	20°01.79'	98°24.99'			
SANTIAGO TULANTEPEC	Paxtepec	PX 1B	20°02.83'	98°25.51'	Material de coloración marrón con tendencia al naranja-amarillo-rojizo, con un tamaño de partícula de arena a arcillas. Presencia de aglomerados del material fino, sin presencia de fragmentos líticos.	
		PX 2L	20°02.83'	98°25.51'		
		PX 3B	20°02.83'	98°25.51'		
		PX 4B	20°02.83'	98°25.51'		
		PX 5B	20°02.83'	98°25.51'		

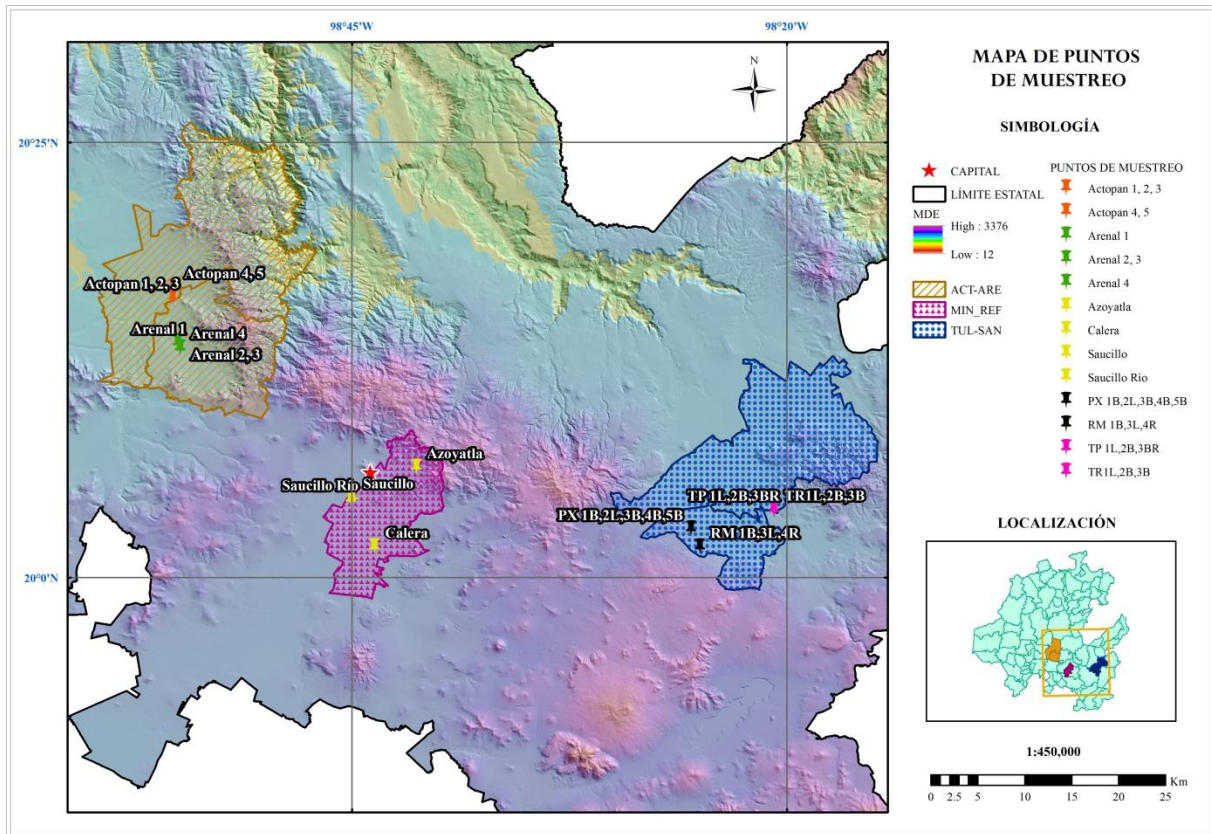


Figura 2. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo en cada una de las zonas de estudio; Actopan-Arenal (ACT-ARE), Mineral de la Reforma (MIN-REF) y Tulancingo-Santiago (TUL-SAN), Hgo.

#### IV.2.- Geología regional

El estado de Hidalgo se encuentra dentro de las provincias fisiográficas denominadas Sierra Madre Oriental (SMO), la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), y la Llanura Costera del Golfo Norte (Figura 3). La zona de estudio se ve influenciada, en su mayoría por la FVTM, aunque se tiene la presencia de la SMO hacia la parte norte del municipio de Actopan. La presencia de estas provincias fisiográficas en el área de estudio determina las características geológicas de las zonas en cuestión.

La FVTM se caracteriza por una enorme masa de rocas volcánicas, emplazadas casi transversalmente en dirección E-W, acumulada en sucesivas etapas eruptivas de los aparatos volcánicos desde el Mioceno Tardío hasta el Holoceno. Lo configuran grandes sierras y coladas volcánicas, conos volcánicos dispersos, domos, y depósitos piroclásticos de gran magnitud. A su vez, la SMO se caracteriza por sierras de rumbo noroeste-sureste, compuestas de rocas

sedimentarias de tipo siliciclástico y calcáreo, con presencia de cuerpos ígneos intrusivos, que a su vez, propician a la presencia de rocas metamórficas de contacto (Solana, 2010).

La columna estratigráfica del área de estudio tiene un rango de edades que abarca desde el Cretácico Temprano al Terciario y Cuaternario. La sucesión estratigráfica del Cretácico Inferior, está constituida por la Formación el Doctor (El Abra), a la que le sobreyacen, discordantemente, la Formación Méndez y Soyatal, del Cretácico Superior (Geyne *et al.*, 1963) y por el conglomerado Amajac de edad Eoceno-Oligoceno (Conglomerado El Morro) (Arellano-Gil, *et al.*, 2005) rocas volcánicas del Grupo Pachuca (Oligoceno-Plioceno) y asociadas a la Caldera de Acoculco-Tulancingo, rocas clásticas de la Formación Atotonilco El Grande (Pleistoceno) y por depósitos recientes (talud, aluvión y caliche).

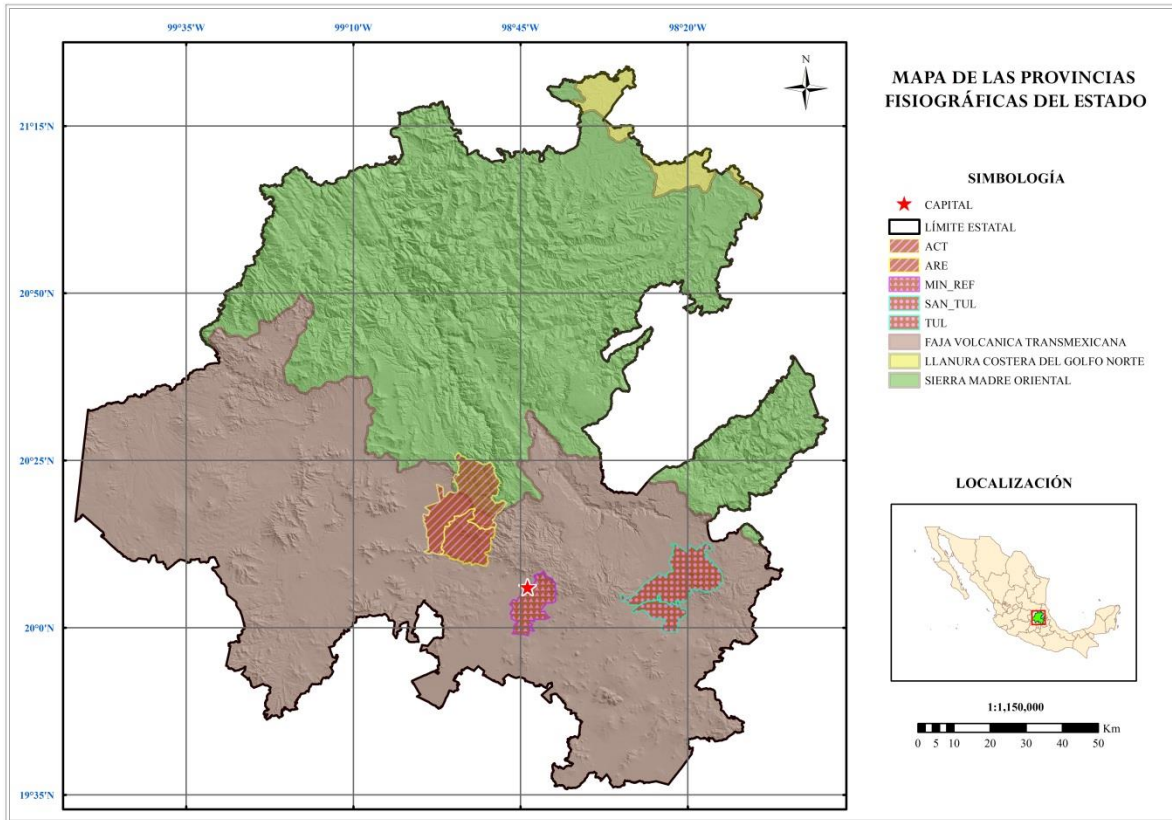
### **IV.3.- Geología local**

La geología de las zonas de interés es principalmente de carácter volcánico, con la presencia de la Sierra de Pachuca, representada por el Grupo Pachuca, la cual se compone de diez formaciones litológicas, principalmente de composición riolítica, dacítica y andesítica (Geyne *et al.*, 1963). En el presente trabajo, dichos paquetes litológicos serán nombrados como unidades.

De igual forma se tiene presencia del vulcanismo del complejo volcánico Tulancingo-Acoculco, representado por rocas de composición basáltica, andesítica-basáltica, dacítica y riolítica, asociadas a la Caldera de Acoculco-Tulancingo (López-Hernández, 2009). Además se tiene depósitos aluviales que cubren las áreas de menor altitud, representando el material más reciente, producto del intemperismo del protolito.

#### ***Grupo Pachuca***

Las unidades litológicas que conforman este grupo están constituidas por vulcanismo del Oligoceno-Plioceno de la Sierra de Pachuca, el cual fue descrito por primera vez por Geyne *et al.*, (1963), quienes realizaron un estudio en el distrito minero de Pachuca-Real del Monte, mismo que fue denominado, con el nombre de Grupo Pachuca y dividido en diez unidades por discordancias erosionales o angulares. Dichas unidades (de la base a la cima) son: Santiago, Corteza, Pachuca, Real del Monte, Santa Gertrudis, Vizcaína, Cerezo, Tezuantla, Zumate y San Cristóbal.



**Figura 3. Mapa de las provincias fisiográficas presentes en el estado de Hidalgo. La mayor superficie de las zonas de estudio es influenciada por la Faja Volcánica Transmexicana (modificado de Solana, 2010).**

### *Unidad Santiago*

Esta unidad comprende las rocas volcánicas más antiguas encontradas en la superficie y en las obras mineras del distrito minero Pachuca-Real del Monte, definida por primera vez como Andesita Fortuna por Hulin en 1929 (en Geyne *et al.*, 1963) y posteriormente Geyne *et al.*, en 1963 la nombra formación Santiago. Consiste en derrames de lava, brechas y tobas interestratificadas, de composición variable de andesítica a dacítica y riolítica. Su textura es porfídica y estructura fluidal ondulada gruesa. La roca varía en tamaño de grano desde fino a grueso presentando un color lila a gris verdosa con un espesor aproximado de 480 m. Le sobreyace la unidad Corteza y descansa discordantemente sobre el Grupo El Morro o con discordancia angular sobre las formaciones cretácicas. La base de la unidad Santiago, se interpreta como de una antigüedad no mayor al Oligoceno temprano.

### *Unidad Corteza*

La segunda unidad es Corteza, definida por Geyne *et al.*, (1963). Consiste en derrames andesíticos y basálticos de textura afanítica de color pardo rojizo a gris claro, de acuerdo con el grado de alteración con un miembro tobáceo basal. Cabe hacer mención que es la única unidad de andesita no porfídica en el distrito. Su espesor es variable entre 50 y 300 m. Sobreyace a la unidad Santiago y subyace a la unidad Pachuca, correspondiéndole una edad Oligoceno Medio-Tardío.

### *Unidad Pachuca*

Definida en 1963 por Geyne *et al.*, consiste en una serie de capas lacustres de arcilla y margas, cubiertas por derrames andesíticos y dacíticos interestratificados con varios miembros tobáceos lenticulares, alternados con brecha y aglomerados volcánicos. Su espesor es variado entre 300 y 500 m, y los afloramientos de la unidad se restringen en el distrito minero al flanco suroccidental de la Sierra de Pachuca. La unidad sobreyace a la unidad Corteza y subyace a la unidad Real del Monte. Su edad es Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano.

### *Unidad Real del Monte*

Descrita por primera vez por Geyne *et al.*, en 1963, la unidad Real del Monte está constituida principalmente de interestratificación de brecha de derrame de color variable de purpura rojizo grisáceo presentando un intemperismo esferoidal, roca de derrame masivo y capas tobáceas clásticas de tamaño muy variable de color más claro que el de las rocas subyacentes de composición andesítica y dacítica. Aflora en una faja con orientación hacia el noroeste aproximadamente a 700 m desde el pie de la Sierra de Pachuca extendiéndose ladera arriba de la sierra al noreste de la ciudad de Pachuca con un espesor máximo de 350 m y mínimo de 120 m. La distribución amplia de la unidad en la región sugiere que diversos centros eruptivos pudieron haber existido como fuentes de aprovisionamiento de las rocas. La unidad yace discordantemente sobre la unidad Pachuca y subyace a la unidad Santa Gertrudis. Le corresponde una edad de Mioceno Temprano-Medio.

### *Unidad Santa Gertrudis*

Descrita primeramente por Geyne *et al.*, (1963). Consiste en un conjunto de rocas volcánicas de derrame masivo con cantidades menores de brecha de derrame de color variable de gris a gris

verdoso con inclusiones de color gris verdoso oscuro o rojo grisáceo, y de otras capas clásticas y tobáceas basales de composición andesítica predominante, que localmente cambia por transición en dacita con un espesor variable de 250 a 350 m. Se distingue por sus derrames gruesos de andesita y dacita de piroxena, porfídicas, que son de grano excepcionalmente grueso en comparación con otros derrames andesíticos del distrito. Aflora en tres pequeñas áreas aisladas hacia el noreste, el este y el este-sureste de la ciudad de Pachuca, respectivamente, así como en el área norte y noreste de Real del Monte. La unidad sobreyace concordantemente sobre la unidad Real del Monte y subyace a la unidad Vizcaína. Se le asigna una edad del Mioceno Medio-Tardío.

#### *Unidad Vizcaína*

Descrita por Geyne *et al.*, (1963), consiste en derrames de lava, capas de brecha y toba con colores variables de pardo rojizo a blanco verdoso con manchas que tiran a púrpura grisáceo y un miembro clástico basal de aproximadamente 1 m de espesor compuesto por bloques de lava ligeramente redondeados y poco clasificados en una matriz tobacea, de composición andesítica a dacítica. Comúnmente el espesor de la unidad es variable de 200 a 400 m y en algunas zonas debido al acuñaamiento se reduce hasta 20 m. La unidad sobreyace mediante una discordancia angular a la unidad Santa Gertrudis y subyace a la unidad Cerezo. Se le asigna una edad del Mioceno Tardío.

#### *Unidad Cerezo*

Esta unidad consiste principalmente de derrames lávicos de color púrpura rojizo pálido de apariencia bandeada y estructura fluidal, y brecha de escurrimiento con cavidades que muestra un contraste de color entre los tintes azulosos de los bloques de brecha y los tintes verdosos de la matriz de derrame, todo de composición variable de riolítica a riodacítica. El espesor es variable y aproximadamente consiste de 220 m. Es la primera roca extrusiva marcadamente silícica en la región que se encuentra sobreyaciendo la unidad Santiago. Aflora en áreas aisladas diseminadas en gran parte del distrito. Sobreyace a las unidades Vizcaína y Santa Gertrudis con una marcada discordancia angular y subyace a la unidad Zumate. Se le asigna una edad del Mioceno Tardío-Plioceno Temprano (Geyne *et al.*, 1963).



### *Unidad Tezuantla*

La propuesta formal de esta unidad fue realizada por Geyne *et al.*, (1963). La localidad tipo se encuentra ubicada al sur del poblado de Tezuantla. La unidad consiste de tobas riolíticas con un conglomerado basal constituido por fragmentos andesíticos y derrames de lavas dacíticas y riolíticas. Geyne *et al.*, (1963) mencionan que los derrames que constituyen esta formación presentan un bandeamiento que varía de gris pardusco a gris rosáceo de 2 a 10 mm de espesor. El espesor original de dicha unidad no está conservado por la erosión, sin embargo se cuenta con un espesor máximo es de 150 m. En los alrededores de Tezuantla, esta unidad sobreyace con una discordancia erosional a capas volcánicas epiclásticas de la unidad Cerezo, o bien, sobre rocas de la unidad Vizcaína y subyace a la unidad Zumate. Se infiere una edad de Plioceno.

### *Unidad Zumate*

Por primera vez Segerstrom (1961, 1962) propone el término Zumate para las rocas aflorantes a 3 km al norte de Real del Monte en la localidad tipo de la Peña del Zumate. Esta unidad consiste de una sucesión de derrames de color púrpura rojizo grisáceo con estructura fluidal, brechas de derrame con abundantes fenocristales grandes de feldespatos, hasta de 15 mm de largo, capas lenticulares de brechas volcánica y arenisca tobácea, aglomerados y rocas volcánicas epiclásticas de composición dacítica. El espesor original de la unidad no está conservado y no se conoce, pero se estima sea de 360 m. El área de afloramiento ocupa el borde norte del distrito extendiéndose hasta el poblado de El Chico y al noroeste casi a 12 km formando la amplia cresta de la Sierra de Pachuca. Esta unidad sobreyace con discordancia erosional y angular a la unidad Cerezo y unidad Vizcaína, al norte y noroeste de Real del Monte. Con base en las relaciones estratigráficas de esta unidad se le asigna una edad de Plioceno Temprano.

### *Unidad San Cristóbal*

La unidad consiste en derrames densos de andesita olivínica con cantidades pequeñas de capas tobáceas y clásticas. El espesor de esta formación es variable (60 a 100 m en su localidad tipo), alcanzando un espesor de 250 m al este de Azoyatla, Hidalgo, mientras que en el valle de Metztlán excede los 300 m en espesor. La unidad aflora en el Cerro de San Cristóbal donde se encuentra su localidad tipo, el Cerro de Cubitos, dentro de la ciudad de Pachuca y en los alrededores de Omitlán, siguiendo los valles de los ríos Metztlán y Amajac. En su localidad tipo propuesta por Geyne *et al.*, (1963), mencionan que esta unidad sobreyace a rocas del Grupo

Pachuca a través de una discordancia angular. Con base a las relaciones estratigráficas de esta unidad se le asigna una edad de Plioceno.

### ***Complejo volcánico Tulancingo-Acocolco***

El complejo Tulancingo-Acocolco, se constituye principalmente por acumulaciones de lava, domos y productos piroclásticos, que incluyen ignimbritas, depósitos de oleadas y de caída, del Plioceno-Cuaternario. Este complejo se formó durante dos ciclos volcánicos importantes, el más antiguo denominado Tulancingo de edad Plioceno Medio, y el más reciente de edad Pleistoceno asociado a la formación de una caldera, denominada Acocolco, emplazada en el centro del complejo Tulancingo (De la Cruz y Castillo-Hernández, 1986).

Dicho complejo se eleva aproximadamente 800 m y está circundado por depósitos volcánicos de diferentes edades. Hacia el sur existen productos volcánicos del Mioceno que varían en composición de andesitas a riolitas (García-Palomo *et al.*, 2002). En el NW del área, simultáneamente a la actividad de Acocolco, se formó el volcán Navajas, otro centro eruptivo importante cuyos productos son en su mayoría riolíticos (Nelson y Lighthart, 1997, *en* López-Hernández, 2009). En el resto del área se encuentran extensas mesetas de lavas basáltico-andesíticas formadas durante el Plioceno, así como conos monogenéticos y algunos volcanes escudo que cubren a las rocas más antiguas. Los conos están alineados con dirección preferencial NE-SW y continuaron formándose en el Cuaternario, siendo las rocas volcánicas más jóvenes de la región.

### ***Aluvión***

Estos depósitos son los más recientes de la zona de estudio, y está constituido principalmente por material retrabajado de origen volcánico, siendo común la interdigitación de arenas y limos. Varían desde masivos hasta dispuestos en capas, y son generalmente de color gris amarillento, con presencia de capas superficiales de caliche gris claro. El espesor es variable pero con presencia aproximada de 200 m en el valle de la ciudad de Pachuca (Geyne *et al.*, 1963), y de 0.5 m a 12 m hacia la ciudad de Tulancingo (López-Hernández, 2009).

La geología circundante a los puntos de muestreo nos da la pauta para inferir el posible contenido mineralógico en cada muestra, y con ello facilitar la tarea al momento de identificar y determinar las especies minerales presentes, además de comprender los procesos de intemperismo y alteración, en los cuales han estado involucrados, dando así la formación de nuevas especies minerales.

#### **IV.4.- Clima e hidrología**

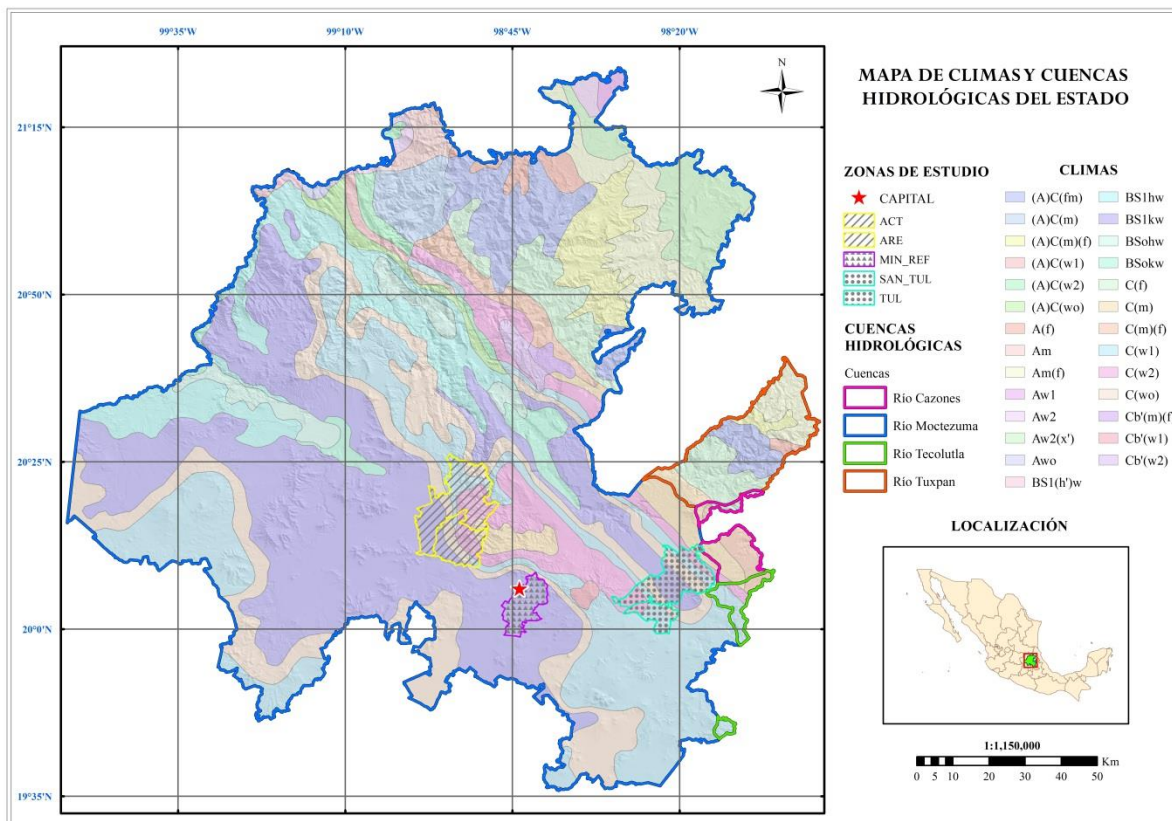
El estado de Hidalgo está incluido dentro de dos regiones hidrológicas de acuerdo al Atlas digital del Agua, México 2012 (CONAGUA); la del río Pánuco (RH26) y la del río Papaloapan (RH28). Hidrológicamente se encuentra comprendido casi en su totalidad dentro de la cuenca hidrológica del río Moctezuma, seguido de las cuencas del río Tuxpan, Cazones y Tecolutla (CONABIO, 2014) (Figura 4). A su vez, las zonas de estudio ACT-ARE, MIN-REF y TUL-SAN, se ubican dentro de las subcuencas exorreicas del Río Actopan (RH26Dr), y Río Tezontepec (RH26Dt) y subcuenca endorreica del Río Metztitlán (RH26Dr) respectivamente.

La subcuenca Río Actopan, drena hacia la subcuenca del río Tula, a partir del parteaguas colindante con la subcuenca Río Metztitlán (SW-NW); mientras que para la subcuenca del Río Tezontepec, drena hacia el sur de la ciudad de Pachuca, en dirección hacia Texcoco y Zumpango. Lo importante de las direcciones de flujo de estas subcuencas, es el aporte de material detrítico, proveniente tanto de las rocas intemperizadas que constituyen las unidades litológicas (protolitos), así como del material que constituye a la zona mineralizada del distrito minero Pachuca-Real del Monte, con lo cual se puede relacionar la presencia de ciertas fases minerales y elementos traza. Mientras que para la subcuenca del río Metztitlán, el material depositado se relaciona con los procesos geológicos ocurridos directamente *in situ* en las unidades litológicas al ser depositados dentro de la subcuenca, ya que esta es de tipo endorreica.

La distribución de los climas dentro del estado, se debe principalmente a elementos como la altitud, la geomorfología y la posición del territorio con respecto al flujo dominante de los vientos. Para las zonas de estudio se tiene registro de temperaturas medias anuales de 18° a 12°C, lo cual permite la presencia de climas templados (SEMARNAT, 2001), principalmente templado subhúmedo con lluvias de verano [C(w2)(w), C(w2), C(w1)(w), C(w0)(w)], clima templado húmedo C (m), clima semiárido templado (Bs1Kw) y de clima semifrío húmedo (C(E)(w2)) solo

para las elevaciones por encima de los 2800 m de altitud (CONABIO, 1998; García, 2004) (Figura 4).

El conocimiento de los climas dentro de las zonas de estudio es importante, debido a que forma pieza clave en los procesos de formación de minerales arcillosos a partir de minerales silicatos formadores de roca, esto en relación a los parámetros de humedad y temperatura que controlan los procesos exógenos de intemperismo (Eberl, 1984).



**Figura 4. Mapa de climas y cuencas hidrológicas presentes en el estado. Las zonas de estudio se ubican dentro de la cuenca hidrológica del Río Moctezuma. El clima en las zonas es principalmente de templado (C(w0), C(w1), C(w2), C(m), a semiárido templado (BS1kw) (modificado de CONABIO, 1998).**

## V.- METODOLOGÍA

Para la realización de esta investigación se llevaron a cabo 3 etapas principales; 1) *Trabajo de campo*, en la cual se llevó a cabo el muestreo y se tomó nota de las características geológicas de cada sitio; 2) *Trabajo de laboratorio*, en donde se realizaron todos los análisis para obtener la caracterización mineralógica y química de las muestras en cuestión; y 3) *Trabajo de gabinete*, en la cual se llevó a cabo la recopilación de información en formato digital (artículos, revistas científicas, boletines, publicaciones, libros electrónicos) y en forma impresa, para tener una recopilación de antecedentes y de los estudios que se han realizado en diferentes campos de investigación, esto antes de la etapa de campo y durante la realización de la investigación; y el análisis e interpretación de los resultados obtenidos por los diferentes métodos analíticos empleados, para finalmente conformar el texto del presente estudio.

### V.1.- Muestreo

En cada sitio de muestreo se realizó un reconocimiento geológico superficial, donde se ubica cada ladrillera o conjunto de ellas para:

- Identificar la o las unidades litológicas generadoras del suelo, el cual constituye la interfase entre las rocas del sustrato continental y la atmósfera, formándose como consecuencia de los procesos de intemperismo, (fenómenos físicos, físico-químicos y biológicos) que ahí se producen.
- Identificar algunas propiedades físicas del suelo como color, granulometría, textura, así como tipo de deposición en función del tamaño de partícula.
- Observar grado de afectación a las capas de suelo, en función del volumen obtenido para la fabricación de ladrillos.

Se obtuvo un total de 30 muestras, distribuidas de la siguiente manera en los diferentes municipios de estudio; Actopan (5), El Arenal (4), Mineral de la Reforma (7), Santiago Tulantepec (8), y Tulancingo de Bravo (6). Las muestras fueron colectadas al azar en los depósitos de material arcilloso que los productores del ladrillo aprovechan, esto en los taludes de los depósitos, en forma de canal con una longitud de 1.00 a 1.50 m por 0.30 m de espesor y en pequeños pozos con una profundidad de 0.25 a 0.50 m, con peso de 2 a 3 kg aproximadamente, mezclándola para luego obtener una muestra compuesta por cuarteo. La muestra se tomó con una

pala de plástico, fue etiquetada y almacenada en bolsas de plástico para su transporte y posterior preparación para los diferentes análisis a realizar (Anexo 2).

Para la obtención de datos de muestreo en campo, se realizó el llenado de plantillas de recolección de datos, donde se colocaron datos de localización y referencia geográfica, así como el número de muestra colectada con su correspondiente clave (incluye abreviatura de la localidad, y número de muestra, en algunos casos se abrevian características de la muestra para su identificación), la descripción del sitio de muestreo y la descripción general de la muestra, teniendo un apartado de observaciones para cualquier nota adicional.

## **V.2.- Preparación de muestras**

El manejo de las muestras debe ser cuidadoso por los efectos de contaminación que puedan ocurrir durante su colección, transporte y manipulación para los diferentes análisis. La preparación de éstas para los diferentes análisis se realizó de la siguiente manera: (1) *Secado de muestra*, se colocaron en recipientes de plástico, distribuyéndolas en toda la superficie del mismo, secándose a temperatura ambiente y libre de corrientes de aire para evitar la contaminación de partículas de una muestra a otra; (2) *Cuarteo*, esto con la finalidad de homogeneizar y tomar una fracción representativa de cada muestra, cada una de éstas se mezclaron y homogeneizaron en tamaño, cuartearon, y tamizaron a diferente tamaño de malla, de acuerdo al análisis a realizar, llevando un control en su respectiva identificación y rotulación, así como de su descripción macroscópica.

## **V.3.- Técnicas para análisis granulométrico**

A través de estos análisis se obtuvo la distribución del tamaño de partícula en cada una de las muestras, llevándolo a cabo por tamizado en seco y difracción laser.

### ***V.3.1.- Tamizado en seco y difracción laser***

Para el tamizado en seco fue necesario preparar 100 gr de muestra perfectamente seca, homogeneizada y cuarteada de cada una de las muestras, se realizó el tamizado por un periodo de 10 minutos, en un equipo vibrador de tamices ROTAP marca W.S TYLER modelo RX-29, en un juego de 5 tamices ASTM # 120, 200, 325, 400, 500. Dicha prueba se realizó en la Unidad

Central de Laboratorios (UCL) de la UAEH. Por medio del tamizado en seco se obtuvo la distribución del tamaño de partícula de cada muestra, con el peso obtenido de material retenido en cada tamiz se generó una gráfica ilustrativa donde se observó la proporción de tamaño de partícula de cada zona estudiada.

La difracción láser se llevó a cabo en un equipo analizador de tamaño de partícula, con un rango de análisis de tamaño de partícula 0.04  $\mu\text{m}$  a 2000  $\mu\text{m}$ , marca Beckman Coulter, modelo LS 13 320 ubicado en el Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales de la UAEH. El principal objetivo de este método es obtener la distribución y el tamaño de partícula mediante la dispersión de luz. Se utilizó un aproximado de 5 gramos de cada muestra, la cual es dispersa en agua desionizada, y posteriormente introducida al equipo. El haz de luz que pasa a través del contenedor donde la muestra se encuentra suspendida, es dispersado y capturado como un patrón característico en función de ciertos parámetros, como la dimensión de las partículas, el índice de refracción de cada partícula, el índice de refracción del medio, la longitud de onda del haz de luz, así como de la interacción partícula-partícula. Se obtienen los resultados y se representan por medio de una gráfica, obteniendo datos estadísticos de la distribución de las partículas, tales como la media, mediana, moda, desviación estándar y varianza (Cabrera *et al.*, 2010). Dichos gráficos y datos estadísticos son obtenidos por la computadora usada para operar el equipo, con ayuda del programa de control de Microsoft Windows–based LS13320.

#### **V.4.- Técnicas para caracterización mineralógica**

La caracterización mineralógica se realizó por medio de: difracción de rayos X (DRX), microscopía óptica de polarización (MOP) y microscopía electrónica de barrido (MEB).

##### ***V.4.1.- Análisis por microscopía óptica de polarización (MOP)***

El análisis de microscopía óptica de polarización (MOP), tiene como propósito principal identificar texturas, asociaciones mineralógicas y las relaciones inter-texturales existentes entre los minerales, así como las alteraciones, de las cuales se puede determinar el origen de los minerales arcillosos presentes. Se prepararon de 5 a 10 gr de cada muestra, tamizada a malla 200, sin moler. En este análisis se utilizó la técnica *entellán*, la cual consiste en colocar una cantidad mínima de muestra (1 gr) en un porta objetos, agregando 2 gotas de resina, para posteriormente cubrirlo con un cubre objetos. Esta técnica permite la fijación de las partículas

para su identificación en el microscopio óptico de polarización, observando la muestra a diferentes objetivos (4x, 10x), tanto con luz transmitida como reflejada [nícoles paralelos (NP), y nícoles cruzados (NC)]. El equipo utilizado para este análisis fue el microscopio de polarización marca Olympus modelo BX41 ubicado en la Unidad Central de Laboratorios (UCL) de la UAEH.

#### ***V.4.2.- Análisis por difracción de rayos X (DRX)***

Para la difracción de rayos X (DRX) se preparó 10 gr de muestra, tamizada a la malla 200, y molida en mortero de ágata hasta lograr un polvo muy fino, esto con el objetivo de un mejor resultado en la identificación de las fases minerales en cuestión. Se utilizó un aproximado de 2 gr de muestra, el cual se colocó en un porta muestra de polimetilmetacrilato, se empleó un difractómetro de rayos X marca BRUKER modelo D8 ADVANCE DA VINCI, ubicado en el Instituto de Metalurgia de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP). El rango de detección utilizado fue de 4-70° en  $2\Theta$ , se usó un ánodo de cobre y un voltaje de 40 KV.

Por medio de esta técnica se permitió reconocer de manera cualitativa las fases minerales cristalinas mayoritarias, minoritarias e indicios, presentes en cada una de las muestras, por medio del software Match 1.11h acoplado a la base de datos Powder Diffraction File (PDF) 2000. Se identificaron las fases cristalinas por comparación de sus líneas de difracción más intensas, justificando la existencia de dichas especies mediante los índices de Hanawalt, al determinar los cuatro picos de difracción principales de cada fase cristalina, con sus respectivos datos de ángulo de difracción e intensidad relativa.

#### ***V.4.3.- Análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS)***

La técnica de microscopía electrónica de barrido (MEB) se utilizó para identificar morfologías por medio de la captura de fotomicrografías de cristales de minerales tipo, además de obtener un análisis químico puntual semicuantitativo por medio del detector de energía dispersiva (EDS), el cual permite coleccionar los rayos x generados por la muestra y realizar un análisis semicuantitativo y de distribución de elementos en la superficie. Con los resultados del microanálisis en base a óxidos se realizó la comparación con las fórmulas teóricas de las posibles especies minerales presentes.

Para este análisis se utilizó una cantidad mínima de muestra, 1 gr aproximadamente, tamizada a malla 200, sin moler, colocada en un portamuestras metálico utilizando como adhesivo cinta de grafito, posteriormente recubierta con una fina capa de oro, con el fin de darle mayor



conductividad. El barrido de electrones se llevó a cabo aproximadamente por 10 segundos para cada análisis, con un voltaje de 20 KeV y 30 KeV. El equipo utilizado fue un microscopio electrónico marca JEOL modelo JSM 6300 ubicado en el Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales de la UAEH, y un microscopio electrónico marca JEOL modelo JSM-6610LV, ubicado en el Instituto de Metalurgia de la UASLP.

## **V.5.- Técnica para caracterización química**

Con el fin de identificar la composición química de elementos mayores en base a óxidos y elementos traza de las muestras de arcilla, se utilizó la técnica analítica de espectrometría de emisión de plasma inductivamente acoplado (ICP). Se analizó un total de 30 muestras de las 3 zonas de estudio.

### ***V.5.1.- Análisis químico por espectrometría de plasma (ICP)***

Para el análisis químico cuantitativo de elementos mayores calculados en base a óxidos, se utilizó una cantidad de 0.2 gramos aproximadamente de muestra sin ser tamizada y sin previa molienda, la cual se digesto totalmente utilizando un horno de microondas marca CEM modelo MARS<sub>LX</sub>, ubicado en el Área Académica de Química de la UAEH. Se agregó 8 ml de una mezcla de HCl:HNO<sub>3</sub> (1:3), más 4 de HF, a una temperatura máxima de calentamiento de aproximadamente 210 °C y una presión de 130 PSI, durante un tiempo de calentamiento de aproximadamente 15 minutos. Posteriormente la solución se dejó enfriar a una temperatura ambiente y se le adicionó 28 ml de ácido bórico saturado, volviendo a calentar a una temperatura máxima de 150 °C y una presión de 80 PSI, por 10 minutos. Las muestras digestadas se analizaron en un equipo de espectrometría de emisión de plasma inductivamente acoplado (ICP), marca Perkin Elmer modelo Optima 8300, ubicado en el Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales de la UAEH.

Para determinar la concentración de los elementos de interés se utilizaron 2 estándares multielementales de alta pureza, Perkin Elmer Pure No. N9300224 y Perkin Elmer Wave Cal Solution No. N0582152, además de los estándares Perkin Elmer Al, No. N9300100 y Perkin Elmer Si, No. N9300150. Los límites de detección utilizados fueron; Al=0.069, Ca=0.441, K=0.075, Mg=0.215, Mn=0.011, Fe=0.066, Na=0.316, Ti=0.009, Si=6.150, S=1.270, Pb=0.030, Zn=0.005, Cu=0.420, Cr=0.232, V=0.037, Ba=0.001, todos expresados en ppm.

Se analizaron elementos traza (Pb, Zn, Cu, Cr, V, Ba) y elementos mayores calculados en base a óxidos ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , MgO, MnO, FeO,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ). Los elementos mayores se analizan en base a las características de la roca generadora del suelo y alteraciones de la zona de estudio, mientras que los elementos en traza como indicadores de algún contenido de mineralización metálica.

Los datos de elementos mayores obtenidos por ICP fueron normalizados en base al aluminio, considerado como elemento conservativo, al mantenerse en proporciones constantes en el medio, (Green-Ruiz y Páez-Osuna, 2001), por su alta abundancia natural, al ser el mayor constituyente de los suelos y sedimentos, y encontrarse como elemento estructural en la fracción mineral de los aluminosilicatos y que además, no se asocia al enriquecimiento por intervención antropogénica (Prohic *et al*, 1995). Al emplear este elemento en la normalización se compensa la variabilidad de los resultados obtenidos, encontrando así datos más cercanos a la concentración real de elementos mayores en las muestras.

## **VI.- RESULTADOS**

### **VI.1.- Análisis granulométrico**

#### **VI.1.1.- Tamizado en seco y difracción laser**

El análisis granulométrico es el procedimiento mecánico por medio del cual se separan las partículas constitutivas de un agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizaron tamices de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. La masa retenida en cada uno de los tamices se expresa como porcentajes con respecto al total de la muestra (Anexos 3, 3.1, 3.2).

Para la zona ACT-ARE los resultados obtenidos de las muestras analizadas presentan porcentajes de retención mayores en la malla #120, con valores máximo y mínimo de 91.24 a 45.41% y con porcentajes de retención menor entre las mallas #400 y #500 con valores máximo y mínimo de 11.05 y 0.91%.

En la zona MIN-REF los porcentajes de retención mayor al igual que la zona anterior se acumulan en la malla #120 con valores máximo y mínimo de 95.35 a 70.35% y con porcentajes de retención menor entre las mallas #400 y #500 con valores máximo y mínimo de 5.57 y 0.42%.

A su vez para la zona TUL-SAN los porcentajes de retención mayor al igual que las zonas anteriores se acumulan en la malla #120 con valores máximo y mínimo de 90.69 a 42.51% y con porcentajes de retención menor entre las mallas #400 y #500 con valores máximo y mínimo de 14.67 y 0.86%.

Las gráficas semilogarítmicas elaboradas con los resultados obtenidos por el método de tamizado en seco, representan los porcentajes de muestra que pasa cada uno de los tamices, en el eje de las ordenadas en escala aritmética, contra el diámetro de las partículas (abertura del tamiz) en el eje de las abscisas a escala logarítmica (Montero, 2003). En estos gráficos se representa el tamaño de partícula que constituyen las muestras, lo que permite fijar en porcentaje de su peso total la cantidad de granos de distintos tamaños que la muestra contiene (Figuras 5, 6, y 7).

Se observa en las curvas granulométricas un alto porcentaje de muestra retenido en la malla #120, desde 42% (TR 1L) hasta 95% (AZ 3), teniendo como promedio para todas las muestras un

porcentaje de 76%, reflejando un bajo porcentaje de distribución en las mallas de diámetro menor.

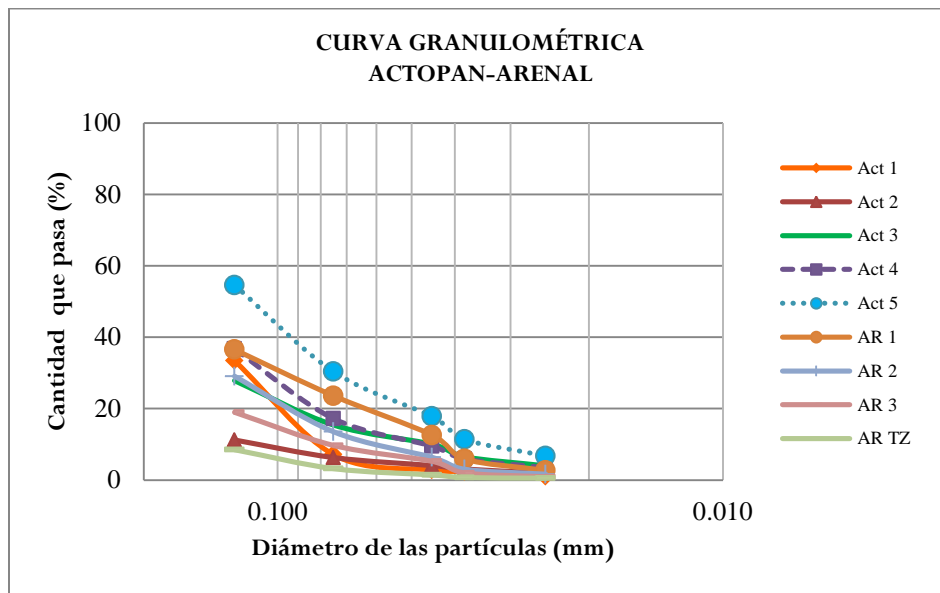


Figura 5. Curva granulométrica correspondiente a las muestras de la zona ACT-ARE, graficadas a partir de los resultados obtenidos por el método de tamizado en seco.

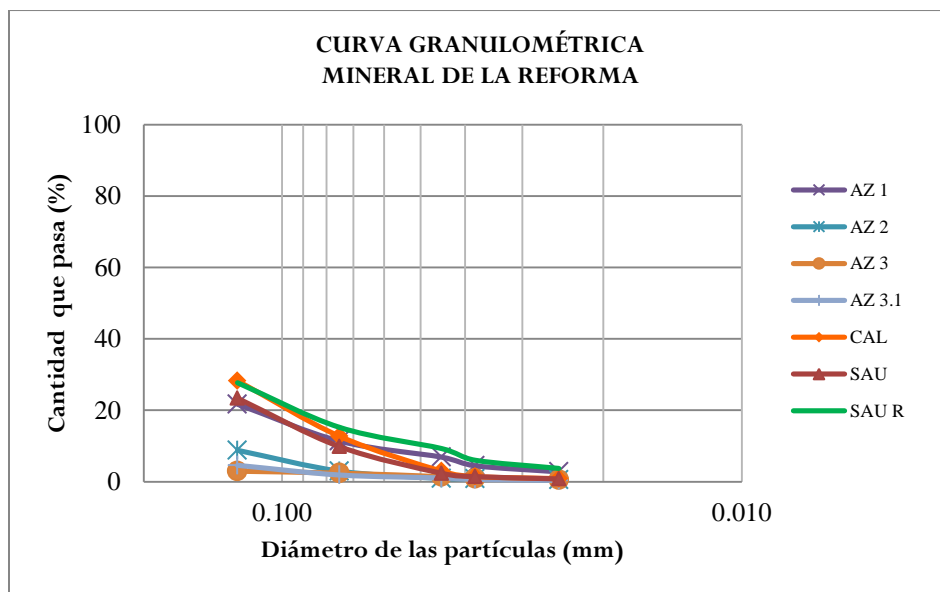
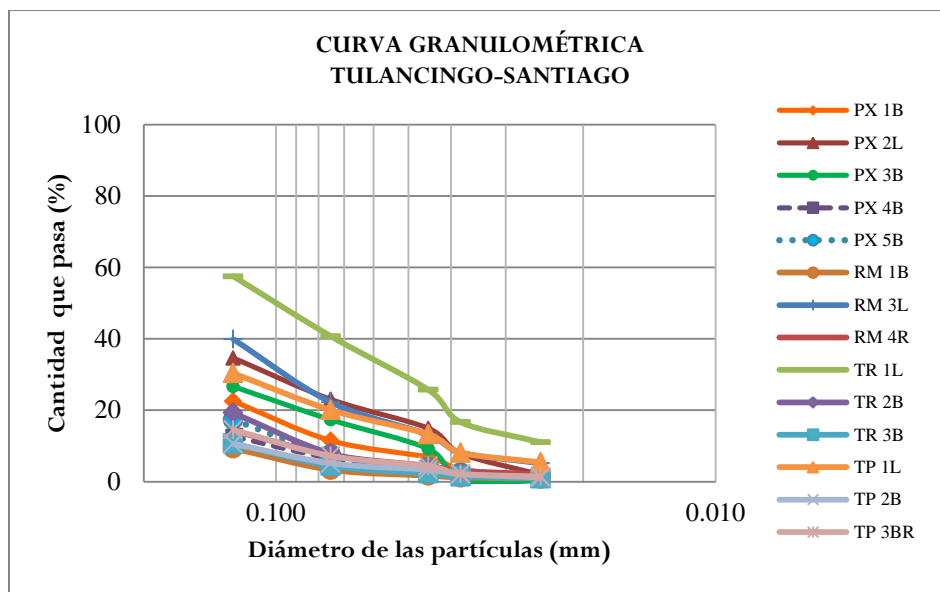


Figura 6. Curva granulométrica correspondiente a las muestras de la zona MIN-REF, graficadas a partir de los resultados obtenidos por el método de tamizado en seco.

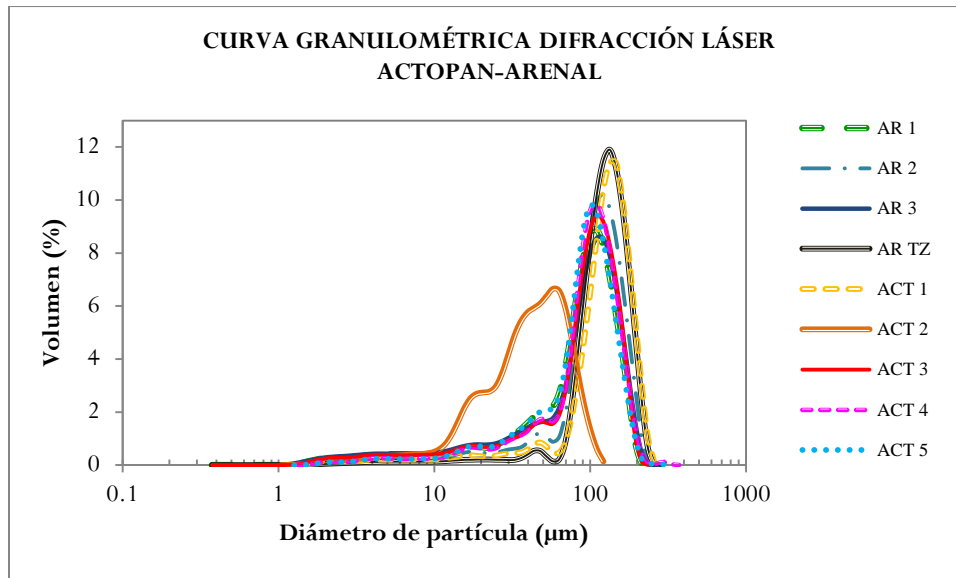


**Figura 7. Curva granulométrica correspondiente a las muestras de la zona TUL-SAN, graficadas a partir de los resultados obtenidos por el método de tamizado en seco.**

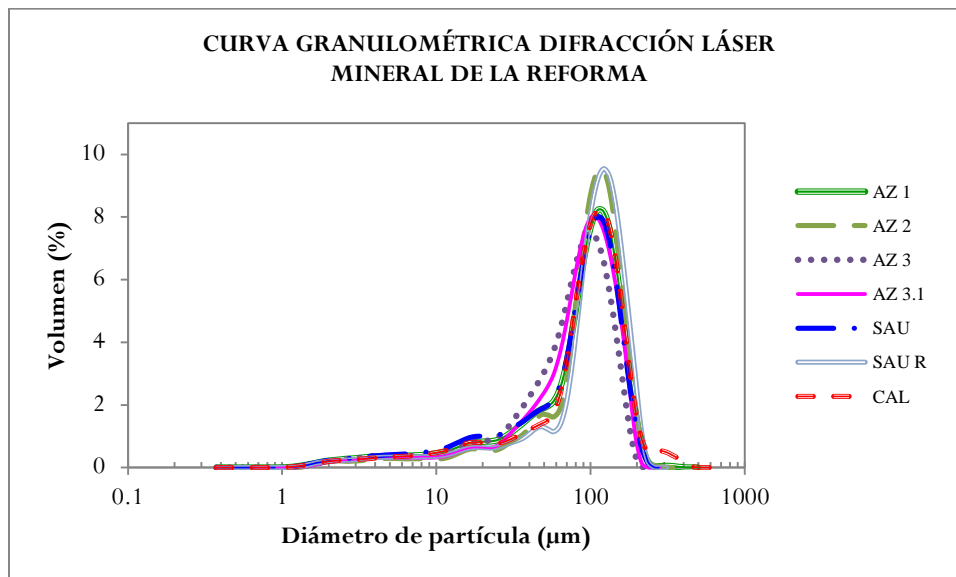
Por el método de difracción laser se obtuvieron resultados heterogéneos entre cada zona, aunque los resultados entre las muestras de una misma zona también se mantienen diversos, especialmente para la zona de ACT-ARE, teniendo como valores mínimo y máximo promedio de 45.96  $\mu\text{m}$  y 132.20  $\mu\text{m}$ , mientras que para la zona MIN-REF dichos valores son de, 83.31  $\mu\text{m}$  y 108.50  $\mu\text{m}$ , y para la zona TUL-SAN de 74.27  $\mu\text{m}$  y 98.82  $\mu\text{m}$  respectivamente (Anexo 4).

Para la zona ACT-ARE se tiene un tamaño de partícula promedio de 100.86  $\mu\text{m}$ , a su vez para la zona MIN-REF de 97.67  $\mu\text{m}$ , mientras que para la zona TUL-SAN el tamaño de partícula promedio es de 89.40  $\mu\text{m}$  (Anexo 4).

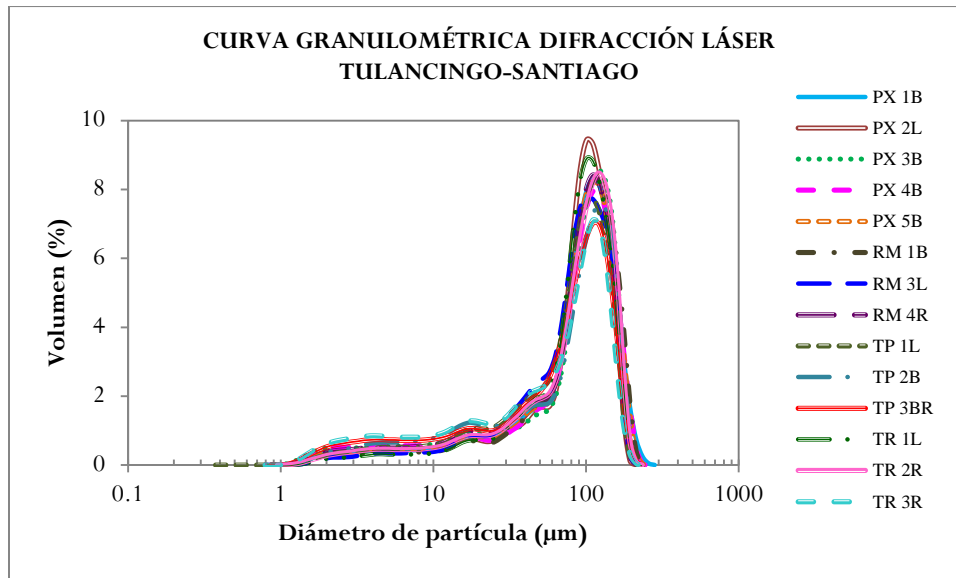
De igual manera que el método anterior, se elaboran graficas semilogarítmicas donde se expone el volumen de partículas en porcentaje en el eje de las ordenadas, y el diámetro de las partículas expresado en  $\mu\text{m}$  en el eje de las abscisas en escala logarítmica. Estas gráficas representan la proporción en porcentaje de la abundancia de determinado tamaño de partícula, encontrando una media de diámetro de partícula en las tres zonas de estudio en el rango de 89 a 101  $\mu\text{m}$  (Figuras 8, 9, y 10).



**Figura 8. Curva de proporción porcentual de diámetro de partícula correspondiente a las muestras de la zona ACT-ARE, graficadas a partir de los resultados obtenidos por el método difracción láser.**



**Figura 9. Curva de proporción porcentual de diámetro de partícula correspondiente a las muestras de la zona MIN-REF, graficadas a partir de los resultados obtenidos por el método difracción láser.**



**Figura 10. Curva de proporción porcentual de diámetro de partícula correspondiente a las muestras de la zona TUL-SAN, graficadas a partir de los resultados obtenidos por el método difracción laser.**

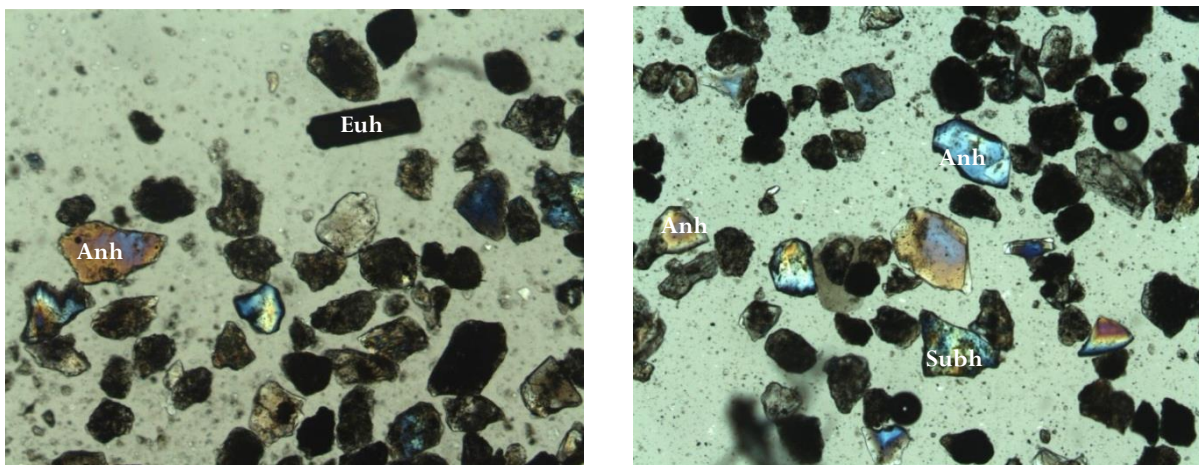
Los resultados obtenidos por estos métodos dan a conocer que el material que es utilizado para la fabricación del ladrillo tiene variadas proporciones de partículas de distinto tamaño dentro del rango de fracción fina ( $<100 \mu\text{m}$ ), desde la arena fina hasta la arcilla (Montero, 2003).

## VI.2.- Caracterización mineralógica

### VI.2.1.- Análisis por microscopía óptica de polarización (MOP)

Este análisis permitió definir las relaciones texturales y asociaciones de fases minerales tanto para los minerales no metálicos (silicatos) como para los minerales metálicos, principalmente los silicatos que se encuentran presentes en forma de feldspatos y/o plagioclasas. Los cuales presentan diferentes grados de alteración (hidrolisis principalmente), aquellos en forma de óxidos e hidróxidos de hierro como limonita, hematita, goethita y otros como los carbonatos; que son las fases minerales más abundantes e importantes que constituyen la arcilla con la que se fabrican los ladrillos. Se analizaron las muestras de cada zona de estudio y de acuerdo a las observaciones realizadas se muestran las características más significativas para cada zona de todas las muestras estudiadas (Anexos 5, 5.1, y 5.2).

Las muestras de la zona ACT-ARE presentan de manera general una granulometría homogénea en cuanto a tamaño pero una heterogeneidad en cuanto a su composición mineralógica, la morfología de las partículas va desde tipo euhedral hasta anhedral en función del grado de alteración que presentan (Figura 11).

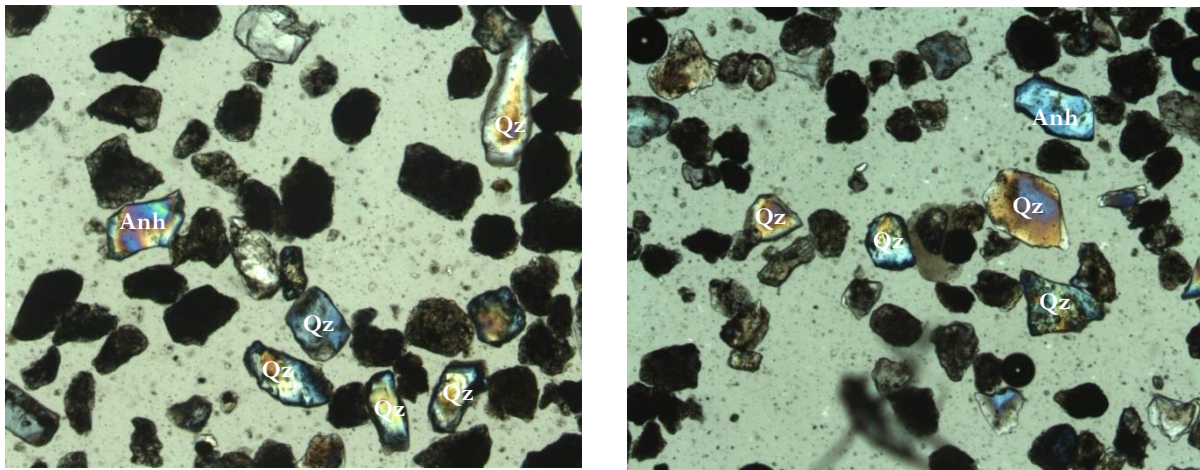


**Figura 11. Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas euhedrales (Euh), anhedrales (Anh), y subhedrales (Subh) nicoles cruzados, objetivo 4x, campo horizontal de la fotografía 2.00 mm. (Muestras ACT1-6 y AR2-1).**

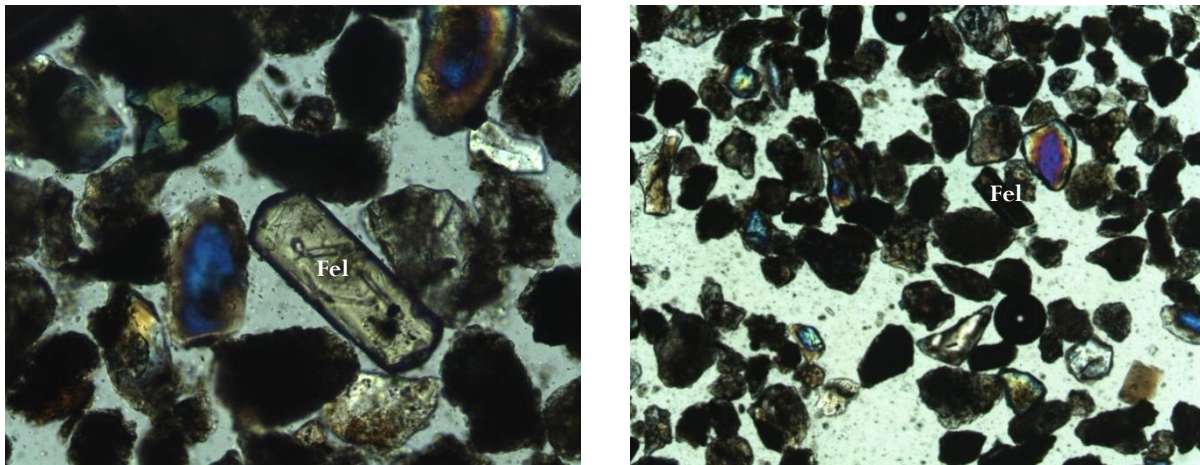
La mineralogía detectada es de abundante cuarzo, de morfología de tipo subhedral y anhedral principalmente (Figura 12).



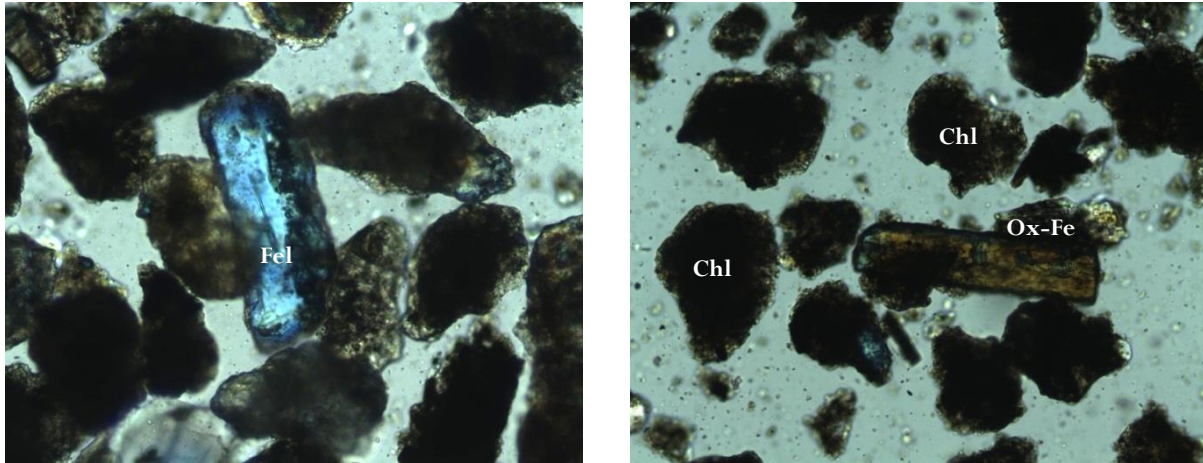
Se observa abundante feldespato (plagioclasas de la serie sólida albita-anortita) (Figura 13), clorita y óxidos de hierro (Figura 14). Cuando las partículas de feldespato no presentan alteración su morfología va desde el tipo euhedral a subhedral, conforme su alteración es mayor son redondeados hasta ser anhedrales y se asocian generalmente a cantidades variables de óxidos de hierro y clorita. El contenido de hierro generalmente es muy abundante y se torna de color gris oscuro a negro (minerales opacos), este mineral en ocasiones se observa a manera de oxidación penetrativa (Figura 15).



**Figura 12.** Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas anhedrales de cuarzo (Qz), nicols cruzados, objetivo 4x, campo horizontal de la fotografía 2.00 mm. (Muestras ACT1-2 y AR2-1).

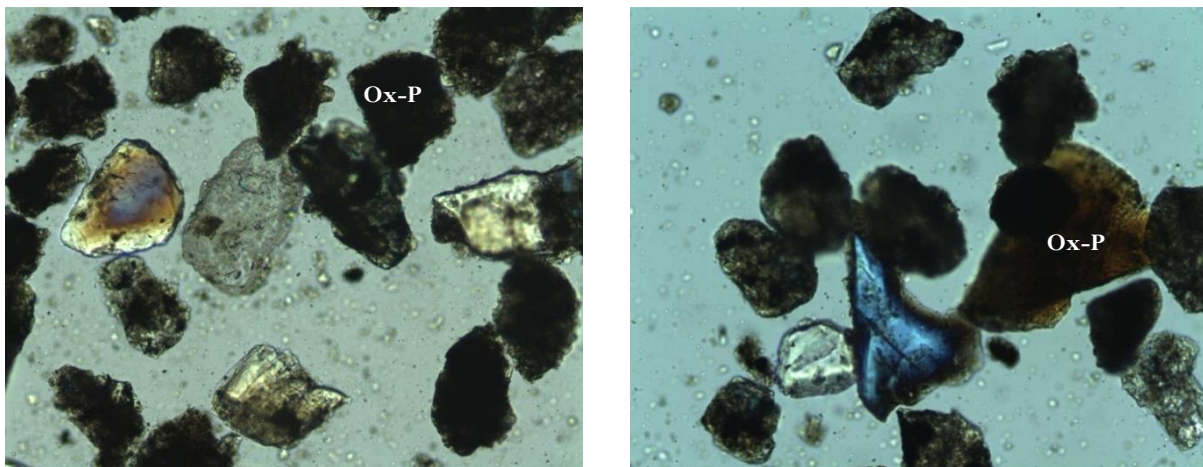


**Figura 13.** Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas euhedrales de feldespato (Fel), nicols cruzados, objetivos 10x y 4x respectivamente, campo horizontal de la fotografía 0.98 y 2.00 mm (Muestras ACT3-1 y AR2-2).



**Figura 14.** Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas de feldespato (Fel) alterado por clorita (Chl) y óxidos de hierro (Ox-Fe), nicoles cruzados, objetivo 10x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestras ACT-1-4 y ACT-2-4).

Cualitativamente se puede interpretar que la fuente de estos bancos de material detrítico proviene de una roca volcánica de composición intermedia a máfica, esto evidenciado por el abundante contenido de feldespato de los cuales derivaron las arcillas. La alteración de clorita presente, es derivada de un hidrotermalismo ocurrido en la roca y no de un tipo de alteración ocurrido en el banco de material.

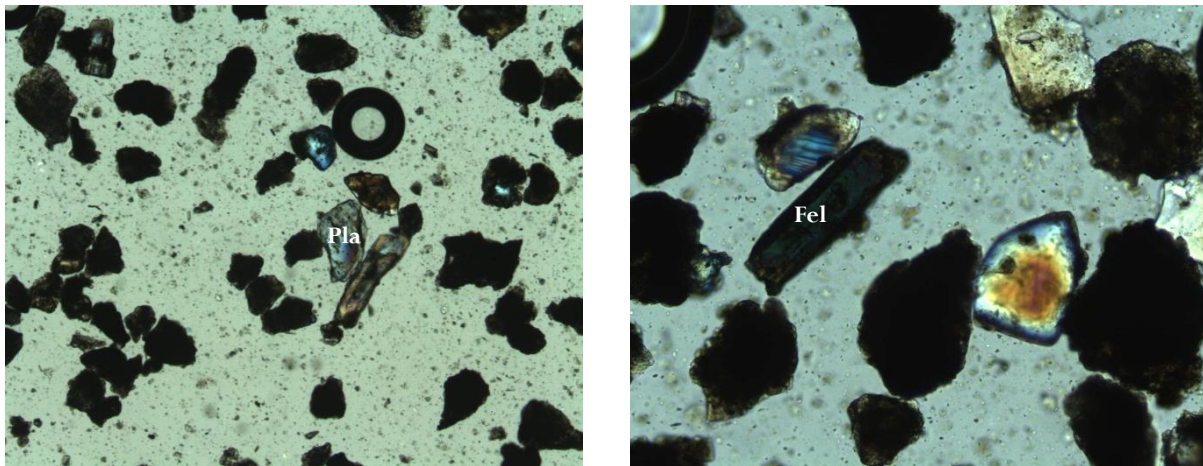


**Figura 15.** Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas con una oxidación penetrativa (Ox-P), nicoles cruzados, objetivo 10x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestras ACT3-6 y AR1-5).

La presencia de los óxidos de hierro señala o evidencia que las rocas portadoras de este material son preferencialmente de composición intermedia a básica (de tipo andesítico-basáltica), que corresponden al dominio andesítico, en el cual su composición va de andesita basáltica a

riodacita, de textura afanítica a porfídica con interestratificaciones de tobas y brechas de derrame con horizontes mal consolidados, niveles riolíticos conocidos como unidad Zumate y cuerpos andesítico-latífticos en forma de diques.

La zona MIN-REF está caracterizada por relativas diferencias en contenidos mineralógicos entre las diferentes localidades, de manera general se puede interpretar lo siguiente; en la localidad de Azoyatla, se tiene mayor proporción de arcillas a partir de la argilización de feldespatos y plagioclasas de tipo hidrotermal, además de la presencia de una fuerte oxidación post-depósito. Se identifican escasos feldespatos y plagioclasas con un menor grado de alteración, esto puede ser debido a que no sufrieron una alteración de tipo hidrotermal en su protolito de origen y fueron depositados estos detritos de manera mecánica por acción de la erosión (Figura 16).



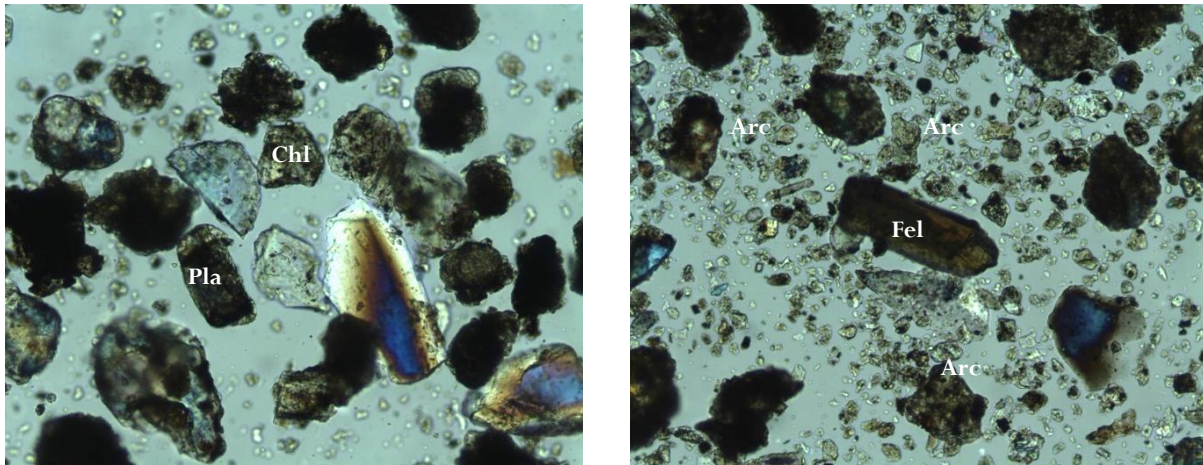
**Figura 16. Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando feldespato (Fel) y plagioclasa (Pla) con escasa alteración, nicoles cruzados, objetivo 4x y 10x respectivamente, campo horizontal de la fotografía 2.00 y 0.98 mm (Muestras AZ2-2 y AZ2-5).**

Mientras que en la localidad de Saucillo, se presenta un contenido de arcillas relativamente menor y una mayor proporción de feldespatos sin alterar en comparación a otras localidades, además se presenta una ligera alteración de clorita (Figura 17).

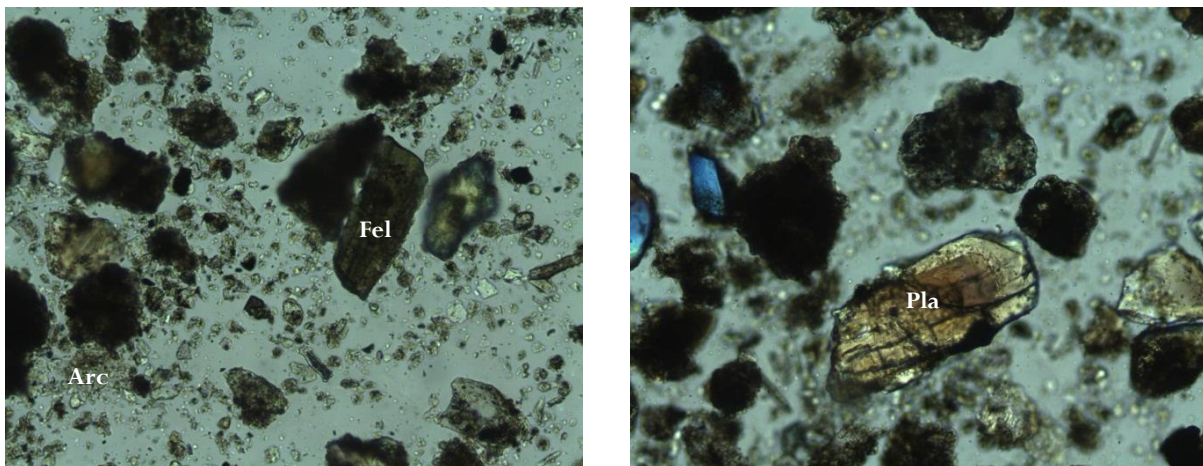
En la localidad de Calera, al igual que en Azoyatla, se presenta una mayor proporción de arcillas fuertemente oxidadas, y se detectan una relativa menor cantidad de feldespatos y plagioclasa limpia (Figura 18).

Las partículas de arcillas son de dos tipos, unas sumamente oxidadas y otras con escasa oxidación. Cualitativamente, se puede interpretar que la fuente de estos bancos de material detrítico, es una roca volcánica de composición intermedia a félsica, evidenciado por el

abundante contenido de plagioclasa y feldespato de los cuales derivaron las arcillas. La alteración de clorita presente, es derivada de un hidrotermalismo ocurrido en la roca y no de un tipo de alteración ocurrido en el banco de material. La presencia de los óxidos de hierro, evidencian que las rocas portadoras de este material son principalmente de composición intermedia a máfica (de tipo andesítico-basáltica) y en menor proporción félsicas (de tipo riolítico-dacítica) que justifican la presencia de feldespato y cuarzo.

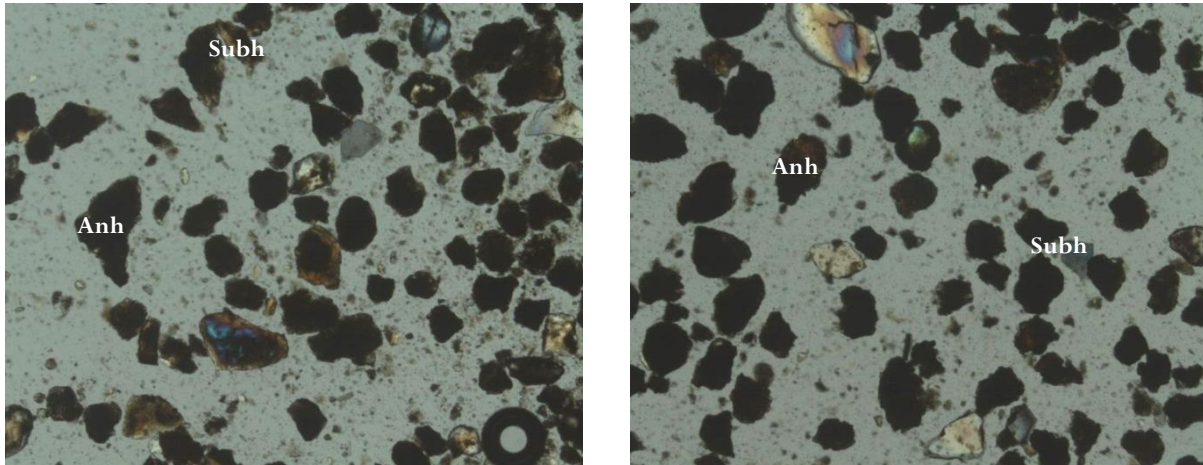


**Figura 17.** Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando feldespato (Fel), plagioclasa (Pla), clorita (Chl) y arcillas (Arc), nicols paralelos, objetivo 10x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestras SAU5 y SAU6).



**Figura 18.** Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando abundantes arcillas (Arc), feldespato (Fel) y plagioclasa (Pla), nicols cruzados, objetivo 10x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestras CAL-5 y CAL-7).

En la zona TUL-SAN se puede observar que las partículas presentan una granulometría un tanto heterogénea, y que la morfología de estas es en su mayoría de tipo subhedral a anhedral (Figura 19).



**Figura 19. Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas de tipo anhedral (Anh) a subhedral (Subh), nicoles cruzados, objetivo 4x, campo horizontal de la fotografía 2.00 mm (Muestras TP 3BR-10 y RM1B-4).**

La mineralogía está constituida por una gran cantidad de feldespatos (Figura 20) y plagioclasas (Figura 21), los cuales se observan muy alterados, en su mayoría estos presentan alteraciones por óxidos de hierro en los cuales se observa principalmente limonita y hematita. La mayoría de estas partículas presentan un grado de alteración penetrativa (Figura 22), y solo se observan pocas partículas de cuarzo, principalmente de morfología de tipo anhedral que no han sido alteradas (Figura 23).

Como resultado del estudio microscópico se puede concluir que la mineralogía de los suelos en estas zonas presenta una importante alteración, principalmente por una fuerte hidrólisis, la cual fue posterior a la alteración de tipo hidrotermal en los protolitos originales. Lo cual puede ser explicado para las zonas de MIN-REF en las localidades Azoyatla, Saucillo y Calera y en la zona de TUL-SAN, donde las muestras son derivadas de un protolito de composición más alumínico y evidenciado por la composición de la roca, que es de tipo andesítico-riolítico, mientras que las muestras de la zona ACT-ARE, muestran una tendencia media tanto al polo cálcico como al férrico, esto puede deberse al protolito de composición más cálcico, representado por la roca que es de tipo andesítico, con una fuerte alteración de óxidos e hidróxidos de hierro, verificados en el campo.

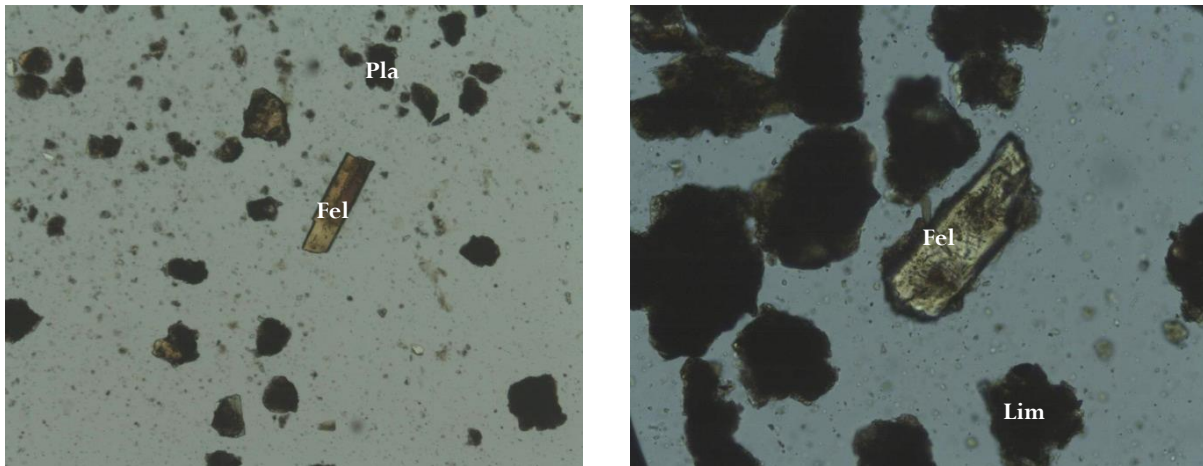


Figura 20. Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas de plagioclasa (Pla) y feldespato (Fel) con alteración de limonita (Lim), nicols cruzados, objetivo 4x y 10x respectivamente, campo horizontal de la fotografía 2.00 y 0.98 mm (Muestras TP3BR-1y TP1LP-13).

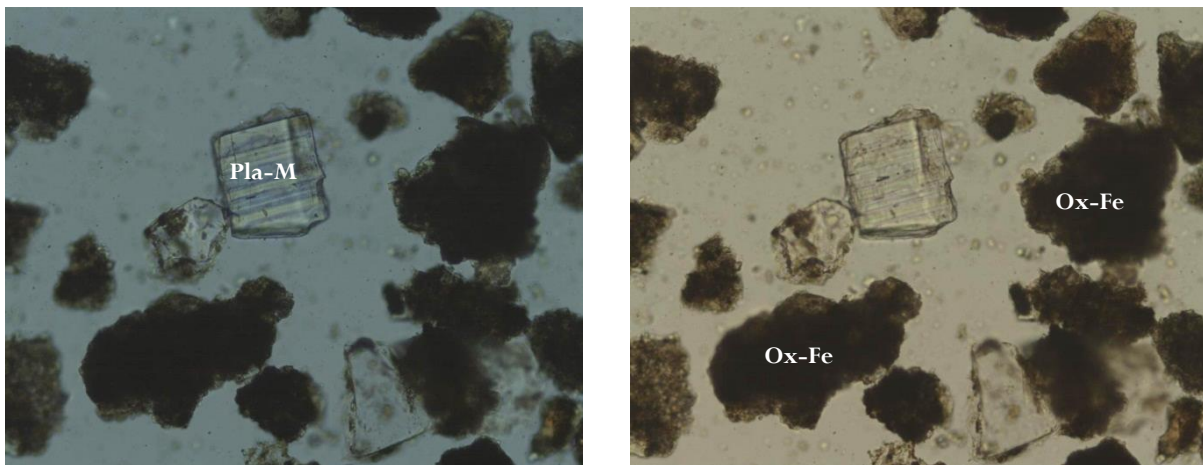
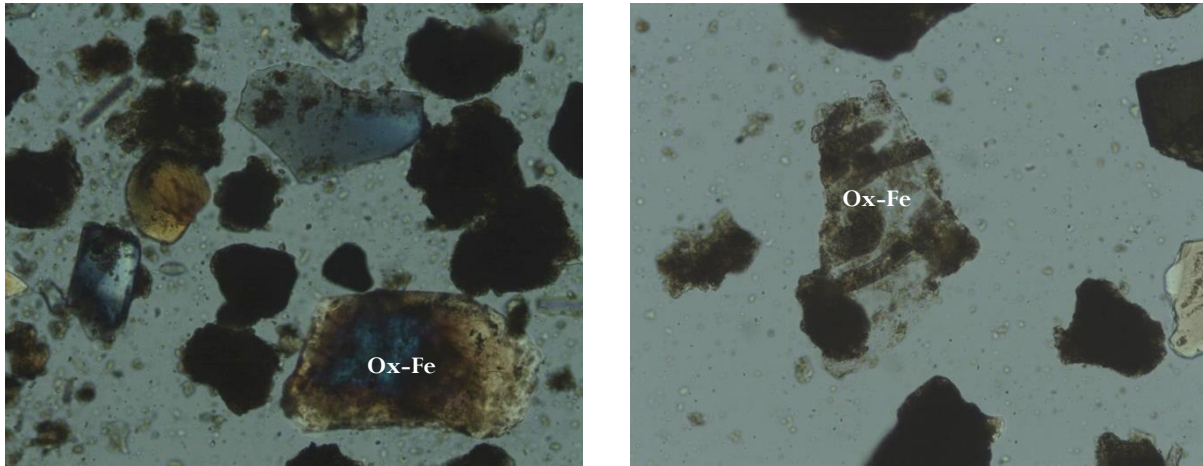
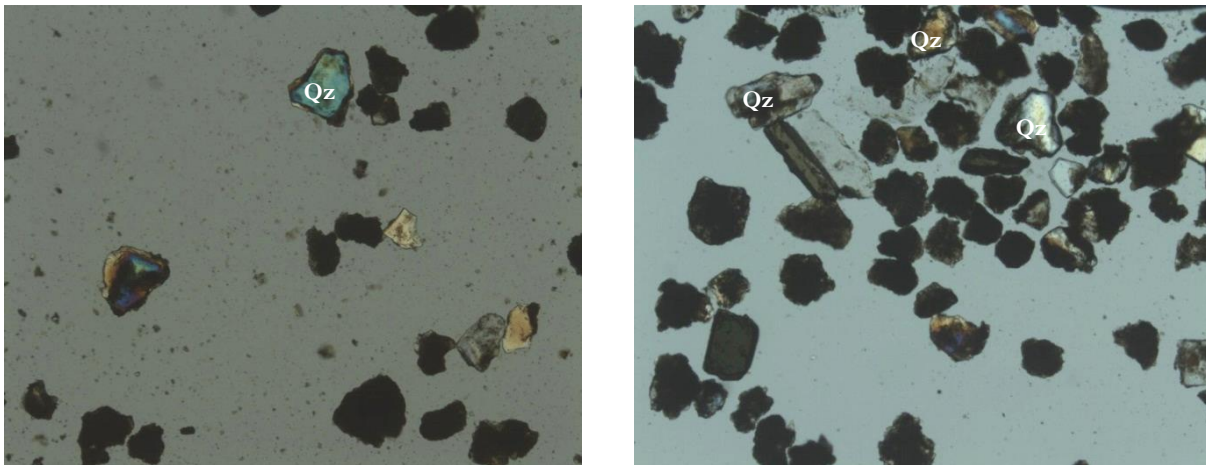


Figura 21. Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partícula de plagioclasa (Pla-M) maclada con alteración de óxidos de hierro (Ox-Fe), nicols cruzados y paralelos respectivamente, objetivo 4x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestra TP1LP-12)



**Figura 22.** Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando diferentes grado de alteración por óxidos de hierro (Ox-Fe) de tipo penetrativa en silicatos, nicoles cruzados, objetivo 10x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestras ROM4R-5 y TP3BR-12).



**Figura 23.** Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas de cuarzo (Qz) con poca alteración de óxidos de hierro, nicoles cruzados, objetivo 4x, campo horizontal de la fotografía 0.98 mm (Muestras TP3BR-3 y TR2B-2).

## VI.2.2.- Análisis por difracción de rayos X (DRX)

El análisis por difracción de rayos x permitió determinar al cuarzo y a la andesina en la zona ACT-ARE, al cuarzo y la ortoclasa en la zona MIN-REF, y al cuarzo y albita la zona TUL-SAN, como fases minerales mayoritarias en las muestras analizadas de cada zona (Tabla 2). En los Anexos 6, 6.1, y 6.2 se muestran las fases minerales mayoritarias, minoritarias e indicios de todas las muestras analizadas de las tres zonas de estudio.

Se determinaron en la zona ACT-ARE las siguientes fases minerales; como fases mayoritarias al cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), ortoclasa ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), y andesina (Na, Ca)  $[\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})\text{Si}_2\text{O}_8]$ ; como fases minoritarias a la albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), tridimita ( $\text{SiO}_2$ ), cristobalita ( $\text{SiO}_2$ ), ortoclasa ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), y hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ); y como fases minerales indicio se encontró al cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), kaolinita  $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ , hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ );  $(\text{OH})_4$ , nontronita  $[\text{Na}_{0.3}\text{Fe}_2((\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$  e illita  $\text{K}_{0.65}\text{Al}_{2.0}[\text{Al}_{0.65}\text{Si}_{3.35}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ . (Figura 24).

A su vez, para la zona MIN-REF, se identificó como fases mayoritarias al cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), ortoclasa ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), y albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), como fases minoritarias a la tridimita ( $\text{SiO}_2$ ), cristobalita ( $\text{SiO}_2$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), y albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ). Como fases minerales indicio se encontró a la hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kaolinita  $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ , e illita  $\text{K}_{0.65}\text{Al}_{2.0}[\text{Al}_{0.65}\text{Si}_{3.35}\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ . (Figura 25)

Mientras que para la zona TUL-SAN se identificaron como fases mayoritarias al cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), andesina (Na, Ca)  $[\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})\text{Si}_2\text{O}_8]$ , y cristobalita ( $\text{SiO}_2$ ); como fases minoritarias a la tridimita ( $\text{SiO}_2$ ), cristobalita ( $\text{SiO}_2$ ), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) y, halloysita  $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ ; y como fases minerales indicio se encontró a la hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), kaolinita  $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ , halloysita  $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ , montmorillonita  $[(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33}(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ , nontronita  $[\text{Na}_{0.3}\text{Fe}_2((\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$  y ferrotschermakita  $[\{\text{Ca}_2\}\{\text{Fe}_3^{2+}\text{Al}_2\}(\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{22})(\text{OH})_2]$  (Figuras 26 y 27).

La presencia de las fases minerales de cuarzo y sus polimorfos (cristobalita y tridimita) se ve íntimamente relacionada con la geología de la zona, al igual que las fases minerales identificadas dentro del grupo de los feldespatos alcalinos y de la serie sólida de las plagioclasas sódico cálcicas, como la ortoclasa, albita y andesina, ya que se tiene la influencia de rocas volcánicas de composición de intermedia a félsica al tener la presencia de rocas de tipo riolítico-andesítico

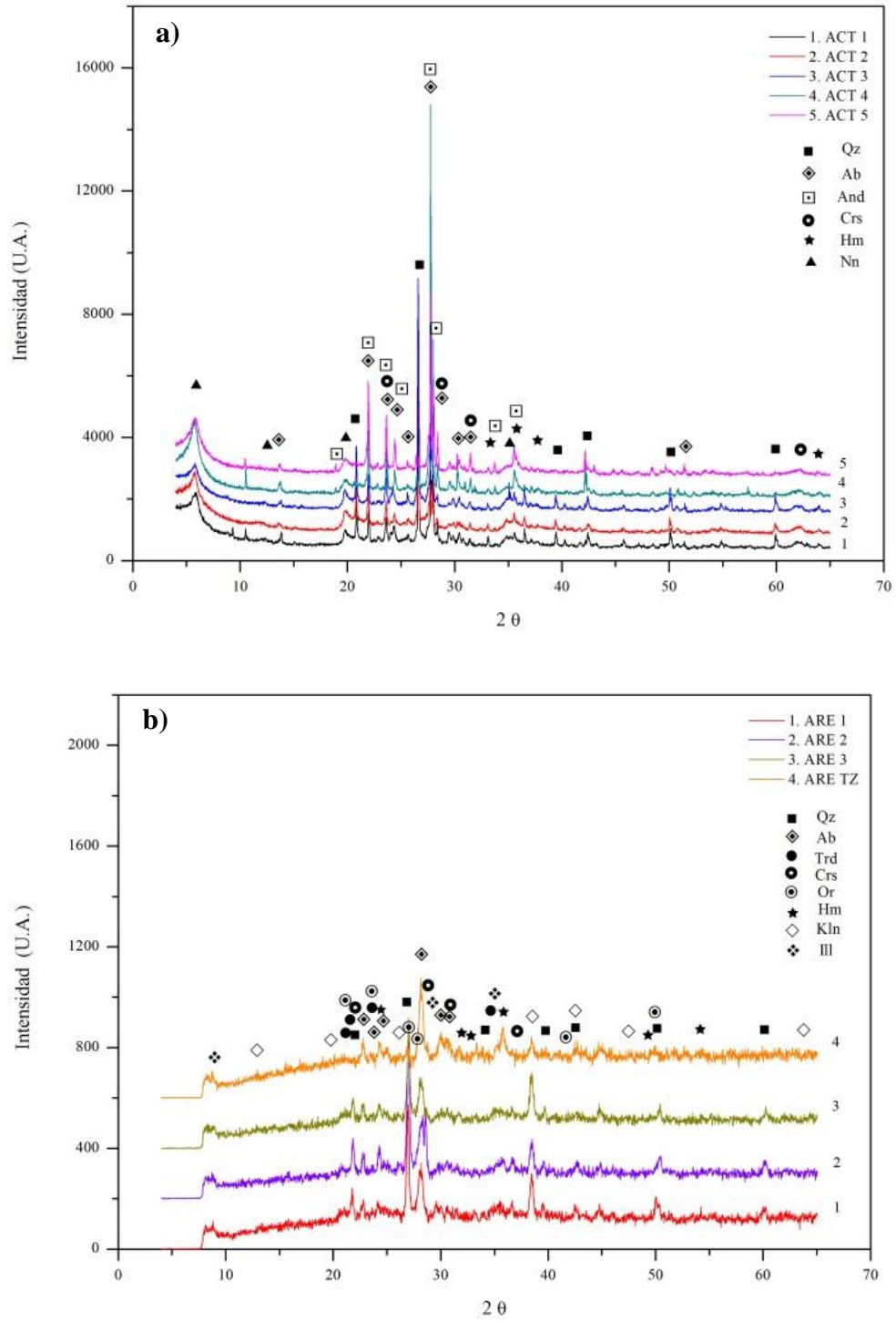


principalmente, que forma el paquete de rocas del Grupo Pachuca, interviniendo en las zonas de ACT-ARE y MIN-REF, y en la zona de TUL-SAN, por la influencia del material volcánico de carácter andesítico-riolítico y andesítico-basáltico correspondientes a la caldera Tulancingo-Acocolco.

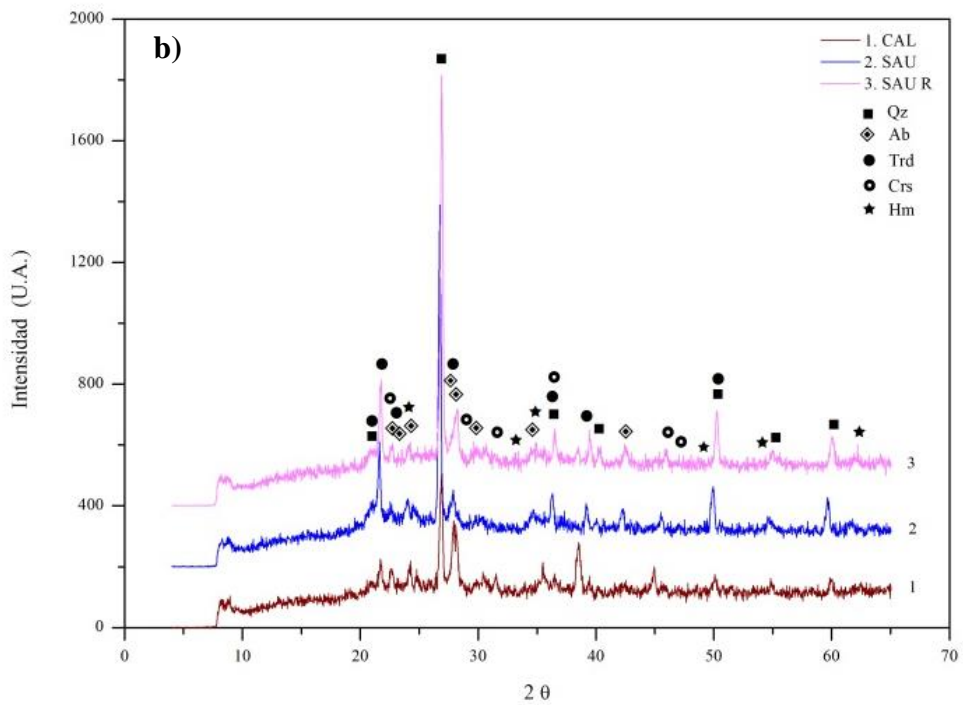
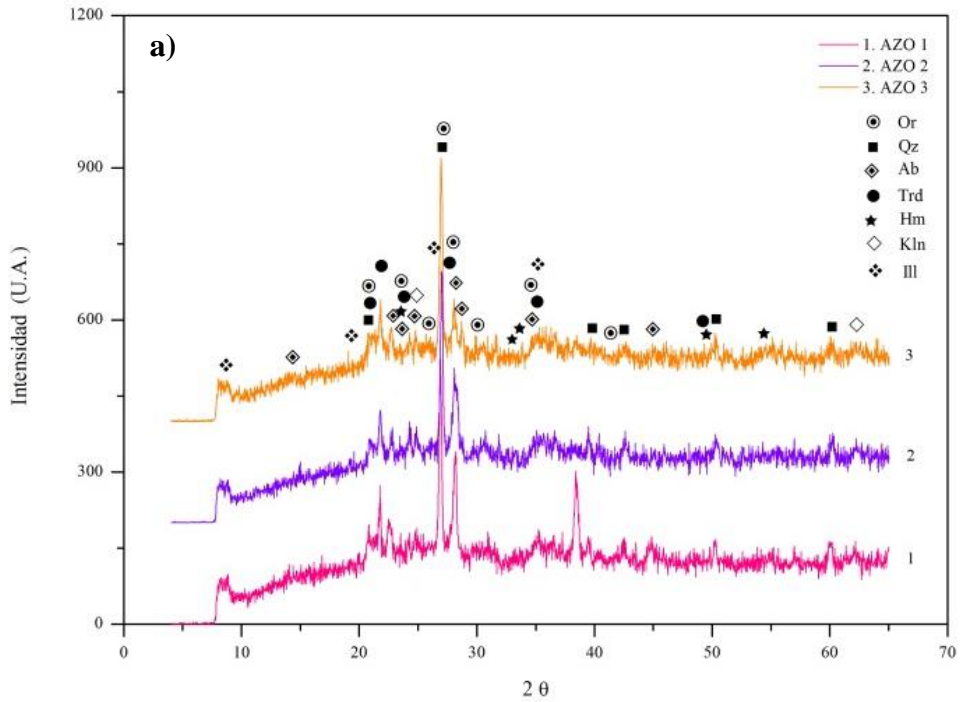
Las fases del grupo de los minerales arcillosos, como la kaolinita, illita, halloysita, montmorillonita, nontronita y ferrotschermakita, son producto de procesos de intemperismo que se da en la roca origen, y a los procesos de neoformación (Eberl, 1984). Las fases minerales como la hematita, nontronita y la ferrotschermakita, con un contenido de hierro en su estructura, se relacionan a la presencia de rocas de composición de intermedia a básica, en donde se llevaron a cabo procesos de alteración por oxidación, dando lugar a la presencia de estos minerales.

**Tabla 2. Análisis por difracción de rayos x (DRX), mostrando fases minerales mayoritarias, minoritarias e indicios contenidas en las muestras de las zonas de estudio ACT-ARE, MIN-REF y TUL-SAN.**

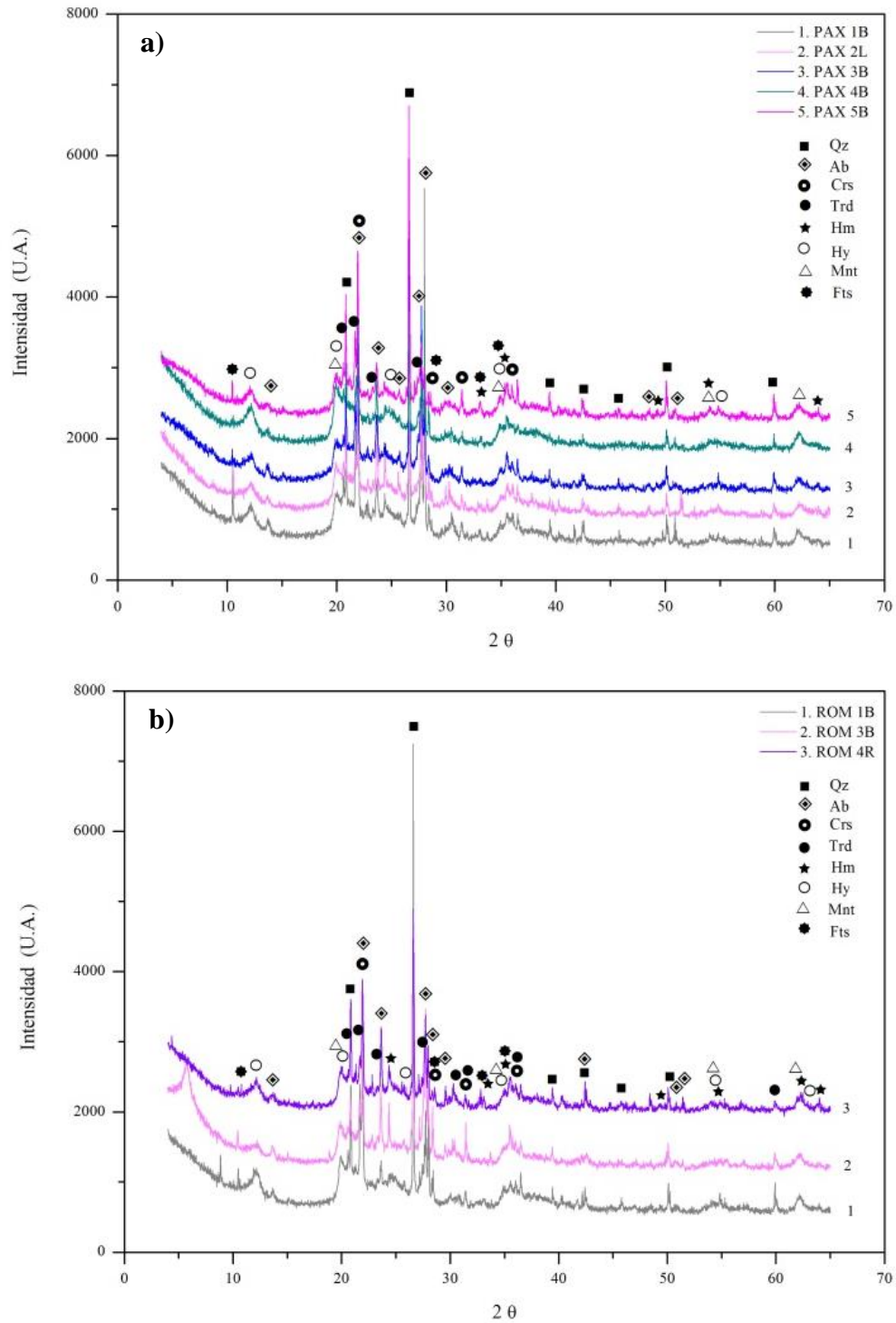
Fase Mineral	F. Mayoritaria >50%	F. Minoritaria 50-10%	Indicios <10%
<b>ZONA ACTOPAN-ARENAL (ACT-ARE)</b>			
Cuarzo (Qz)	X		X
Tridimita (Trd)		X	
Cristobalita (Crs)		X	
Albita (Ab)	X	X	
Andesina (And)	X		
Ortoclasa(Or)	X	X	
Hematita (Hm)		X	X
Kaolinita (Kln)			X
Illita (Ill)			X
Nontronita (Nn)			X
<b>ZONA MINERAL DE LA REFORMA (MIN-REF)</b>			
Cuarzo (Qz)	X	X	
Tridimita (Trd)		X	
Cristobalita (Crs)		X	
Albita (Ab)	X	X	
Ortoclasa(Or)	X		
Hematita (Hm)			X
Kaolinita (Kln)			X
Illita (Ill)			X
<b>ZONA TULANCINGO-SANTIAGO (TUL-SAN)</b>			
Cuarzo (Qz)	X	X	
Tridimita (Trd)		X	
Cristobalita (Crs)	X	X	
Albita (Ab)	X	X	
Andesina (And)	X		
Hematita (Hm)			X
Kaolinita (Kln)			X
Halloysita (Hy)		X	X
Montmorillonita (Mnt)			X
Nontronita (Nn)			X
Ferrotschermakita (Fts)			X



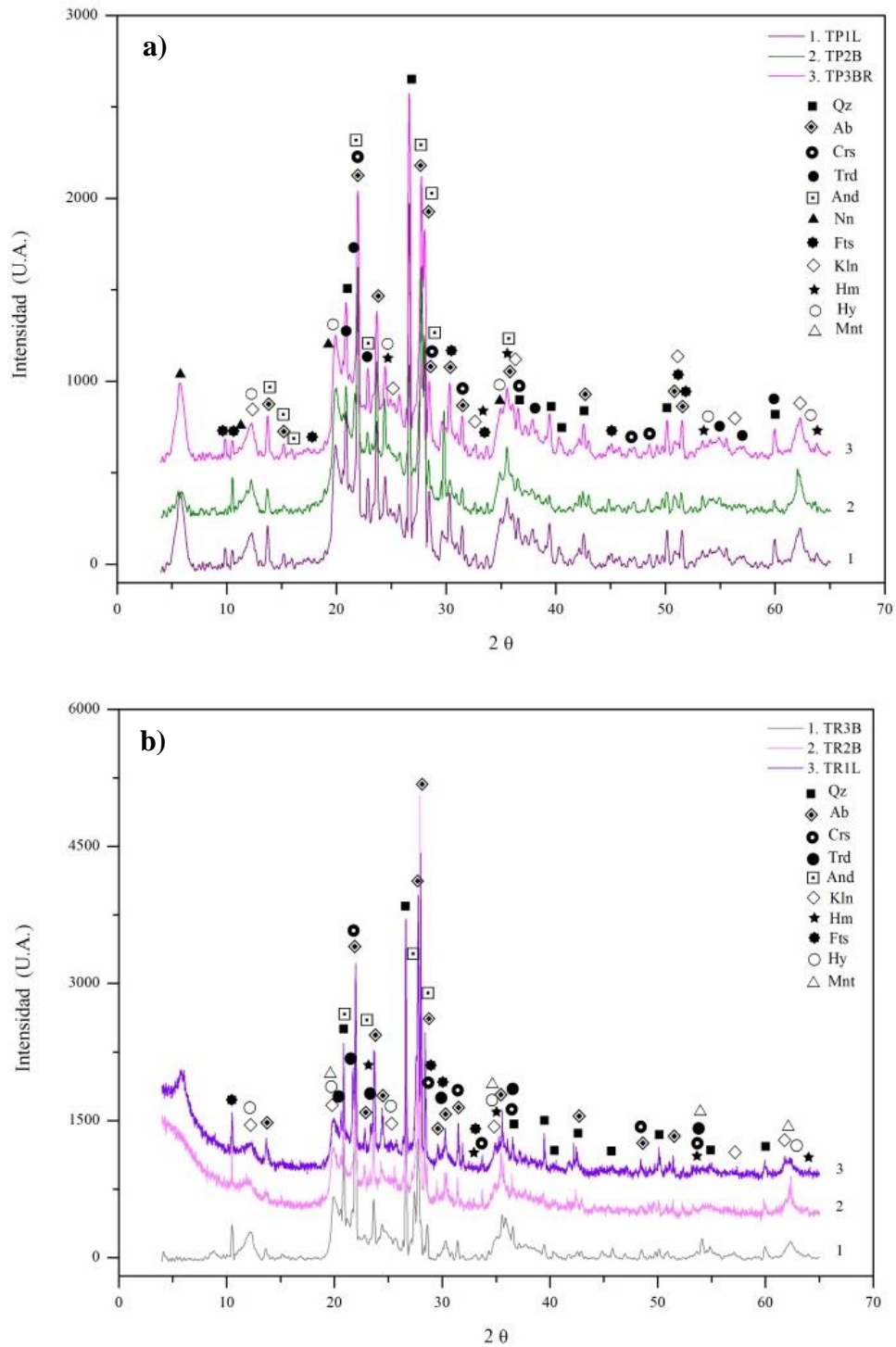
**Figura 24.** Difractogramas de las muestras de la zona ACT-ARE, de las localidades a) Actopan (ACT) y b) Arenal (ARE). Simbología: (Qz) Cuarzo, (Ab) Albita, (And) Andesina, (Crs) Cristobalita, (Trd) Tridimita, (Or) Ortoclasa, (Hm) Hematita, (Nn) Nontronita, (Kln) Kaolinita, e (Ill) Illita.



**Figura 25.** Difractogramas de las muestras de la zona MIN-REF, de las localidades a) Azoyatla (AZO) y b) Calera, Saucillo, Saucillo Río (CAL, SAU, SAU R). Simbología: (Qz) Cuarzo, (Or) Ortoclasa, (Ab) Albita, (Crs) Cristobalita, (Trd) Tridimita, (Hm) Hematita, (Kln) Kaolinita e (Ill) Illita.



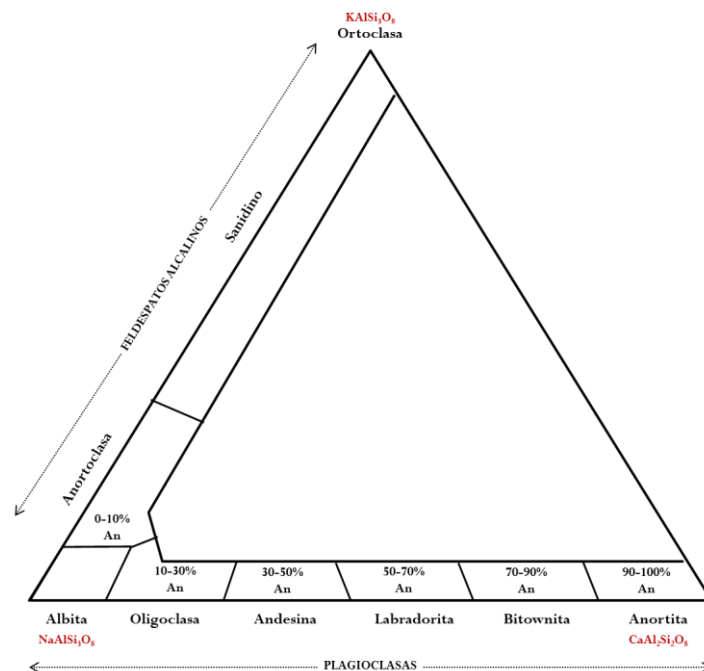
**Figura 26. Difractogramas de las muestras de la zona TUL-SAN, de las localidades a) Paxtepec (PAX) y b) Romeros (ROM). Simbología: (Qz) Cuarzo, (Ab) Albita, (Crs) Cristobalita, (Trd) Tridimita, (Hm) Hematita, (Hy) Halloysita, (Mnt) Montmorillonita y (Fts) Ferrotschermakita.**



**Figura 27.** Difractogramas de las muestras de la zona TUL-SAN, de las localidades a) Tulancingo Paraíso (TP) y b) Tulancingo Rayuela (TR). Simbología: (Qz) Cuarzo y (Ab) Albita, (Crs) Cristobalita, (Trd) Tridimita, (And) Andesina, (Kln) Kaolinita, (Hy) Halloysita, (Mnt) Montmorillonita, (Hm) Hematita, (Nn) Nontronita, y (Fts) Ferrotschermakita.

### VI.2.3.- Análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS)

Los microanálisis realizados por MEB-EDS en las muestras de las zonas de estudio fueron efectuados en función de las características físicas y químicas de las arcillas de los suelos que son empleados como materia prima para la fabricación de ladrillo. Cabe señalar que la interpretación fue compleja, ya que los resultados de los microanálisis realizados en los puntos analizados no permitieron establecer especies minerales ideales, debido a la débil estequiometría por la presencia de impurezas, al encontrarse minerales secundarios y terciarios producto de procesos de intemperismo químico, lo cual no permitió realizar el cálculo de fórmulas estructurales ideales. Por otra parte, se tuvo el efecto de matriz al no tener superficies idealmente planas. Sin embargo, se realizó la interpretación de forma cualitativa comparativa con la fórmula teórica de las posibles especies minerales presentes y con el diagrama del sistema ternario de los feldespatos (Huang, 1968) (Figura 28), lo que permitió realizar comparaciones cualitativas con las especies minerales como la ortoclasa y microclina del polo potásico, de la albita en el polo sódico y de la anortita en el polo cálcico, además la morfología (clivaje) de algunas partículas, permitió identificar ciertas especies minerales. Para cada zona se muestran las características más significativas de cada localidad en esta sección, y cada una de ellas cuenta con un considerable número de microanálisis que se pueden observar en los Anexos 7, 7.1, y 7.2.



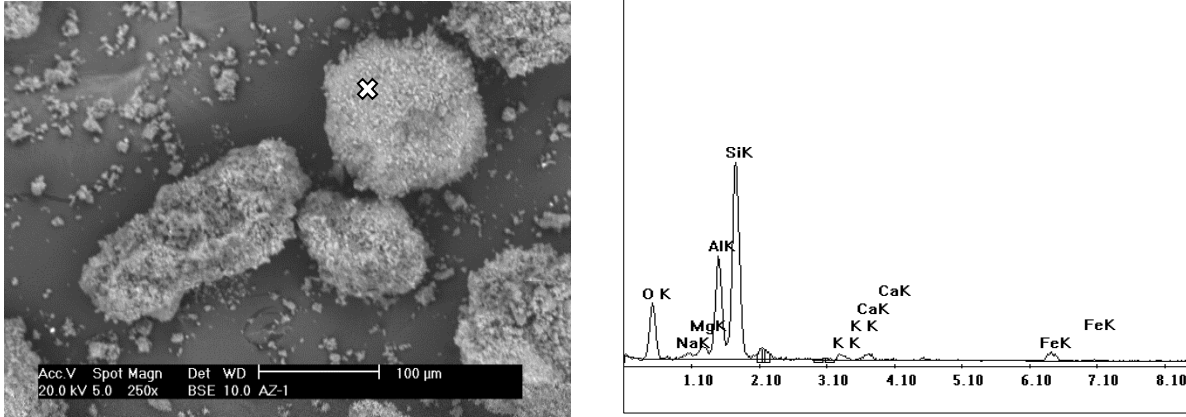
**Figura 28. Diagrama del sistema ternario que muestra las composiciones (series sólidas) que pueden contener los feldespatos alcalinos y las plagioclasas sódico-cálcicas (modificado de Huang, 1968).**

Los microanálisis de la zona MIN-REF (localidades, Azoyatla, Calera y Saucillo), mostraron los siguientes resultados (Tabla 3).

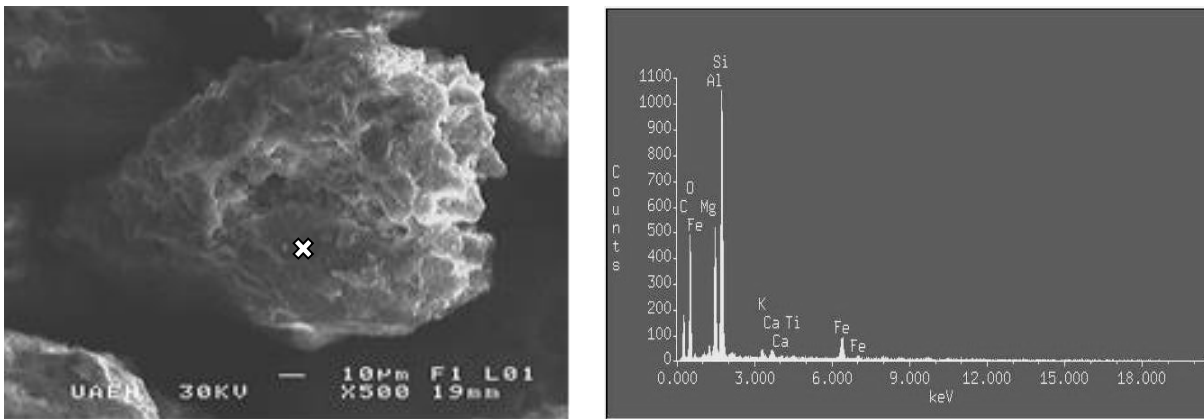
**Tabla 3. Microanálisis químico puntual semicuantitativo por microscopia electrónica de barrido (MEB-EDS) de muestras representativas de la zona MIN-REF.**

ZONA MINERAL DE LA REFORMA									
	AZ 1-a	AZ 2-a	AZ 3-c	CAL -a'	CAL -b	CAL -d	SAU -b	SAU-f	SAU-h
Elemento	W% del microanálisis								
<b>O K</b>	28.5	48.83	49.13	26.96	17.02	26.95	22.96	28.36	24.34
<b>Na K</b>	1.47	0.66	1.06	-	-	-	1.28	-	2.22
<b>Mg K</b>	2.58	1.17	1.07	-	0.64	-	-	1.62	2.64
<b>Al K</b>	16.72	11.95	11.21	12.52	11.69	9.48	15.07	13.76	13.53
<b>Si K</b>	41.33	30.20	31.34	54.17	43.44	57.44	37.38	46.36	41.07
<b>K K</b>	1.37	1.18	1.12	-	2.6	6.13	3.66	2.46	2.27
<b>Ca K</b>	1.88	1.04	0.73	-	10.13	-	1.41	-	2.15
<b>Ti K</b>	-	-	-	-	-	-	1.84	1.99	-
<b>Fe K</b>	6.16	4.97	4.34	5.36	14.49	-	9.89	5.45	11.79
<b>Total</b>	100	100	100	99.01	100	100	93.49	100	100

En las muestras AZ 1-a, AZ 2-a y AZ 3-c, se observan morfologías cristalinas que van de tipo subhedral hasta anhedral, presentan un hábito cristalino laminar muy fino que corresponden a partículas de arcillas en forma de agregados (Figuras 29, 30), las cuales pueden pertenecer a la especie mineral de albita (?), esto es en función de sus contenidos elementales y en base a una comparación cualitativa de la fórmula teórica de esta especie mineral. Esta especie (albita) pertenece a la serie de plagioclasas en donde estas muestras se ubican hacia el polo de la albita por sus contenidos en sodio principalmente y que solo se han observado pequeñas variaciones hacia la oligoclasa, sin embargo esto no es muy claro en los contenidos elementales de esta especie. El cálculo de las fórmulas estructurales con estos resultados no permiten determinar estas especies minerales o algunas otras debido a la débil estequiometría por la significativa presencia de impurezas como el Mg, K, Ca y Fe, además de corresponder a un grupo complejo de arcillas como illita-alunita-caolín-smectita, estos últimos pertenecen a uno de los grupos más importantes de los filosilicatos encontrados en suelos y sedimentos y que pueden estar contenidas en las muestras.



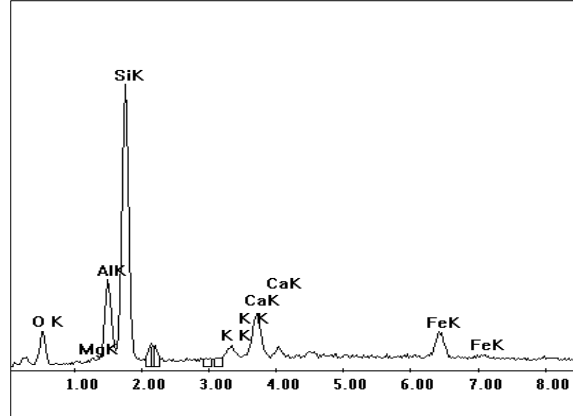
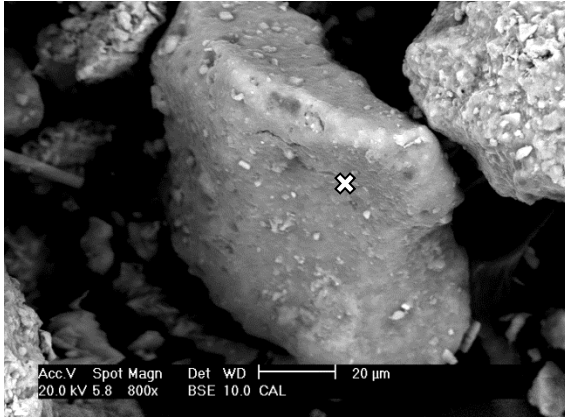
**Figura 29. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra morfología de partículas de tipo subhedral a anhedral y espectro elemental de la muestra AZ-1-a.**



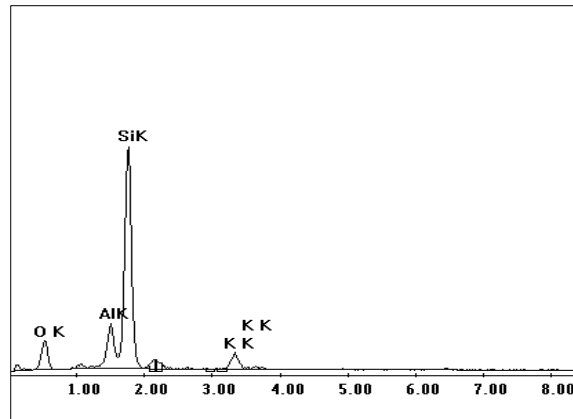
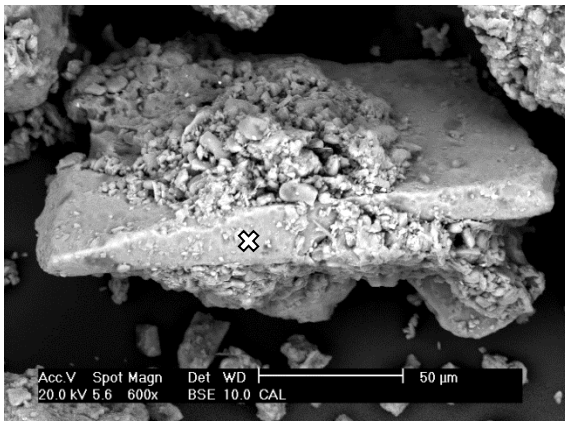
**Figura 30. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones secundarios, muestra morfología de partículas de tipo subhedral a anhedral y espectro elemental de la muestra AZ-2-a.**

Las muestras de la localidad Calera, CAL-a', CAL-b y CAL-d, están caracterizadas por presentar partículas con una morfología de tipo subhedral a euhedral, las cuales presentan un hábito en forma de laminillas separadas que pueden corresponder a la especie mineral sanidino (Figura 31, 32). Esto se constata por los resultados en contenido porcentual de sílice, aluminio y potasio que son los constituyentes principales de los feldespatos potásicos, y que son aproximados a la fórmula teórica, sin embargo los valores de potasio son menores a los reportados en la fórmula teórica, además, también por la presencia de otros elementos como impurezas y como en el caso anterior es difícil calcular fórmulas estructurales óptimas para identificar fases minerales. Además en estas muestras es más abundante la concentración en valores de sílice, lo que constata feldespatos mezclados con una cantidad significativa de sílice y/o partículas de cuarzo.



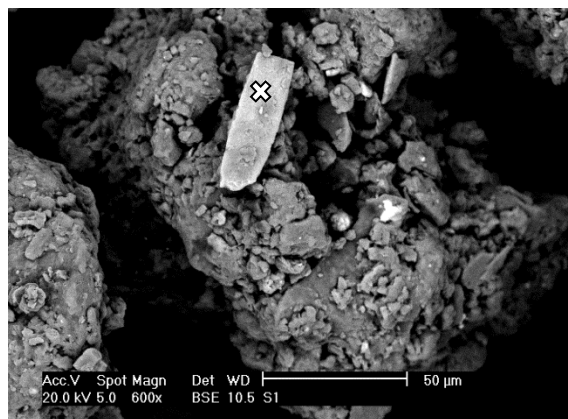


**Figura 31.** Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, se observa la morfología de un tectosilicato (sanidino?), determinado por su microanálisis y espectro de la muestra CAL-b.

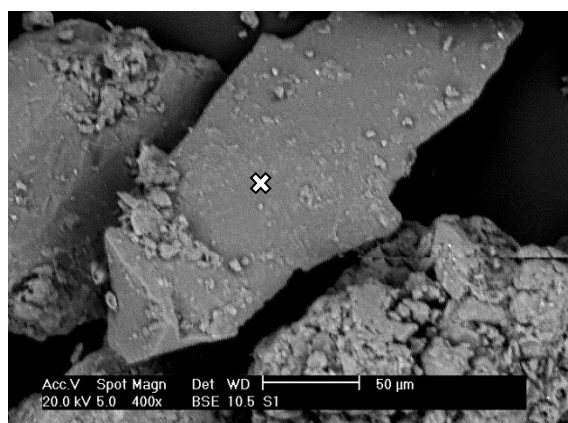


**Figura 32.** Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, se observa la morfología de un tectosilicato típico (sanidino?), determinado por su microanálisis y espectro de la muestra CAL-d.

Con respecto a la localidad de Saucillo, SAU-b, SAU-f, y SAU-h, las partículas en su mayoría presentan una morfología prismática que varía a laminillas en forma de agregados, donde se observan partículas de cuarzo o polimorfos de este como la cristobalita y/o tridimita (Figura 33, 34) que se encuentran mezclados con posibles feldespatos (?), que varían desde el polo de la albíta hasta el polo del sanidino (?), esto por los contenidos en peso porcentual en potasio y calcio y por comparación cualitativa de las formulas teóricas de estas especies minerales. Estos resultados son similares a los encontrados en la localidad Calera, la mezcla de silicatos (feldespatos) y variedades de cuarzo.



**Figura 33.** Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, se observa la morfología del cuarzo y/o polimorfo de este (cristobalita, tridimita) determinado por su microanálisis de la muestra SAU-b.

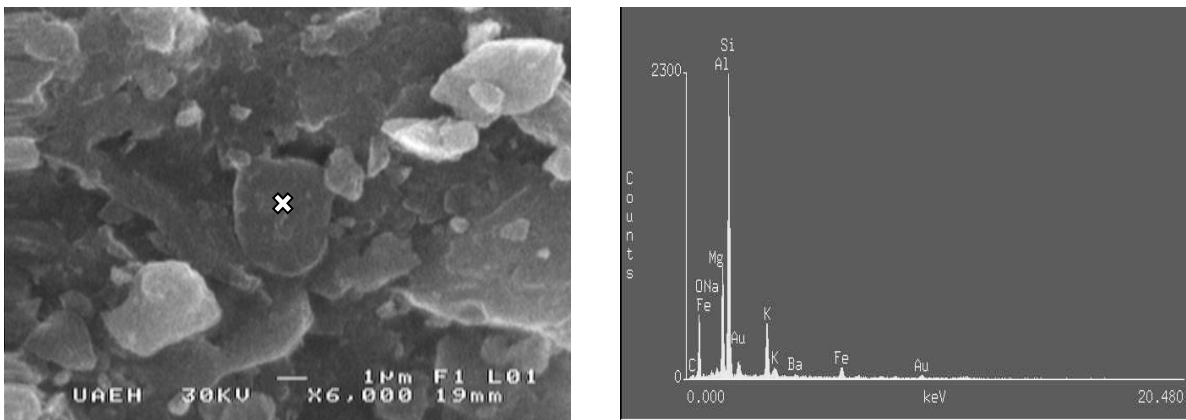


**Figura 34.** Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, se observa la morfología del cuarzo y/o polimorfo de este (cristobalita, tridimita) determinado por su microanálisis de la muestra SAU-f.

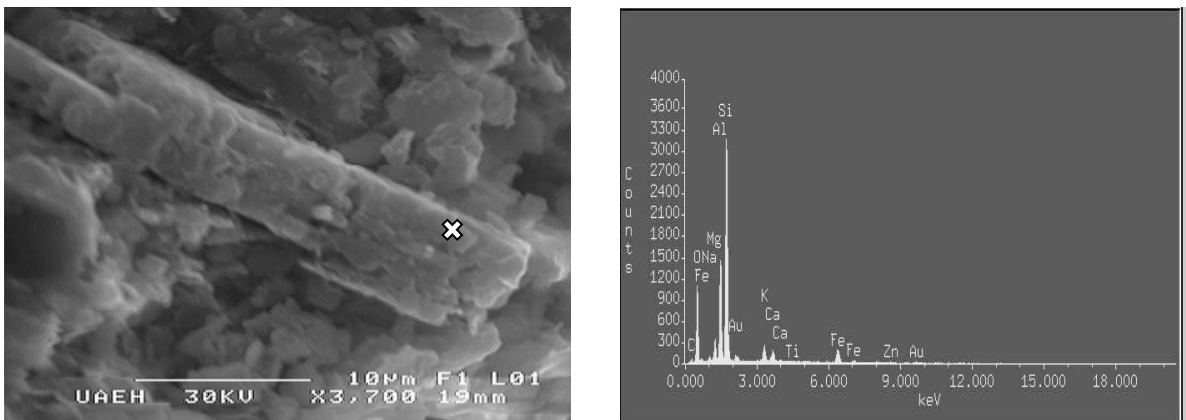
En la zona ACT-ARE se obtuvieron los siguientes resultados en función de las características antes mencionadas de las muestras (Tabla 4). La morfología de las partículas es en general de tipo anhedral (Figura 35) y en algunas ocasiones se observan partículas con morfologías tabulares (Figura 36), estas pueden corresponder a la variedad de especies minerales de las plagioclasas de la serie de la andesina-albita que corresponden al polo sódico para el primer caso (Figura 37), y en el segundo caso estas partículas pueden corresponder a la serie de los feldespatos alcalinos representados por el polo sódico especie mineral de la albita hasta el polo potásico representado por la especie mineral sanidino (Figura 38), aunque con los mismos problemas en cuanto a la estequiometría para el cálculo de fórmulas estructurales, y solo se hizo un análisis cualitativo comparativo con las respectivas fórmulas teóricas de las especies minerales antes mencionadas.

**Tabla 4. Microanálisis químico puntual semicuantitativo por microscopia electrónica de barrido (MEB-EDS) de muestras representativas de la zona ACT-ARE.**

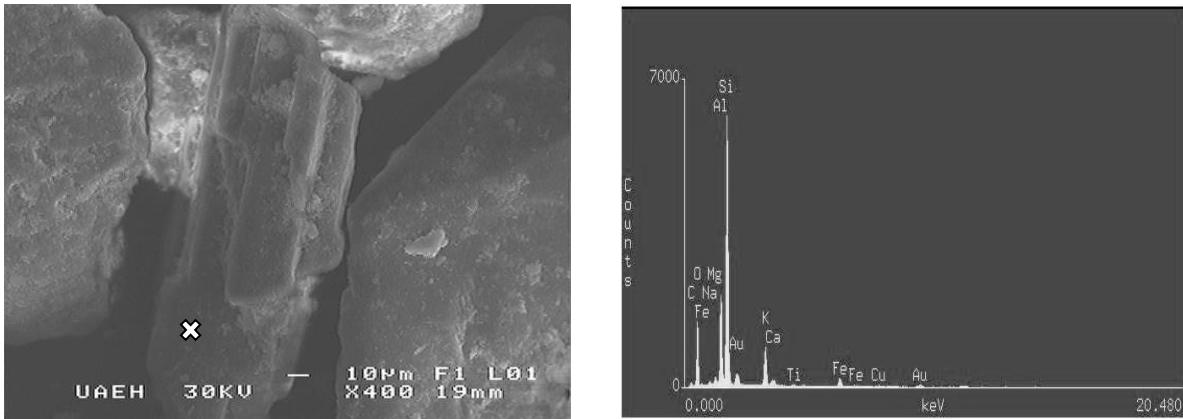
ZONA ACTOPAN-ARENAL								
	AR 1-b	AR 1-c	AR 1-i	AR 2-a	ACT 1-b	ACT 3-e	ACT 4-c	ACT 4-e
Elemento	W% del microanálisis							
<b>O K</b>	47.1	47.5	47.45	44.24	33.58	50.38	37.38	46.17
<b>Na K</b>	1.28	1.39	2.68	1.8	0.52	-	-	-
<b>Mg K</b>	0.82	0.9	1.65	5.16	0.54	1.08	1.25	0.82
<b>Al K</b>	10.44	10.74	14.04	6.5	3.6	5.31	11.54	4.39
<b>Si K</b>	29.72	30.51	27.04	23.06	8.39	10.41	14.22	7.11
<b>K K</b>	6.18	5.7	2.22	0.29	0.45	0.49	0.54	-
<b>Ca K</b>	0.69	0.59	0.78	8.04	2.07	0.46	1.54	0.97
<b>Ti K</b>	0.17	0.17	0.09	10.07	14.42	7.26	5.58	19.94
<b>Fe K</b>	3.06	2.07	3.73	0.85	21.35	15.7	17.4	14.47
<b>Total</b>	99.46	99.57	99.68	100	84.92	91.09	89.45	93.87



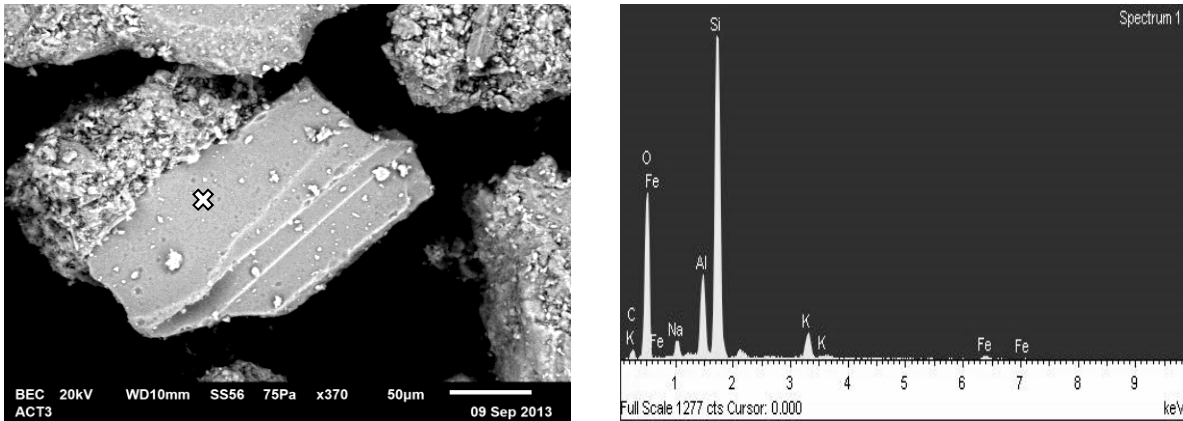
**Figura 35. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones secundarios, se observa la morfología de partículas de tipo anhedral y espectro de la muestra AR 1-b.**



**Figura 36. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones secundarios muestra partículas con morfología tabular, y espectro de la muestra AR 1-i.**

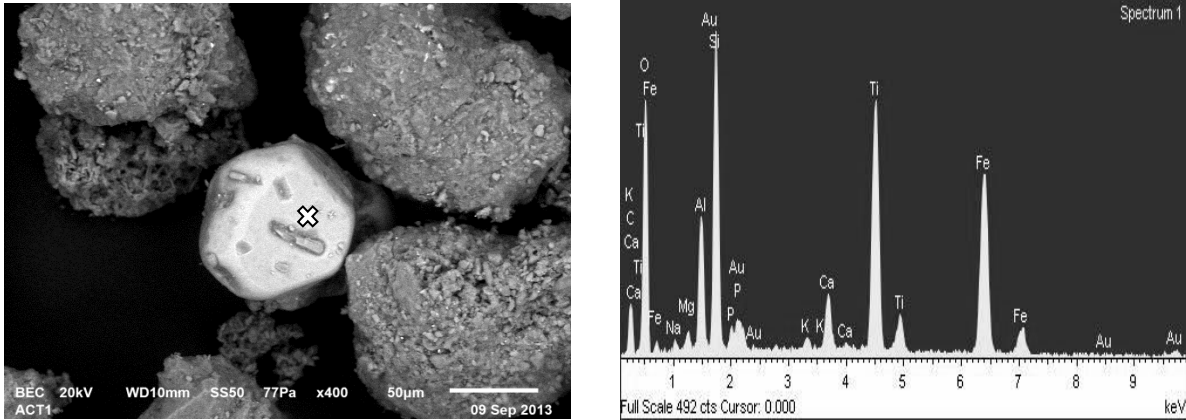


**Figura 37.** Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones secundarios, muestra partícula con morfología tabular, posible especie del polo sódico (andesina?) y espectro de la muestra AR 1-j.

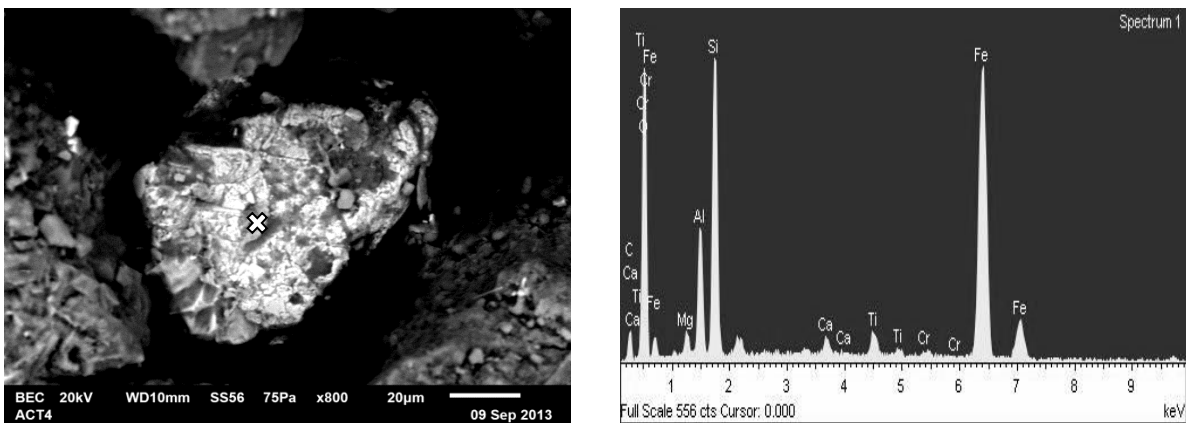


**Figura 38.** Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula con morfología tabular, posible especie del polo potásico (sanidino?) y espectro de la muestra ACT 3-c.

Por otra parte, la mayoría de los microanálisis realizados en estas muestras presentan al elemento titanio, el cual puede constituir a especies minerales como rutilo, ilmenita y esfena/titanita, aunque este elemento se encuentra en valores bajos, sobre todo en la localidad del Arenal, mientras que las muestras de la localidad de Actopan presentan valores mayores en concentración, lo que muestra la existencia de horizontes de arcillas y/o areniscas titaníferas (?), dentro los suelos de las zonas estudiadas (Figura 39). Además, se observa la constante presencia de partículas que pueden corresponder a la especie mineral de la siderita (Figura 40), por los contenidos tanto en carbono como en hierro y escasa en aluminio, sin embargo, se tienen el mismo problema, la estequiometría no proporciona ninguna especie mineral específica.



**Figura 39. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología euhedral, posible especie de ilmenita-esfena y espectro de la muestra ACT 1-b.**



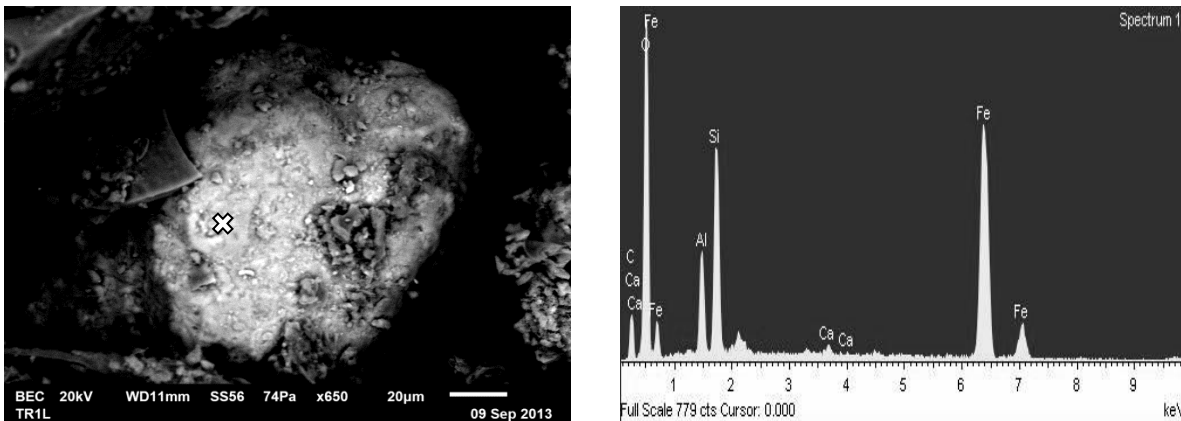
**Figura 40. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología anhedral, posible especie de siderita y espectro de la muestra ACT 4-b.**

En las muestras de la zona TUL-SAN se obtuvieron los siguientes valores en el microanálisis en porcentaje en peso elemental, y al igual que en las zonas anteriores (Tabla 5). Se presenta además, una persistente presencia y abundancia de partículas que pueden pertenecer a la serie de minerales como rutilo-ilmenita-esfena, ya que se puede observar estructuras cristalinas que pertenecen a esas especies minerales. Estas partículas se presentan generalmente en un hábito cristalino de tipo subhedral a euhedral con sus planos (caras) bien definidos. Sin embargo al realizar el cálculo de las fórmulas estructurales, se presentan los mismos problemas que se vienen observando en todas las muestras anteriores, la abundancia de elementos como impurezas, aunado a los efectos de matriz al realizar el microanálisis.

**Tabla 5. Microanálisis químico puntual semicuantitativo por microscopia electrónica de barrido (MEB-EDS) de muestras representativas de la zona TUL-SAN.**

ZONA TULANCINGO-SANTIAGO									
	TR 1L-a	TR 1L-d	TR 2B-f	PX 1B-e	PX 2L-d	PX 4B-e	RM 1B-c'	RM 3L-g	RM 4R-i
Elemento	W% del microanálisis								
<b>O K</b>	34.72	41.73	40.49	48.04	38.81	56.05	42.25	42.03	39.12
<b>Na K</b>	-	-	-	0.88	1.06	1.47	3.13	-	-
<b>Mg K</b>	-	-	0.95	-	-	-	-	-	0.85
<b>Al K</b>	4.19	2.53	3.06	4.71	9.65	5.4	7.96	1.85	6.26
<b>Si K</b>	8.4	8.2	5.33	23.17	24.39	22.22	18.17	4.08	14.2
<b>K K</b>	-	0.25	-	2.5	2.67	1.88	0.55	-	0.34
<b>Ca K</b>	0.45	0.58	0.28	-	0.42	-	0.9	0.44	0.71
<b>Ti K</b>	-	-	14.66	0.17	-	-	0.26	-	0.65
<b>Fe K</b>	37.86	26.78	25.3	1.22	1.45	1.44	1.32	26.71	19.23
<b>Total</b>	85.62	80.07	90.07	80.69	78.45	88.46	74.54	75.11	81.36

Por otra parte, se puede observar que en las muestras TR 1L-a, TR 1L-d, TR 2B-f, se caracterizan por la presencia de partículas que pueden corresponder a especies minerales como siderita (Figura 41), hematita (Figura 42) y principalmente por partículas de ilmenita, que son las más abundantes en las muestras analizadas (Figura 43).



**Figura 41. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología anhedral, con composición de la especie mineral siderita? y espectro de la muestra TR 1L-a.**

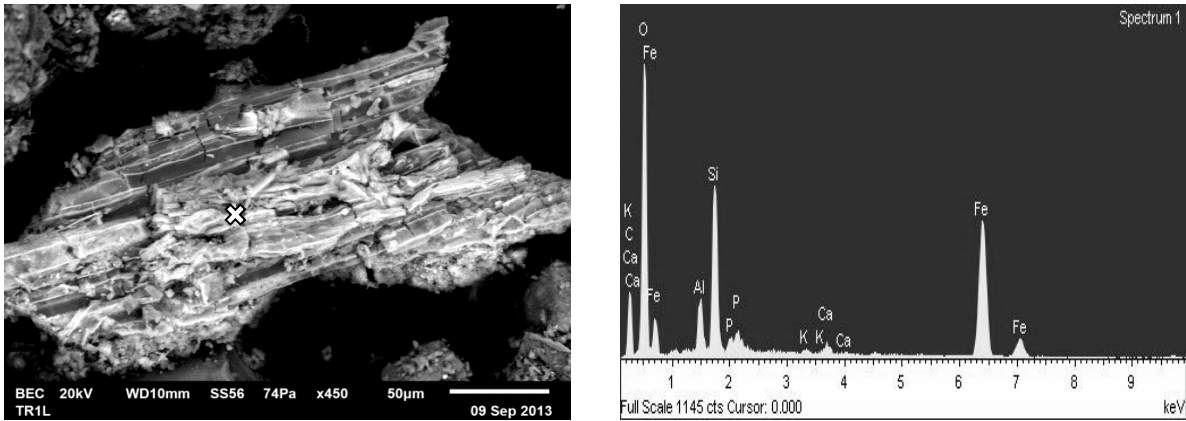


Figura 42. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología anhedral, con composición de la especie mineral hematita? y espectro de la muestra TR 1L-d

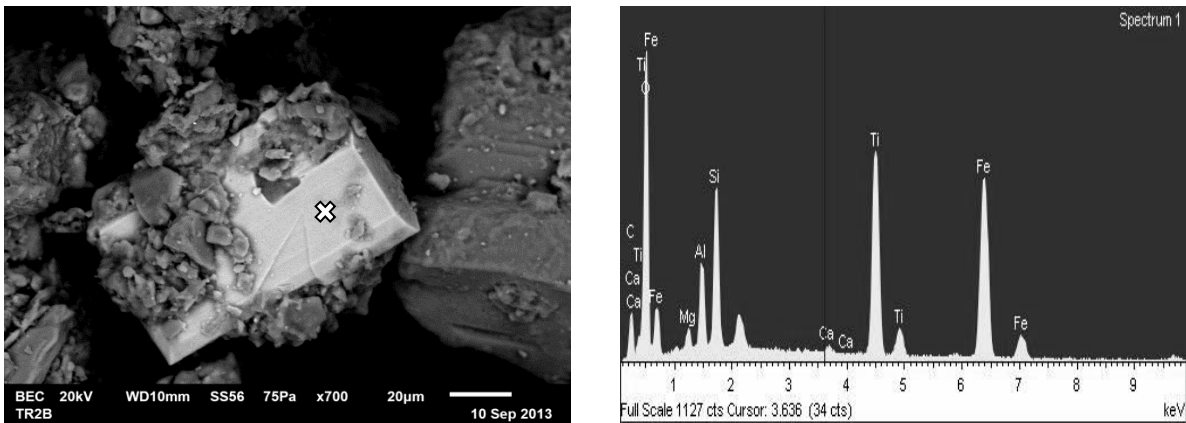


Figura 43. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología euhedral, con composición de la especie mineral ilmenita? y espectro de la muestra TR 2B-f.

Las muestras de el área de Paxtepec PX1B-e PX2-d PX4B-e, muestran una abundancia de partículas que pueden pertenecer a la especie mineral de sanidino (Figura 44, 45 y 46), determinado por comparación cualitativa con la fórmula teórica de este mineral y con el diagrama ternario de los feldespatos, de acuerdo a la cantidad de potasio contenido en ellas, aunque en este caso se presenta con una concentración relativamente baja.

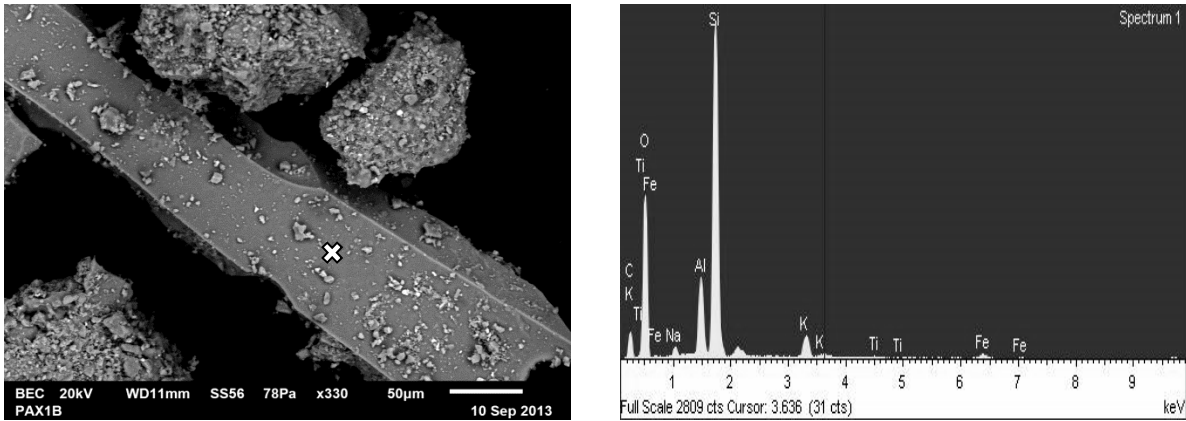


Figura 44. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología euhedral, con composición de la especie mineral sanidino? y espectro de la muestra PAX 1B-e.

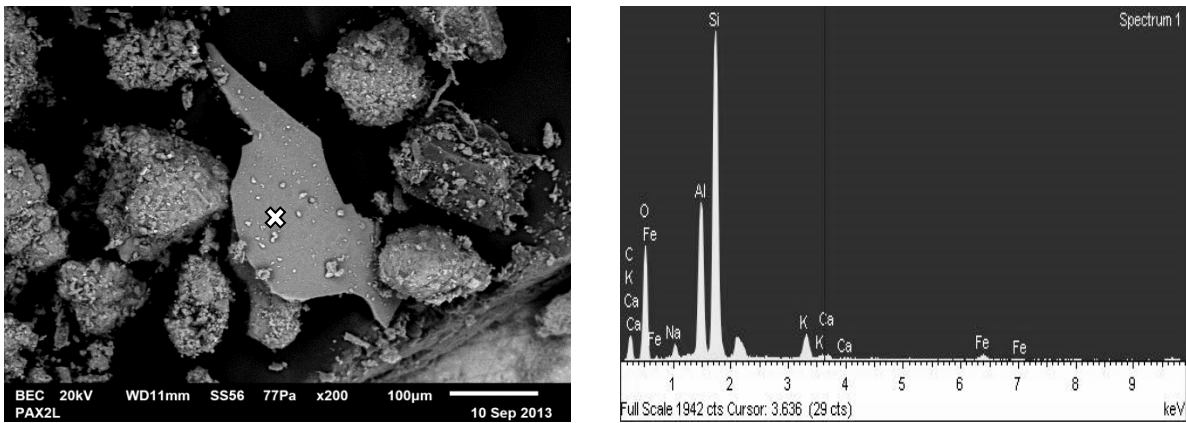


Figura 45. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología subhedral, con composición de la especie mineral sanidino? y espectro de la muestra PAX 2L-d.

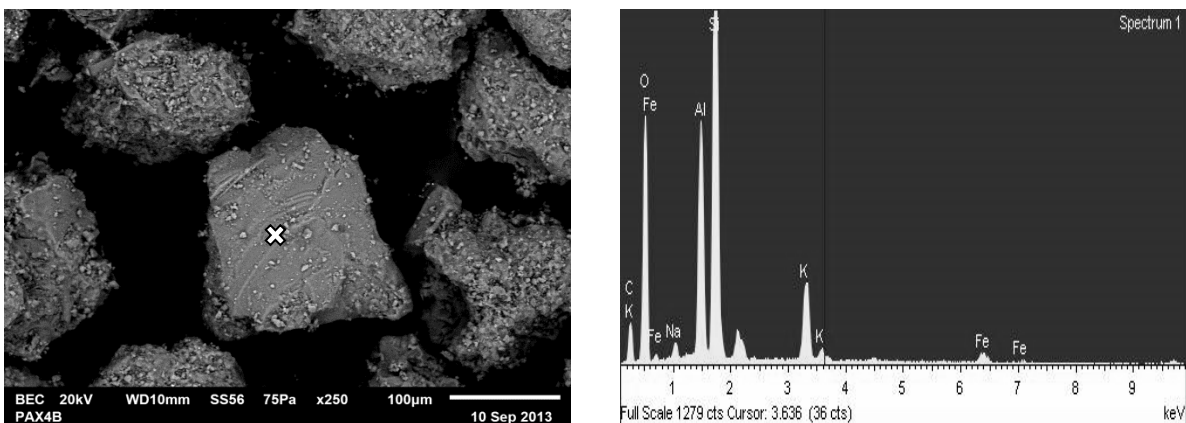


Figura 46. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología subhedral, con composición de la especie mineral sanidino? y espectro de la muestra PAX 4B-b.



En la localidad de Romeros, en las muestras RM 1B-c', RM 3L-g y RM4R-i, se observa la heterogeneidad en la composición de las partículas que constituyen estos suelos, se identificó la presencia de partículas que pueden corresponder a la especie albita (Figura 47), se observa que existe también abundancia de partículas que pueden corresponder a un conjunto de minerales de óxidos de hierro como la hematita-goethita (Figura 48), además se observa la presencia de partículas de tipo anortita con abundante hematita e ilmenita (Figura 49).

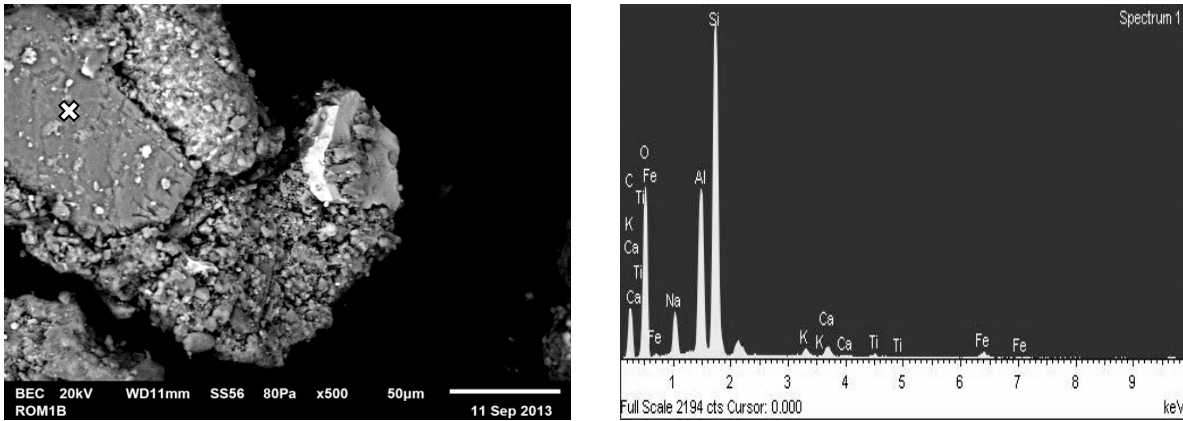


Figura 47. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología subhedral, con composición de la especie mineral albita? y espectro de la muestra RM 1B-c'.

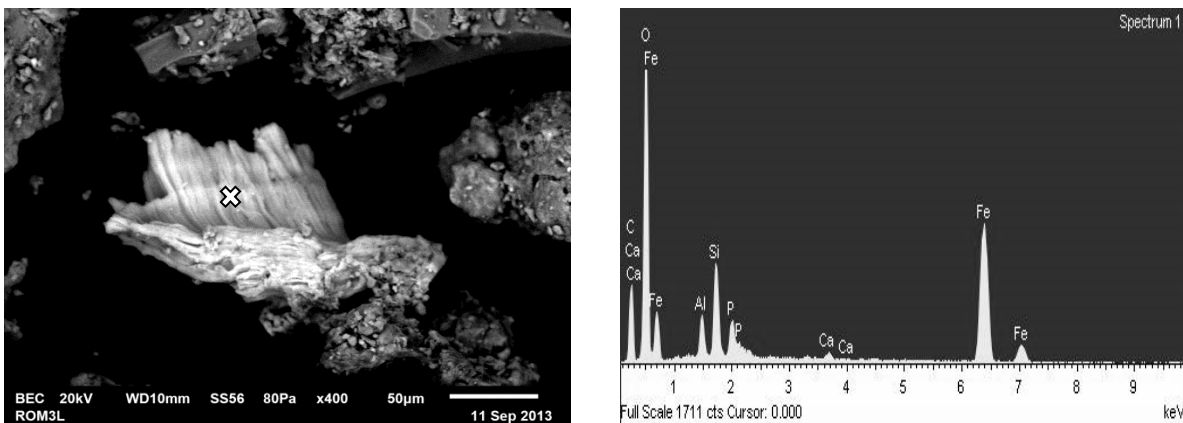
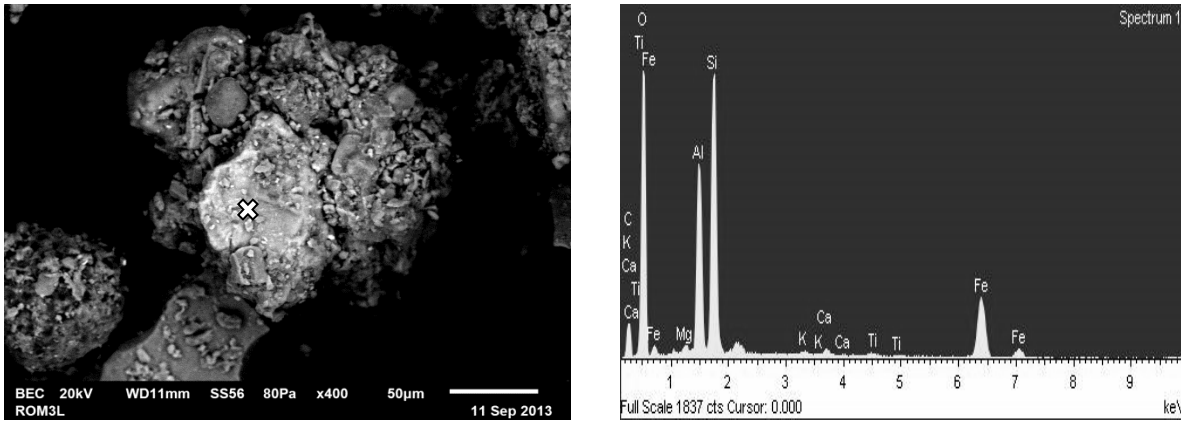


Figura 48. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partícula de morfología anhedral, con composición de la especie mineral hematita-goethita? y espectro de la muestra RM 3L-g.



**Figura 49. Fotomicrografía al MEB-EDS con electrones retrodispersados, muestra partículas de morfología anhedral, con composición de las especies anortita, hematita e ilmenita? y espectro de la muestra RM 3L-h.**

Cabe señalar que en esta área se ha observado que la presencia de los óxidos e hidróxidos de hierro es más abundante que en las otras zonas, al realizar el análisis megascópico se ha observado la constante presencia de limonita, hematita y goethita, y en el análisis al microscopio óptico de polarización, se constató que estos minerales se encuentran además de forma penetrativa sobre los minerales transparentes como las plagioclasas, feldespatos y las variedades polimorfas del cuarzo como la tridimita y cristobalita.

La formación de la mineralogía que compone el suelo puede ser tan variada como lo sea la naturaleza de las rocas sobre las que se desarrolla. No obstante, hay una tendencia general de la mineralogía del suelo hacia la formación de fases minerales que sean estables en las condiciones termodinámicas del mismo, lo cual está condicionado por un lado por el factor composicional, y por otro por el climático, que condiciona la temperatura, la pluviosidad, y la composición de las fases líquida y gaseosa en contacto con el suelo. Las especies minerales identificadas cualitativamente por este método (feldespatos, plagioclasas, minerales arcillosos y minerales metálicos), se relacionan a procesos exógenos de intemperismo de la roca de origen, los cuales dependen directamente de las características composicionales de la misma (máfica-intermedia-félsica).

### **VI.3.- Caracterización química**

#### **VI.3.1.- Análisis químico por espectrometría de plasma (ICP)**

Con el fin de representar datos más cercanos a los reales y con menor variabilidad causada por el tamaño de partícula y mineralogía de la muestra (Green-Ruiz y Páez-Osuna, 2001), se realizó la normalización geoquímica por aluminio de los resultados de elementos mayores obtenidos por el método de espectrometría de plasma inductivamente acoplada (ICP) utilizando la operación [(elemento/Al) \*100] empleada por Hofer (2011) (Tabla 6). Se analizaron 30 muestras de las zonas de estudio, correspondientes a Actopan-Arenal (9), Mineral de la Reforma (7), y Tulancingo-Santiago (14).

Los resultados de los elementos mayores calculados en base a óxidos muestran que las concentraciones de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  y  $\text{SiO}_2$ , son muy heterogéneas en las tres zonas. Los valores de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$  y  $\text{TiO}_2$  son en general mayores en la zona de TUL-SAN que en las zonas de ACT-ARE y MIN-REF, con valores promedio de 20.72%, 3.71% y 1.78% respectivamente.

El  $\text{SiO}_2$ , presenta valores más altos en la zona de ACT-ARE con valor promedio de 42.74%, seguido de la zona de MIN-REF y TUL-SAN que es donde se observa el contenido más bajo, con valores promedio de 41.47% y 36.11% respectivamente. Siendo el cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ), un mineral común y abundante en los suelos, debido a su presencia en alto porcentaje en la mayor parte de las rocas y a su resistencia al ataque químico. Otorga al suelo buena parte de su porosidad, debido a que suele estar en forma principalmente del tamaño de la arena, lo que permite el desarrollo de la porosidad intergranular, además de ser un componente poco reactivo del suelo.

En la zona de TUL-SAN los valores de  $\text{FeO}$  y  $\text{TiO}_2$  son mayores, con valores promedio de 3.71% y 1.78%, seguido de la zona ACT-ARE con valores promedio de 3.37% y 1.54%, después la zona MIN-REF con valor promedio de 2.74% y 1.33% respectivamente. Los valores de  $\text{MnO}$  son mayores en la zona MIN-REF con un valor promedio de 0.11%, seguido de la zona TUL-SAN con un promedio de 0.09%, y finalmente la zona ACT-ARE con un promedio de 0.07%. Estos valores representan el reflejo de la gran cantidad de óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso presentes en las muestras en forma de hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), limonita [ $\text{FeO}(\text{OH})\cdot n\text{H}_2\text{O}$ ], goethita [ $\text{FeO}(\text{OH})$ ], y pirolusita ( $\text{MnO}_2$ ), que son minerales que suelen acumularse en el suelo como consecuencia de procesos de alteración de otros minerales, constituyendo la fase estable del

hierro en superficie o condiciones cercanas a la superficie, en donde se acumulan en forma de agregados.

**Tabla 6. Análisis químico de elementos mayores calculados en base a óxidos por ICP normalizados por Al, de las muestras de arcilla de las zonas MIN-REF, ARE-ACT y TUL-SAN. Se muestran los índices IAQ e IAP, en relaciones molares.**

MUESTRA	ÓXIDOS MAYORES (%)										ÍNDICES DE ALTERACIÓN	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	FeO	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	IAQ	IAP
<b>ZONA ACTOPAN-ARENAL (ACT-ARE)</b>												
ACT 1	19.19	2.24	0.24	0.92	0.04	2.68	8.57	1.33	40.96	<LD	42	42
ACT 2	23.14	3.03	0.13	1.94	0.08	3.78	6.27	1.30	35.85	0.1165	46	46
ACT 3	18.87	1.83	0.31	1.55	0.06	2.87	7.79	1.09	52.66	0.0338	45	45
ACT 4	19.26	3.42	0.15	2.10	0.09	4.78	6.34	2.26	40.12	0.0165	45	45
ACT 5	19.33	1.69	0.16	1.26	0.07	3.00	6.03	1.65	41.15	0.1262	51	51
AR 1	18.56	2.17	0.28	1.27	0.06	2.63	5.65	1.02	41.18	0.0181	50	50
AR 2	19.04	1.68	0.28	0.90	0.04	2.27	5.31	1.17	42.47	0.0004	53	53
AR 3	18.87	1.51	0.22	0.88	0.05	2.67	7.53	1.33	40.32	<LD	47	47
AR TZ	13.10	6.30	0.10	2.31	0.13	5.62	5.58	2.69	49.99	0.0069	40	40
<i>Promedio</i>	<b>18.82</b>	<b>2.65</b>	<b>0.21</b>	<b>1.46</b>	<b>0.07</b>	<b>3.37</b>	<b>6.56</b>	<b>1.54</b>	<b>42.74</b>	<b>0.0455</b>	<b>47</b>	<b>47</b>
<b>ZONA MINERAL DE LA REFORMA (MIN-REF)</b>												
AZ 1	19.07	1.53	0.20	0.99	0.05	2.55	5.35	1.45	38.04	0.0777	53	54
AZ 2	19.65	1.56	0.16	1.06	0.04	2.83	3.92	1.55	36.47	0.0112	59	59
AZ 3	22.69	0.74	0.12	0.85	0.04	2.47	5.08	1.06	31.48	0.0133	58	58
AZ 3.1	20.68	0.87	0.14	0.97	0.04	2.80	4.93	1.05	35.25	0.0229	58	58
CAL	18.31	1.66	0.20	0.76	0.06	2.51	5.52	1.66	39.52	<LD	52	52
SAU	13.66	1.61	0.29	1.27	0.24	3.16	3.61	1.12	56.81	0.1422	60	60
SAU R	15.11	1.96	0.33	1.15	0.28	2.85	6.77	1.39	52.70	0.2585	47	47
<i>Promedio</i>	<b>18.45</b>	<b>1.42</b>	<b>0.20</b>	<b>1.01</b>	<b>0.11</b>	<b>2.74</b>	<b>5.02</b>	<b>1.33</b>	<b>41.47</b>	<b>0.0876</b>	<b>55</b>	<b>56</b>
<b>ZONA TULANCINGO-SANTIAGO (TUL-SAN)</b>												
PX 1B	20.10	0.55	0.12	0.26	0.08	3.73	5.22	2.18	36.21	<LD	58	58
PX 2L	16.97	0.67	0.09	0.25	0.10	4.19	2.70	2.00	37.60	<LD	70	70
PX 3B	22.44	1.12	0.13	0.47	0.10	3.42	6.51	ND	45.50	<LD	51	51
PX 4B	24.15	0.51	0.10	0.28	0.07	3.51	4.94	ND	37.00	0.0182	60	60
PX 5B	21.21	1.17	0.15	0.61	0.15	4.77	4.19	ND	40.91	0.0316	60	60
TR 1L	18.80	1.40	0.18	0.59	0.10	3.54	4.32	1.51	36.02	0.0844	58	58
TR 2B	17.18	1.68	0.14	0.57	0.06	3.28	7.56	1.69	37.67	0.0329	46	46
TR 3B	22.09	0.62	0.09	0.31	0.06	3.98	5.58	1.89	28.49	<LD	57	57
TP 1L	20.99	0.89	0.12	0.45	0.07	3.14	4.86	1.72	30.42	0.0764	58	58
TP 2B	20.32	1.32	0.12	0.62	0.04	2.62	4.53	1.24	31.65	<LD	58	58
TP 3BR	21.24	0.68	0.11	0.32	0.10	3.51	2.81	1.79	30.20	0.0075	69	70
RM 1B	24.26	0.47	0.13	0.30	0.09	4.21	3.81	2.22	35.76	0.0056	65	65
RM 3L	18.75	1.29	0.17	0.55	0.10	3.42	3.54	1.59	34.51	0.0887	62	62
RM 4R	21.61	0.99	0.16	0.50	0.13	4.67	3.37	ND	43.57	0.0481	64	65
<i>Promedio</i>	<b>20.72</b>	<b>0.95</b>	<b>0.13</b>	<b>0.43</b>	<b>0.09</b>	<b>3.71</b>	<b>4.57</b>	<b>1.78</b>	<b>36.11</b>	<b>0.0437</b>	<b>60</b>	<b>60</b>

<LD= Menor al límite de detección.

ND= No determinado.

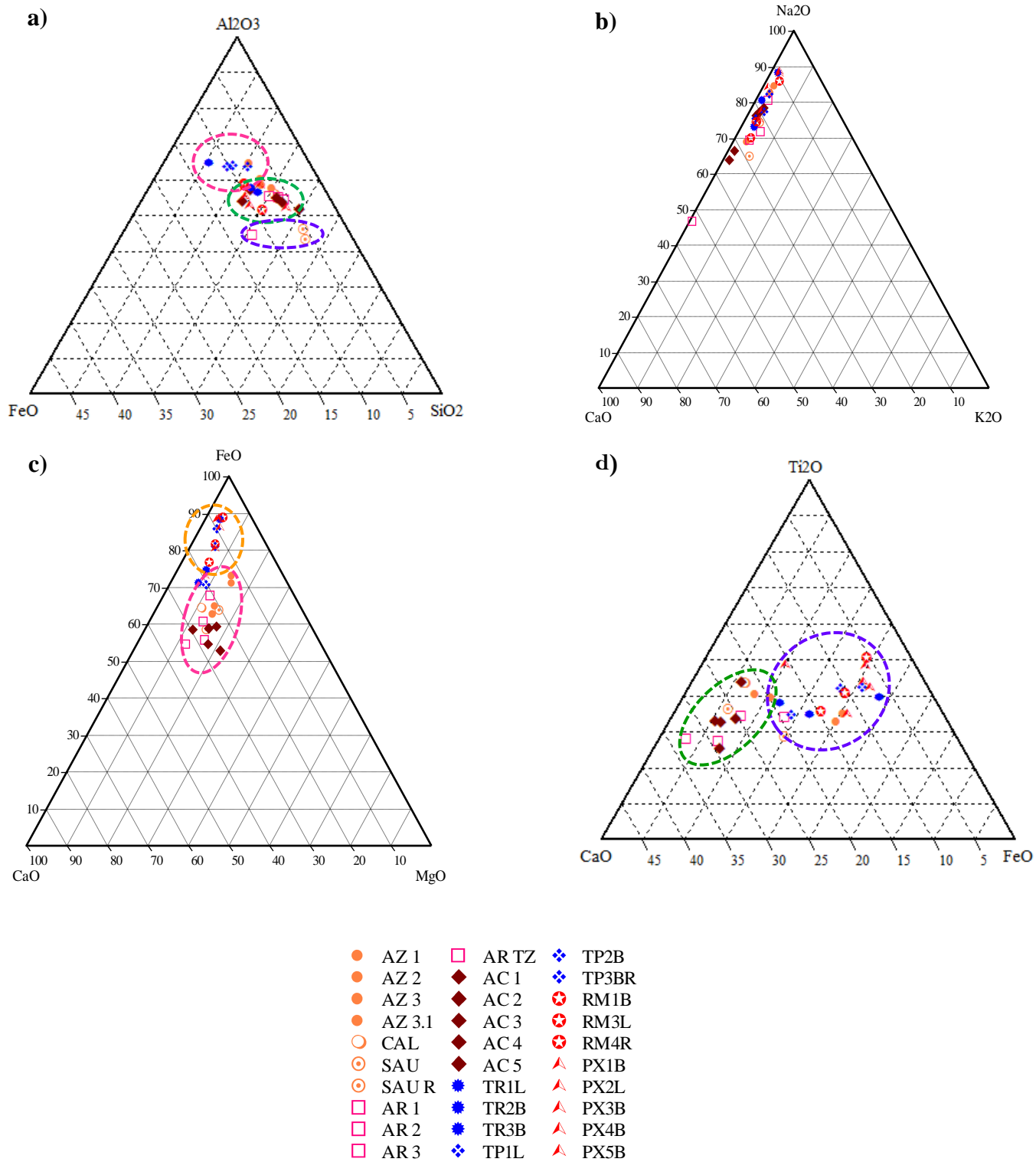
Desde el punto de vista estrictamente químico son muy estables, poco o nada reactivos, pero presentan propiedades sorcitivas que hacen que su presencia en el suelo tenga implicaciones físico-químicas notables.

Los valores de CaO, K<sub>2</sub>O, MgO y Na<sub>2</sub>O son mayores en la zona ACT-ARE con valores promedio de 2.65%, 0.21%, 1.46% y 6.56% respectivamente, seguidos de la zona MIN-REF con valores promedio de 1.42%, 0.20%, 1.01% y 5.02% respectivamente y después la zona TUL-SAN con valores promedio de 0.95%, 0.13%, 0.43% y 4.57% respectivamente. El contenido de estos elementos constituye en su mayoría a los feldespatos, los cuales suelen ser componentes minoritarios, heredados o residuales de la roca sobre la que se forma el suelo, pues son metaestables en medio atmosférico, tendiendo a transformarse en minerales de la arcilla.

Con los resultados obtenidos por el análisis químico realizado en las muestras de las tres zonas, se elaboraron diagramas ternarios con los elementos mayores en base a óxidos más significativos de acuerdo a la relación que guardan con los minerales formadores de roca (protolito) del cual se deriva el material de estudio, sin embargo se observa que no se marca un zoneamiento (relación) con respecto a los valores en concentración.

En la figura 50 se observa en a), c), y d) una ligera distribución de las muestras de cada zona, marcando una proporción mayor en contenidos de FeO y TiO<sub>2</sub> en la muestras de la zona de TUL-SAN; en b) la falta de zoneamiento para los resultados de CaO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O impiden dar una interpretación de influencia, sin embargo se puede notar un predominio de CaO para las muestras de la zona ACT-ARE.

Por lo tanto los resultados de los análisis químicos obtenidos deberán ser utilizados para valorar solamente las cantidades de Fe, Al y Si, ya que son los elementos que benefician o afectan la calidad del ladrillo al brindar ciertas propiedades físicas y mecánicas, que están en función a la cantidad presente de cada uno de estos elementos en la materia prima.



**Figura 50. Diagramas ternarios que ilustran la relación que guardan los elementos mayores en base a óxidos de las diferentes muestras analizadas de las tres zonas de estudio.**

Con los datos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , se calculó en proporciones molares los índices de alteración química (IAQ) y los índices de alteración de plagioclasas (IAP), esto para obtener la estimación del grado de intemperismo químico de cada muestra. Para obtener estos índices se emplearon las ecuaciones  $(\text{IAQ} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] * 100)$  e  $(\text{IAP} = [(\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})] * 100)$  (Fedo *et al*, 1995; Nesbitt y Young, 1982). Los valores de IAQ para la zona ACT-ARE indican un grado de intemperismo promedio casi nulo, mientras que para las zonas de MIN-REF y TUL-SAN un intemperismo de bajo a moderado, de acuerdo a los rangos de intemperismo expresados por Fedo *et al*, (1995) (Tabla 6) Los altos valores de IAQ reflejan la pérdida de elementos móviles estables durante los procesos de intemperismo, mientras que los bajos valores indican la ausencia de alteración química. Valores cercanos a 50 representan rocas y minerales con alteración prácticamente nula, los valores menores al 60 indican un bajo intemperismo químico, entre 60 y 80 un intemperismo moderado y valores mayores a 80 un intemperismo intenso (Fedo *et al*, 1995, citado en Dominguez *et al*, 2011.) (Figura 51).

Los valores obtenidos para el índice de alteración de las plagioclasas (IAP) indican un grado de intemperismo de plagioclasas casi nulo en las muestras con valores menores al 50, de bajo intemperismo entre el rango de 50 a 60, y de intermedio intemperismo a los valores entre 60 a 80 (Tabla 6) (Figura 51). La principal aplicación del IAP en este estudio es para relacionar el grado de alteración de las plagioclasas con la presencia de minerales arcillosos, tales como la kaolinita, gibbsita e illita, que suelen darse a mayor valor del IAQ, generalmente cuando es muy cercano al 100 (Fedo *et al*, 1995).

Sin embargo, los valores obtenidos del IAQ e IAP en cada una de las muestras no representan el fuerte grado de intemperismo que se observa en el material analizado, dada su naturaleza de formación, en la cual se han llevado a cabo procesos de alteración, logrando la formación de fases minerales secundarias e incluso terciarias.

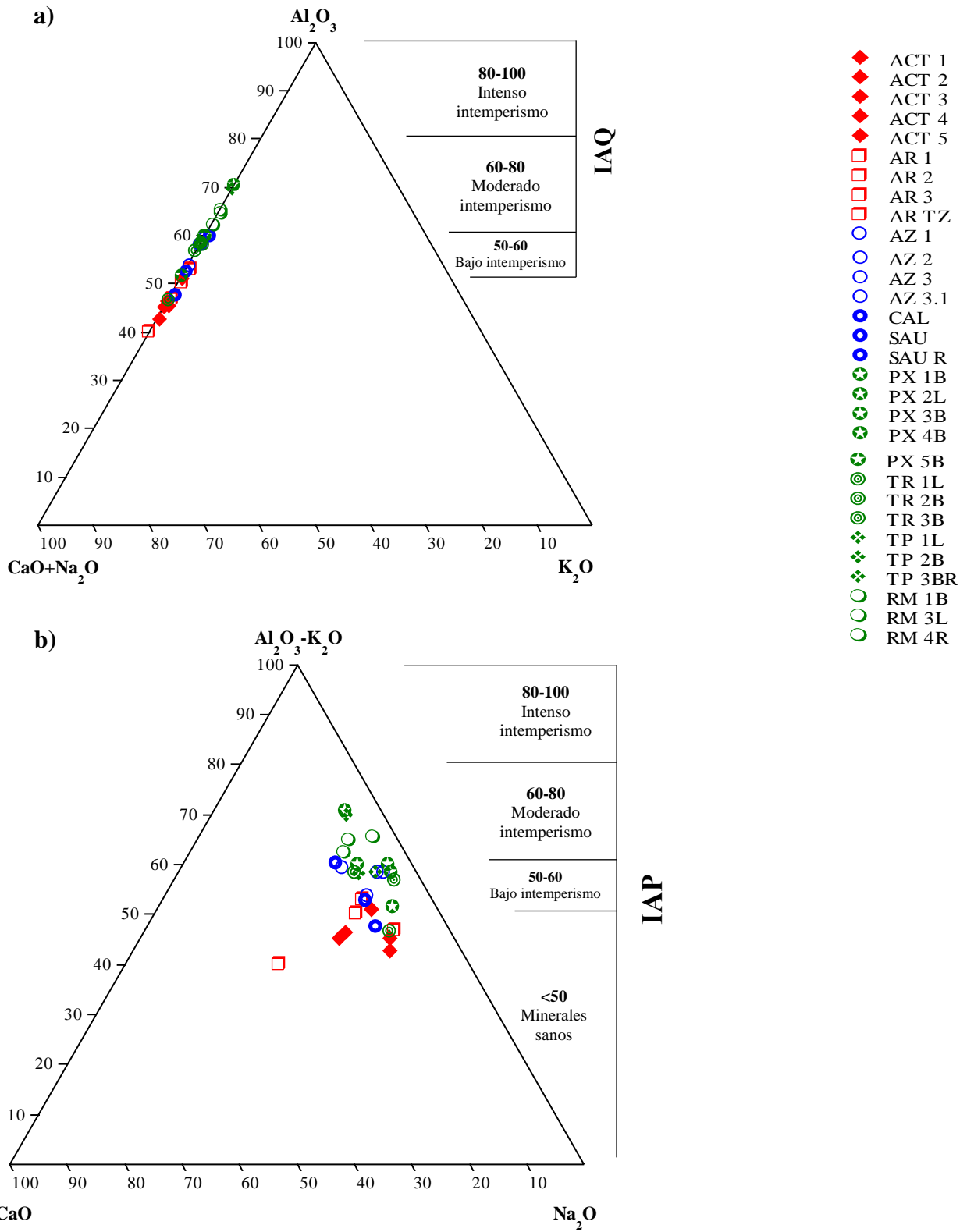


Figura 51. Diagramas ternarios a) A-CN-K y b) A-C-N, mostrando los valores de IAQ e IAP en proporciones molares de las 30 muestras analizadas por ICP.



Con relación a los elementos traza como el Pb, Zn, Cu, Cr, Co, V y Ba, estos se presentan en concentraciones relativamente bajas y muy heterogéneas que van desde decenas hasta centenas de mg/kg (Tabla 7). Se puede observar que en la zona MIN-REF presenta mayores cantidades en concentración de Pb y Zn, con valores promedio de 205.71 mg/kg y 178.33 mg/kg; seguida de la zona TUL-SAN, con valores promedio de 67.51 mg/kg y 63.64 mg/kg, y con valores menores en la ACT-ARE con un promedio de 48.07 mg/kg y 62.34 mg/kg respectivamente. La zona MIN-REF presenta los mayores valores en concentración de Cu, con valores promedio de 54.68 mg/kg, seguido de la zona ACT-ARE con valores promedio de 43.05 mg/kg, y con un promedio menor en la zona TUL-SAN de 16.39 mg/kg.

Las concentraciones en la zona MIN-REF pueden corresponder a los elementos contenidos en las fases minerales producto de alguna mena mineral metálica lixiviada y erosionada, esto debido a procesos de hidrolisis principalmente y de otros procesos de alteración (silicificación) de las mineralizaciones metálicas presentes, sobre todo por la cercanía con el distrito minero de Pachuca-Real del Monte, y dada a la presencia de minerales de sulfuros primarios de Fe, Pb, Zn y Cu, entre otros, dando como resultado fases minerales secundarias e incluso terciarias presentes en los residuos mineros, y que por acción del intemperismo y erosión, pueden depositarse en los puntos muestreados (Jambor, 1994).

**Tabla 7. Análisis químico de elementos traza de las muestras analizadas por ICP, de las muestras de arcilla de las zonas MIN-REF, ARE-ACT y TUL-SAN.**

ELEMENTOS TRAZA (mg/kg)						
MUESTRA	Pb	Zn	Cu	Cr	V	Ba
<b>ZONA ACTOPAN-ARENAL (ACT-ARE)</b>						
ACT 1	62.00	24.85	20.33	39.66	55.97	280.12
ACT 2	52.04	50.10	26.03	142.02	78.79	300.58
ACT 3	67.96	209.33	125.50	44.15	39.19	352.18
ACT 4	47.30	88.40	34.30	165.33	130.92	255.00
ACT 5	49.07	50.00	63.55	60.75	31.31	234.58
AR 1	45.59	37.17	42.62	36.67	37.41	310.21
AR 2	40.54	24.52	26.03	31.78	38.29	340.84
AR 3	39.91	37.68	32.72	39.17	47.35	279.13
AR TZ	28.21	39.05	16.39	54.00	133.08	37.37
<b>Promedio</b>	<b>48.07</b>	<b>62.34</b>	<b>43.05</b>	<b>68.17</b>	<b>65.81</b>	<b>265.56</b>
<b>ZONA MINERAL DE LA REFORMA (MIN-REF)</b>						
AZ 1	58.18	30.58	6.46	45.25	38.29	336.15
AZ 2	74.48	34.01	12.91	54.37	49.40	335.15
AZ 3	53.91	32.10	13.04	81.24	43.38	292.88
AZ 3.1	77.72	33.95	6.04	56.59	45.02	286.22
CAL	32.64	28.44	2.97	34.87	41.05	288.33
SAU	812.09	741.88	264.87	36.48	33.48	322.59
SAU R	330.93	347.36	76.44	39.59	31.62	322.46
<b>Promedio</b>	<b>205.71</b>	<b>178.33</b>	<b>54.68</b>	<b>49.77</b>	<b>40.32</b>	<b>311.97</b>
<b>ZONA TULANCINGO-SANTIAGO (TUL-SAN)</b>						
PX 1B	114.14	66.50	29.53	65.01	87.59	229.03
PX 2L	88.54	57.28	15.26	50.78	72.04	364.43
PX 3B	112.14	74.76	5.83	54.37	83.98	363.59
PX 4B	112.65	74.60	15.32	63.74	75.10	213.93
PX 5B	74.35	71.86	4.99	118.76	110.28	341.32
TR 1L	35.55	50.72	<LD	34.31	64.89	335.16
TR 2B	40.98	45.95	18.88	36.76	53.15	334.82
TR 3B	49.85	50.35	12.02	96.94	100.45	348.45
TP 1L	23.98	46.95	<LD	40.96	63.69	328.92
TP 2B	49.50	41.29	0.75	32.84	45.77	312.94
TP 3BR	37.41	45.89	12.47	65.84	77.06	274.31
RM 1B	75.52	126.85	47.38	88.85	107.60	227.54
RM 3L	35.48	49.38	<LD	34.00	61.04	300.74
RM 4R	95.05	88.61	17.82	107.92	112.38	270.30
<b>Promedio</b>	<b>67.51</b>	<b>63.64</b>	<b>16.39</b>	<b>63.65</b>	<b>79.64</b>	<b>303.25</b>

<LD= Menor al límite de detección.

## VII.- CONCLUSIONES

Las muestras empleadas en este trabajo presentan características singulares en cada zona de estudio. Las muestras de la zona de Actopan-Arenal (ACT-ARE), muestran una coloración marrón claro, con tendencia al gris, con una textura al tacto talcosa, para la zona de Mineral de la Reforma (MIN-REF) una coloración marrón oscuro con tendencia al gris oscuro y una textura al tacto de arenosa a limosa, y para la zona de Tulancingo-Santiago (TUL-SAN) una coloración de en tonos rojizos a naranjas con una textura al tacto arenosa.

Por medio de los métodos empleados de tamizado en seco y difracción laser, se determinó el tamaño de partícula de cada una de las muestras, lo cual arroja que en promedio el material empleado en la manufactura del ladrillo entra dentro de la fracción fina del suelo ( $< 100 \mu\text{m}$ ), a partir de los resultados arrojados por el método de difracción laser, obteniendo un promedio de tamaño de partícula de  $100.88 \mu\text{m}$ ,  $97.67 \mu\text{m}$ , y  $89.40 \mu\text{m}$ , para las zonas ACT-ARE, MIN-REF, y TUL-SAN respectivamente.

A partir de la Microscopía Óptica de Polarización (MOP) se identificó una heterogeneidad en cuanto al tamaño de las partículas observadas así como en la composición mineralógica al encontrar minerales del grupo de los silicatos (cuarzo, feldespatos, plagioclasas, y minerales arcillosos) y óxidos de hierro (hematita, limonita, y goethita), presentes en las tres zonas de estudio, difiriendo por la cantidad del contenido de minerales de alteración (minerales arcillosos y óxidos de hierro) en cada zona, la morfología de las partículas se presenta desde tipo euhedral hasta anhedral, lo cual representa el grado de alteración que presentan.

Por medio del análisis por difracción de rayos x (DRX) fue posible identificar cualitativamente las fases minerales presentes en cada muestra, encontrando al cuarzo, andesina y albita, en la zona ACT-ARE, al cuarzo y ortoclasa en la zona MIN-REF y a la albita, cuarzo, cristobalita y andesina, en la zona TUL-SAN, como fases minerales mayoritarias en las muestras analizadas de cada zona.

Con la Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) se identificaron las morfologías de las partículas que constituyen las muestras, encontrando morfologías de euhedrales hasta anhedrales, además se identificaron por medio de análisis químico puntual semicuantitativo posibles partículas de minerales como feldespatos potásicos (ortoclasa, microclina, sanidino), plagioclasas de la serie sólida sódico-cálcica (albita, andesina, anortita), polimorfos del cuarzo (cristobalita,

tridimita), y óxidos de hierro y titanio (ilmenita, esfena, siderita, rutilo, hematita-goethita) en las tres zonas de estudio. La interpretación fue compleja, ya que los resultados no permitieron establecer especies minerales ideales, debido a la débil estequiometría, lo que no permitió realizar el cálculo de fórmulas estructurales, aunado al efecto de matriz.

Mientras que por el análisis químico por Espectrometría de Plasma Inductivamente Acoplada (ICP), de elementos mayores en base a óxidos (porcentaje) y elementos traza (en mg/kg) de las tres zonas de estudio, se determinó que los valores de aluminio, silicio, y hierro, como los de mayor importancia, al reflejarse en las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo como producto final, teniendo en la zona MIN-REF valores más altos de  $\text{SiO}_2$ , seguido de las zonas ACT-ARE y TUL-SAN; mientras que los valores de  $\text{FeO}$  y  $\text{TiO}_2$  son mayores para la zona de TUL-SAN, seguido de las zonas ACT-ARE y MIN-REF. El análisis químico podría ser utilizado y recomendado para valorar solamente las cantidades de Fe, Al y Si, que son los elementos que mejoran o afectan la calidad en la manufactura del ladrillo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abayazeed, S.D., and El-Hinnawi, E. 2011. Characterization of Egyptian Smectitic Clay Deposits by Methylene Blue Adsorption: American Journal of Applied Sciences, 8 (12): 1282-1286.
- Arellano, G. J., Velasco, L. P., Silva, P. A., Salvador, F. R., y Beltrán, R. F. 2005. Origen y características geológicas del paleo-lago de Amajac, Hidalgo: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 22(2), 199-211.
- Barba, A., Beltrán, V., Feliu, C., Gracia, J., Gines, F., Sánchez, E. y Sanz, V. 1997. Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas. Instituto de Tecnología Cerámica, Castellón, España.
- Bernal, I., Cabezas, H. Espitia, C., Mojica, J., y Quintero, J. 2003. Análisis próximo de arcillas para cerámica: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 27 (105), 571-578.
- Bianucci, M.A. 2009. Ladrillo, orígenes y desarrollo. Cátedra Introducción a la tecnología. Área de la Tecnología y la Producción, FAU- UNNE, Resistencia Chaco, Argentina, 39 p.
- Cabrera, S., Irigaray, R., y Miguez, D. 2010. Estudio comparativo de la determinación del tamaño de partícula por dos métodos: tamizado en seco y difracción laser: Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay, (5), 23-28.
- Cárdenas, B. 2012. Políticas públicas sobre la producción de ladrillo en México para mitigar el impacto ambiental: INE Memorias del Taller sobre políticas públicas para mitigar el impacto ambiental de ladrilleras artesanales (Sesión II b. Políticas Públicas sobre producción de ladrillo). Guanajuato, México.
- Cárdenas B., Aréchiga, U., Munguía J.L., Márquez C., y Campos, A. 2012. Evaluación preliminar del impacto ambiental por la producción artesanal de ladrillo: cambio climático, eficiencia energética y calidad del aire: segunda etapa. Informe Final del Convenio de Colaboración INE/ADA-110071. Versión Actualizada Junio 2012. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa y el Instituto Nacional de Ecología. México D.F. 54 p.
- Carretero-León, M.I., Pozo, R.M., Legido, S.J.L., Maraver, E.F., Armijo, C.F., y Gómez, P.I. 2013. Caracterización mineralógica y físico-química de tres arcillas españolas para su posible uso en peloterapia: Revista de la Sociedad Española de Mineralogía (MACLA) (17), 35-36.
- Chupina de León, A.M. 2006. Estudio comparativo entre las técnicas más utilizadas para la caracterización de arcillas y su aplicación industrial en la fabricación de ladrillos. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. Carta de climas de la República Mexicana, escala 1: 1 000 000, según el sistema de García, E. México.

- De la Cruz, M.V. y Castillo-Hernández, D., 1986. Estudio geológico de la zona geotérmica de la caldera de Acozulco, Puebla. CFE-GPG reporte interno, 23 p.
- De Pablo, L. 1964. Las arcillas I. Clasificación, identificación, usos y especificaciones industriales: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 27(2), 49-92.
- Domínguez, S.J.M., Roman, G.A.D., Prieto, G.F., Acevedo, S.O., y Serrano, L.S.S. 2011. Índices de alteración y meteorización de suelos de la región de Denganthza, municipio Tepatepec de Francisco I. Madero, Hidalgo: Ingeniería Agrícola y Biosistemas. 3(2), 57-65.
- Duitama, L., Espitia, C., Mojica, J., Quintero, J., y Romero, F. 2004. Composición mineralógica y química de las arcillas empleadas para cerámica roja en las zonas de Medellín, Itagüí y Amagá: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 28 (109), 555-563.
- Fedo, C. M., Nesbitt, H.W., and Young, G.M. 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance: *Geology*. 23(10), 921-924.
- Fernández, C.J. 1999. Caracterización mineralógica, petrográfica y granulométrica de arcillas y antiplásticos usados en la alfarería tradicional de la Puna Jujeña: Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXIV, Buenos Aires, 139-158.
- Eberl, D.D. 1984. Clay mineral formation and transformation in rocks and soils. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 311, Great Britain: 241-257.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, 5ta Edición, México, 90 p.
- García-Palomo, A., Macías, J.L., Tolson, G., Valdez, G., y Mora, J.C., 2002. Volcanic stratigraphy and geologic evolution of the Apan region, east-central sector of the Trans-Mexican volcanic Belt. *Geofísica Internacional*, 41, 133-150.
- Geyne, A. R., y Wilson, I. F. 1952. Relación entre los cuerpos de mineral costeable y los diques en el Distrito de Pachuca-Real del Monte, Estado de Hidalgo, México: Convención Interamericana de Recursos Minerales, 1st. México 1951, Memoria., 270 p.
- Geyne, A.R., Fries, C.Jr., Segerstrom, K., Black, R.F. y Wilson, I.F., 1963: Geología y Yacimientos Minerales del Distrito de Pachuca-real del Monte, Estado de Hidalgo, México: México, D. F. Consejo De Recursos Naturales No Renovables, Publicación 5ed: 222 p.
- Green-Ruiz, C., and Páez-Osuna, F. 2001. Heavy metal anomalies in lagoon sediments related to intensive agriculture in Altata-Ensenada del Pabellón coastal system (SE Gulf of California): *Environment International*, Elsevier, 26, 265-273.
- Guggenheim, S., and Martin, R.T. 1995. Definition of clay and clay mineral: Joint report of the Aipea Nomenclature and CMS Nomenclature Committees: *Clay and Clay Minerals*, 43(2), 255-256.

- Hofer, G., Draganits, E., Wagreich, M., Hofmann, C.C., Reischenbacher, D., Grundtner, M.L., and Botting, M. 2011. Stratigraphy and geochemical characterisation of upper cretaceous non-marine cycles (Grünbach Formation, Gosau Group, Austria): *Austrian Journal of Earth Sciences*. 104(2), 90-107.
- Huang, W,T. 1968. *Petrology*. McGraw-Hill Book Company, 546 p.
- Jambor, J.L. 1994. Mineralogy of sulfide-rich tailings and their oxidation products, *in* Blowes, D.W., y Jambor, J.L., *The environmental geochemistry of sulfide mine-wastes: Waterloo, Ontario: Mineralogical Association of Canada*, 59-102.
- Kabeto, K., Zenebe, A., K, B., K., Atshbeha, K., Gebresilassie, S., and Amare, K. 2012. Mineralogical and geochemical characterization of clay and lacustrine deposits of Lake Ashenge Basin, northern Ethiopia: Implication for industrial applications: *Momona Ethiopian Journal of Science (MEJS)*, 4(2), 111-129.
- López, H.A. 2009. Evolución volcánica del complejo Tulancingo-Acocolco y su sistema hidrotermal, estados de Hidalgo, y Puebla, México. Tesis de Doctorado, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de México.
- Meunier, A. 2005. *Clays*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 467 p.
- Montero, P.M.E. 2003. Aplicación de técnicas de análisis multifractal a distribuciones de tamaño-volumen de partículas de suelo obtenidas mediante análisis por difracción de láser. Tesis de Doctorado, Departamento de Matemática Aplicada a la Agronomía, Universidad Politécnica de Madrid.
- Nesbitt, H.W., and Young, G.M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites: *Nature*. 299, 715-717.
- Prohic, E., Miko, S., y Peh, Z. 1995. Normalization and trace element contamination of soils in a Karstic Polje an example from the Sinjsko Polje, Croatia: *Geología Croática*, 48(1), 67-86.
- Santos, A.J.D., Malagón, V.P.Y., y Córdoba, T.E.M. 2011. Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander. Medellín. *Dyna*, 78(167), 50-58.
- Sanfeliu, T., y Cepriá, J.J. 2001. Arcillas de uso cerámico; Curso de Materias Primas y Métodos de Producción de Materiales Cerámicos: XVI Reunión Científica de la Sociedad Española de Arcillas, Baeza, Jaén, Octubre, 2001, 22-26.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2001. Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Hidalgo, 433p.
- Seegerstrom, K., 1961, Geología del suroeste del estado de Hidalgo y del noreste del estado de México: *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 13(3-4), 147-168.
- Seegerstrom, K., 1962, Geology of south-central Hidalgo and northeastern Mexico: *United States Geological Survey Bulletin*, 1104-C, 87-162.

- Solana, L.J. 2010. Geología regional y petrogénesis del vulcanismo silíceo de la región circundante a la ciudad de Tulancingo, estado de Hidalgo. Tesis de Maestría, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional.
- Ticona, W., Blanco, M., Ticona, J., y Cabrera, S. 2012. Investigación y desarrollo de materiales arcillosos parte I: Caracterización química, mineralógica y estructural de arcillas de Viacha y Kellani: Revista Boliviana de Química, 29 (2), 136-143.
- Vieira, C.M.F., Sánchez, R. and Monteiro, S.N. 2008. Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil: Construction and Building Materials, 22(5), 781.

### **DIRECCIONES ELECTRÓNICAS CONSULTADAS**

- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2014. Portal de Geoinformación. Consultado el 20 de Mayo de 2014 en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Atlas digital del agua México 2012. Consultado el 4 de Febrero de 2015 en <http://www.conagua.gob.mx/atlas/index.html>



## **ANEXOS**

**Anexo 1. Descripción megascópica de las muestras colectadas en las zonas de estudio, Actopan-Arenal (ACT-ARE), Mineral de la Reforma (MIN-REF), y Tulancingo-Santiago (TUL-SAN).**

<b>ZONA ACTOPAN-ARENAL (ACT-ARE)</b>		
<b>MUNICIPIO ACTOPAN</b>		
<b>Muestra</b>	<b>Localidad</b>	<b>Descripción</b>
<b>ACT 1</b>	El Meje	Coloración marrón, tamaño de partícula de gravas a arcillas. Presencia de fragmentos líticos del tamaño de la grava a arena, de semiredondeadas a subangulosas, en coloraciones de amarillo a marrón claro. Se observa en el material no consolidado (1x) partículas en tonos naranja y gris oscuro, de plagioclasas y feldespatos, además de cuarzo. Al aplicar HCl 10% en los fragmentos líticos la reacción es nula, en cambio para el material no consolidado la reacción es baja en algunas partículas.
<b>ACT 2</b>	El Meje	Coloración marrón, tamaño de partícula de arenas a arcillas. Ausencia de fragmentos líticos, presencia de aglomerados del tamaño de la grava fáciles de disgregar con la mano, compuestos de material no consolidado. Se observa (1x y 3x) partículas homogéneas de feldespatos y plagioclasas. Al aplicar HCl 10% se tiene una baja reacción en algunas partículas de coloración blanca.
<b>ACT 3</b>	El Meje	Coloración marrón, tamaño de partícula de gravas a arcillas. Presencia de fragmentos líticos heterogéneos del tamaño de la grava, en formas subangulosas, en coloraciones grises y de amarillas a rojizas. Al observar el material no consolidado (1x), se identifica partículas de cuarzo y plagioclasas. Al aplicar HCl 10% se tiene una baja reacción en algunas partículas de coloración blanca.
<b>ACT 4</b>	Actopan	Coloración marrón, tamaño de partícula de gravas a arcillas. Presencia de fragmentos líticos del tamaño de la grava, en coloraciones de blanco, gris oscuro y rojo, en formas angulosas a subangulosas. Se observa (1x) presencia de partículas de cuarzo, plagioclasas, óxidos de hierro. Al aplicar HCl 10% se tiene una baja reacción en algunas partículas de coloración blanca.
<b>ACT 5</b>	Actopan	Coloración marrón a marrón claro, tamaño de partícula de arenas a arcillas. Se observa (3x) presencia de pequeñas partículas de cuarzo subangulosas, y otras partículas en coloraciones rojizas y verdes. Al aplicar HCl 10% se tiene una baja reacción en algunas partículas de coloración blanca.
<b>MUNICIPIO ARENAL</b>		
<b>AR 1</b>	El Arenal	Color marrón claro, tamaño de grano de gravas a arcillas. Presencia de aglomerados de material fino en formas angulosas a semiredondeadas, fácilmente disgregables, así como fragmentos líticos. Se identifica (1x y 3x) la presencia de plagioclasas y feldespatos, cuarzo, óxidos de hierro en coloraciones rojizas. No presenta reacción al aplicar HCl 10%. Al observar el material no consolidado (3x) se tiene pequeñas partículas de color blanco, las cuales muestran baja reacción al aplicar ácido.
<b>AR 2</b>	El Arenal	Color marrón claro, tamaño de grano de gravas a arcillas. Presencia de fragmentos líticos de formas irregulares medianamente angulosas, de composición y coloración heterogénea. También se tiene material no consolidado. Se observa (1x y 3x) presencia de cuarzo, plagioclasas y feldespatos, óxidos de hierro y manganeso. Nula reacción al adicionar HCl 10%. Al observar el material no consolidado (1x) se aprecian pequeños granos de cuarzo, y de fragmentos líticos en coloraciones de morado a rojizo. Se tiene presencia de pequeñas partículas de color blanco, las cuales muestran baja reacción al aplicar HCl 10%.
<b>AR 3</b>	El Arenal	Coloración de marrón claro a gris claro, tamaño de partícula de gravas a arcillas. Presencia de gran cantidad de fragmentos líticos del tamaño de la grava, de formas irregulares en coloraciones grises, amarillas y rojizas. Se identifica (1x y 3x) presencia de plagioclasas y feldespatos, cuarzo, óxidos de hierro y manganeso. Nula reacción al adicionar HCl 10%. Al observar el material no consolidado (1x) se observan pequeñas partículas heterogéneas, en coloraciones grises a blancas y algunas de amarillas a rojizas. Se tiene presencia de pequeñas partículas de color blanco, las cuales reaccionan activamente al aplicar HCl 10%.
<b>AR TZ</b>	El Arenal	Coloración rojiza, tamaño de partícula de gravas a limos. El material en general presenta una dureza homogénea, siendo difícil de disgregar con la mano. Se observa (1x) la característica textura vesicular de la escoria volcánica, material del cual se constituye la muestra. Al observar el material fino (1x y 3x), se encuentran partículas heterogéneas de formas irregulares, donde además del material rojizo, se tiene presencia de pequeños granos de coloraciones amarillas, moradas y otras de color blanco, las cuales reaccionan activamente al aplicar HCl 10%.

## ZONA MINERAL DE LA REFORMA (MIN-REF)

### MUNICIPIO MINERAL DE LA REFORMA

<b>AZ 1</b>	Azoyatla	Color marrón medio, tamaño de grano de gravas a limos. Presencia de aglomerados de material fino, fácil de disgregar con la mano, y fragmentos de roca de alta dureza. Fragmentos de roca de coloraciones blanco-amarillo-rojizo-morado-rosa. Se observa (1x, 3x) formas anhedrales a semiredondeadas (plagioclasas, cuarzo, óxidos de hierro). Mínima reacción al aplicar HCL 10% para el material no consolidado, en los fragmentos líticos la reacción es nula.
<b>AZ 2</b>	Azoyatla	Color marrón oscuro, tamaño de grano de gravas a arenas. Presencia de aglomerados de material fino, fácil de disgregar con la mano, y fragmentos de roca de alta dureza. Fragmentos de roca de coloraciones de gris-morado. Se observa (3x) formas anhedrales a semiredondeadas (feldespatos, plagioclasas, y cuarzo). En el material no consolidado se observan partículas heterogéneas de cuarzo, calcita y óxidos de hierro. Baja reacción al aplicar HCL 10% para el material no consolidado, en los fragmentos líticos la reacción es nula.
<b>AZ 3</b>	Azoyatla	Color marrón claro a gris, tamaño de grano de gravas a limos. Presencia de aglomerados de material fino, fácil de disgregar con la mano, y fragmentos de roca de alta dureza. Fragmentos de roca de coloraciones de amarillo claro a rojizo. Se observa (1x, 3x) formas anhedrales de semiangulosas a semiredondeadas (alto contenido de cuarzo). En el material no consolidado se observan partículas de cuarzo y pequeños fragmentos líticos irregulares. Baja reacción al aplicar HCL 10% para el material no consolidado, en los fragmentos líticos la reacción es nula.
<b>AZ 3.1</b>	Azoyatla	Color marrón oscuro a gris oscuro, tamaño de grano de gravas a arcillas. Presencia de aglomerados de tamaño de la grava, formados de material fino, fácil de disgregar con la mano, y unos más compactos. Presencia de fragmentos líticos en tonalidades de oscuras a claras de diferentes tamaños, forma y composición. Se observa (1x) la presencia de cuarzo, plagioclasas, óxidos de hierro, y calcita. En el material no consolidado se observan partículas de subangulosas a semiredondeadas de cuarzo y pequeños fragmentos líticos irregulares. Baja reacción al aplicar HCL 10% en el material no consolidado, y en los fragmentos líticos.
<b>CAL</b>	Calera	Color marrón claro, tamaño de grano de gravas a arcillas. Presencia de aglomerados de tamaño de la grava, formados de material fino, fácil de disgregar con la mano, y fragmentos de roca de alta dureza. Los fragmentos líticos se observan en tonalidades de gris claro y oscuro, y de amarillo a rojizo por la presencia de óxidos de hierro. Se observa (1x, 3x) la presencia de cuarzo, plagioclasas, óxidos de hierro y manganeso. En el material no consolidado se observan partículas de subangulosas a semiredondeadas de coloraciones de gris a morado. Baja reacción al aplicar HCL 10% en el material no consolidado, en los fragmentos líticos la reacción es nula.
<b>SAU</b>	Saucillo	Color marrón medio, tamaño de grano de gravas a arcillas. Presencia de aglomerados de material fino, de formas angulosas, fácil de disgregar con la mano. Se observa (1x, 3x) formas anhedrales a semiredondeadas (cuarzo principalmente y óxidos de hierro). Baja reacción al aplicar HCL 10% para el material no consolidado.
<b>SAU-R</b>	Saucillo	Color marrón medio, tamaño de grano de gravas a arcillas, de formas irregulares muy heterogéneas. Presencia de aglomerados de material fino, fácil de disgregar con la mano, y fragmentos de roca de alta dureza. Estos fragmentos presentan coloraciones de blanco-amarillo-verde y gris en tonalidades claras. Se observa (1x, 3x) presencia de plagioclasas, cuarzo, óxidos de hierro. Mínima reacción al aplicar HCL 10% para el material no consolidado, pero homogénea, en los fragmentos líticos la reacción es nula.

## ZONA TULANCINGO-SANTIAGO (TUL-SAN)

### MUNICIPIO SANTIAGO TULANTEPEC

<b>PX 1B</b>	Paxtepec	Coloración naranja, tamaño de partícula de arena fina a arcilla. Presencia de aglomerados de material fino, disgregables con la mano, del tamaño de la grava a arena gruesa. No se tiene presencia de líticos. Al observar el material no consolidado, se observa (1x, 3x) presencia de plagioclasas, cuarzo, óxidos de hierro. Nula reacción al aplicar HCl <sub>10%</sub> .
<b>PX 2L</b>	Paxtepec	Coloración naranja-rojiza, tamaño de partícula de arena fina a arcillas. Presencia de aglomerados de material fino (limo) y muy fino (arcilla) fácilmente disgregables con la mano, formando partículas del tamaño de la grava gruesa a arena gruesa. No se tiene presencia de líticos. Se observa (1x, 3x) presencia de plagioclasas, cuarzo, óxidos de hierro en tonalidades rojizas-naranjas. Nula reacción al aplicar HCl <sub>10%</sub> .
<b>PX 3B</b>	Paxtepec	Coloración marrón con tendencia al amarillo, tamaño de partícula de arena a arcillas. Presencia de aglomerados del material fino, difícilmente disgregables con la mano, formando partículas del tamaño de la grava gruesa a la arena gruesa. No se tiene presencia de líticos.

		Se observa (3x) presencia de feldespatos, cuarzo, óxidos de hierro. Nula reacción al aplicar HCl <sub>10%</sub> .
<b>PX 4B</b>	Paxtepec	Coloración marrón con tendencia al amarillo, tamaño de partícula de arena a arcillas. Presencia de aglomerados del material fino, disgregables con la mano, formando partículas del tamaño de la grava gruesa a la arena. No se tiene presencia de líticos. Se observa (1x, 3x) presencia de plagioclasas, cuarzo, óxidos de hierro en tonalidades rojizas-naranjas. Baja reacción al aplicar HCl <sub>10%</sub> .
<b>PX 5B</b>	Paxtepec	Coloración naranja oscuro con tendencia a rojizo, tamaño de partícula de arena a arcillas. Presencia de aglomerados del material fino, disgregables con la mano, formando partículas del tamaño de la grava gruesa a la arena. No se tiene presencia de líticos. Baja reacción al aplicar HCl <sub>10%</sub> .
<b>RM 1B</b>	Romeros	Coloración marrón medio con tendencia al naranja, tamaño de partícula de arenas a arcillas. Presencia de aglomerados de material fino, fácilmente disgregables con la mano, del tamaño de la grava gruesa a arena gruesa. Algunos aglomerados presentan tonalidades negras por presencia de óxidos de manganeso. En el material no consolidado se observa (1x) partículas con una coloración homogénea, de formas semiredondeadas a subangulosas. Se identifican partículas de cuarzo, feldespatos y plagioclasas. Nula reacción al aplicar HCl <sub>10%</sub> .
<b>RM 3L</b>	Romeros	Coloración marrón claro con tendencia al amarillo, tamaño de partícula de arenas a arcillas. Presencia de aglomerados de material fino del tamaño de la grava a la arena, fáciles de disgregar con la mano. No se tiene presencia de fragmentos líticos. Algunos aglomerados presentan coloraciones naranjas a rojizas, dadas por la presencia de óxidos de hierro. Al observar el material no consolidado (3x) se identifican partículas de coloraciones blancas a amarillo claro, naranja a rojizo, gris claro a negro y algunas cristalinas de cuarzo. Nula reacción al aplicar HCl <sub>10%</sub> .
<b>RM 4R</b>	Romeros	Coloración marrón con tendencia al rojizo, tamaño de partícula de arenas a arcillas. Presencia de aglomerados de material fino, formando partículas del tamaño de la grava a arena, fáciles de disgregar con la mano. No se tiene presencia de fragmentos líticos. Al observar los aglomerados presentan coloraciones rojizas y negras, por presencia de óxidos de hierro y manganeso. Al observar el material no consolidado (1x y 3x) se identifican partículas muy heterogéneas, con formas subangulosas a subredondeadas, en coloraciones amarillas, naranjas, rojizas, gris oscuro y negro, partículas blancas de forma alargada y otras más transparentes subangulosas. Nula reacción al aplicar HCl <sub>10%</sub> .
<b>MUNICIPIO TULANCINGO</b>		
<b>TP 1L</b>	Paraíso	Coloración marrón con tendencia a amarillo, tamaño de partícula de arena fina a arcilla. Presencia de aglomerados de material fino, del tamaño de la grava gruesa a arena gruesa, fácilmente disgregables con la mano. Estos aglomerados presentan coloraciones naranjas a rojizas (óxidos de hierro). No se tiene presencia de fragmentos líticos considerables. En el material suelto se observa (1x) partículas de formas semiredondeadas a subangulosas, en colores claros, de naranjas a rojizos, y de gris claro a negro, con presencia de partículas de cuarzo (3x). Al aplicar HCl <sub>10%</sub> se tiene baja reacción en unas partículas blancas, el resto del material tiene nula reacción.
<b>TP 2B</b>	Paraíso	Coloración marrón claro con tendencia a gris claro, tamaño de partícula de arena fina a arcilla. Presencia de aglomerados de material fino, del tamaño de la grava a arena gruesa, pueden disgregarse con la mano. No se tiene presencia de fragmentos líticos considerables. Se observa (1x) una coloración homogénea, con presencia de partículas en coloraciones blancas y amarillo claro, en formas semiredondeadas a subangulosas. Al aplicar HCl <sub>10%</sub> se tiene reacción solo en algunas partículas subangulosas de color blanco.
<b>TP 3BR</b>	Paraíso	Coloración marrón claro con tendencia al naranja, tamaño de partícula de limos a arcillas. Presencia de aglomerados del tamaño de la grava gruesa a arena, los cuales pueden disgregarse fácilmente con la mano. No se tiene presencia de fragmentos líticos. Se observa en los aglomerados (1x y 3x) partículas de coloración negra, posiblemente por presencia de óxidos de manganeso, y partículas cristalinas subangulosas de cuarzo. En el material no consolidado se observa (1x) una coloración homogénea con partículas semiredondeadas a subangulosas, con presencia de partículas de cuarzo, plagioclasas y feldespatos. Nula reacción al aplicar HCl <sub>10%</sub> .
<b>TR 1L</b>	Rayuela	Coloración marrón claro con tendencia al amarillo, tamaño de partícula de gravas a arcillas. Presencia de aglomerados del tamaño de la grava fáciles de disgregar, y poca presencia de fragmentos líticos. Se observa en el material no consolidado (3x) partículas de formas irregulares y de composición variada, en diferentes coloraciones de blanco-amarillo claro, naranja-rojizo, negro-gris oscuro y marrón claro. Se identifica partículas de cuarzo. Nula reacción al aplicar HCl <sub>10%</sub> .

---

<b>TR 2B</b>	Rayuela	<p>Coloración marrón, tamaño de partícula de gravas a arcillas.</p> <p>Presencia de aglomerados bien compactados, difíciles de disgregar con la mano. Fragmentos líticos del tamaño de la grava a arena gruesa, en formas subangulosas a semiredondeadas, en coloraciones claras y algunos otros oscuros de apariencia vítrea, en apariencia vidrio volcánico.</p> <p>Se tiene fragmentos de color blanco, fáciles de disgregar, que al aplicar HCl<sub>10%</sub> reacciona de manera muy activa, lo cual puede indicar que es caliche (CaCO<sub>3</sub>).</p> <p>El material suelto se compone de partículas heterogéneas de coloraciones marrón-naranja claro, amarillo-rojiza, negro-gris oscuro, con algunas de brillo vítreo, en apariencia de cuarzo. Al aplicar HCl<sub>10%</sub> se tiene nula reacción.</p>
<b>TR 3B</b>	Rayuela	<p>Coloración marrón a naranja, tamaño de partícula de arena fina a arcillas.</p> <p>Presencia de aglomerados de material fino, del tamaño de la grava y arena gruesa, fácilmente disgregables con la mano. No se tiene fragmentos líticos considerables.</p> <p>El material suelto se compone de partículas en coloraciones rojizas, negras y blancas, con una presencia abundante de partículas de cuarzo y algunas partículas de obsidiana, de formas semiangulares a semiredondeadas.</p> <p>Al aplicar HCl<sub>10%</sub> se tiene nula reacción.</p>

---

**Anexo 2. Fotografías ilustrativas del muestreo realizado en los puntos: a) y b) localidad Actopan, c) y d) localidad Azoyatla, e) y f) localidad Rayuela, g) y h) localidad Paxtepec.**



**Anexo 3. Resultados del análisis granulométrico por tamizado en seco de la zona ACT-ARE.**

<b>ZONA ACTOPAN-ARENAL</b>						
<b>Muestra</b>	<b>No. Tamiz</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Masa de suelo retenido (gr)</b>	<b>% de suelo retenido</b>	<b>% masa de suelo retenido acumulado</b>	<b>% que pasa</b>
<b>ACT 1</b>	120	0.125	66.2597	66.57	66.57	33.43
	200	0.075	26.1554	26.28	92.84	7.16
	325	0.045	4.3319	4.35	97.2	2.8
	400	0.038	0.4726	0.47	97.67	2.33
	500	0.025	1.3336	1.34	99.01	0.99
	Fondo	-	0.9853	0.99	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.5385</b>			
<b>ACT 2</b>	120	0.125	88.2916	88.78	88.78	11.22
	200	0.075	4.8962	4.92	93.7	6.3
	325	0.045	2.2311	2.24	95.95	4.05
	400	0.038	0.9738	0.98	96.92	3.08
	500	0.025	1.1362	1.14	98.07	1.93
	Fondo	-	1.9223	1.93	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.4512</b>			
<b>ACT 3</b>	120	0.125	72.1504	72.16	72.16	27.84
	200	0.075	12.4112	12.41	84.57	15.43
	325	0.045	5.4091	5.41	89.98	10.02
	400	0.038	3.5257	3.53	93.5	6.5
	500	0.025	2.5283	2.53	96.03	3.97
	Fondo	-	3.9681	3.97	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.9928</b>			
<b>ACT 4</b>	120	0.125	63.1448	63.29	63.29	36.71
	200	0.075	19.4331	19.48	82.77	17.23
	325	0.045	7.705	7.72	90.5	9.5
	400	0.038	3.5884	3.6	94.09	5.91
	500	0.025	2.4491	2.45	96.55	3.45
	Fondo	-	3.4441	3.45	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.7645</b>			
<b>ACT 5</b>	120	0.125	45.1366	45.41	45.41	54.59
	200	0.075	24.0551	24.2	69.61	30.39
	325	0.045	12.5071	12.58	82.2	17.8
	400	0.038	6.3923	6.43	88.63	11.37
	500	0.025	4.5924	4.62	93.25	6.75
	Fondo	-	6.7109	6.75	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.3944</b>			
<b>AR 1</b>	120	0.125	62.5007	63.47	63.47	36.53
	200	0.075	12.7161	12.91	76.38	23.62
	325	0.045	10.8552	11.02	87.41	12.59
	400	0.038	6.6087	6.71	94.12	5.88
	500	0.025	3.1574	3.21	97.32	2.68
	Fondo	-	2.6358	2.68	100	
		<b>Masa total</b>	<b>98.4739</b>			
<b>AR 2</b>	120	0.125	70.4758	70.93	70.93	29.07
	200	0.075	15.4286	15.53	86.45	13.55
	325	0.045	7.1435	7.19	93.64	6.36
	400	0.038	3.3255	3.35	96.99	3.01
	500	0.025	1.3641	1.37	98.36	1.64
	Fondo	-	1.628	1.64	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.3655</b>			
<b>AR 3</b>	120	0.125	80.5253	81.02	81.02	18.98
	200	0.075	9.2085	9.27	90.29	9.71
	325	0.045	4.4374	4.46	94.75	5.25
	400	0.038	3.2472	3.27	98.02	1.98
	500	0.025	1.0754	1.08	99.1	0.9
	Fondo	-	0.8945	0.9	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.3883</b>			
<b>AR TZ</b>	120	0.125	91.2459	91.5	91.5	8.5
	200	0.075	5.2728	5.29	96.79	3.21
	325	0.045	1.7652	1.77	98.56	1.44
	400	0.038	0.7461	0.75	99.31	0.69
	500	0.025	0.1579	0.16	99.47	0.53
	Fondo	-	0.5303	0.53	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.7182</b>			

Anexo 3.1. Resultados del análisis granulométrico por tamizado en seco de la zona MIN-REF

ZONA MINERAL DE LA REFORMA						
Muestra	No. Tamiz	Abertura (mm)	Masa de suelo retenido (gr)	% de suelo retenido	% masa de suelo retenido acumulado	% que pasa
AZ 1	120	0.125	77.587	78.31	78.31	21.69
	200	0.075	10.2318	10.33	88.63	11.37
	325	0.045	4.4439	4.49	93.12	6.88
	400	0.038	2.4134	2.44	95.55	4.45
	500	0.025	1.6835	1.7	97.25	2.75
	Fondo	-	2.7225	2.75	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.0821</b>			
AZ 2	120	0.125	90.4834	91.21	91.21	8.79
	200	0.075	5.7811	5.83	97.04	2.96
	325	0.045	2.0238	2.04	99.08	0.92
	400	0.038	0.0838	0.08	99.16	0.84
	500	0.025	0.3339	0.34	99.5	0.5
	Fondo	-	0.4979	0.5	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.2039</b>			
AZ 3	120	0.125	95.3571	97.07	97.07	2.93
	200	0.075	0.5245	0.53	97.61	2.39
	325	0.045	0.9808	1	98.6	1.4
	400	0.038	0.5145	0.52	99.13	0.87
	500	0.025	0.2968	0.3	99.43	0.57
	Fondo	-	0.5595	0.57	100	
		<b>Masa total</b>	<b>98.2332</b>			
AZ 3.1	120	0.125	92.6171	95.42	95.42	4.58
	200	0.075	2.6275	2.71	98.13	1.87
	325	0.045	0.7974	0.82	98.95	1.05
	400	0.038	0.3924	0.4	99.36	0.64
	500	0.025	0.2728	0.28	99.64	0.36
	Fondo	-	0.3532	0.36	100	
		<b>Masa total</b>	<b>97.0604</b>			
CAL	120	0.125	70.355	71.74	71.74	28.26
	200	0.075	15.238	15.54	87.28	12.72
	325	0.045	9.5615	9.75	97.03	2.97
	400	0.038	1.5097	1.54	98.57	1.43
	500	0.025	0.564	0.58	99.15	0.85
	Fondo	-	0.8368	0.85	100	
		<b>Masa total</b>	<b>98.065</b>			
SAU	120	0.125	75.6637	76.64	76.64	23.36
	200	0.075	13.3735	13.55	90.18	9.82
	325	0.045	7.3613	7.46	97.64	2.36
	400	0.038	0.9285	0.94	98.58	1.42
	500	0.025	0.6387	0.65	99.22	0.78
	Fondo	-	0.7667	0.78	100	
		<b>Masa total</b>	<b>98.7324</b>			
SAU R	120	0.125	71.1995	72.29	72.29	27.71
	200	0.075	12.3035	12.49	84.78	15.22
	325	0.045	5.842	5.93	90.71	9.29
	400	0.038	3.2339	3.28	94	6
	500	0.025	2.2512	2.29	96.28	3.72
	Fondo	-	3.6609	3.72	100	
		<b>Masa total</b>	<b>98.491</b>			



Anexo 3.2. Resultados del análisis granulométrico por tamizado en seco de la zona TUL-SAN.

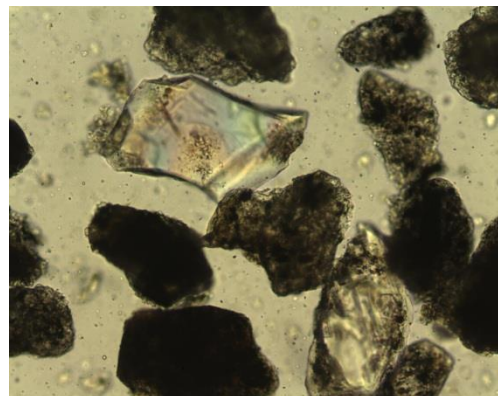
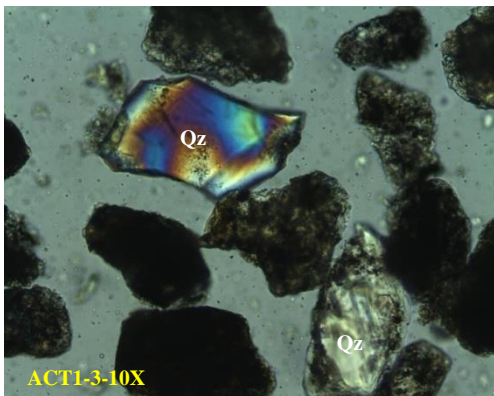
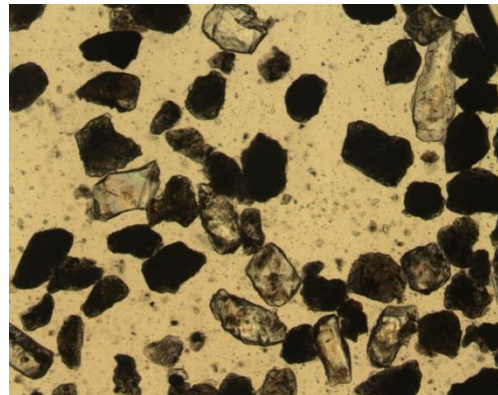
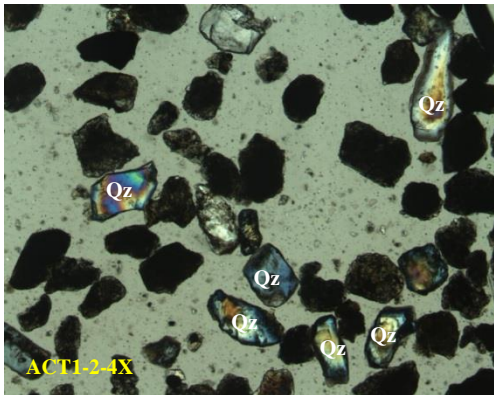
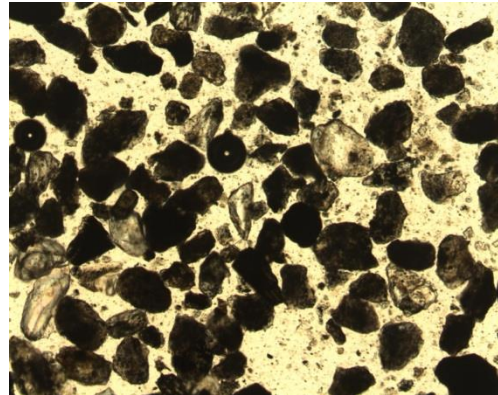
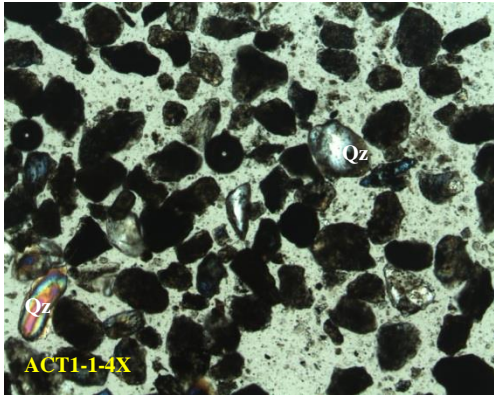
ZONA TULANCINGO-SANTIAGO						
Muestra	No. Tamiz	Abertura (mm)	Masa de suelo retenido (gr)	% de suelo retenido	% masa de suelo retenido acumulado	% que pasa
PX 1B	120	0.125	76.8195	77.47	77.47	22.53
	200	0.075	10.9597	11.05	88.52	11.48
	325	0.045	4.6158	4.65	93.18	6.82
	400	0.038	3.296	3.32	96.5	3.5
	500	0.025	2.2716	2.29	98.79	1.21
	Fondo	-	1.1956	1.21	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.1582</b>			
PX 2L	120	0.125	65.1606	65.37	65.37	34.63
	200	0.075	11.5658	11.6	76.98	23.02
	325	0.045	8.0819	8.11	85.09	14.91
	400	0.038	7.001	7.02	92.11	7.89
	500	0.025	5.9331	5.95	98.06	1.94
	Fondo	-	1.9309	1.94	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.6733</b>			
PX 3B	120	0.125	72.876	73.36	73.36	26.64
	200	0.075	9.2464	9.31	82.67	17.33
	325	0.045	8.1099	8.16	90.83	9.17
	400	0.038	8.5839	8.64	99.47	0.53
	500	0.025	0.3349	0.34	99.81	0.19
	Fondo	-	0.1884	0.19	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.3395</b>			
PX 4B	120	0.125	86.609	87.38	87.38	12.62
	200	0.075	5.964	6.02	93.4	6.6
	325	0.045	2.5685	2.59	95.99	4.01
	400	0.038	2.3447	2.37	98.35	1.65
	500	0.025	0.9476	0.96	99.31	0.69
	Fondo	-	0.684	0.69	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.1178</b>			
PX 5B	120	0.125	82.3247	82.71	82.71	17.29
	200	0.075	9.6554	9.7	92.41	7.59
	325	0.045	3.5533	3.57	95.98	4.02
	400	0.038	1.4585	1.47	97.45	2.55
	500	0.025	1.1194	1.12	98.57	1.43
	Fondo	-	1.422	1.43	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.5333</b>			
RM 1B	120	0.125	89.204	90.69	90.69	9.31
	200	0.075	5.8967	5.99	96.69	3.31
	325	0.045	1.6142	1.64	98.33	1.67
	400	0.038	0.4968	0.51	98.83	1.17
	500	0.025	0.3446	0.35	99.18	0.82
	Fondo	-	0.8049	0.82	100	
		<b>Masa total</b>	<b>98.3612</b>			
RM 3L	120	0.125	59.5584	60.14	60.14	39.86
	200	0.075	17.466	17.64	77.78	22.22
	325	0.045	8.9955	9.08	86.86	13.14
	400	0.038	4.9748	5.02	91.89	8.11
	500	0.025	2.9422	2.97	94.86	5.14
	Fondo	-	5.0931	5.14	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.03</b>			
RM 4R	120	0.125	85.0876	85.77	85.77	14.23
	200	0.075	6.7171	6.77	92.55	7.45
	325	0.045	3.0257	3.05	95.6	4.4
	400	0.038	1.3755	1.39	96.98	3.02
	500	0.025	0.921	0.93	97.91	2.09
	Fondo	-	2.0729	2.09	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.1998</b>			
TR 1L	120	0.125	42.0281	42.51	42.51	57.49
	200	0.075	16.5942	16.79	59.3	40.7
	325	0.045	14.8361	15.01	74.3	25.7
	400	0.038	8.9533	9.06	83.36	16.64
	500	0.025	5.5518	5.62	88.97	11.03
	Fondo	-	10.8997	11.03	100	
		<b>Masa total</b>	<b>98.8632</b>			

	120	0.125	79.62	80.77	80.77	19.23
	200	0.075	11.1881	11.35	92.12	7.88
<b>TR 2B</b>	325	0.045	4.1065	4.17	96.29	3.71
	400	0.038	1.3567	1.38	97.66	2.34
	500	0.025	0.895	0.91	98.57	1.43
	Fondo	-	1.4076	1.43	100	
		<b>Masa total</b>	<b>98.5739</b>			
	120	0.125	88.5942	89.33	89.33	10.67
	200	0.075	6.1814	6.23	95.56	4.44
<b>TR 3B</b>	325	0.045	2.1313	2.15	97.71	2.29
	400	0.038	0.8663	0.87	98.58	1.42
	500	0.025	0.5051	0.51	99.09	0.91
	Fondo	-	0.9018	0.91	100	
		<b>Masa total</b>	<b>99.1801</b>			
	120	0.125	68.6571	69.66	69.66	30.34
	200	0.075	10.1412	10.29	79.95	20.05
<b>TP 1L</b>	325	0.045	6.6943	6.79	86.74	13.26
	400	0.038	5.0831	5.16	91.9	8.1
	500	0.025	2.6569	2.7	94.59	5.41
	Fondo	-	5.3314	5.41	100	
		<b>Masa total</b>	<b>98.564</b>			
	120	0.125	88.253	89.44	89.44	10.56
	200	0.075	5.3448	5.42	94.86	5.14
<b>TP 2B</b>	325	0.045	1.7788	1.8	96.66	3.34
	400	0.038	1.2209	1.24	97.9	2.1
	500	0.025	0.9271	0.94	98.83	1.17
	Fondo	-	1.1499	1.17	100	
		<b>Masa total</b>	<b>98.6745</b>			
	120	0.125	84.5162	85.51	85.51	14.49
	200	0.075	7.2284	7.31	92.82	7.18
<b>TP 3BR</b>	325	0.045	2.7252	2.76	95.58	4.42
	400	0.038	2.2425	2.27	97.85	2.15
	500	0.025	0.7026	0.71	98.56	1.44
	Fondo	-	1.4253	1.44	100	
		<b>Masa total</b>	<b>98.8402</b>			

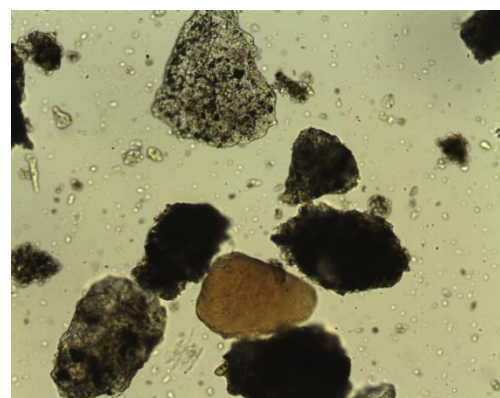
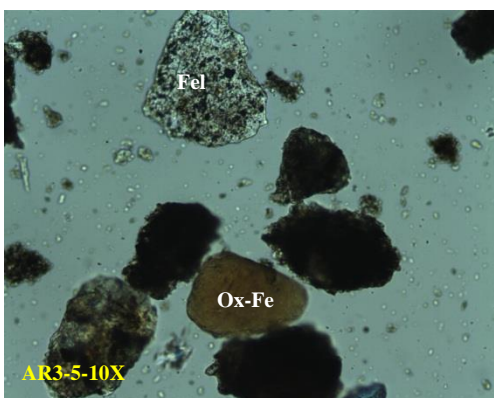
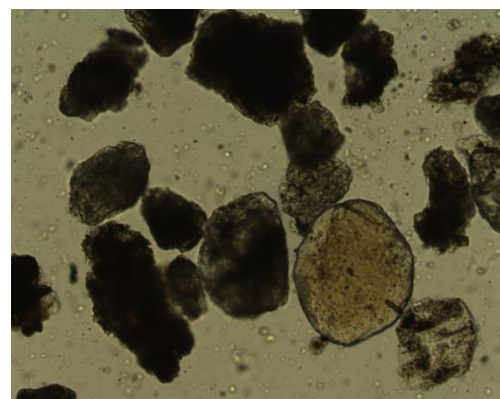
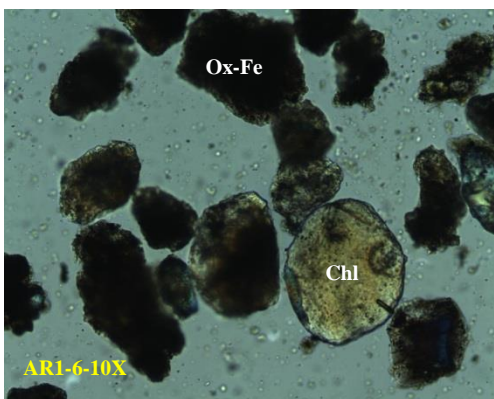
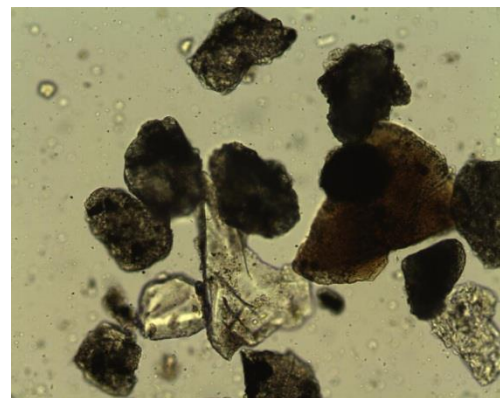
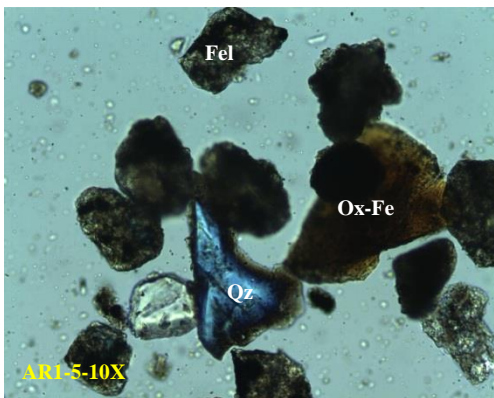
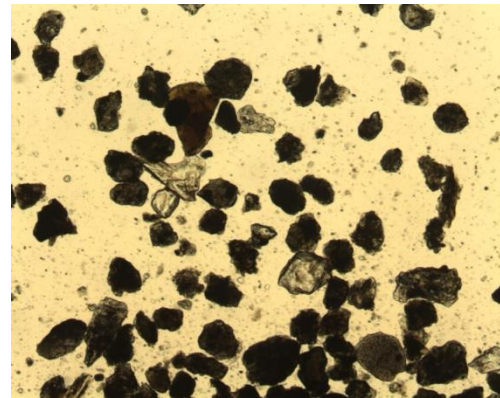
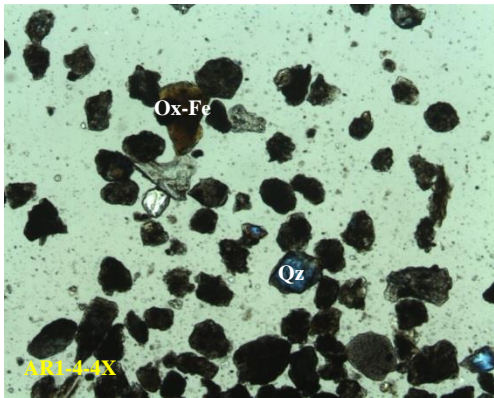
**Anexo 4. Resultados estadísticos obtenidos del análisis granulométrico por difracción laser de cada muestra de las zonas de estudio ACT-ARE, MIN-REF, y SAN-TUL.**

<b>ZONA ACTOPAN-ARENAL</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Media (µm)</b>	<b>Mediana (µm)</b>	<b>Moda (µm)</b>	<b>D.S (µm)</b>	<b>Varianza (µm)<sup>2</sup></b>
ACT 1	130.40	134.90	140.1	53.53	2866
ACT 2	45.96	43.60	60.5	24.88	619
ACT 3	98.23	103.90	116.3	50.01	2501
ACT 4	102.70	105.20	116.3	48.88	2389
ACT 5	96.43	98.91	105.9	46.12	2127
AR 1	93.07	97.18	116.3	48.75	2377
AR 2	112.30	115.70	127.6	50.83	2584
AR 3	96.41	101.70	116.3	52.92	2800
AR TZ	132.20	132.30	140.1	45.99	2115
<b>Promedio</b>	<b>100.86</b>	<b>103.71</b>	<b>115.49</b>	<b>46.88</b>	<b>2264.23</b>
<b>ZONA MINERAL DE LA REFORMA</b>					
AZ 1	96.78	100.10	116.3	54.03	2919
AZ 2	104.80	108.20	127.6	50.71	2571
AZ 3	83.31	83.75	105.9	45.65	2084
AZ 3.1	93.27	94.39	105.9	47.98	2303
CAL 1	104.80	104.00	116.3	63.62	4047
SAU	92.25	95.97	116.3	53.02	2811
SAU R	108.50	113.50	127.6	53.77	2892
<b>Promedio</b>	<b>97.67</b>	<b>99.99</b>	<b>116.56</b>	<b>52.68</b>	<b>2803.86</b>
<b>ZONA TULANCINGO-SANTIAGO</b>					
PX 1B	95.25	99.39	116.3	53.65	2878
PX 2L	91.23	97.84	105.9	47.89	2293
PX 3B	91.22	99.22	127.6	53.46	2858
PX 4B	92.36	97.82	127.6	55.01	3026
PX 5B	93.59	98.44	116.3	52.75	2783
TR 1L	94.10	97.68	105.9	47.10	2219
TR 2B	92.79	98.66	127.6	51.64	2667
TR 3B	74.27	75.75	116.3	52.12	2717
TP 1L	84.27	88.50	116.3	49.48	2448
TP 2B	87.01	93.05	127.6	55.43	3072
TP 3BR	80.36	83.33	116.3	52.97	2806
RM 1B	98.82	102.60	127.6	52.25	2730
RM 3L	89.44	92.09	105.9	47.55	2261
RM 4R	86.89	93.57	116.3	50.52	2552
<b>Promedio</b>	<b>89.40</b>	<b>94.14</b>	<b>118.11</b>	<b>51.56</b>	<b>2665.00</b>

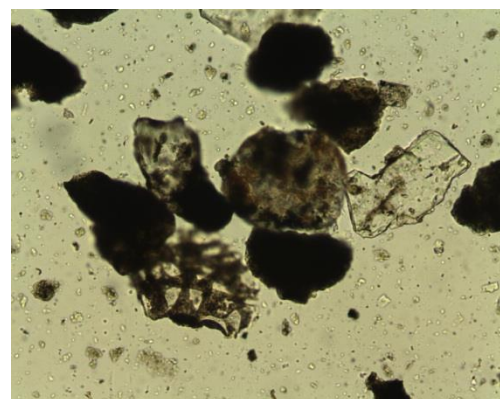
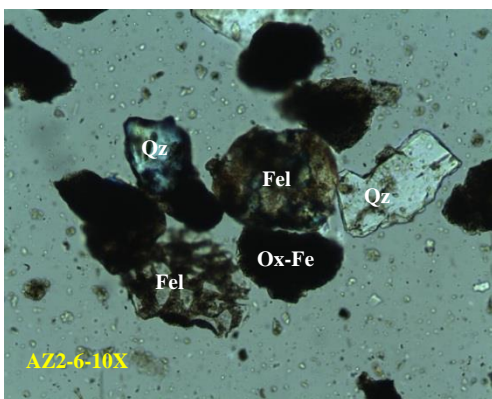
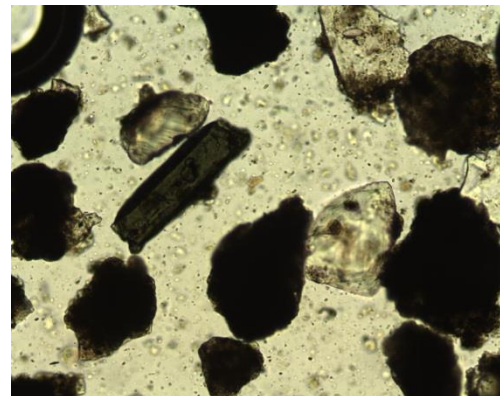
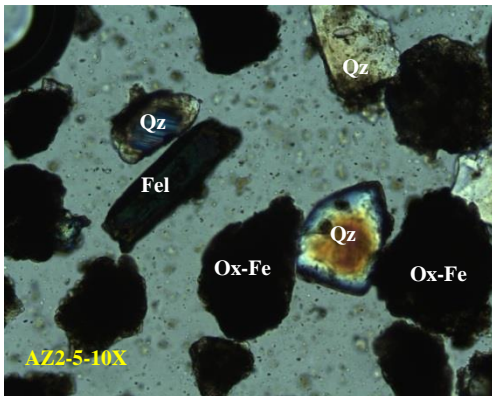
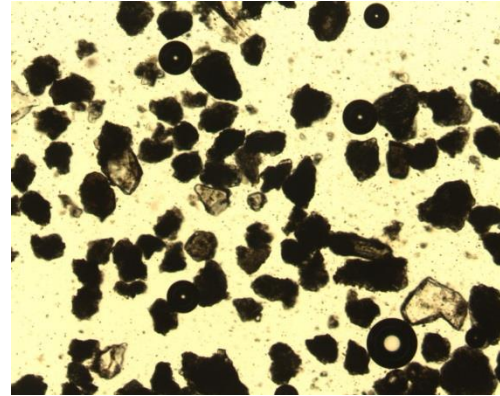
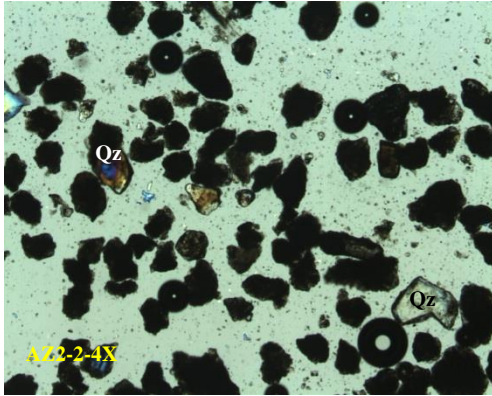
Anexo 5. Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas anhedrales de cuarzo (Qz), feldespatos (Fel), plagioclasas (Pla) y óxidos de hierro (Ox-Fe) de la zona ACT-ARE, nicoles cruzados y paralelos , objetivo 4x y 10x, campo horizontal de la fotografía 2.00 y 0.98 mm respectivamente.



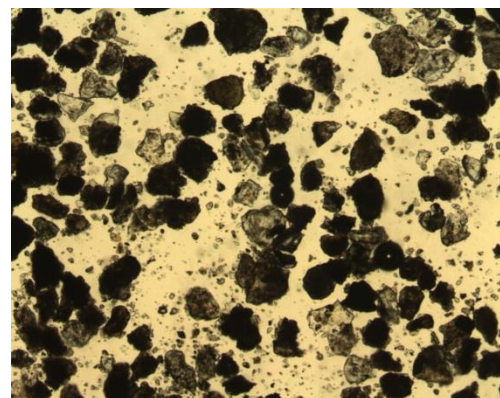
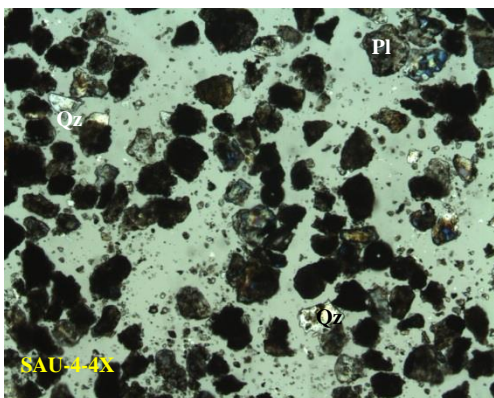
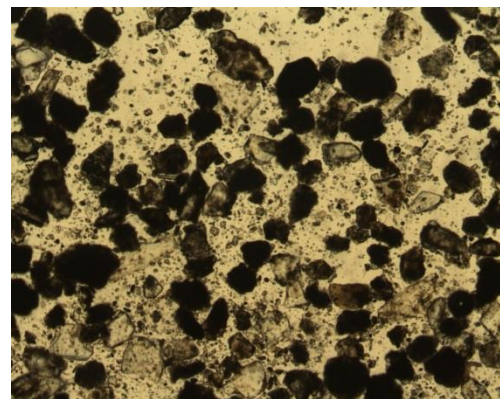
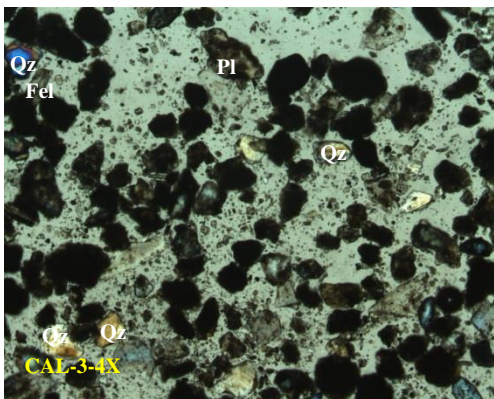
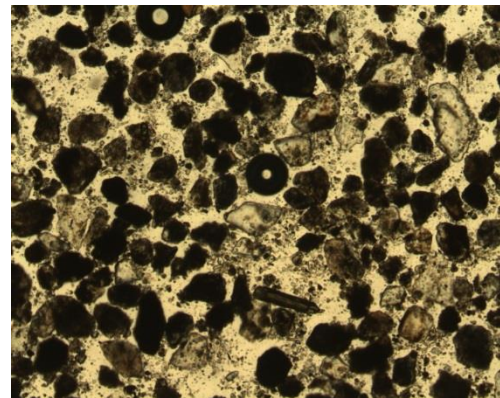
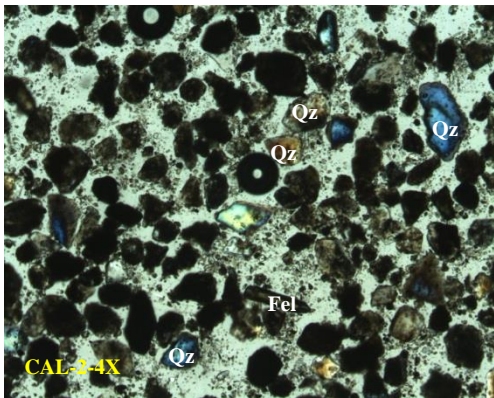
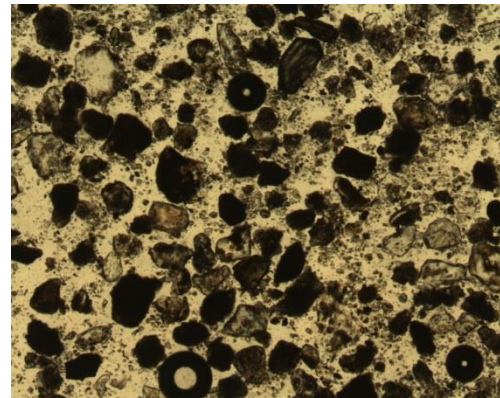
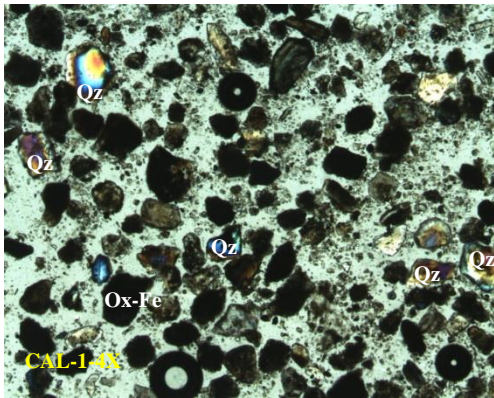
Continuación



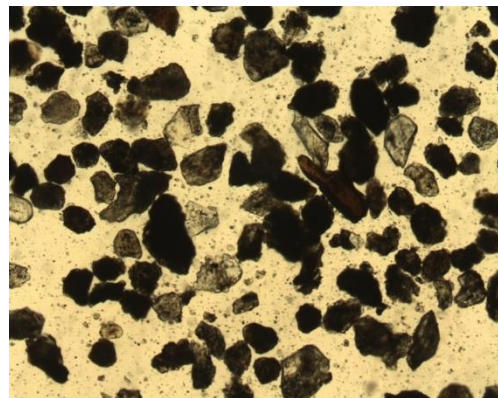
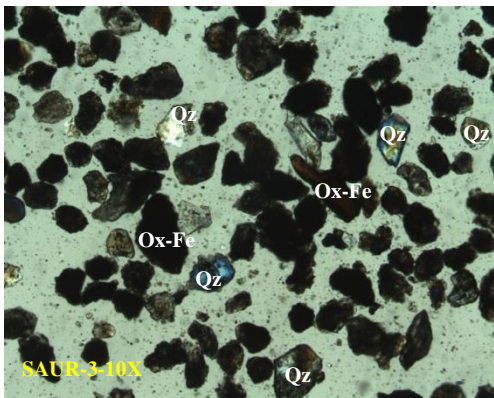
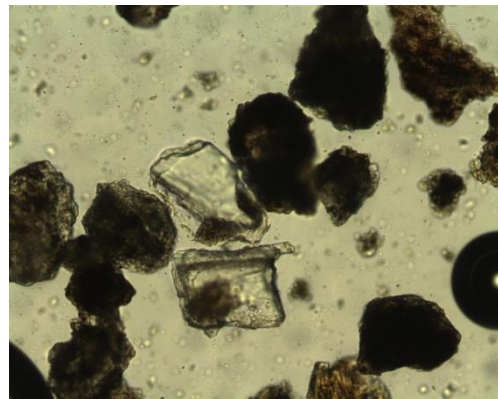
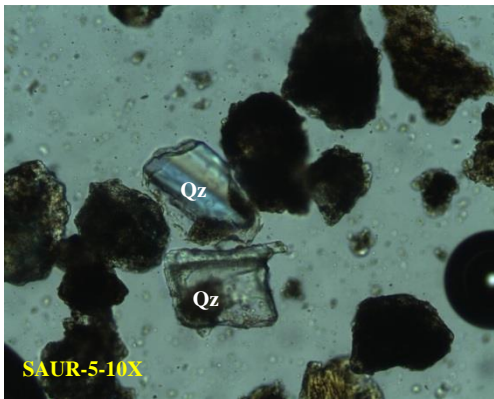
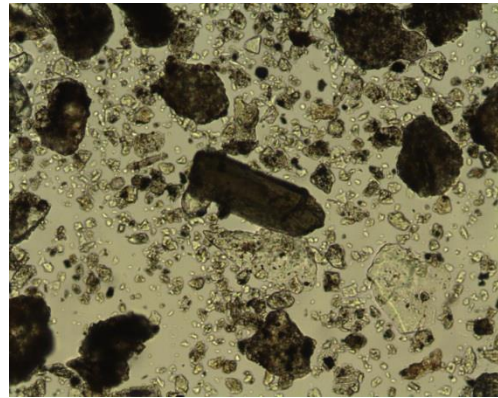
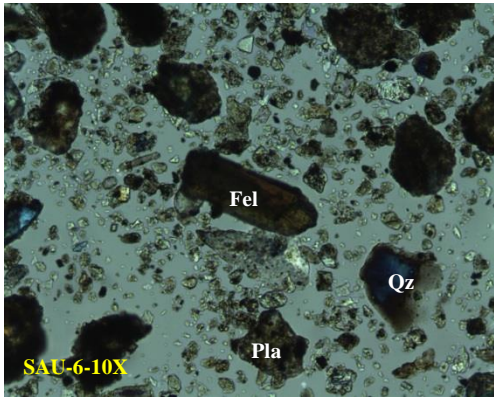
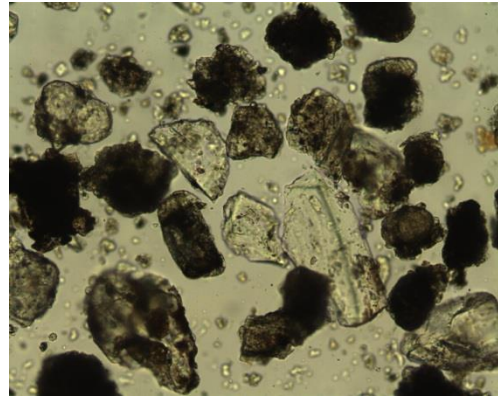
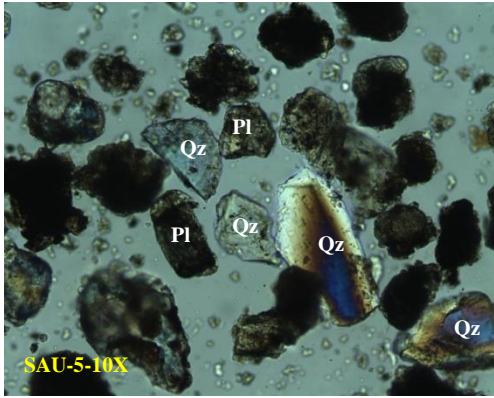
Anexo 5.1. Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas anhedrales de cuarzo (Qz), feldspatos (Fel), plagioclasas (Pla) y óxidos de hierro (Ox-Fe) de la zona MIN-REF, nicoles cruzados y paralelos , objetivo 4x y 10x, campo horizontal de la fotografía 2.00 y 0.98 mm, respectivamente.



Continuación

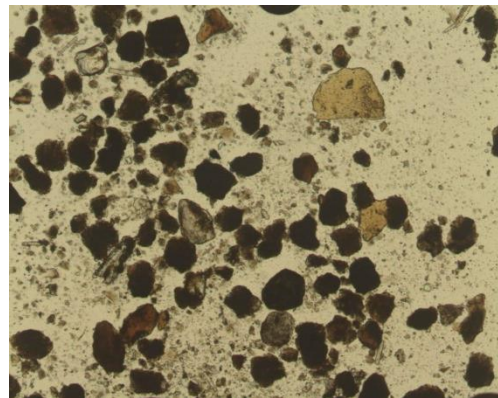
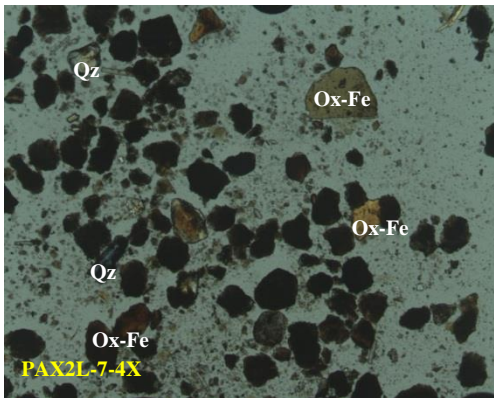
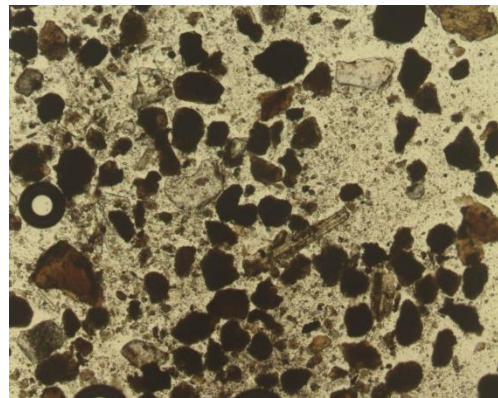
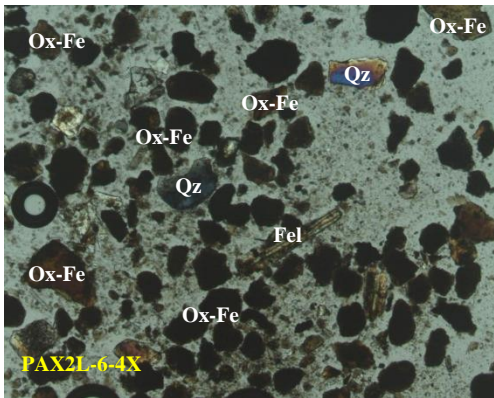
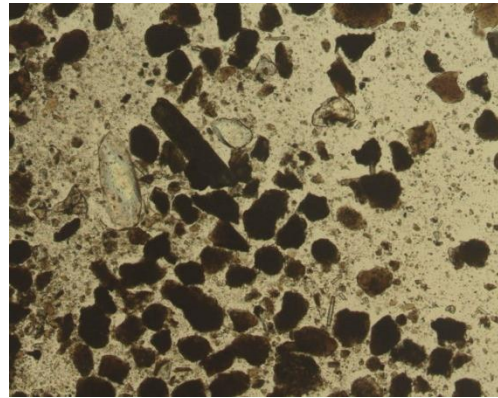
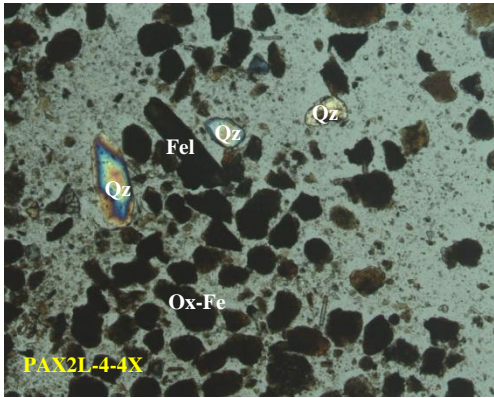


Continuación

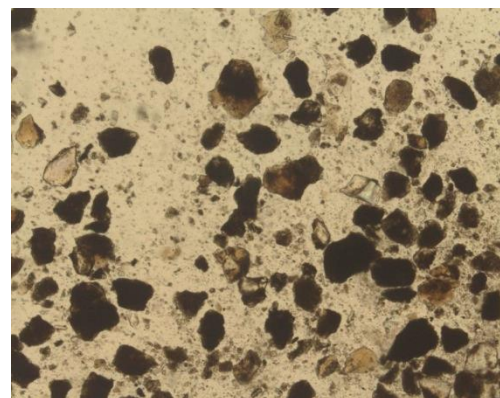
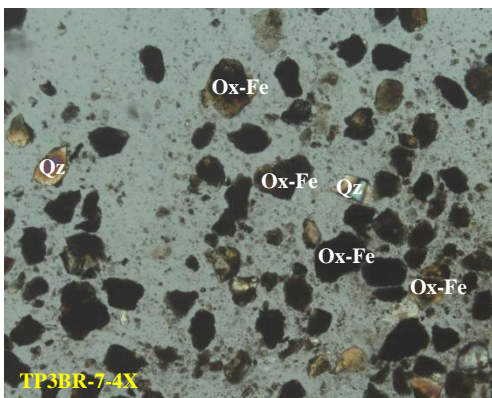
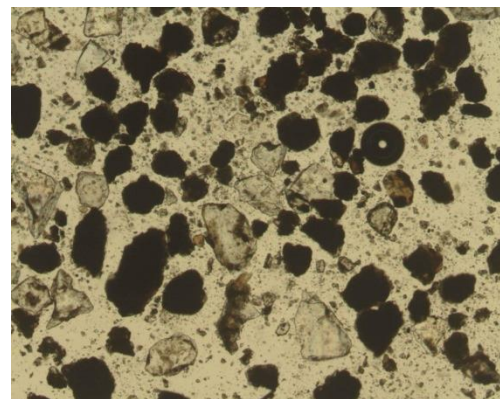
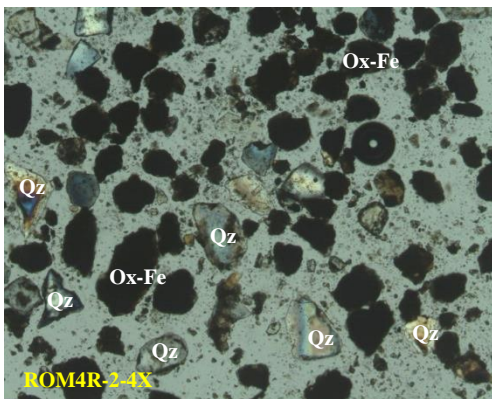
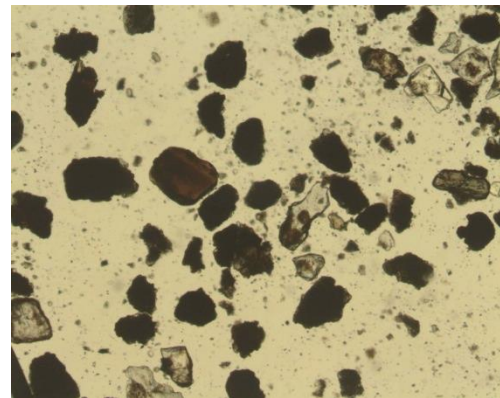
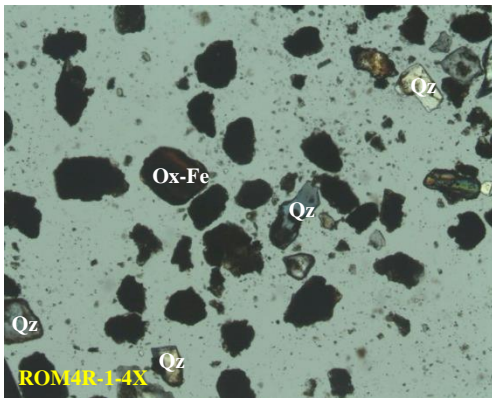
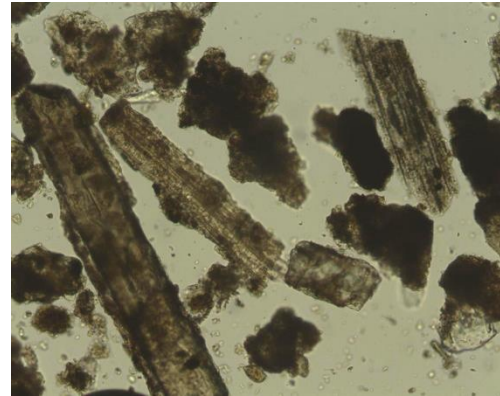
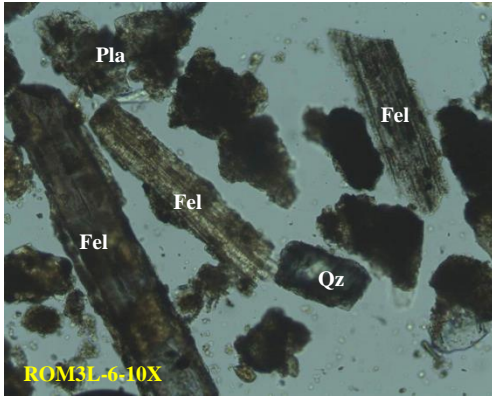




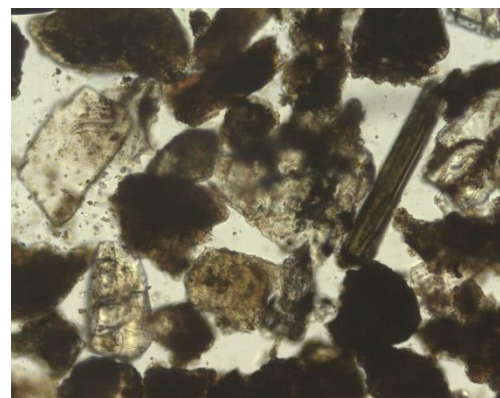
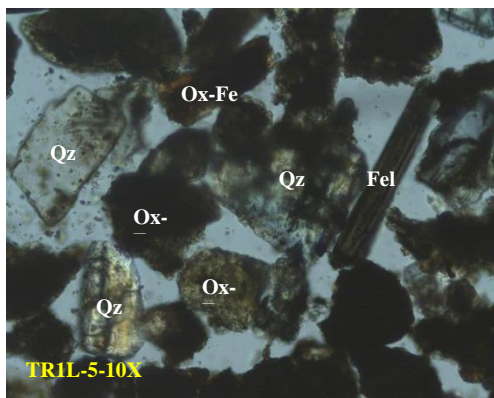
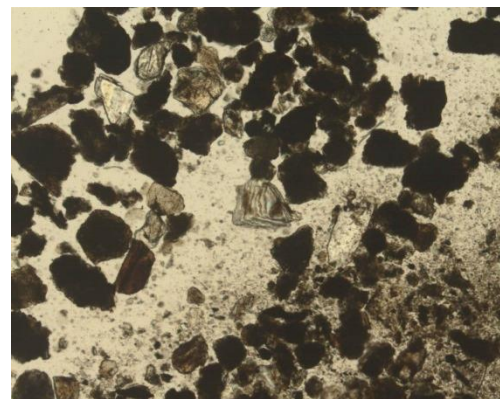
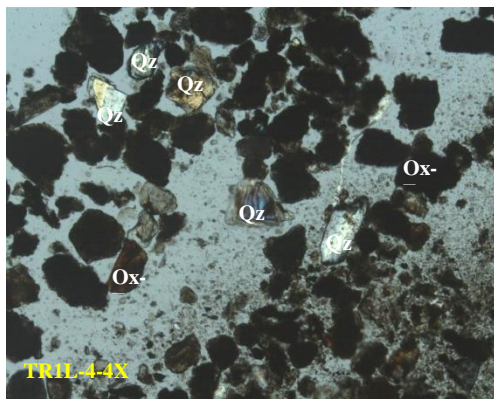
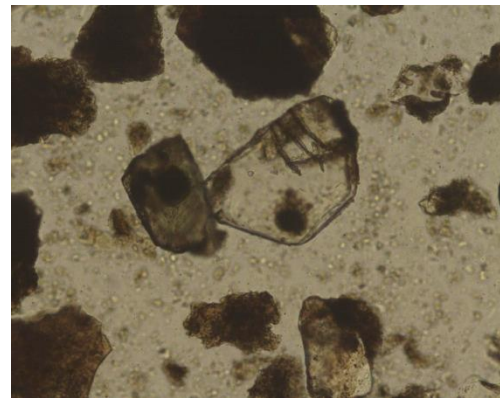
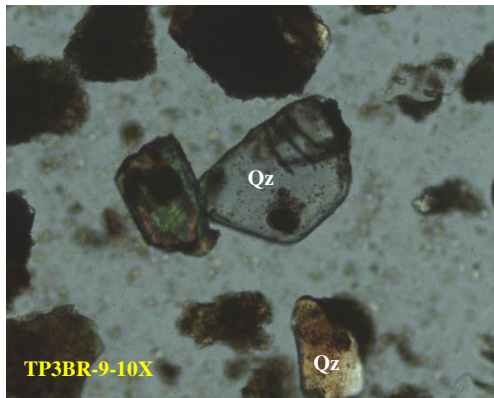
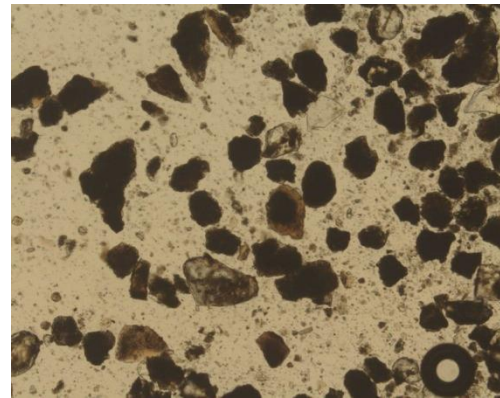
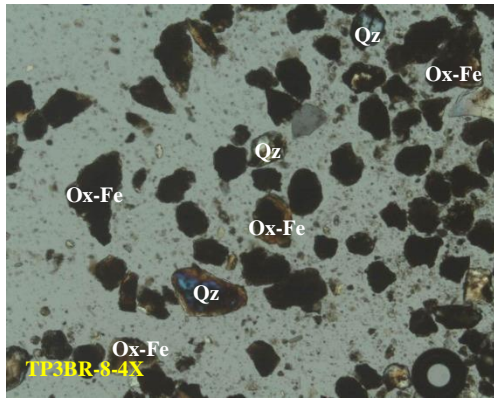
Anexo 5.2. Fotomicrografías al microscopio óptico de polarización con luz transmitida (MOP-LT), mostrando partículas anhedrales de cuarzo (Qz), feldspatos (Fel), plagioclasas (Pla) y óxidos de hierro (Ox-Fe) de la zona TUL-SAN, nicoles cruzados y paralelos , objetivo 4x y 10x, campo horizontal de la fotografía 2.00 y 0.98 mm, respectivamente.



Continuación



Continuación



**Anexo 6. Análisis por difracción de rayos X (DRX), presenta fases minerales mayoritarias, minoritarias e indicios, de las muestras de la zona ACT-ARE.**

<b>ZONA ACTOPAN-ARENAL</b>												
<b>MUNICIPIO ACTOPAN</b>												
<b>LOCALIDAD EL MEJE</b>												
<b>Muestra</b>	<b>Mineralogía</b>	<b>F. May</b>	<b>F. Min</b>	<b>Ind.</b>	<b>d1</b>	<b>I/I1</b>	<b>d2</b>	<b>I/I2</b>	<b>d3</b>	<b>I/I3</b>	<b>d4</b>	<b>I/I4</b>
<b>ACT 1</b>	Cuarzo	X			3.3447	100.0	4.2555	20.2	1.8182	7.3	1.5414	4.5
	Albita		X		3.1999	22.7	3.7639	10.0	3.2298	6.7	4.0406	12.9
	Cristobalita		X		4.0406	12.9	2.4569	4.9	2.8455	1.7	3.1426	7.2
	Hematita			X	2.7023	4.3	2.5212	4.9	1.6958	1.3	1.8763	0.7
	Nontronita			X	15.2138	24.9	4.5583	7.3	-	-	-	-
<b>ACT 2</b>	Cuarzo	X			3.3481	100.0	4.2637	23.9	1.8194	8.4	1.5426	6.2
	Albita		X		3.1891	23.3	3.7641	15.9	3.2167	29.4	4.0513	27.0
	Cristobalita		X		4.0513	27.0	2.4589	5.8	2.8443	3.8	3.1435	6.2
	Hematita			X	2.7044	4.2	2.5227	10.7	1.6725	1.4	1.8420	9.0
	Nontronita			X	15.3859	18.8	4.5008	11.2	-	-	-	-
<b>ACT 3</b>	Cuarzo	X			3.3475	100.0	4.2618	25.8	1.8187	9.0	1.5419	5.8
	Albita		X		3.2041	23.7	3.7638	17.1	3.2058	25.1	4.0441	13.4
	Cristobalita		X		4.0441	13.4	2.4857	2.2	2.8461	2.5	3.1473	3.3
	Hematita			X	2.7035	2.0	2.5228	7.1	1.6722	2.4	1.8288	1.7
	Nontronita			X	15.2861	8.1	4.5439	7.8	-	-	-	-
<b>LOCALIDAD ACTOPAN</b>												
<b>ACT 4</b>	Andesina	X			3.2099	100.0	3.1829	40.1	4.0465	14.7	3.7564	11.0
	Albita		X		3.1829	40.1	3.7564	11.0	3.2099	100.0	4.0465	14.7
	Cristobalita		X		4.0464	14.7	2.4490	0.6	2.8404	3.6	3.1378	6.9
	Cuarzo			X	3.3472	4.5	4.2546	2.0	1.7951	1.9	1.5419	1.0
	Hematita			X	2.7009	1.2	2.5189	5.2	1.6722	0.6	1.8329	1.2
	Nontronita			X	15.3632	12.6	4.5435	1.4	-	-	-	-
<b>ACT 5</b>	Andesina	X			3.2122	100.0	3.1860	48.4	4.0497	50.0	3.7601	37.1
	Albita		X		3.1860	48.4	3.7601	37.1	3.2122	100.0	4.0497	50.0
	Cristobalita		X		4.0497	50.0	2.4944	6.3	2.8407	12.6	3.1393	25.1
	Hematita			X	2.7021	4.1	2.5228	18.2	1.6951	1.2	1.8473	1.4
	Nontronita			X	15.4625	20.4	4.4548	15.3	-	-	-	-
<b>MUNICIPIO ARENAL</b>												
<b>LOCALIDAD ARENAL</b>												
<b>AR 1</b>	Cuarzo	X			3.2917	100.0	-	-	1.8147	28.7	1.5362	20.8
	Albita	X			3.1623	78.2	3.6494	46.6	3.2917	100.0	4.0762	52.1
	Ortoclasa	X			3.1623	78.2	4.0762	52.1	3.8874	45.2	-	-
	Tridimita		X		-	-	4.0762	52.1	3.8874	45.2	3.2917	100.0
	Hematita		X		2.6967	24.6	2.5298	37.1	1.6819	13.5	1.8147	28.7
	Illita			X	10.2109	34.0	-	-	3.1623	78.2	2.5298	37.1
	Kaolinita			X	-	-	1.4897	17.7	3.6494	46.6	-	-
<b>AR 2</b>	Cuarzo	X			3.2854	100.0	-	-	1.8064	16.3	1.5337	10.3
	Albita	X			3.1421	76.8	3.6369	36.5	3.2854	100.0	4.0500	40.0
	Tridimita		X		-	-	4.0500	40.0	3.8866	30.7	3.2856	100.0
	Ortoclasa	X			3.1421	76.8	4.0500	40.0	3.8866	30.7	-	-
	Hematita			X	2.6799	10.9	2.5119	24.4	1.5337	10.3	1.8064	16.3
	Illita			X	10.2419	28.3	4.7085	19.4	3.2854	100.0	2.5119	24.4

Muestra	Mineralogía	F. May	F. Min	Ind.	d1	I/I1	d2	I/I2	d3	I/I3	d4	I/I4
<b>AR 3</b>	Cuarzo	X			3.2929	100.0	-	-	1.8111	23.5	1.5326	22.3
	Albita	X			3.1636	74.4	3.6450	48.7	3.2929	100.0	4.0820	52.9
	Cristobalita		X		4.0820	52.9	2.4517	33.1	2.8353	31.3	3.1636	74.4
	Tridimita		X		-	-	4.0820	52.9	3.8983	46.5	3.2929	100.0
	Hematita			X	2.6981	25.6	2.5344	38.0	1.6622	15.6	1.8111	23.5
	Illita			X	10.3237	35.1	-	-	3.2929	100.0	2.5344	38.0
	Kaolinita			X	-	-	1.4901	18.1	3.6450	24.4	1.6270	12.6
<b>AR TZ</b>	Albita	X			3.1346	100.0	3.8538	50.6	3.2868	40.9	4.2063	43.4
	Ortoclasa		X		3.2968	40.9	3.8538	50.6	4.2063	43.4	3.1346	100.0
	Hematita		X		2.6649	37.1	2.4933	55.3	1.6844	20.7	1.8563	18.9
	Kaolinita			X	-	-	1.5054	22.0	3.6000	52.4	1.6090	19.9

**Anexo 6.1. Análisis por difracción de rayos X (DRX), presenta fases minerales mayoritarias, minoritarias e indicios, de las muestras de la zona MIN-REF.**

<b>ZONA MINERAL DE LA REFORMA</b>												
<b>MUNICIPIO MINERAL DE LA REFORMA</b>												
<b>LOCALIDAD AZOYATLA</b>												
<b>Muestra</b>	<b>Mineralogía</b>	<b>F. May</b>	<b>F. Min</b>	<b>Ind.</b>	<b>d1</b>	<b>I/I1</b>	<b>d2</b>	<b>I/I2</b>	<b>d3</b>	<b>I/I3</b>	<b>d4</b>	<b>I/I4</b>
<b>AZ 1</b>	Cuarzo	X			3.3059	100.0	4.2213	44.1	1.8111	18.1	1.5372	20.0
	Albita	X			3.1584	70.1	3.7649	34.4	3.2974	100.0	4.0723	52.4
	Tridimita		X		4.3999	28.8	4.0723	52.4	3.7649	34.4	3.2974	100.0
	Hematita			X	2.6812	20.3	2.5408	30.8	1.6682	13.3	1.8636	12.1
	Kaolinita			X	-	-	1.4906	16.9	3.5617	38.7	-	-
<b>AZ 2</b>	Ortoclasa	X			3.2783	100.0	3.7462	34.1	4.1806	40.9	3.1473	70.1
	Cuarzo		X		3.3824	35.1	4.1806	40.9	1.8052	20.7	1.5316	20.4
	Albita	X			3.1473	70.1	3.7462	34.1	3.2783	100.0	4.0487	49.7
	Tridimita		X		4.3735	26.9	4.1806	40.9	3.8799	38.9	3.2783	100.0
	Hematita			X	2.7374	21.2	2.5174	32.2	1.6831	13.9	1.8663	13.7
	Kaolinita			X	7.1418	19.1	1.4863	19.3	3.5544	39.2	-	-
<b>AZ 3</b>	Ortoclasa	X			3.2898	100.0	3.6446	34.1	4.1821	43.0	-	-
	Cuarzo				-	-	4.1821	43.1	1.8090	17.9	1.5348	18.6
	Albita		X		3.1626	45.4	3.6446	34.1	3.2898	100.0	4.0603	48.9
	Tridimita		X		-	-	4.0603	48.9	3.8950	39.6	3.2898	100.0
	Illita			X	10.1266	23.9	4.4868	23.4	3.2898	100.0	2.5434	29.7
	Hematita			X	2.7095	18.5	2.5434	29.7	1.6766	15.5	1.8414	11.5
	Kaolinita			X	-	-	1.4872	19.7	3.5736	34.7	-	-
<b>LOCALIDAD SAUCILLO</b>												
<b>SAU</b>	Cuarzo	X			3.3012	100.0	-	-	1.8175	16.9	1.5429	12.8
	Albita		X		3.1727	19.0	3.6704	18.3	3.3012	100.0	4.0700	34.8
	Tridimita		X		-	-	4.0700	34.8	3.8960	15.2	3.1727	19.0
	Hematita			X	2.9328	6.4	2.5664	8.3	1.6696	5.5	1.8175	16.9
<b>SAU R</b>	Cuarzo	X			3.3077	100.0	-	-	1.8133	15.7	1.5389	9.3
	Albita		X		3.1705	21.5	3.6817	9.1	3.3077	100.0	4.0876	25.3
	Tridimita		X		4.0876	25.3	-	-	3.9203	8.9	3.3077	100.0
	Hematita			X	-	-	2.5212	4.3	1.6674	5.1	1.8133	15.7
<b>LOCALIDAD CALERA</b>												
<b>CAL</b>	Cuarzo	X			3.3035	100.0	4.2139	30.4	1.8166	26.4	1.5396	25.3
	Albita	X			3.1786	71.6	3.6604	40.1	-	-	4.0735	43.2
	Cristobalita		X		4.0735	43.2	2.4547	29.8	2.8297	30.6	3.1786	71.6
	Hematita			X	2.6958	20.5	2.5203	36.2	1.6930	17.2	1.8478	18.0

**Anexo 6.2. Análisis por difracción de rayos X (DRX), presenta fases minerales mayoritarias, minoritarias e indicios, de las muestras de la zona TUL-SAN.**

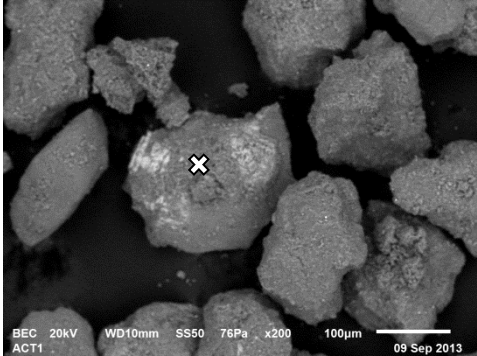
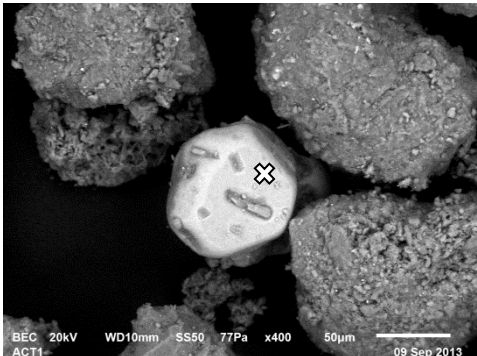
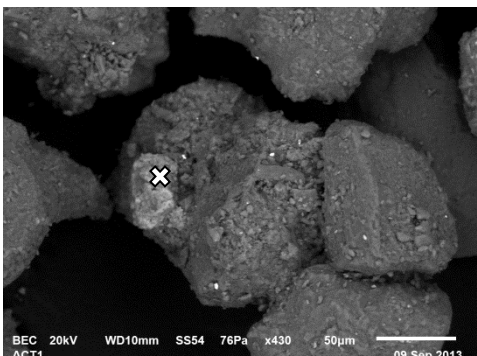
<b>ZONA TULANCINGO-SANTIAGO</b>												
<b>MUNICIPIO TULANCINGO</b>												
<b>LOCALIDAD RAYUELA</b>												
<b>Muestra</b>	<b>Mineralogía</b>	<b>F. May</b>	<b>F. Min</b>	<b>Ind.</b>	<b>d1</b>	<b>I/I1</b>	<b>d2</b>	<b>I/I2</b>	<b>d3</b>	<b>I/I3</b>	<b>d4</b>	<b>I/I4</b>
<b>TR 1L</b>	Albita	X			3.1826	100.0	3.7513	23.1	3.2105	88.5	4.0463	56.0
	Cuarzo	X			3.3427	79.4	4.2548	37.9	1.8177	7.3	1.5416	2.9
	Cristobalita	X			4.0463	56.0	2.4907	5.5	2.8385	14.4	3.1359	35.1
	Tridimita			X	4.0872	27.3	4.3007	15.6	3.7951	8.7	3.2105	88.5
	Kaolinita			X	7.1703	20.7	1.4882	4.8	3.5501	20.9	-	-
	Ferrotschermakita			X	8.4232	11.3	2.5662	7.5	3.1359	35.1	-	-
	Halloysita			X	4.4464	13.4	-	-	3.6371	10.4	1.4882	4.8
	Hematita			X	2.6563	4.6	2.5214	18.4	-	-	1.8476	2.8
<b>TR 2B</b>	Albita	X			3.1891	100.0	3.7605	14.3	3.2149	34.8	4.0550	26.1
	Cuarzo		X		3.3499	23.9	4.2709	15.7	1.8194	2.9	1.5427	2.8
	Cristobalita		X		4.0550	26.1	2.4582	3.5	2.8440	6.8	3.1387	8.8
	Kaolinita			X	7.1703	15.7	1.4881	5.5	3.5618	16.9	-	-
	Hematita			X	2.6564	4.8	2.5288	8.9	1.7175	1.3	1.8332	2.3
	Ferrotschermakita			X	8.4505	10.2	2.5682	5.4	3.1321	4.8	-	-
	Halloysita			X	4.4569	11.3	7.2649	2.3	3.6499	4.2	1.4915	6.7
	Montmorillonita			X	-	-	4.5024	8.2	-	-	3.0233	3.1
<b>TR 3B</b>	Cristobalita	X			4.0521	100.0	2.4811	12.8	2.8474	3.4	3.1220	17.5
	Cuarzo	X			3.3480	75.2	4.2599	58.1	1.8145	1.8	1.5431	5.8
	Andesina	X			3.2154	60.4	3.1901	19.4	4.0521	100.0	3.7634	29.4
	Albita		X		3.1901	19.4	3.7634	29.4	3.2154	60.4	4.0521	100.0
	Tridimita		X		4.3187	24.8	4.1033	25.5	3.8179	9.5	3.2538	33.5
	Kaolinita			X	7.2509	13.3	1.4898	8.5	3.6099	13.6	1.6213	2.0
	Hematita			X	2.7066	2.4	2.5256	22.1	1.6918	6.3	1.8404	0.9
	Ferrotschermakita			X	8.4279	16.5	2.5621	10.7	3.1044	1.5	-	-
	Halloysita			X	4.4209	28.5	-	-	3.6459	16.8	1.4898	8.4
	<b>LOCALIDAD PRESA LA ESPERANZA</b>											
<b>TP 1L</b>	Cuarzo	X			3.3455	100.0	4.2584	42.0	1.8189	10.1	1.5423	7.5
	Albita	X			3.1830	62.1	3.7586	38.6	3.2146	77.0	4.0512	72.8
	Cristobalita	X			4.0512	72.8	2.4924	14.5	2.8443	10.9	3.1372	19.2
	Tridimita		X		4.3108	25.5	4.0512	72.8	3.8039	15.1	3.2146	77.0
	Andesina	X			3.2146	77.0	3.1830	62.1	4.0512	72.8	3.7586	38.6
	Halloysita		X		4.4588	33.1	7.5416	5.3	3.6435	22.9	1.4831	4.7
	Kaolinita			X	7.2099	9.4	1.4920	10.4	3.5733	13.9	1.6202	2.6
	Hematita			X	2.6961	1.4	2.5246	19.1	1.6955	4.4	1.8357	2.5
	Nontronita			X	1.5152	1.6	15.5164	22.1	4.5686	5.8	-	-
	Ferrotschermakita			X	8.4361	4.6	2.5649	13.4	3.1372	19.2	-	-
<b>TP 2B</b>	Cristobalita	X			4.0504	100.0	2.4827	10.5	2.8425	9.1	3.1428	18.9
	Andesina	X			3.2141	99.9	3.1881	71.1	4.0504	100.0	3.7613	59.5
	Albita	X			3.1881	71.1	3.7613	59.5	3.2141	99.9	4.0504	100.0
	Cuarzo	X			3.3474	58.7	4.2591	50.3	1.8194	8.6	1.5433	4.8
	Hematita			X	2.7019	2.4	2.5239	26.8	1.6930	5.3	1.8413	1.7
	Halloysita		X		4.4463	50.0	7.4778	9.7	3.5963	25.2	1.4881	11.3
	Ferrotschermakita			X	8.4149	15.3	2.5570	13.6	3.1141	8.4	-	-
	Kaolinita			X	-	-	1.4917	15.5	3.5792	23.5	1.6212	3.3
	Montmorillonita			X	15.0641	10.3	4.4710	49.1	5.1084	1.7	-	-

Muestra	Mineralogía	F. May	F. Min	Ind.	d1	I/I1	d2	I/I2	d3	I/I3	d4	I/I4
<b>TP 3BR</b>	Andesina	X			3.2165	100.0	3.1844	75.7	4.0517	34.6	3.7621	14.2
	Albita	X			3.1844	75.7	3.7621	14.2	3.2165	100.0	4.0517	34.6
	Cuarzo		X		3.3469	41.6	4.2573	20.2	1.8201	7.8	1.5436	4.4
	Cristobalita		X		4.0517	34.6	2.4754	4.0	2.8468	4.9	3.1430	15.5
	Tridimita		X		4.3100	15.2	4.0927	36.4	3.8086	8.2	3.2490	13.0
	Hematita			X	2.7055	1.8	2.5253	11.8	1.6931	3.0	1.8495	1.2
	Ferrotschermakita			X	8.4107	19.1	2.5676	6.1	3.1162	4.9	-	-
	Halloysita			X	4.4398	16.6	7.5778	5.2	3.6448	11.3	1.4811	2.5
<b>MUNICIPIO SANTIAGO TULANTEPEC</b>												
<b>LOCALIDAD PAXTEPEC</b>												
<b>PX 1B</b>	Albita	X			3.1819	100.0	3.7567	10.6	3.2150	37.8	4.0537	31.5
	Cuarzo	X			3.3433	63.2	4.2584	34.6	1.8117	6.6	1.5413	3.9
	Tridimita		X		4.0786	29.9	4.3016	13.8	3.8027	3.1	3.2147	20.9
	Hematita			X	2.7081	2.0	2.5219	6.5	1.6936	2.2	1.8293	1.9
	Halloysita			X	4.4355	11.6	7.2873	6.7	3.6424	6.3	1.4913	3.8
	Ferrotschermakita			X	8.4061	14.6	2.5664	3.9	3.1391	7.6	-	-
	Montmorillonita			X	-	-	4.2584	34.6	-	-	3.0145	2.3
<b>PX 2L</b>	Cuarzo	X			3.3494	100.0	4.2585	45.5	1.8178	7.4	1.5421	6.0
	Albita	X			3.1819	80.0	3.7542	24.2	3.2125	43.2	4.0497	48.2
	Cristobalita		X		4.0497	48.2	2.4894	11.8	2.8442	6.9	3.1402	15.5
	Tridimita		X		4.3008	16.5	4.0911	17.6	3.8112	6.8	3.2125	43.2
	Halloysita			X	4.4480	16.2	7.2912	7.4	3.6448	20.8	1.4878	5.2
	Hematita			X	2.7013	2.9	2.5209	11.5	1.6728	4.9	1.8762	2.2
	Ferrotschermakita			X	8.3982	7.0	2.5616	6.1	3.1142	4.5	-	-
<b>PX 3B</b>	Cuarzo	X			3.3471	100.0	4.2627	29.1	1.8186	5.9	1.5419	4.9
	Albita		X		3.1887	23.3	3.7580	13.6	3.2147	55.3	4.0535	51.5
	Cristobalita		X		4.0535	51.5	2.4909	6.5	2.8462	5.1	3.1425	7.1
	Tridimita		X		4.3090	11.2	4.0868	14.5	3.8128	3.9	3.2435	11.0
	Hematita			X	2.6682	12.3	2.5231	8.2	1.6718	2.6	1.8293	1.8
	Halloysita			X	4.4408	8.6	7.2470	4.3	3.6476	6.3	1.4892	3.8
	Montmotillonita			X	-	-	4.4445	8.4	-	-	3.0110	3.2
	Ferrotschermakita			X	-	-	2.5646	3.8	3.1425	7.1	-	-
<b>PX 4B</b>	Albita	X			3.1821	100.0	3.7600	32.6	3.2162	42.9	4.0542	76.8
	Cuarzo	X			3.3452	99.6	4.2592	56.9	1.8174	9.6	1.5420	8.0
	Cristobalita	X			4.0542	76.8	2.4579	12.9	2.8461	4.7	3.1401	28.8
	Tridimita		X		4.3041	36.7	4.0542	76.8	3.7600	32.6	3.2364	16.7
	Hematita			X	2.6666	29.0	2.5219	19.8	1.6299	26.2	1.7812	23.4
	Ferrotschermakita			X	-	-	2.5671	13.1	3.1402	28.8	-	-
<b>PX 5B</b>	Cuarzo	X			3.3477	100.0	4.2632	36.5	1.8189	9.6	1.5400	2.4
	Albita		X		3.1916	10.3	3.7605	12.4	3.2195	21.1	4.0542	51.1
	Tridimita		X		4.0947	18.8	4.3038	10.5	3.8109	3.4	3.2417	7.9
	Cristobalita		X		4.0542	51.1	2.4921	7.2	2.8445	7.8	3.1460	5.5
	Halloysita			X	4.4440	10.3	7.2463	4.7	3.6481	5.9	-	-
	Hematita			X	2.7054	3.6	2.5230	9.0	1.6946	1.9	1.7920	2.1
	Ferrotschermakita			X	8.4498	5.5	2.7054	3.6	2.5632	5.2	-	-
<b>LOCALIDAD ROMEROS</b>												
<b>RM 1B</b>	Cuarzo	X			3.3455	100.0	4.2620	34.1	1.8180	4.5	1.5417	4.6
	Albita		X		3.1846	35.2	3.7635	7.8	3.2152	24.5	4.0551	41.1
	Cristobalita		X		4.0551	41.1	2.4897	5.6	2.8463	4.5	3.1421	3.6
	Tridimita		X		4.0850	19.5	4.3016	11.4	3.8038	2.3	3.2433	10.2
	Halloysita			X	4.4447	12.6	7.3689	6.5	3.7635	7.8	1.4908	4.2



	Hematita			X	2.7050	1.9	2.5228	6.8	1.6719	3.5	1.8180	4.5
	Ferrotschermakita			X	8.4049	3.0	2.5637	2.7	3.1421	3.6	-	-
<b>Muestra</b>	<b>Mineralogía</b>	<b>F. May</b>	<b>F. Min</b>	<b>Ind.</b>	<b>d1</b>	<b>I/I1</b>	<b>d2</b>	<b>I/I2</b>	<b>d3</b>	<b>I/I3</b>	<b>d4</b>	<b>I/I4</b>
<b>RM 3L</b>	Cuarzo	X			3.3497	100.0	4.2638	30.9	1.8195	12.2	1.5425	8.1
	Albita		X		3.1891	40.6	3.7637	37.3	3.2161	67.8	4.0536	87.2
	Cristobalita	X			4.0536	87.2	2.4939	11.1	2.8423	24.3	3.1403	21.0
	Tridimita		X		4.0920	23.9	4.3103	17.4	3.8081	6.5	3.2161	67.8
	Hematita			X	2.6570	6.5	2.5258	17.4	1.6566	3.9	1.8195	12.2
	Ferrotschermakita			X	8.4673	10.5	2.5786	6.6	3.1403	21.0	-	-
	Halloysita			X	4.4577	21.4	-	-	3.6493	12.1	-	-
	Montmorillonita			X	-	-	4.4577	21.4	-	-	3.0203	6.7
<b>RM 4L</b>	Cuarzo	X			3.3474	100.0	4.2625	55.4	1.8187	7.8	1.5422	4.2
	Albita		X		3.1911	22.7	3.7596	28.0	3.2171	42.2	4.0535	61.8
	Cristobalita	X			4.0535	61.8	2.4924	9.1	2.8457	6.4	3.1461	6.5
	Tridimita		X		4.2625	55.4	4.0951	20.8	3.8978	4.5	3.2445	9.6
	Halloysita			X	4.4407	17.6	7.3005	6.8	3.6444	10.1	1.4891	7.7
	Hematita			X	2.7052	6.2	2.5252	14.9	1.6714	3.0	1.8187	7.8
	Ferrotschermakita			X	-	-	2.5593	6.6	3.1228	7.9	-	-
	Montmorillonita			X	-	-	4.4407	17.6	-	-	3.0165	2.7

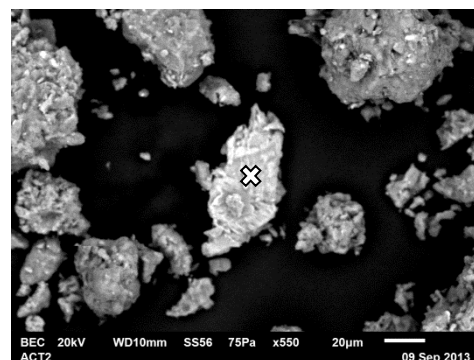
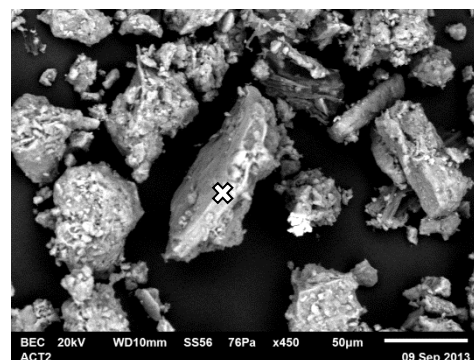
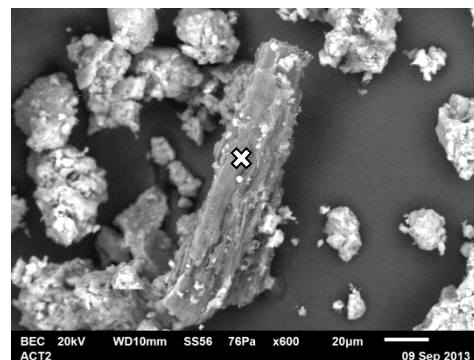
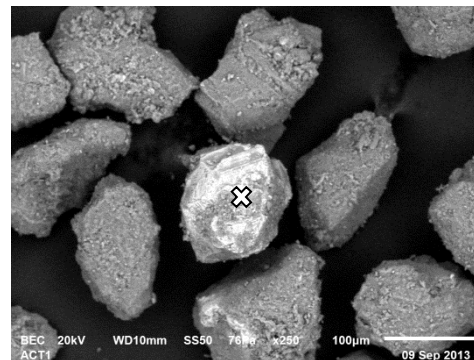
**Anexo 7. Fotomicrografías y microanálisis de las muestras analizadas por microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS) de la zona ACT-ARE.**

<b>Zona Actopan-Arenal</b>					
<b>Localidad El Meje</b>					
<b>Microanálisis</b>	<b>Elemento</b>	<b>Wt% del elemento</b>	<b>Óxido</b>	<b>Wt% del compuesto</b>	<b>Fotomicrografía</b>
<b>ACT 1-a</b>	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	54.05	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	-	MgO	-	
	Al K	9.30	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.61	
	Si K	24.28	SiO <sub>2</sub>	60.93	
	K K	2.11	K <sub>2</sub> O	2.98	
	Ca K	-	CaO	-	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	10.26	FeO	15.48	
	Total	100	Total	100	
<b>ACT 1-b</b>	C K	10.90	CO <sub>2</sub>	32.94	
	O K	33.58	-	-	
	Na K	0.52	Na <sub>2</sub> O	0.58	
	Mg K	0.54	MgO	0.74	
	Al K	3.60	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.61	
	Si K	8.39	SiO <sub>2</sub>	14.80	
	K K	0.45	K <sub>2</sub> O	0.45	
	Ca K	2.07	CaO	2.39	
	Ti K	14.42	TiO <sub>2</sub>	19.84	
	Fe K	21.35	FeO	22.66	
	Total	95.82	Total	100	
<b>ACT 1-c</b>	C K	12.66	CO <sub>2</sub>	35.86	
	O K	32.18	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	0.84	MgO	1.07	
	Al K	3.97	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.80	
	Si K	10.88	SiO <sub>2</sub>	17.99	
	K K	0.60	K <sub>2</sub> O	0.56	
	Ca K	0.86	CaO	0.93	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	38.01	FeO	37.80	
	Total	100	Total	100	

Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
ACT 1-d	C K	10.27	CO <sub>2</sub>	30.60
	O K	33.01	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.88	MgO	1.19
	Al K	5.23	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.03
	Si K	9.22	SiO <sub>2</sub>	16.04
	K K	0.55	K <sub>2</sub> O	0.54
	Ca K	0.50	CaO	0.57
	Ti K	3.70	TiO <sub>2</sub>	5.02
	Fe K	36.35	FeO	38.02
Total	99.71	Total	100	
ACT 2-a	C K	40.42	CO <sub>2</sub>	85.46
	O K	46.22	-	-
	Na K	0.78	Na <sub>2</sub> O	0.61
	Mg K	0.36	MgO	0.35
	Al K	2.88	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.14
	Si K	7.16	SiO <sub>2</sub>	8.84
	K K	0.91	K <sub>2</sub> O	0.63
	Ca K	0.56	CaO	0.45
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	0.71	FeO	0.53
Total	100	Total	100	
ACT 2-b	C K	10.47	CO <sub>2</sub>	37.61
	O K	55.53	-	-
	Na K	0.52	Na <sub>2</sub> O	0.69
	Mg K	2.02	MgO	3.28
	Al K	7.91	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.66
	Si K	16.70	SiO <sub>2</sub>	35.03
	K K	1.64	K <sub>2</sub> O	1.94
	Ca K	0.61	CaO	0.83
	Ti K	0.44	TiO <sub>2</sub>	0.72
	Fe K	4.16	FeO	5.25
Total	100	Total	100	
ACT 2-c	C K	27.48	CO <sub>2</sub>	61.22
	O K	35.00	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	3.38	MgO	3.41
	Al K	3.68	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.23
	Si K	14.00	SiO <sub>2</sub>	18.21
	K K	0.40	K <sub>2</sub> O	0.29
	Ca K	1.19	CaO	1.02
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	14.87	FeO	11.63
Total	100	Total	100	

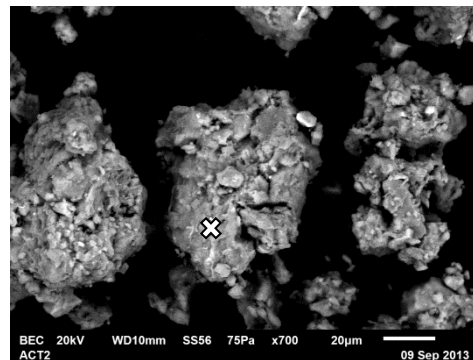
Fotomicrografía



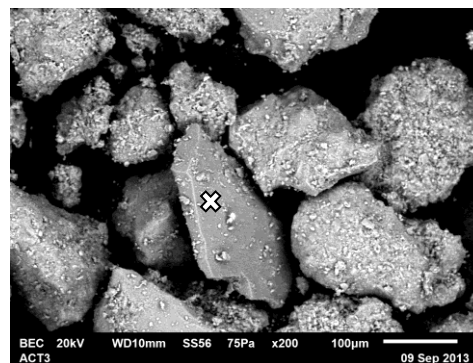
Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
ACT 2-d	C K	20.03	CO <sub>2</sub>	58.35
	O K	53.78	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.77	MgO	1.02
	Al K	4.26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.40
	Si K	18.51	SiO <sub>2</sub>	31.48
	K K	0.24	K <sub>2</sub> O	0.23
	Ca K	0.37	CaO	0.41
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	2.06	FeO	2.11
Total	100	Total	100	

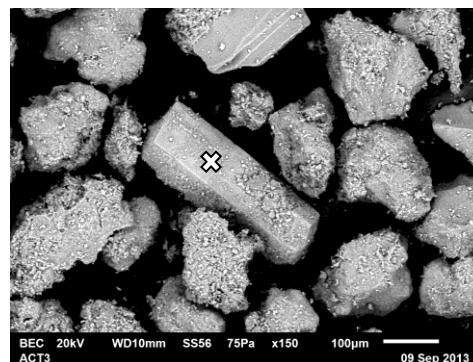
Fotomicrografía



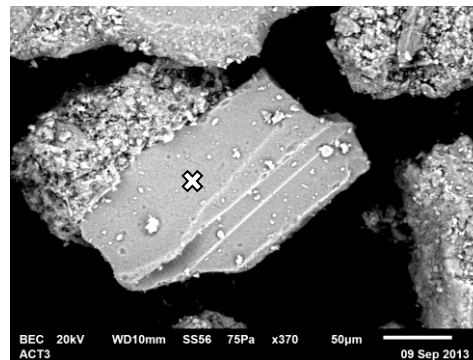
ACT 3-a	C K	16.01	CO <sub>2</sub>	48.88
	O K	52.29	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.81	MgO	1.12
	Al K	6.44	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.14
	Si K	19.20	SiO <sub>2</sub>	34.22
	K K	1.30	K <sub>2</sub> O	1.31
	Ca K	1.05	CaO	1.22
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	2.90	FeO	3.11
Total	100	Total	100	



ACT 3-b	C K	14.92	CO <sub>2</sub>	42.34
	O K	45.69	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	2.24	MgO	2.87
	Al K	8.70	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.73
	Si K	20.61	SiO <sub>2</sub>	34.14
	K K	1.15	K <sub>2</sub> O	1.08
	Ca K	2.09	CaO	2.26
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	4.59	FeO	4.58
Total	100	Total	100	



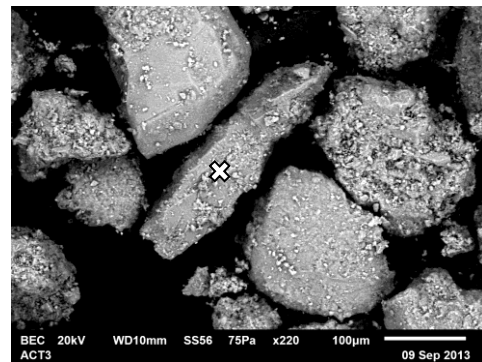
ACT 3-c	C K	10.63	CO <sub>2</sub>	12.25
	O K	50.52	-	-
	Na K	2.02	Na <sub>2</sub> O	3.14
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	5.58	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.15
	Si K	26.89	SiO <sub>2</sub>	66.31
	K K	3.12	K <sub>2</sub> O	4.33
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	1.23	FeO	1.82
Total	100	Total	100	



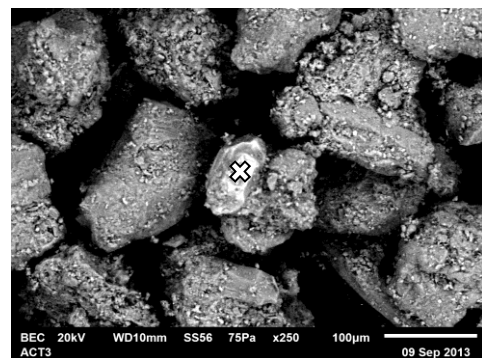
Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
ACT 3-d	C K	10.02	CO <sub>2</sub>	31.74
	O K	49.56	-	-
	Na K	0.68	Na <sub>2</sub> O	0.80
	Mg K	0.91	MgO	1.31
	Al K	8.44	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.79
	Si K	25.06	SiO <sub>2</sub>	46.35
	K K	0.90	K <sub>2</sub> O	0.93
	Ca K	1.94	CaO	2.34
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	2.47	FeO	2.75
Total	100	Total	100	

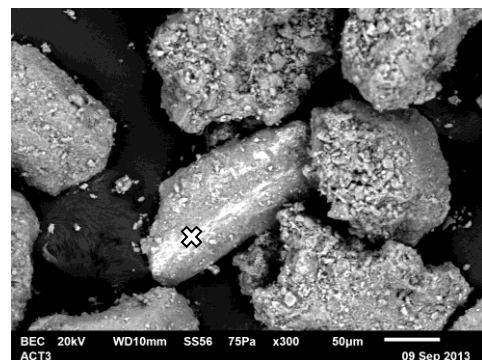
Fotomicrografía



ACT 3-e	C K	8.90	CO <sub>2</sub>	32.53
	O K	50.38	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	1.08	MgO	1.79
	Al K	5.31	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.01
	Si K	10.41	SiO <sub>2</sub>	22.22
	K K	0.49	K <sub>2</sub> O	0.59
	Ca K	0.46	CaO	0.64
	Ti K	7.26	TiO <sub>2</sub>	12.08
	Fe K	15.70	FeO	20.15
Total	100	Total	100	

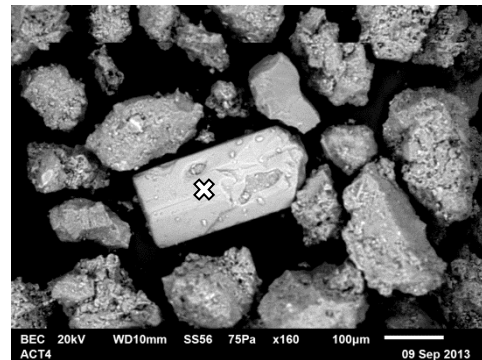


ACT 3-f	C K	11.57	CO <sub>2</sub>	36.42
	O K	44.44	-	-
	Na K	1.39	Na <sub>2</sub> O	1.61
	Mg K	0.50	MgO	0.71
	Al K	7.15	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.61
	Si K	14.88	SiO <sub>2</sub>	27.35
	K K	0.88	K <sub>2</sub> O	0.91
	Ca K	0.54	CaO	0.65
	Ti K	0.47	TiO <sub>2</sub>	0.67
	Fe K	18.16	FeO	20.07
Total	100	Total	100	



Localidad Actopan

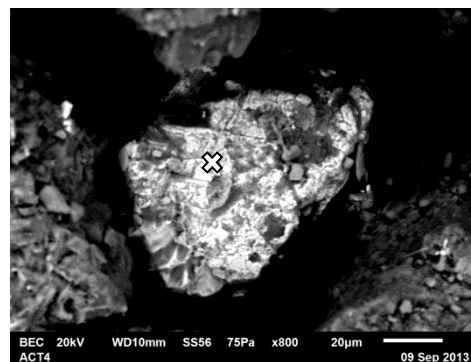
ACT 4-a	C K	9.83	CO <sub>2</sub>	32.51
	O K	48.22	-	-
	Na K	1.16	Na <sub>2</sub> O	1.41
	Mg K	5.97	MgO	8.93
	Al K	4.93	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.41
	Si K	17.40	SiO <sub>2</sub>	33.60
	K K	0.33	K <sub>2</sub> O	0.36
	Ca K	4.33	CaO	5.47
	Ti K	0.66	TiO <sub>2</sub>	0.99
	Fe K	7.17	FeO	8.32
Total	100	Total	100	



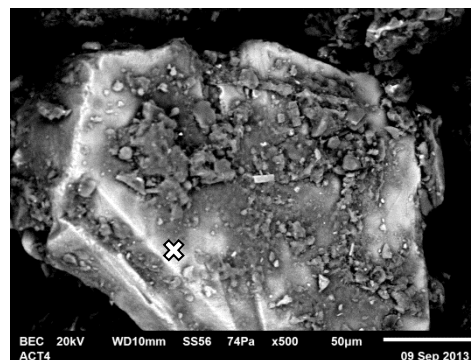
Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
ACT 4-b	C K	9.56	CO <sub>2</sub>	27.60
	O K	28.98	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	1.15	MgO	1.51
	Al K	4.82	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.18
	Si K	10.88	SiO <sub>2</sub>	18.34
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	0.70	CaO	0.77
	Ti K	1.68	TiO <sub>2</sub>	2.21
	Fe K	41.82	FeO	42.39
Total	100	Total	100	

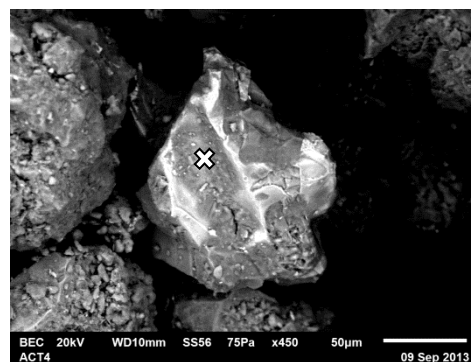
Fotomicrografía



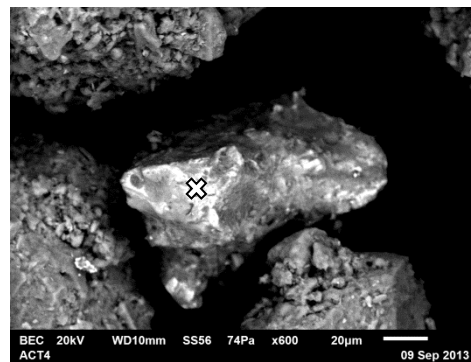
ACT 4-c	C K	10.56	CO <sub>2</sub>	30.35
	O K	37.38	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	1.25	MgO	1.62
	Al K	11.54	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.10
	Si K	14.22	SiO <sub>2</sub>	23.86
	K K	0.54	K <sub>2</sub> O	0.51
	Ca K	1.54	CaO	1.69
	Ti K	5.58	TiO <sub>2</sub>	7.30
	Fe K	17.40	FeO	17.56
Total	100	Total	100	



ACT 4-d	C K	21.88	CO <sub>2</sub>	48.23
	O K	26.39	-	-
	Na K	0.52	Na <sub>2</sub> O	0.42
	Mg K	0.58	MgO	0.58
	Al K	20.96	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.82
	Si K	7.69	SiO <sub>2</sub>	9.90
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	2.14	CaO	1.80
	Ti K	3.52	TiO <sub>2</sub>	3.53
	Fe K	15.16	FeO	11.73
Total	98.84	Total	100	



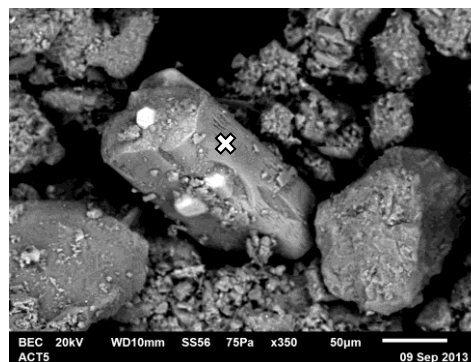
ACT 4-e	C K	6.43	CO <sub>2</sub>	23.18
	O K	46.17	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.82	MgO	1.34
	Al K	4.39	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.15
	Si K	7.11	SiO <sub>2</sub>	14.96
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	0.97	CaO	1.34
	Ti K	19.94	TiO <sub>2</sub>	32.72
	Fe K	14.47	FeO	18.32
Total	100	Total	100	



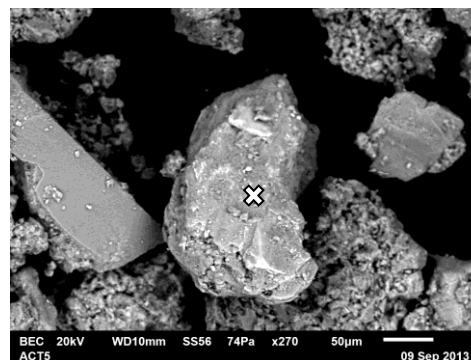
Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
ACT 5-a	C K	14.74	CO <sub>2</sub>	43.70
	O K	45.54	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	3.62	MgO	4.85
	Al K	4.30	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.57
	Si K	16.70	SiO <sub>2</sub>	28.91
	K K	0.27	K <sub>2</sub> O	0.27
	Ca K	1.01	CaO	1.14
	Ti K	0.59	TiO <sub>2</sub>	0.79
	Fe K	13.23	FeO	13.77
Total	100	Total	100	

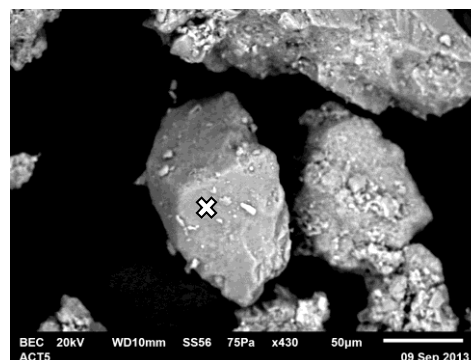
Fotomicrografía



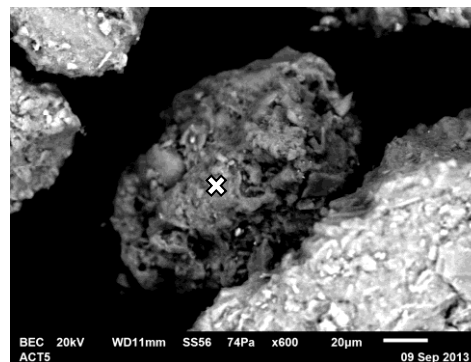
ACT 5-b	C K	13.86	CO <sub>2</sub>	43.63
	O K	49.39	-	-
	Na K	0.39	Na <sub>2</sub> O	0.46
	Mg K	2.29	MgO	3.27
	Al K	4.42	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.17
	Si K	17.03	SiO <sub>2</sub>	31.30
	K K	0.28	K <sub>2</sub> O	0.29
	Ca K	1.04	CaO	1.25
	Ti K	0.36	TiO <sub>2</sub>	0.52
	Fe K	10.95	FeO	12.11
Total	100	Total	100	



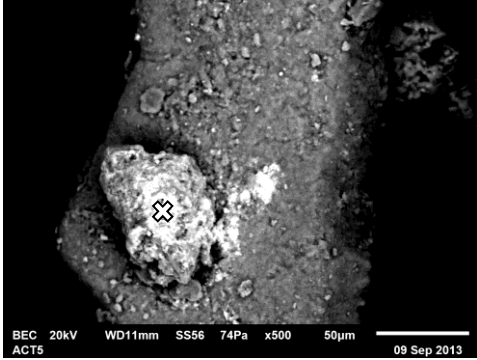
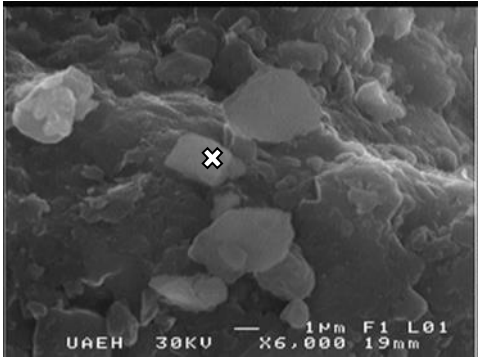
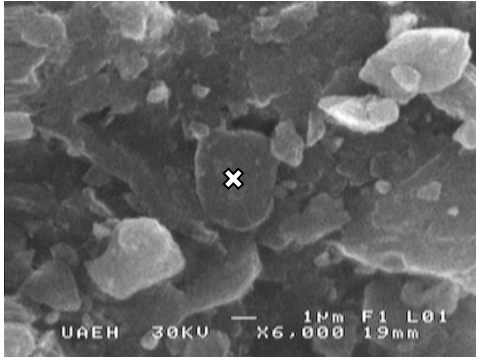
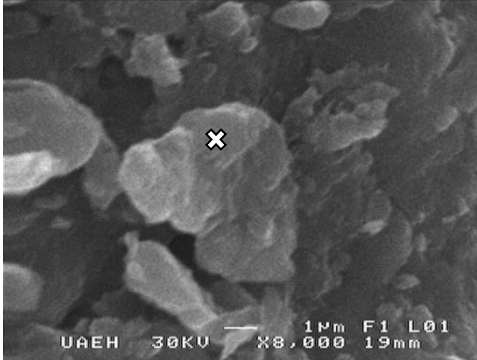
ACT 5-c	C K	19.00	CO <sub>2</sub>	52.01
	O K	47.08	-	-
	Na K	2.09	Na <sub>2</sub> O	2.11
	Mg K	0.59	MgO	0.73
	Al K	8.82	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.44
	Si K	16.94	SiO <sub>2</sub>	27.07
	K K	0.29	K <sub>2</sub> O	0.26
	Ca K	3.02	CaO	3.16
	Ti K	0.43	TiO <sub>2</sub>	0.54
	Fe K	1.75	FeO	1.68
Total	100	Total	100	



ACT 5-d	C K	15.69	CO <sub>2</sub>	48.95
	O K	52.86	-	-
	Na K	0.39	Na <sub>2</sub> O	0.45
	Mg K	1.74	MgO	2.46
	Al K	7.16	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.52
	Si K	16.79	SiO <sub>2</sub>	30.59
	K K	0.44	K <sub>2</sub> O	0.45
	Ca K	1.12	CaO	1.34
	Ti K	0.24	TiO <sub>2</sub>	0.34
	Fe K	3.56	FeO	3.90
Total	100	Total	100	



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

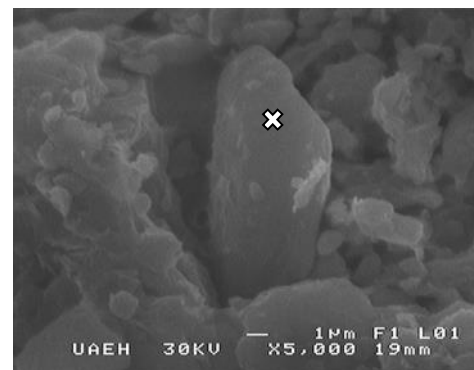
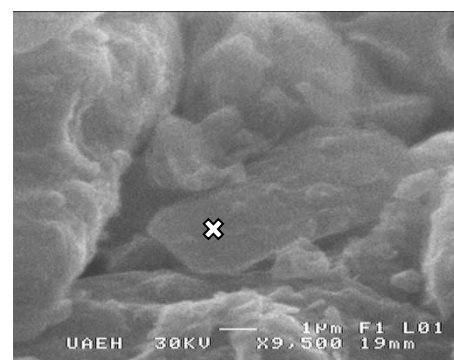
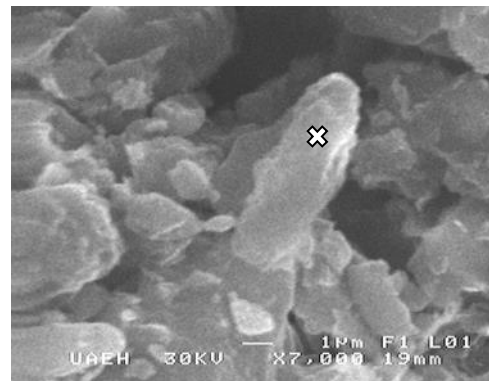
Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	Fotomicrografía
ACT 5-e	C K	27.03	CO <sub>2</sub>	70.12	
	O K	41.79	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	1.11	MgO	1.30	
	Al K	4.54	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.07	
	Si K	11.90	SiO <sub>2</sub>	18.02	
	K K	0.46	K <sub>2</sub> O	0.39	
	Ca K	1.07	CaO	1.06	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	3.33	FeO	3.03	
Total	91.23	Total	100		
<b>Localidad Arenal</b>					
AR 1-a	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	48.25	-	-	
	Na K	1.03	Na <sub>2</sub> O	1.39	
	Mg K	1.00	MgO	1.65	
	Al K	9.97	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.83	
	Si K	31.56	SiO <sub>2</sub>	67.52	
	K K	5.07	K <sub>2</sub> O	6.11	
	Ca K	0.67	CaO	0.89	
	Ti K	0.21	TiO <sub>2</sub>	0.35	
	Fe K	2.27	FeO	3.25	
Total	100	Total	100		
AR 1-b	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	47.10	-	-	
	Na K	1.28	Na <sub>2</sub> O	1.72	
	Mg K	0.82	MgO	1.35	
	Al K	10.44	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.73	
	Si K	29.72	SiO <sub>2</sub>	63.58	
	K K	6.18	K <sub>2</sub> O	7.44	
	Ca K	0.69	CaO	0.97	
	Ti K	0.17	TiO <sub>2</sub>	0.29	
	Fe K	3.06	FeO	4.38	
Total	100	Total	100		
AR 1-c	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	47.50	-	-	
	Na K	1.39	Na <sub>2</sub> O	1.88	
	Mg K	0.90	MgO	1.49	
	Al K	10.74	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.29	
	Si K	30.51	SiO <sub>2</sub>	65.28	
	K K	5.70	K <sub>2</sub> O	6.86	
	Ca K	0.59	CaO	0.83	
	Ti K	0.17	TiO <sub>2</sub>	0.29	
	Fe K	2.07	FeO	2.96	
Total	100	Total	100		

Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y secundarios y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.


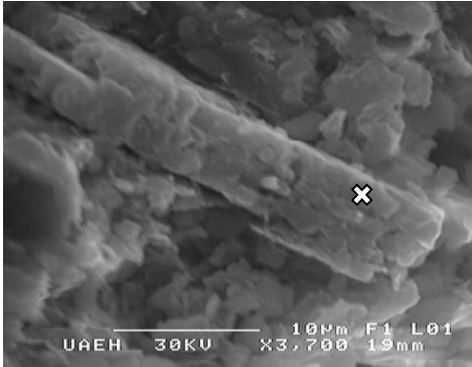
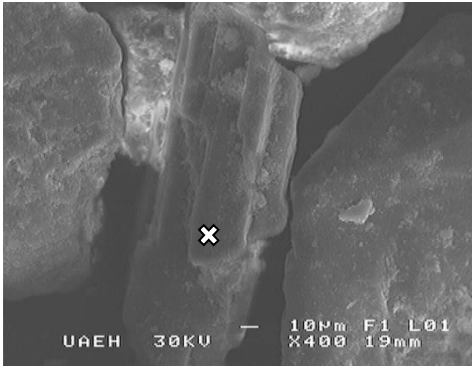
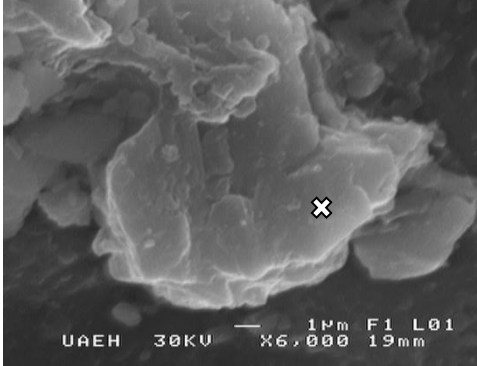


Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
AR 1-d	C K	-	CO <sub>2</sub>	-
	O K	48.74	-	-
	Na K	0.48	Na <sub>2</sub> O	0.65
	Mg K	1.36	MgO	2.26
	Al K	9.50	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.95
	Si K	31.73	SiO <sub>2</sub>	67.87
	K K	1.60	K <sub>2</sub> O	1.93
	Ca K	1.57	CaO	2.19
	Ti K	0.31	TiO <sub>2</sub>	0.53
	Fe K	4.46	FeO	6.38
Total	100	Total	100	
AR 1-e	C K	-	CO <sub>2</sub>	-
	O K	48.86	-	-
	Na K	1.59	Na <sub>2</sub> O	2.14
	Mg K	1.57	MgO	2.60
	Al K	9.57	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.09
	Si K	32.18	SiO <sub>2</sub>	68.85
	K K	2.24	K <sub>2</sub> O	2.70
	Ca K	1.37	CaO	1.92
	Ti K	0.08	TiO <sub>2</sub>	0.13
	Fe K	2.40	FeO	3.43
Total	100	Total	100	
AR 1-f	C K	-	CO <sub>2</sub>	-
	O K	46.99	-	-
	Na K	1.63	Na <sub>2</sub> O	2.20
	Mg K	2.99	MgO	4.96
	Al K	11.61	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.95
	Si K	26.67	SiO <sub>2</sub>	57.06
	K K	2.38	K <sub>2</sub> O	2.87
	Ca K	1.61	CaO	2.25
	Ti K	0.17	TiO <sub>2</sub>	0.29
	Fe K	5.80	FeO	8.29
Total	100	Total	100	
AR 1-g	C K	-	CO <sub>2</sub>	-
	O K	47.81	-	-
	Na K	1.32	Na <sub>2</sub> O	1.79
	Mg K	3.26	MgO	5.41
	Al K	11.85	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.39
	Si K	28.01	SiO <sub>2</sub>	59.92
	K K	2.15	K <sub>2</sub> O	2.59
	Ca K	1.44	CaO	2.02
	Ti K	0.13	TiO <sub>2</sub>	0.21
	Fe K	3.84	FeO	5.49
Total	100	Total	100	

Fotomicrografía



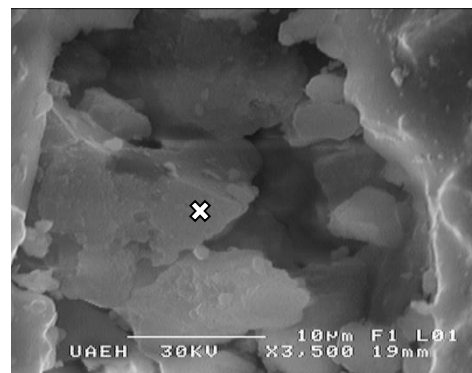
Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones secundarios y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	Fotomicrografía
AR 1-h	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	46.28	-	-	
	Na K	0.80	Na <sub>2</sub> O	1.07	
	Mg K	0.83	MgO	1.38	
	Al K	10.01	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.92	
	Si K	26.80	SiO <sub>2</sub>	57.32	
	K K	3.11	K <sub>2</sub> O	3.75	
	Ca K	1.69	CaO	2.36	
	Ti K	0.85	TiO <sub>2</sub>	1.41	
	Fe K	9.64	FeO	13.79	
Total	100	Total	100		
AR 1-i	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	47.75	-	-	
	Na K	2.68	Na <sub>2</sub> O	3.61	
	Mg K	1.65	MgO	2.74	
	Al K	14.04	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.54	
	Si K	27.04	SiO <sub>2</sub>	57.84	
	K K	2.22	K <sub>2</sub> O	2.68	
	Ca K	0.78	CaO	1.10	
	Ti K	0.09	TiO <sub>2</sub>	0.15	
	Fe K	3.73	FeO	5.34	
Total	100	Total	100		
AR 1-j	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	46.64	-	-	
	Na K	0.17	Na <sub>2</sub> O	0.23	
	Mg K	0.28	MgO	0.47	
	Al K	10.79	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.38	
	Si K	27.20	SiO <sub>2</sub>	58.19	
	K K	0.90	K <sub>2</sub> O	1.09	
	Ca K	13.24	CaO	18.53	
	Ti K	0.00	TiO <sub>2</sub>	0.01	
	Fe K	0.77	FeO	1.10	
Total	100	Total	100		
AR 1-k	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	48.25	-	-	
	Na K	4.55	Na <sub>2</sub> O	6.14	
	Mg K	0.55	MgO	0.91	
	Al K	10.70	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.22	
	Si K	30.77	SiO <sub>2</sub>	65.83	
	K K	2.19	K <sub>2</sub> O	2.64	
	Ca K	0.86	CaO	1.20	
	Ti K	0.13	TiO <sub>2</sub>	0.22	
	Fe K	2.00	FeO	2.86	
Total	100	Total	100		

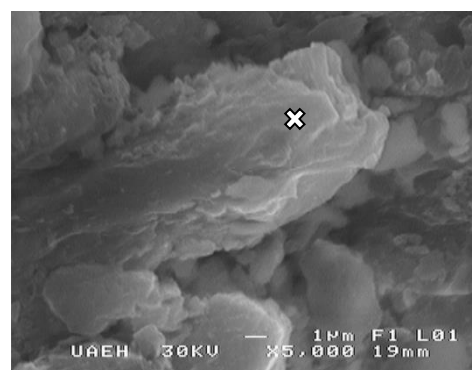
Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones secundarios y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
AR 2-a	C K	-	CO <sub>2</sub>	-
	O K	44.24	-	-
	Na K	1.80	Na <sub>2</sub> O	2.42
	Mg K	5.16	MgO	8.56
	Al K	6.50	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.28
	Si K	23.06	SiO <sub>2</sub>	49.33
	K K	0.29	K <sub>2</sub> O	0.35
	Ca K	8.04	CaO	11.25
	Ti K	0.85	TiO <sub>2</sub>	1.43
	Fe K	10.07	FeO	14.39
Total	100	Total	100	

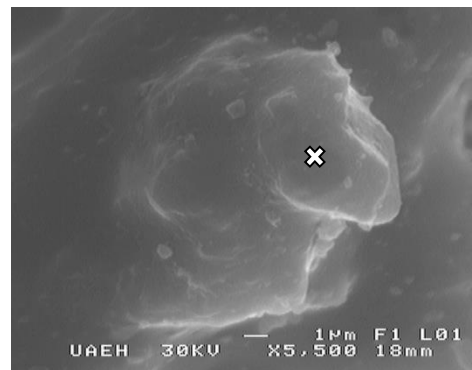
Fotomicrografía



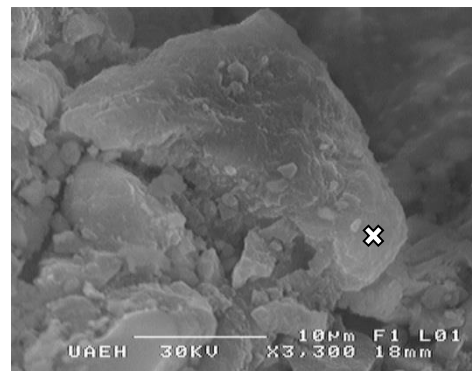
AR 2-b	C K	-	CO <sub>2</sub>	-
	O K	45.09	-	-
	Na K	2.91	Na <sub>2</sub> O	3.92
	Mg K	3.68	MgO	6.10
	Al K	8.23	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.54
	Si K	24.23	SiO <sub>2</sub>	51.84
	K K	0.46	K <sub>2</sub> O	0.55
	Ca K	6.52	CaO	9.13
	Ti K	0.89	TiO <sub>2</sub>	1.48
	Fe K	8.00	FeO	11.44
Total	100	Total	100	



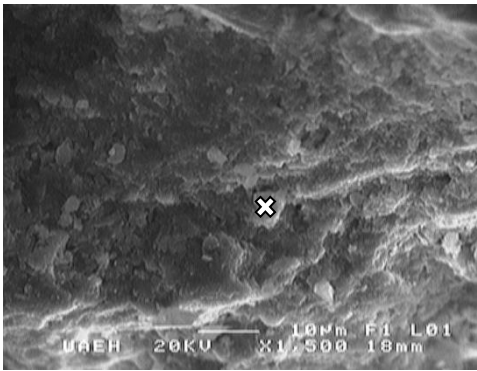
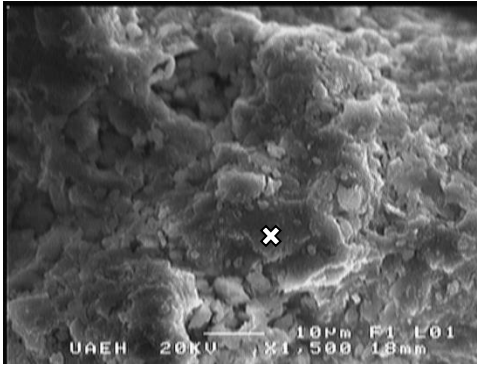
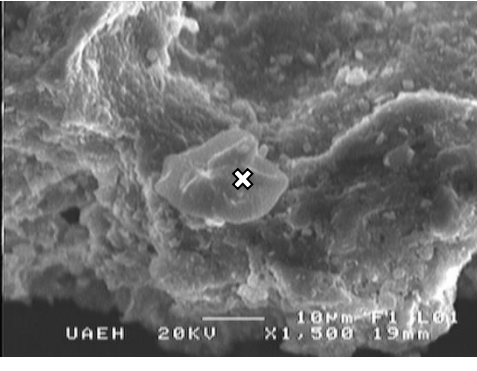
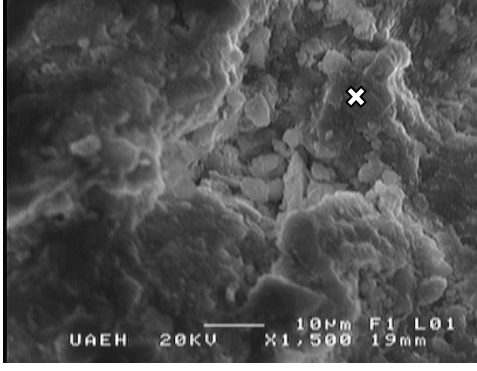
AR 2-c	C K	-	CO <sub>2</sub>	-
	O K	44.92	-	-
	Na K	2.62	Na <sub>2</sub> O	3.53
	Mg K	3.07	MgO	5.09
	Al K	6.52	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.32
	Si K	24.97	SiO <sub>2</sub>	53.42
	K K	0.10	K <sub>2</sub> O	0.12
	Ca K	5.01	CaO	7.01
	Ti K	0.94	TiO <sub>2</sub>	1.57
	Fe K	11.85	FeO	16.95
Total	100	Total	100	




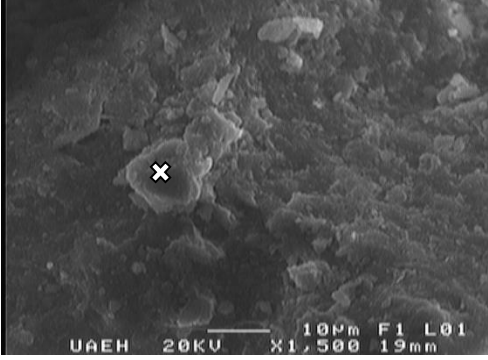
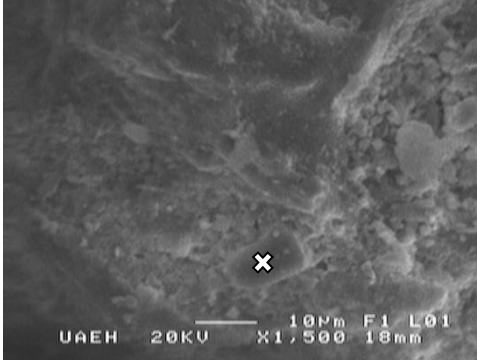
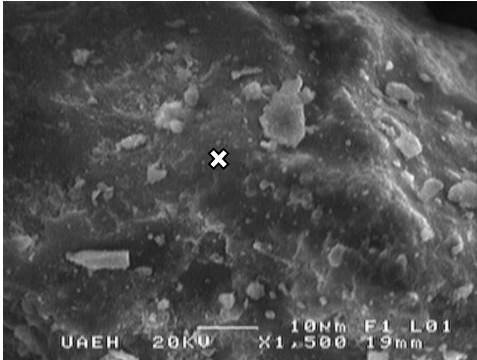
AR 2-d	C K	-	CO <sub>2</sub>	-
	O K	45.54	-	-
	Na K	2.98	Na <sub>2</sub> O	4.02
	Mg K	4.57	MgO	7.59
	Al K	8.59	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.23
	Si K	24.59	SiO <sub>2</sub>	52.61
	K K	0.30	K <sub>2</sub> O	0.36
	Ca K	6.29	CaO	8.81
	Ti K	0.82	TiO <sub>2</sub>	1.37
	Fe K	6.31	FeO	9.02
Total	100	Total	100	



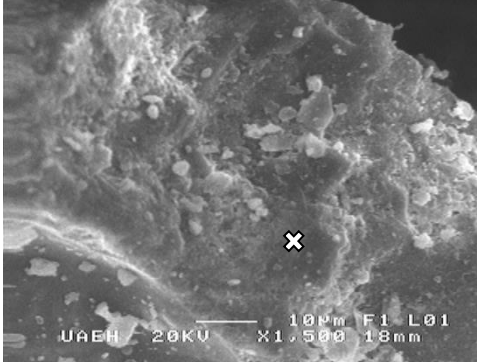
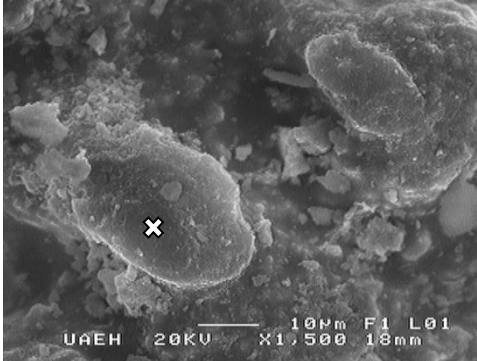
Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones secundarios y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	Fotomicrografía
AR 2-e	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	41.13	-	-	
	Na K	2.23	Na <sub>2</sub> O	3.01	
	Mg K	1.02	MgO	1.69	
	Al K	8.55	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.16	
	Si K	17.28	SiO <sub>2</sub>	36.96	
	K K	1.31	K <sub>2</sub> O	1.57	
	Ca K	6.20	CaO	8.67	
	Ti K	0.31	TiO <sub>2</sub>	31.43	
	Fe K	21.98	FeO	0.51	
Total	100	Total	100		
AR 2-f	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	49.05	-	-	
	Na K	1.45	Na <sub>2</sub> O	1.95	
	Mg K	1.70	MgO	2.82	
	Al K	11.21	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.19	
	Si K	31.15	SiO <sub>2</sub>	66.63	
	K K	1.66	K <sub>2</sub> O	2.00	
	Ca K	0.71	CaO	0.99	
	Ti K	0.11	TiO <sub>2</sub>	0.18	
	Fe K	2.97	FeO	4.24	
Total	100	Total	100		
AR 3-a	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	49.07	-	-	
	Na K	0.80	Na <sub>2</sub> O	1.07	
	Mg K	2.19	MgO	3.63	
	Al K	13.26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.06	
	Si K	29.50	SiO <sub>2</sub>	63.11	
	K K	1.42	K <sub>2</sub> O	1.71	
	Ca K	1.02	CaO	1.42	
	Ti K	0.30	TiO <sub>2</sub>	0.50	
	Fe K	2.45	FeO	3.50	
Total	100	Total	100		
AR 3-b	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	49.16	-	-	
	Na K	2.31	Na <sub>2</sub> O	3.11	
	Mg K	1.75	MgO	2.90	
	Al K	11.03	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.84	
	Si K	31.43	SiO <sub>2</sub>	67.24	
	K K	1.14	K <sub>2</sub> O	1.37	
	Ca K	1.14	CaO	1.59	
	Ti K	0.10	TiO <sub>2</sub>	0.17	
	Fe K	1.95	FeO	2.79	
Total	100	Total	100		

Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones secundarios y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

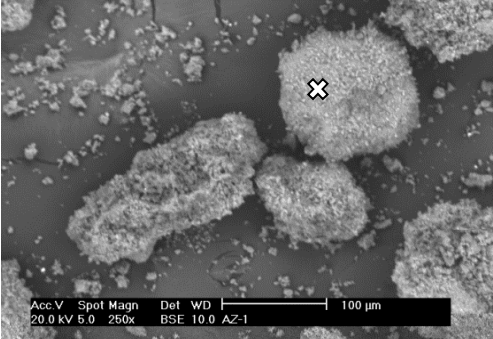
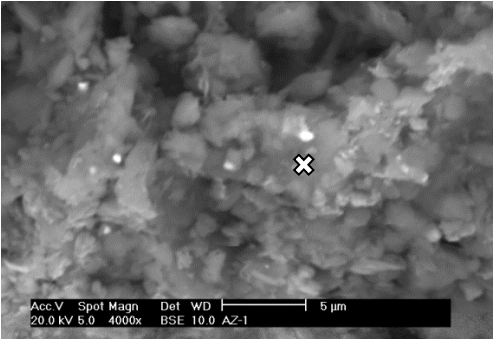
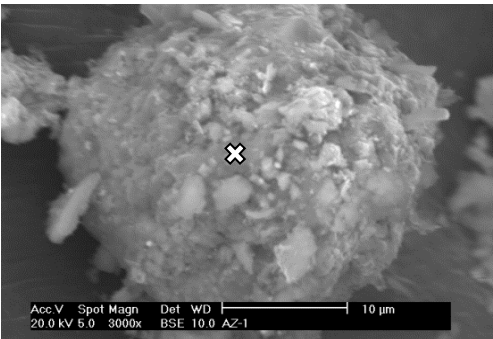
Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	Fotomicrografía
AR 3-c	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	46.79	-	-	
	Na K	0.27	Na <sub>2</sub> O	0.37	
	Mg K	2.04	MgO	3.39	
	Al K	9.83	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.58	
	Si K	26.98	SiO <sub>2</sub>	57.72	
	K K	1.23	K <sub>2</sub> O	1.48	
	Ca K	1.17	CaO	1.63	
	Ti K	0.51	TiO <sub>2</sub>	0.85	
	Fe K	11.17	FeO	15.98	
Total	100	Total	100		
AR 3-d	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	49.18	-	-	
	Na K	0.73	Na <sub>2</sub> O	0.99	
	Mg K	1.81	MgO	2.99	
	Al K	13.04	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.63	
	Si K	30.32	SiO <sub>2</sub>	64.87	
	K K	2.19	K <sub>2</sub> O	2.64	
	Ca K	0.91	CaO	1.27	
	Ti K	0.04	TiO <sub>2</sub>	0.06	
	Fe K	1.78	FeO	2.55	
Total	100	Total	100		
AR TZ-a	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	45.62	-	-	
	Na K	1.73	Na <sub>2</sub> O	2.34	
	Mg K	3.58	MgO	5.94	
	Al K	8.92	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.85	
	Si K	24.80	SiO <sub>2</sub>	53.06	
	K K	0.22	K <sub>2</sub> O	0.27	
	Ca K	7.00	CaO	9.80	
	Ti K	0.60	TiO <sub>2</sub>	1.00	
	Fe K	7.51	FeO	10.74	
Total	100	Total	100		
AR TZ-b	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	47.70	-	-	
	Na K	2.78	Na <sub>2</sub> O	3.74	
	Mg K	6.44	MgO	10.68	
	Al K	7.08	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.38	
	Si K	29.30	SiO <sub>2</sub>	62.67	
	K K	0.13	K <sub>2</sub> O	0.16	
	Ca K	3.75	CaO	5.24	
	Ti K	0.65	TiO <sub>2</sub>	0.54	
	Fe K	2.07	FeO	3.59	
Total	100	Total	100		

Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones secundarios y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	Fotomicrografía
AR TZ-c	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	47.06	-	-	
	Na K	3.44	Na <sub>2</sub> O	4.63	
	Mg K	3.13	MgO	5.20	
	Al K	11.55	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.81	
	Si K	26.27	SiO <sub>2</sub>	56.20	
	K K	0.23	K <sub>2</sub> O	0.27	
	Ca K	5.60	CaO	7.84	
	Ti K	0.65	TiO <sub>2</sub>	1.08	
	Fe K	2.07	FeO	2.96	
	Total	100	Total	100	
AR TZ-d	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	46.97	-	-	
	Na K	3.38	Na <sub>2</sub> O	4.55	
	Mg K	3.92	MgO	6.51	
	Al K	9.16	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.31	
	Si K	27.46	SiO <sub>2</sub>	58.74	
	K K	0.32	K <sub>2</sub> O	0.38	
	Ca K	5.04	CaO	7.05	
	Ti K	0.40	TiO <sub>2</sub>	0.67	
	Fe K	3.36	FeO	4.80	
	Total	100	Total	100	

Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones secundarios y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

**Anexo 7.1. Fotomicrografía y microanálisis de las muestras analizadas por microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS) de la zona MIN-REF.**

<b>Zona Mineral de la Reforma</b>					<b>Fotomicrografía</b>
Localidad Azoyatla					
Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	
<b>AZ 1-a</b>	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	28.5	-	-	
	Na K	1.47	Na <sub>2</sub> O	1.61	
	Mg K	2.58	MgO	3.36	
	Al K	16.72	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.06	
	Si K	41.33	SiO <sub>2</sub>	62.37	
	K K	1.37	K <sub>2</sub> O	1.13	
	Ca K	1.88	CaO	1.82	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	6.16	FeO	5.65	
	Total	100	Total	100	
<b>AZ 1-b</b>	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	-	-	-	
	Na K	0.74	Na <sub>2</sub> O	0.69	
	Mg K	11.4	MgO	12.25	
	Al K	20.72	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.5	
	Si K	47.31	SiO <sub>2</sub>	50.88	
	K K	1.3	K <sub>2</sub> O	0.78	
	Ca K	2.51	CaO	1.78	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	16.02	FeO	11.12	
	Total	100	Total	100	
<b>AZ 1-c</b>	C K	34.38	CO <sub>2</sub>	28.2	
	O K	23.62	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	1.91	MgO	2.92	
	Al K	10.38	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.73	
	Si K	23.52	SiO <sub>2</sub>	44.3	
	K K	0.98	K <sub>2</sub> O	1.02	
	Ca K	-	CaO	-	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	5.21	FeO	5.83	
	Total	100	Total	100	

Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

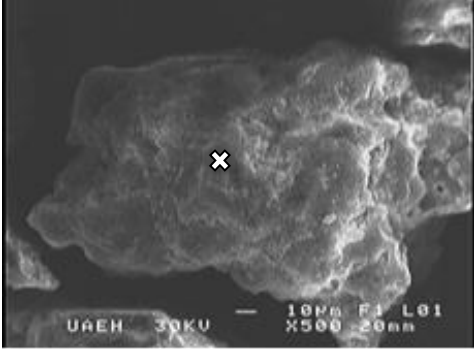
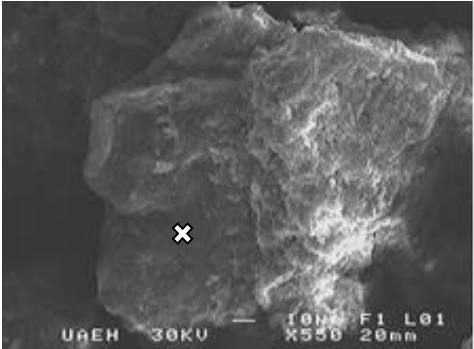
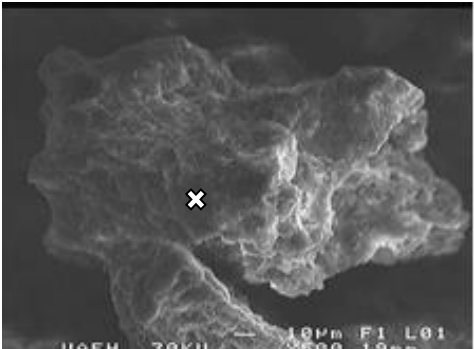
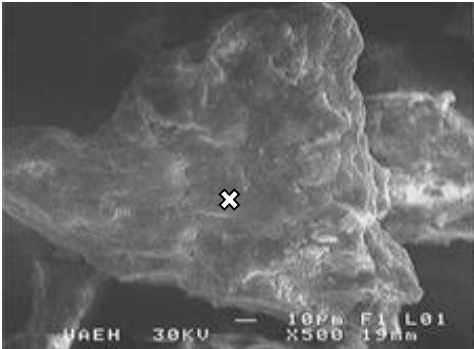
Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	Fotomicrografía
AZ 1-d	C K	55.2	CO <sub>2</sub>	50.82	
	O K	17.34	-	-	
	Na K	0.99	Na <sub>2</sub> O	1.29	
	Mg K	1.44	MgO	2.31	
	Al K	6.21	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.19	
	Si K	14.12	SiO <sub>2</sub>	28.49	
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-	
	Ca K	2.35	CaO	3.07	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	2.36	FeO	2.84	
Total	100	Total	100		
AZ 1-e	C K	6.99	CO <sub>2</sub>	3.73	
	O K	4.69	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	-	MgO	-	
	Al K	-	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	
	Si K	3.65	SiO <sub>2</sub>	4.38	
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-	
	Ca K	0.83	CaO	0.64	
	Pb K	83.85	PbO <sub>2</sub>	91.26	
	Fe K	-	FeO	-	
Total	100	Total	100		
AZ 2-a	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	48.83	-	-	
	Na K	0.66	Na <sub>2</sub> O	0.89	
	Mg K	1.17	MgO	1.94	
	Al K	11.95	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.58	
	Si K	30.20	SiO <sub>2</sub>	64.60	
	K K	1.18	K <sub>2</sub> O	1.42	
	Ca K	1.04	CaO	1.46	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	4.97	FeO	7.11	
Total	100	Total	100		
AZ 2-b	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	48.16	-	-	
	Na K	0.00	Na <sub>2</sub> O	0.00	
	Mg K	1.60	MgO	2.65	
	Al K	13.02	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.60	
	Si K	28.21	SiO <sub>2</sub>	60.34	
	K K	1.95	K <sub>2</sub> O	2.35	
	Ca K	1.60	CaO	2.24	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	5.47	FeO	7.82	
Total	100	Total	100		

Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y secundarios y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

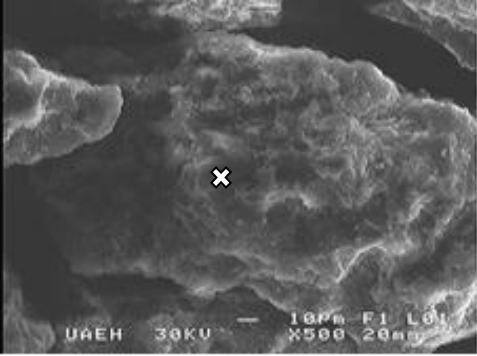
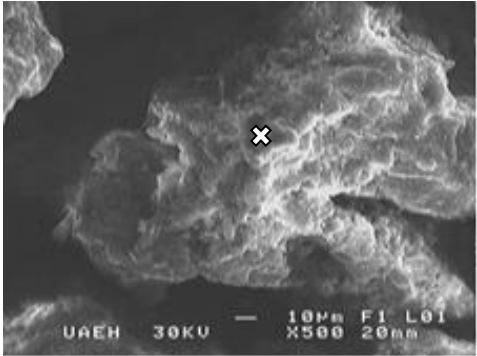
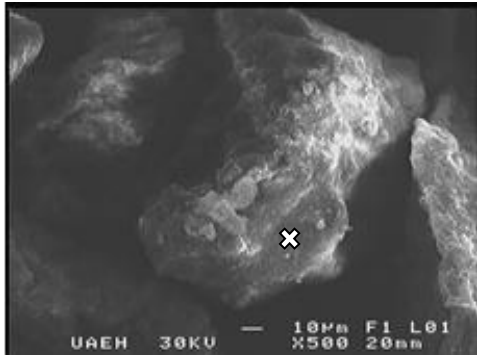
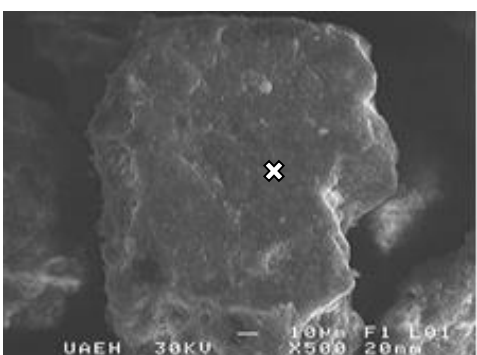


Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	Fotomicrografía
AZ 2-c	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	49.08	-	-	
	Na K	0.43	Na <sub>2</sub> O	0.58	
	Mg K	1.08	MgO	1.80	
	Al K	9.63	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.20	
	Si K	32.14	SiO <sub>2</sub>	68.75	
	K K	0.94	K <sub>2</sub> O	1.13	
	Ca K	1.10	CaO	1.53	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	5.61	FeO	8.01	
Total	100	Total	100		
AZ 2-d	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	48.36	-	-	
	Na K	1.74	Na <sub>2</sub> O	2.35	
	Mg K	1.49	MgO	2.47	
	Al K	13.91	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.28	
	Si K	27.91	SiO <sub>2</sub>	59.72	
	K K	0.62	K <sub>2</sub> O	0.74	
	Ca K	2.80	CaO	3.91	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	3.16	FeO	4.52	
Total	100	Total	100		
AZ 2-e	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	48.24	-	-	
	Na K	1.46	Na <sub>2</sub> O	1.97	
	Mg K	1.04	MgO	1.72	
	Al K	11.70	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.11	
	Si K	29.43	SiO <sub>2</sub>	62.97	
	K K	1.57	K <sub>2</sub> O	1.89	
	Ca K	1.23	CaO	1.72	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	5.34	FeO	7.63	
Total	100	Total	100		
AZ 2-f	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	47.92	-	-	
	Na K	0.77	Na <sub>2</sub> O	1.04	
	Mg K	1.59	MgO	2.63	
	Al K	12.24	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.13	
	Si K	28.09	SiO <sub>2</sub>	60.08	
	K K	1.13	K <sub>2</sub> O	1.37	
	Ca K	1.78	CaO	2.49	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	6.48	FeO	9.26	
Total	100	Total	100		

Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones secundarios y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

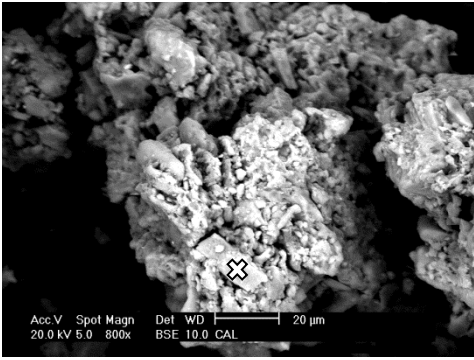

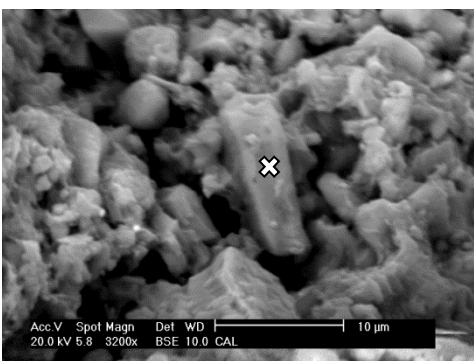
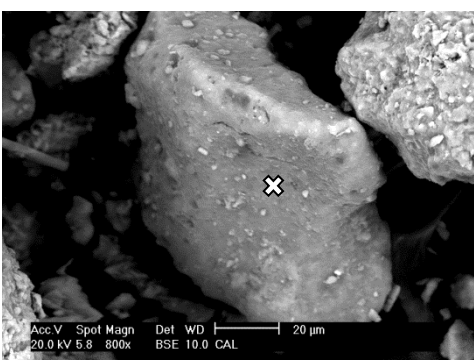
Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	Fotomicrografía
AZ 3-a	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	48.49	-	-	
	Na K	0.35	Na <sub>2</sub> O	0.48	
	Mg K	1.41	MgO	2.34	
	Al K	12.72	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.04	
	Si K	28.91	SiO <sub>2</sub>	61.86	
	K K	1.23	K <sub>2</sub> O	1.48	
	Ca K	0.64	CaO	0.90	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	6.23	FeO	8.91	
Total	100	Total	100		
AZ 3-b	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	47.70	-	-	
	Na K	0.28	Na <sub>2</sub> O	0.38	
	Mg K	0.86	MgO	1.42	
	Al K	9.79	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.49	
	Si K	29.39	SiO <sub>2</sub>	62.88	
	K K	1.19	K <sub>2</sub> O	1.43	
	Ca K	1.40	CaO	1.96	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	9.40	FeO	13.44	
Total	100	Total	100		
AZ 3-c	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	49.13	-	-	
	Na K	1.06	Na <sub>2</sub> O	1.43	
	Mg K	1.07	MgO	1.78	
	Al K	11.21	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.18	
	Si K	31.34	SiO <sub>2</sub>	67.05	
	K K	1.12	K <sub>2</sub> O	1.35	
	Ca K	0.73	CaO	1.02	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	4.34	FeO	6.20	
Total	100	Total	100		
AZ 3-d	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	48.50	-	-	
	Na K	0.32	Na <sub>2</sub> O	0.42	
	Mg K	1.40	MgO	2.32	
	Al K	14.02	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.49	
	Si K	28.13	SiO <sub>2</sub>	60.17	
	K K	1.37	K <sub>2</sub> O	1.65	
	Ca K	0.63	CaO	0.89	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	5.64	FeO	8.06	
Total	100	Total	100		

Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones secundarios y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	Fotomicrografía
AZ 3-e	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	49.27	-	-	
	Na K	0.74	Na <sub>2</sub> O	0.99	
	Mg K	0.84	MgO	1.39	
	Al K	10.07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.03	
	Si K	32.37	SiO <sub>2</sub>	69.24	
	K K	1.08	K <sub>2</sub> O	1.30	
	Ca K	0.68	CaO	0.96	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	4.96	FeO	7.09	
	Total	100	Total	100	
AZ 3-f	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	48.74	-	-	
	Na K	0.82	Na <sub>2</sub> O	1.10	
	Mg K	0.96	MgO	1.60	
	Al K	10.22	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.30	
	Si K	31.26	SiO <sub>2</sub>	66.89	
	K K	1.29	K <sub>2</sub> O	1.55	
	Ca K	0.93	CaO	1.31	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	5.78	FeO	8.26	
	Total	100	Total	100	
AZ 3-g	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	49.10	-	-	
	Na K	0.87	Na <sub>2</sub> O	1.17	
	Mg K	1.44	MgO	2.40	
	Al K	10.23	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.34	
	Si K	31.83	SiO <sub>2</sub>	68.08	
	K K	1.33	K <sub>2</sub> O	1.60	
	Ca K	0.73	CaO	1.02	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	4.47	FeO	6.39	
	Total	100	Total	100	
AZ 3-h	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	49.05	-	-	
	Na K	0.88	Na <sub>2</sub> O	1.19	
	Mg K	1.20	MgO	1.98	
	Al K	12.73	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.05	
	Si K	30.16	SiO <sub>2</sub>	64.51	
	K K	1.26	K <sub>2</sub> O	1.52	
	Ca K	0.55	CaO	0.77	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	4.18	FeO	5.98	
	Total	100	Total	100	

Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones secundarios y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

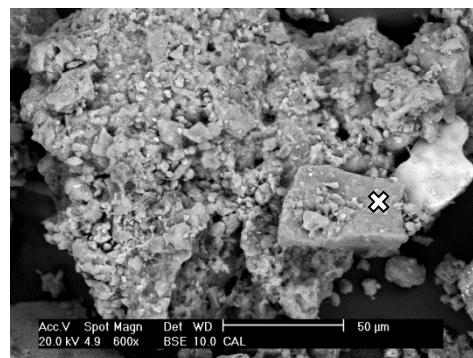
Localidad Calera

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	Fotomicrografía
CAL-a	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	22.68	-	-	
	Na K	1.94	Na <sub>2</sub> O	2.06	
	Mg K	1.11	MgO	1.38	
	Al K	19.49	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.69	
	Si K	41.87	SiO <sub>2</sub>	58.48	
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-	
	Ca K	9.25	CaO	8.28	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	3.67	FeO	3.11	
Total	100	Total	100		
CAL-a'	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	26.96	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	-	MgO	-	
	Al K	12.52	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.21	
	Si K	54.17	SiO <sub>2</sub>	77.43	
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-	
	Ca K	-	CaO	-	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	6.34	FeO	5.36	
Total	100	Total	100		
CAL-a''	C K	89.44	CO <sub>2</sub>	98.70	
	O K	8.45	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	-	MgO	-	
	Al K	0.75	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.43	
	Si K	1.35	SiO <sub>2</sub>	0.87	
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-	
	Ca K	-	CaO	-	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	-	FeO	-	
Total	100	Total	100		
CAL-b	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	17.02	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	0.64	MgO	0.75	
	Al K	11.69	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.40	
	Si K	43.44	SiO <sub>2</sub>	60.62	
	K K	2.6	K <sub>2</sub> O	1.97	
	Ca K	10.13	CaO	9.00	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	14.49	FeO	12.25	
Total	100	Total	100		

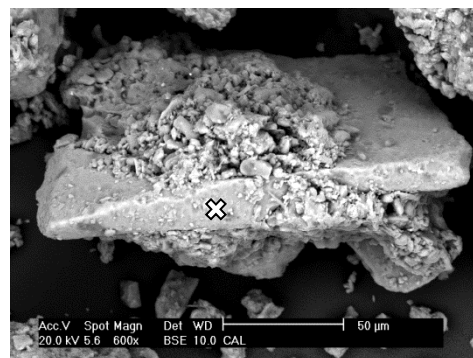
Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
CAL-c	C K	-	CO <sub>2</sub>	-
	O K	33.28	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	5.28	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.55
	Si K	58.87	SiO <sub>2</sub>	90.19
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	2.56	FeO	2.26
Total	100	Total	100	

Fotomicrografía

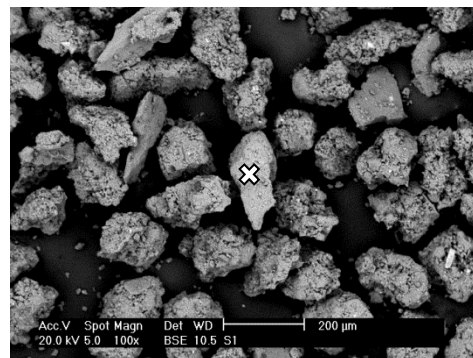


CAL-d	C K	-	CO <sub>2</sub>	-
	O K	26.95	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	9.48	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.07
	Si K	57.44	SiO <sub>2</sub>	82.42
	K K	6.13	K <sub>2</sub> O	4.5
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	-	FeO	-
Total	100	Total	100	

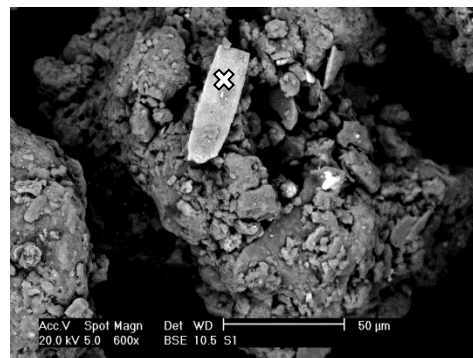


Localidad Saucillo

SAU-a	C K	2.05	CO <sub>2</sub>	1.73
	O K	29.52	-	-
	Na K	0.42	Na <sub>2</sub> O	0.92
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	6.61	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.77
	Si K	55.89	SiO <sub>2</sub>	82.56
	K K	1.12	K <sub>2</sub> O	0.80
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	4.38	FeO	4.21
Total	100	Total	100	



SAU-b	C K	6.52	CO <sub>2</sub>	-
	O K	22.96	-	-
	Na K	1.28	Na <sub>2</sub> O	1.46
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	15.07	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.60
	Si K	37.38	SiO <sub>2</sub>	58.56
	K K	3.66	K <sub>2</sub> O	3.42
	Ca K	1.41	CaO	1.46
	Ti K	1.84	TiO <sub>2</sub>	2.30
	Fe K	9.89	FeO	9.21
Total	100	Total	100	



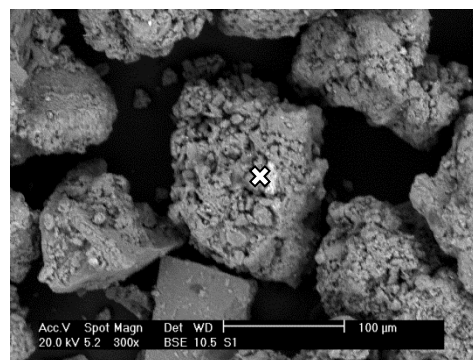
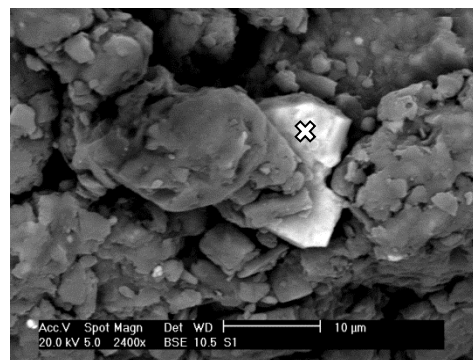
Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	Fotomicrografía
SAU-c	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	16.40	-	-	
	Na K	1.31	Na <sub>2</sub> O	1.47	
	Mg K	-	MgO	-	
	Al K	5.88	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.20	
	Si K	13.89	SiO <sub>2</sub>	24.61	
	K K	0.75	K <sub>2</sub> O	0.75	
	Ca K	1.56	CaO	1.81	
	Pb M	11.60	PbO <sub>2</sub>	12.5	
	Fe K	48.62	FeO	51.81	
Total	100	Total	100		
SAU-d	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	27.98	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	1.65	MgO	2.11	
	Al K	10.48	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.85	
	Si K	47.63	SiO <sub>2</sub>	72.00	
	K K	1.99	K <sub>2</sub> O	1.61	
	Ca K	2.07	CaO	1.96	
	Cr K	0.53	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.54	
	Fe K	7.68	FeO	6.93	
Total	100	Total	100		
SAU-e	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	27.41	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	0.60	MgO	0.76	
	Al K	11.80	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.58	
	Si K	49.54	SiO <sub>2</sub>	73.35	
	K K	1.87	K <sub>2</sub> O	1.47	
	Ca K	2.74	CaO	2.53	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	6.04	FeO	5.31	
Total	100	Total	100		
SAU-f	C K	-	CO <sub>2</sub>	-	
	O K	28.36	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	1.62	MgO	2.09	
	Al K	13.76	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.55	
	Si K	46.36	SiO <sub>2</sub>	69.23	
	K K	2.46	K <sub>2</sub> O	1.98	
	Ca K	-	CaO	-	
	Ti K	1.99	TiO <sub>2</sub>	2.28	
	Fe K	5.45	FeO	4.88	
Total	100	Total	100		

Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

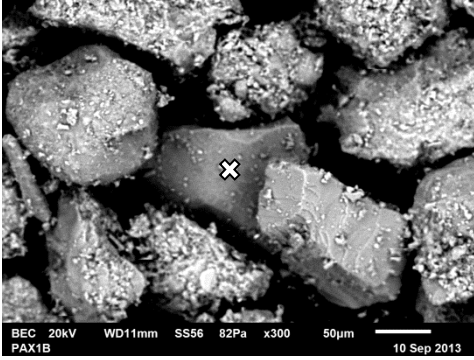
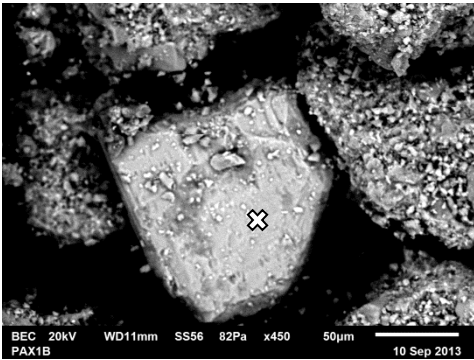
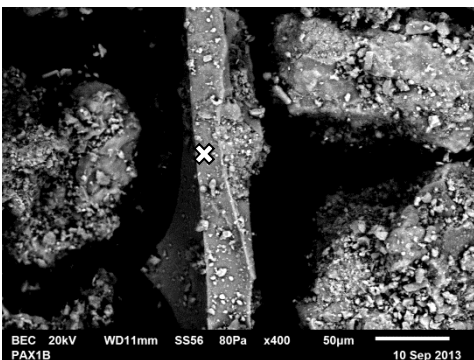
Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
SAU-g	C K	-	CO <sub>2</sub>	-
	O K	15.01	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	4.33	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.52
	Si K	7.54	SiO <sub>2</sub>	14.83
	S K	16.14	K <sub>2</sub> O	14.93
	Ba L	49.47	CaO	51.72
	Ti K	5.48	TiO <sub>2</sub>	8.56
	Fe K	2.03	FeO	2.45
Total	100	Total	100	
SAU-h	C K	-	CO <sub>2</sub>	-
	O K	24.34	-	-
	Na K	2.22	Na <sub>2</sub> O	2.34
	Mg K	2.64	MgO	3.32
	Al K	13.53	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.87
	Si K	41.07	SiO <sub>2</sub>	60.88
	K K	2.27	K <sub>2</sub> O	1.85
	Ca K	2.15	CaO	2.05
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	11.79	FeO	10.68
Total	100	Total	100	

Fotomicrografía



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Anexo 7.2. Fotomicrografía y microanálisis de las muestras analizadas por microscopía electrónica de barrido (MEB-EDS) de la zona SAN-TUL.

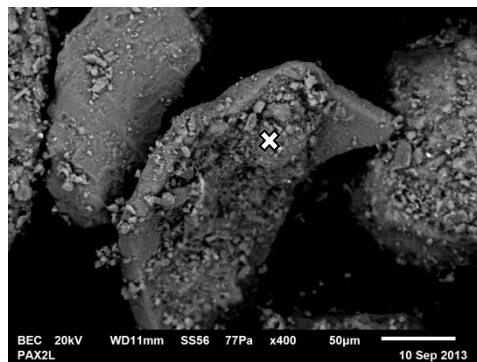
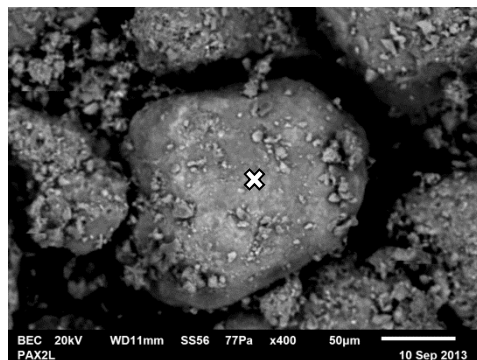
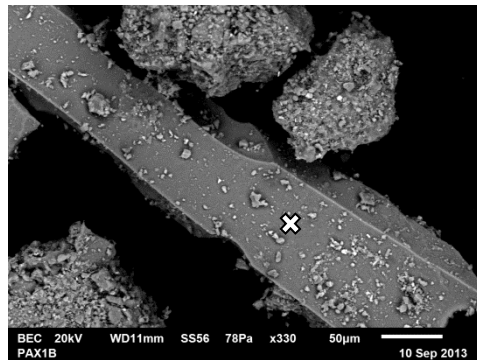
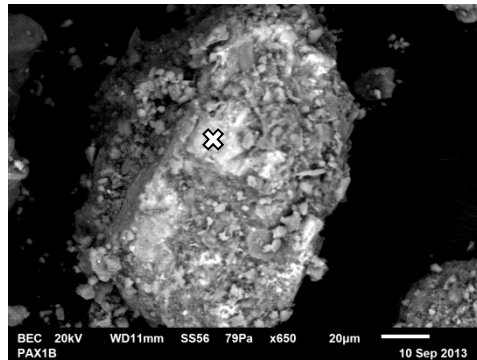
Zona Tulancingo-Santiago					Fotomicrografía
Localidad Paxtepec					
Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	
PX 1B-a	C K	13.40	CO <sub>2</sub>	42.39	
	O K	51.68	-	-	
	Na K	0.86	Na <sub>2</sub> O	1.00	
	Mg K	-	MgO	-	
	Al K	8.01	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.06	
	Si K	19.93	SiO <sub>2</sub>	36.82	
	K K	0.98	K <sub>2</sub> O	1.02	
	Ca K	-	CaO	-	
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-	
	Fe K	5.14	FeO	5.71	
	Total	100	Total	100	
PX 1B-b	C K	9.59	CO <sub>2</sub>	30.21	
	O K	45.12	-	-	
	Na K	0.36	Na <sub>2</sub> O	0.42	
	Mg K	5.32	MgO	7.58	
	Al K	4.52	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.34	
	Si K	21.85	SiO <sub>2</sub>	40.19	
	K K	0.27	K <sub>2</sub> O	0.28	
	Ca K	0.76	CaO	0.91	
	Ti K	0.48	TiO <sub>2</sub>	0.69	
	Fe K	11.18	FeO	12.36	
	Total	99.45	Total	100	
PX 1B-c	C K	11.55	CO <sub>2</sub>	37.31	
	O K	52.24	-	-	
	Na K	1.07	Na <sub>2</sub> O	1.27	
	Mg K	-	MgO	-	
	Al K	7.41	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.35	
	Si K	23.54	SiO <sub>2</sub>	44.40	
	K K	2.19	K <sub>2</sub> O	2.33	
	Ca K	-	CaO	-	
	Ti K	0.25	TiO <sub>2</sub>	0.37	
	Fe K	1.74	FeO	1.97	
	Total	100	Total	100	

Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.



Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
PX 1B-d	C K	11.04	CO <sub>2</sub>	38.13
	O K	49.91	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	4.09	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.29
	Si K	8.36	SiO <sub>2</sub>	16.86
	K K	0.21	K <sub>2</sub> O	0.24
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	16.90	TiO <sub>2</sub>	26.57
	Fe K	9.00	FeO	10.92
Total	100	Total	100	
PX 1B-e	C K	19.31	CO <sub>2</sub>	52.30
	O K	48.04	-	-
	Na K	0.88	Na <sub>2</sub> O	0.88
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	4.71	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.58
	Si K	23.17	SiO <sub>2</sub>	36.65
	K K	2.50	K <sub>2</sub> O	2.23
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	0.17	TiO <sub>2</sub>	0.21
	Fe K	1.22	FeO	1.16
Total	100	Total	100	
PX 2L-a	C K	7.75	CO <sub>2</sub>	26.94
	O K	50.22	-	-
	Na K	0.36	Na <sub>2</sub> O	0.46
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	10.96	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.65
	Si K	18.62	SiO <sub>2</sub>	37.79
	K K	0.46	K <sub>2</sub> O	0.52
	Ca K	0.32	CaO	0.43
	Ti K	1.12	TiO <sub>2</sub>	1.77
	Fe K	10.18	FeO	12.43
Total	100	Total	100	
PX 2L-b	C K	29.91	CO <sub>2</sub>	70.10
	O K	44.67	-	-
	Na K	0.60	Na <sub>2</sub> O	0.52
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	5.46	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.96
	Si K	11.65	SiO <sub>2</sub>	15.94
	K K	0.41	K <sub>2</sub> O	0.31
	Ca K	0.39	CaO	0.35
	Ti K	0.58	TiO <sub>2</sub>	0.62
	Fe K	6.32	FeO	5.20
Total	100	Total	100	

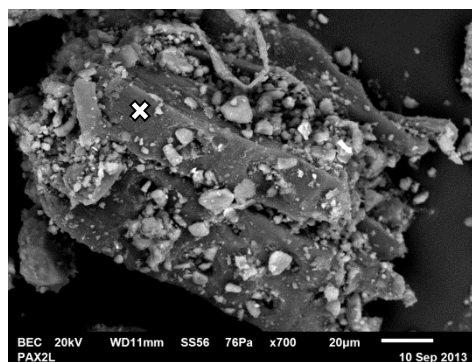
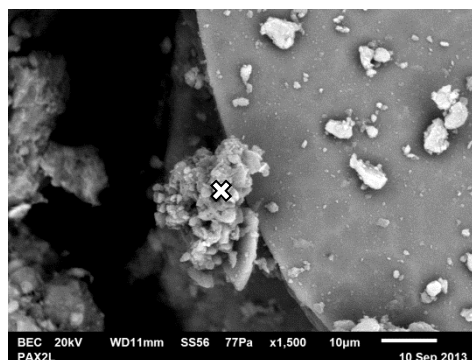
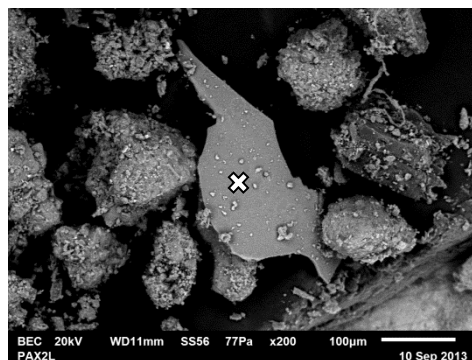
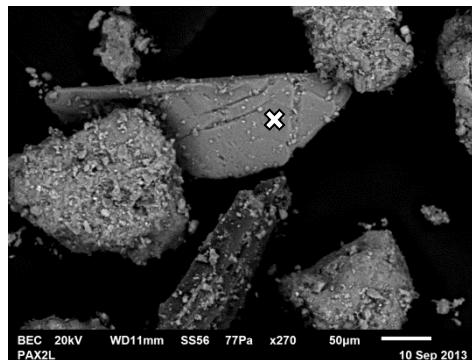
### Fotomicrografía



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
PX 2L-c	C K	24.31	CO <sub>2</sub>	59.15
	O K	43.34	-	-
	Na K	2.28	Na <sub>2</sub> O	2.04
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	8.81	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.05
	Si K	16.51	SiO <sub>2</sub>	23.45
	K K	0.17	K <sub>2</sub> O	0.13
	Ca K	3.57	CaO	3.32
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	1.00	FeO	0.86
Total	100	Total	100	
PX 2L-d	C K	21.56	CO <sub>2</sub>	50.47
	O K	38.81	-	-
	Na K	1.06	Na <sub>2</sub> O	0.91
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	9.65	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.65
	Si K	24.39	SiO <sub>2</sub>	33.34
	K K	2.67	K <sub>2</sub> O	2.06
	Ca K	0.42	CaO	0.38
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	1.45	FeO	1.19
Total	100	Total	100	
PX 2L-e	C K	15.17	CO <sub>2</sub>	47.24
	O K	52.78	-	-
	Na K	0.52	Na <sub>2</sub> O	0.59
	Mg K	0.27	MgO	0.38
	Al K	9.95	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.98
	Si K	17.06	SiO <sub>2</sub>	31.02
	K K	0.47	K <sub>2</sub> O	0.48
	Ca K	0.23	CaO	0.27
	Ti K	0.46	TiO <sub>2</sub>	0.65
	Fe K	3.08	FeO	3.37
Total	100	Total	100	
PX 2L-f	C K	34.51	CO <sub>2</sub>	72.99
	O K	40.09	-	-
	Na K	0.67	Na <sub>2</sub> O	0.50
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	11.46	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.15
	Si K	10.04	SiO <sub>2</sub>	12.05
	K K	0.88	K <sub>2</sub> O	0.59
	Ca K	0.41	CaO	0.32
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	1.93	FeO	1.39
Total	100	Total	100	

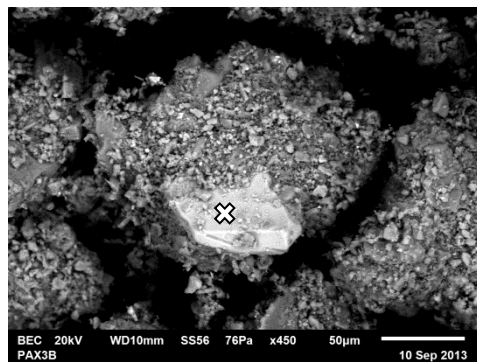
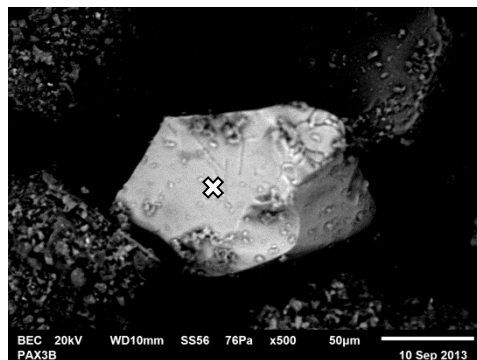
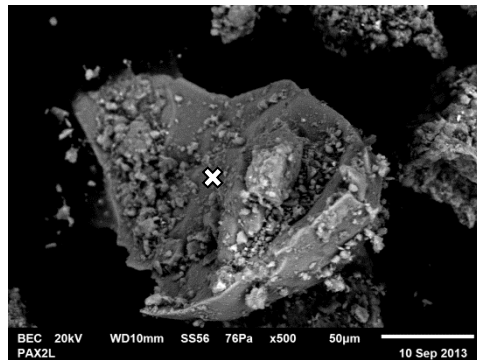
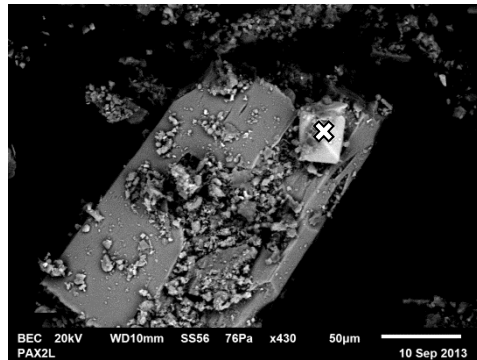
Fotomicrografía



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
PX 2L-g	C K	15.03	CO <sub>2</sub>	42.69
	O K	39.50	-	-
	Na K	0.50	Na <sub>2</sub> O	0.52
	Mg K	0.84	MgO	1.08
	Al K	5.25	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.69
	Si K	10.08	SiO <sub>2</sub>	16.71
	K K	0.27	K <sub>2</sub> O	0.26
	Ca K	0.51	CaO	0.55
	Ti K	8.65	TiO <sub>2</sub>	11.19
	Fe K	19.37	FeO	19.32
Total	100	Total	100	
PX 2L-h	C K	16.20	CO <sub>2</sub>	50.38
	O K	53.74	-	-
	Na K	1.01	Na <sub>2</sub> O	1.15
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	5.96	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.56
	Si K	18.96	SiO <sub>2</sub>	34.42
	K K	1.78	K <sub>2</sub> O	1.82
	Ca K	0.20	CaO	0.24
	Ti K	0.27	TiO <sub>2</sub>	0.38
	Fe K	1.88	FeO	2.05
Total	100	Total	100	
PX 3B-a	C K	8.47	CO <sub>2</sub>	27.93
	O K	38.78	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.72	MgO	1.07
	Al K	3.34	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.68
	Si K	6.05	SiO <sub>2</sub>	11.65
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	12.52	TiO <sub>2</sub>	18.80
	Fe K	30.11	FeO	34.87
Total	100	Total	100	
PX 3B-b	C K	6.59	CO <sub>2</sub>	24.94
	O K	48.23	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	1.14	MgO	1.95
	Al K	3.80	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.41
	Si K	7.87	SiO <sub>2</sub>	17.39
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Mn K	0.26	CaO	0.35
	Ti K	13.53	TiO <sub>2</sub>	23.30
	Fe K	18.56	FeO	24.66
Total	100	Total	100	

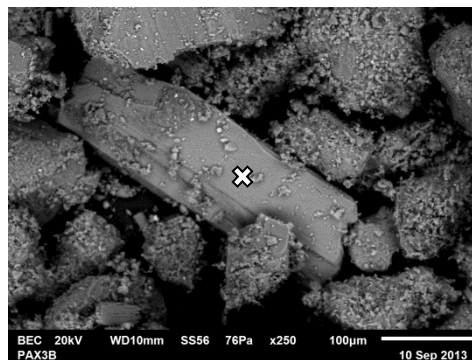
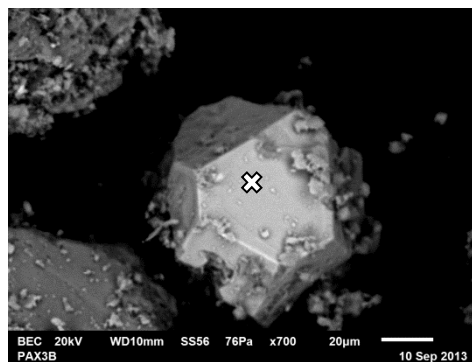
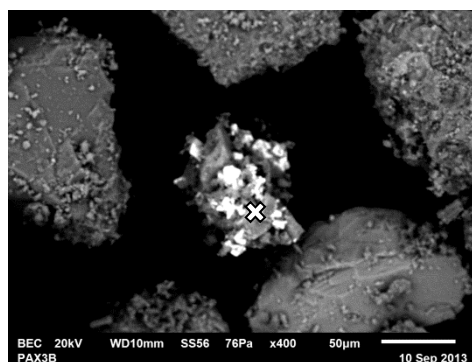
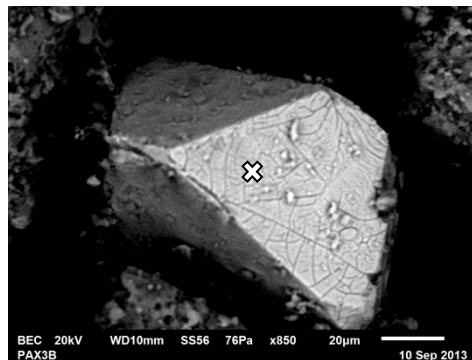
Fotomicrografía



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
PX 3B-c	C K	16.90	CO <sub>2</sub>	42.44
	O K	22.96	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	7.42	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.61
	Si K	4.90	SiO <sub>2</sub>	7.18
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ti K	1.59	TiO <sub>2</sub>	-
	Mn K	0.50	TiO <sub>2</sub>	0.45
	Fe K	45.73	FeO	40.32
Total	100	Total	100	
PX 3B-d	C K	16.28	CO <sub>2</sub>	45.88
	O K	42.87	-	-
	Na K	0.30	Na <sub>2</sub> O	0.31
	Mg K	3.46	MgO	4.41
	Al K	4.84	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.04
	Si K	16.70	SiO <sub>2</sub>	27.48
	S K	0.17	K <sub>2</sub> O	0.32
	Ca K	0.70	CaO	0.75
	Ti K	0.27	TiO <sub>2</sub>	0.35
	Fe K	2.11	FeO	2.08
	Sn L	8.03	SnO <sub>2</sub>	7.84
	Pb M	4.27	PbO	3.54
	Total	100	Total	100
PX 3B-e	C K	11.75	CO <sub>2</sub>	34.47
	O K	36.41	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	1.02	MgO	1.35
	Al K	3.69	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.58
	Si K	5.66	SiO <sub>2</sub>	9.70
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Mn K	0.27	CaO	0.28
	Ti K	20.22	TiO <sub>2</sub>	27.01
	Fe K	20.97	FeO	21.60
Total	100	Total	100	
PX 3B-f	C K	7.60	CO <sub>2</sub>	25.13
	O K	46.22	-	-
	Na K	1.05	Na <sub>2</sub> O	1.28
	Mg K	5.04	MgO	7.54
	Al K	5.13	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.74
	Si K	20.73	SiO <sub>2</sub>	40.02
	K K	0.49	K <sub>2</sub> O	0.53
	Ca K	5.22	CaO	6.59
	Ti K	0.86	TiO <sub>2</sub>	1.29
	Fe K	7.64	FeO	8.87
Total	100	Total	100	

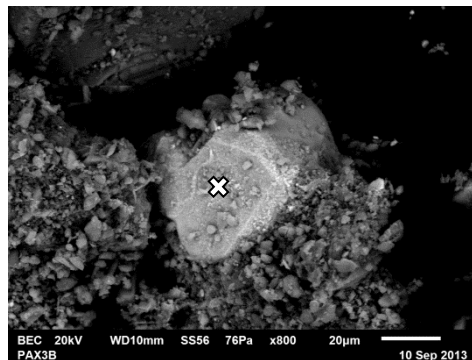
Fotomicrografía



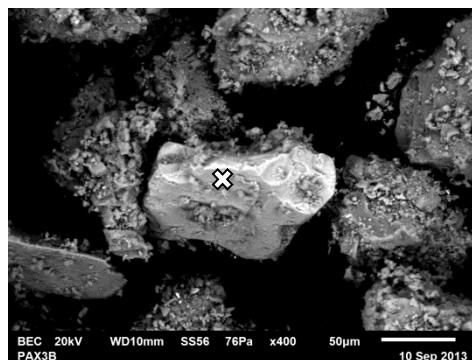
Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
PX 3B-g	C K	8.33	CO <sub>2</sub>	29.97
	O K	44.84	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.66	MgO	1.07
	Al K	4.52	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.39
	Si K	8.53	SiO <sub>2</sub>	17.92
	K K	0.19	K <sub>2</sub> O	0.23
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	2.24	TiO <sub>2</sub>	3.67
	Fe K	30.68	FeO	38.76
	Total	100	Total	100

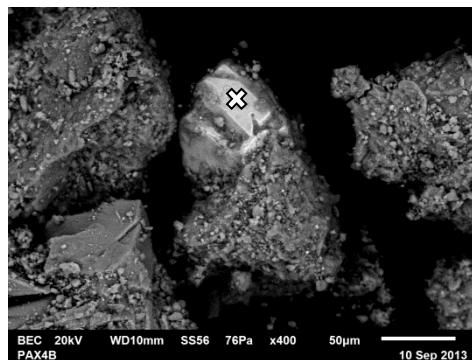
Fotomicrografía



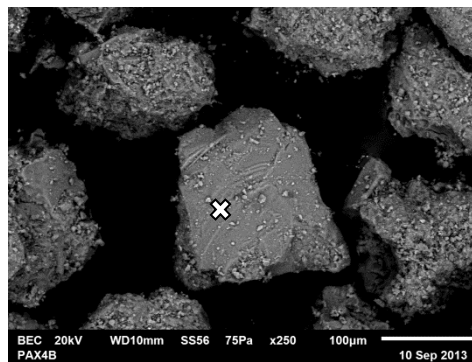
PX 3B-h	C K	9.62	CO <sub>2</sub>	30.75
	O K	41.96	-	-
	Na K	0.51	Na <sub>2</sub> O	0.60
	Al K	4.70	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.75
	Si K	10.87	SiO <sub>2</sub>	20.28
	K K	0.33	K <sub>2</sub> O	0.35
	Ca K	0.27	CaO	0.33
	Mn K	0.39	MnO	0.44
	Ti K	12.96	TiO <sub>2</sub>	18.86
	Fe K	18.39	FeO	20.64
	Total	100	Total	100



PX 4B-a	C K	16.67	CO <sub>2</sub>	48.48
	O K	41.75	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.61	MgO	0.80
	Al K	3.27	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.91
	Si K	5.42	SiO <sub>2</sub>	9.21
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	12.00	TiO <sub>2</sub>	15.89
	Fe K	20.29	FeO	20.72
	Total	100	Total	100



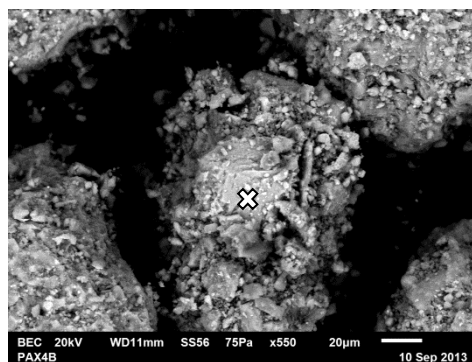
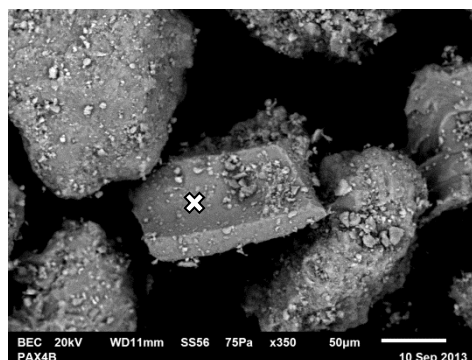
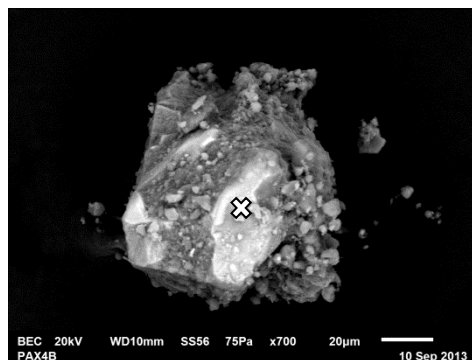
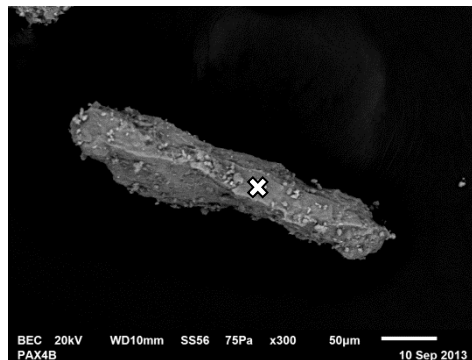
PX 4B-b	C K	17.71	CO <sub>2</sub>	48.02
	O K	44.95	-	-
	Na K	0.94	Na <sub>2</sub> O	0.94
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	8.61	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.04
	Si K	20.63	SiO <sub>2</sub>	32.66
	K K	5.31	K <sub>2</sub> O	4.57
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	1.86	FeO	1.77
	Total	100	Total	100



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
PX 4B-c	C K	47.06	CO <sub>2</sub>	85.18
	O K	36.57	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	6.05	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.65
	Si K	6.19	SiO <sub>2</sub>	6.54
	K K	0.19	K <sub>2</sub> O	0.11
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	0.28	TiO <sub>2</sub>	0.19
	Fe K	3.66	FeO	2.33
Total	100	Total	100	
PX 4B-d	C K	27.81	CO <sub>2</sub>	65.15
	O K	38.61	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.35	MgO	0.37
	Al K	4.90	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.92
	Si K	5.29	SiO <sub>2</sub>	7.24
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	9.71	TiO <sub>2</sub>	10.36
	Fe K	13.34	FeO	10.97
Total	100	Total	100	
PX 4B-e	C K	11.53	CO <sub>2</sub>	39.83
	O K	56.05	-	-
	Na K	1.47	Na <sub>2</sub> O	1.87
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	5.40	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.62
	Si K	22.22	SiO <sub>2</sub>	44.82
	K K	1.88	K <sub>2</sub> O	2.13
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	1.44	FeO	1.74
Total	100	Total	100	
PX 4B-f	C K	10.92	CO <sub>2</sub>	34.66
	O K	47.13	-	-
	Na K	0.64	Na <sub>2</sub> O	0.74
	Mg K	2.93	MgO	4.21
	Al K	5.87	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.61
	Si K	18.98	SiO <sub>2</sub>	35.17
	K K	0.38	K <sub>2</sub> O	0.40
	Ca K	3.88	CaO	4.70
	Ti K	0.53	TiO <sub>2</sub>	0.76
	Fe K	8.75	FeO	9.75
Total	100	Total	100	

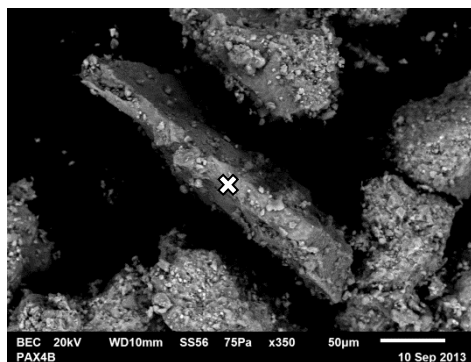
Fotomicrografía



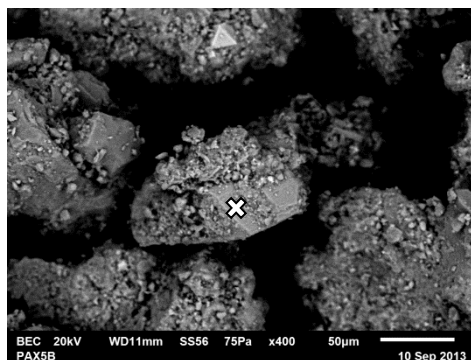
Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
PX 4B-g	C K	22.60	CO <sub>2</sub>	61.45
	O K	50.35	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	7.65	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.72
	Si K	14.57	SiO <sub>2</sub>	23.13
	K K	0.71	K <sub>2</sub> O	0.64
	Ca K	0.21	CaO	0.22
	Ti K	0.41	TiO <sub>2</sub>	0.50
	Fe K	3.49	FeO	3.33
Total	100	Total	100	

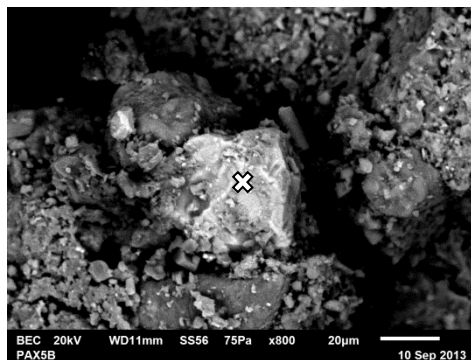
Fotomicrografía



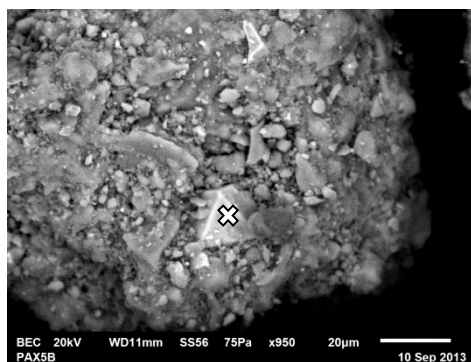
PX 5B-a	C K	10.18	CO <sub>2</sub>	33.04
	O K	48.57	-	-
	Na K	0.79	Na <sub>2</sub> O	0.94
	Mg K	2.46	MgO	3.61
	Al K	7.44	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.45
	Si K	19.22	SiO <sub>2</sub>	36.42
	K K	0.75	K <sub>2</sub> O	0.80
	Ca K	2.64	CaO	3.27
	Ti K	1.13	TiO <sub>2</sub>	1.67
	Fe K	6.84	FeO	7.80
Total	100	Total	100	



PX 5B-b	C K	8.51	CO <sub>2</sub>	28.70
	O K	43.80	-	-
	Mg K	0.55	MgO	0.84
	Al K	4.38	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.61
	Si K	7.98	SiO <sub>2</sub>	15.71
	K K	0.18	K <sub>2</sub> O	0.20
	Ca K	0.23	CaO	0.29
	Mn K	0.29	MnO	0.34
	Ti K	16.88	TiO <sub>2</sub>	25.92
	Fe K	17.21	FeO	20.38
Total	100	Total	100	



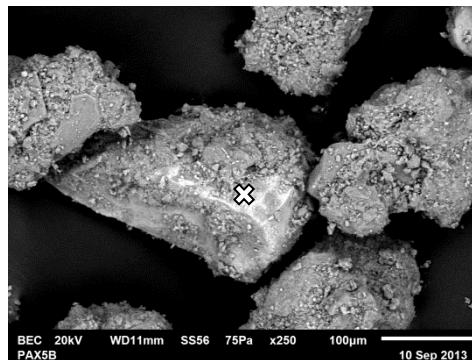
PX 5B-c	C K	10.58	CO <sub>2</sub>	30.17
	O K	33.44	-	-
	Na K	0.53	Na <sub>2</sub> O	0.55
	Mg K	1.77	MgO	2.29
	Al K	7.91	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.63
	Si K	10.85	SiO <sub>2</sub>	18.06
	K K	0.34	K <sub>2</sub> O	0.32
	Ca K	0.40	CaO	0.44
	Ti K	1.31	TiO <sub>2</sub>	1.70
	Fe K	18.92	FeO	18.94
Cr K	13.97	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.89	
Total	100	Total	100	



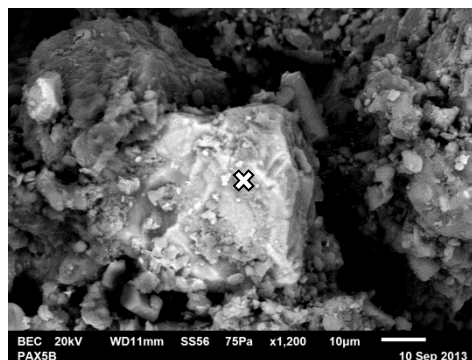
Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
PX 5B-d	C K	13.79	CO <sub>2</sub>	42.88
	O K	47.62	-	-
	Mg K	0.27	MgO	0.38
	Al K	7.50	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.03
	Si K	11.64	SiO <sub>2</sub>	21.13
	K K	0.35	K <sub>2</sub> O	0.36
	Ca K	0.27	CaO	0.32
	Mn K	0.28	MnO	0.31
	Ti K	8.18	TiO <sub>2</sub>	11.58
	Fe K	10.09	FeO	11.02
Total	100	Total	100	

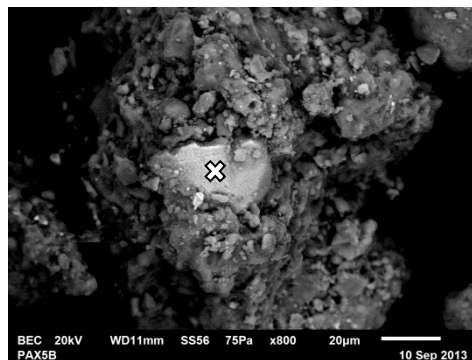
Fotomicrografía



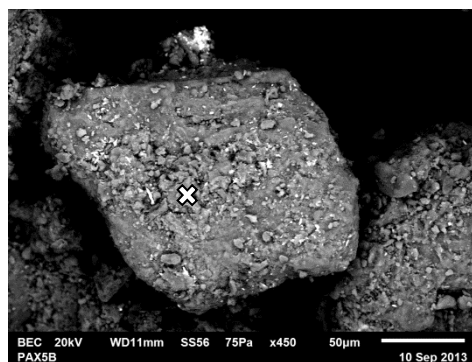
PX 5B-e	C K	8.87	CO <sub>2</sub>	29.86
	O K	44.20	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.59	MgO	0.90
	Al K	4.38	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.60
	Si K	7.84	SiO <sub>2</sub>	15.41
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Mn K	0.27	CaO	0.32
	Ti K	16.81	TiO <sub>2</sub>	25.76
	Fe K	17.04	FeO	20.14
Total	100	Total	100	



PX 5B-f	C K	8.76	CO <sub>2</sub>	27.17
	O K	36.47	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	5.26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.41
	Si K	9.14	SiO <sub>2</sub>	16.55
	K K	0.24	K <sub>2</sub> O	0.25
	Mn K	0.50	CaO	0.55
	Ti K	12.13	TiO <sub>2</sub>	17.12
	Fe K	27.51	FeO	29.95
Total	100	Total	100	



PX 5B-g	C K	12.55	CO <sub>2</sub>	38.39
	O K	47.99	-	-
	Na K	0.42	Na <sub>2</sub> O	0.48
	Mg K	0.89	MgO	1.24
	Al K	6.42	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.13
	Si K	22.42	SiO <sub>2</sub>	40.04
	K K	0.86	K <sub>2</sub> O	0.87
	Ca K	0.76	CaO	0.89
	Ti K	0.47	TiO <sub>2</sub>	0.65
	Fe K	4.75	FeO	5.10
Pb M	2.47	PbO	2.22	
Total	100	Total	100	



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

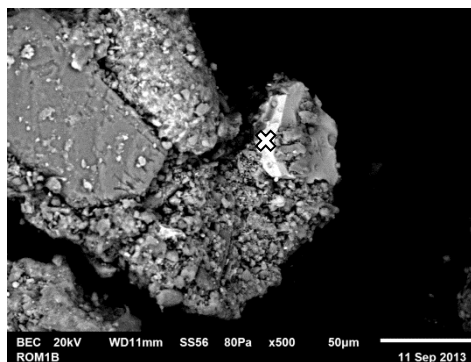


Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto	Fotomicrografía
PX 5B-h	C K	20.64	CO <sub>2</sub>	51.30	
	O K	34.10	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	0.42	MgO	0.47	
	Al K	5.05	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.47	
	Si K	6.08	SiO <sub>2</sub>	8.82	
	K K	0.27	K <sub>2</sub> O	0.22	
	Ca K	-	CaO	-	
	Ti K	13.62	TiO <sub>2</sub>	15.41	
	Fe K	19.83	FeO	17.30	
	Total	100	Total	100	
PX 5B-i	C K	7.87	CO <sub>2</sub>	27.70	
	O K	45.41	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	0.78	MgO	1.24	
	Al K	4.98	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.04	
	Si K	8.23	SiO <sub>2</sub>	16.91	
	K K	0.21	K <sub>2</sub> O	0.24	
	Ca K	-	CaO	-	
	Ti K	12.85	TiO <sub>2</sub>	20.58	
	Fe K	19.66	FeO	24.29	
	Total	100	Total	100	
<b>Localidad Romeros</b>					
RM 1B-a	C K	13.74	CO <sub>2</sub>	45.79	
	O K	47.16	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	0.42	MgO	0.64	
	Al K	2.32	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.98	
	Si K	3.85	SiO <sub>2</sub>	7.50	
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-	
	Mn K	0.30	CaO	0.35	
	Ti K	11.67	TiO <sub>2</sub>	17.71	
	Fe K	20.53	FeO	24.02	
	Total	100	Total	100	
RM 1B-b	C K	6.10	CO <sub>2</sub>	22.02	
	O K	42.45	-	-	
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-	
	Mg K	0.64	MgO	1.04	
	Al K	4.53	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.43	
	Si K	6.59	SiO <sub>2</sub>	13.89	
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-	
	Ca K	-	CaO	-	
	Ti K	11.46	TiO <sub>2</sub>	18.84	
	Fe K	28.23	FeO	35.78	
	Total	100	Total	100	

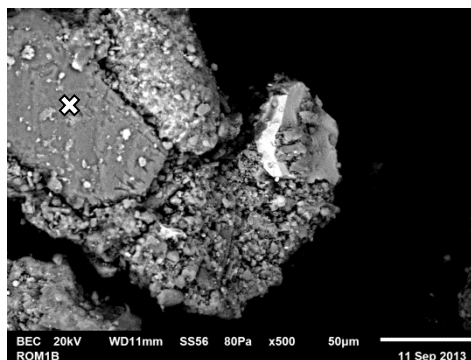
**Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.**

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
RM 1B-c	C K	32.90	CO <sub>2</sub>	65.58
	O K	25.54	-	-
	Na K	0.32	Na <sub>2</sub> O	0.23
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	5.25	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.40
	Si K	4.87	SiO <sub>2</sub>	5.67
	K K	0.22	K <sub>2</sub> O	0.15
	Ti K	6.50	TiO <sub>2</sub>	5.90
	Fe K	24.03	FeO	16.82
	Cu K	0.38	CuO	0.26
Total	100	Total	100	

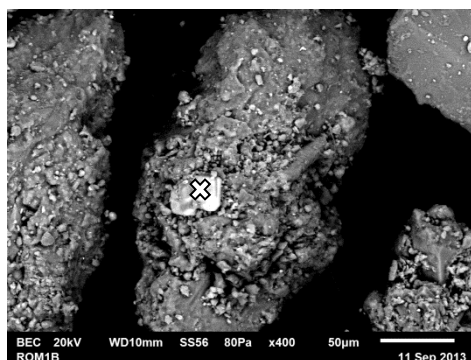
Fotomicrografía



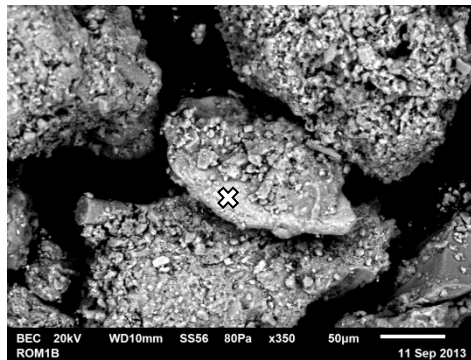
RM 1B-c'	C K	25.47	CO <sub>2</sub>	65.97
	O K	42.25	-	-
	Na K	3.13	Na <sub>2</sub> O	2.31
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	7.96	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.23
	Si K	18.17	SiO <sub>2</sub>	21.27
	K K	0.55	K <sub>2</sub> O	0.36
	Ca K	0.90	CaO	0.69
	Ti K	0.26	TiO <sub>2</sub>	0.24
	Fe K	1.32	FeO	0.93
Total	100	Total	100	



RM 1B-d	C K	8.74	CO <sub>2</sub>	32.27
	O K	50.38	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.38	MgO	0.63
	Al K	6.76	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.87
	Si K	7.57	SiO <sub>2</sub>	16.32
	K K	0.19	K <sub>2</sub> O	0.23
	Mn K	0.31	CaO	0.40
	Ti K	10.34	TiO <sub>2</sub>	17.39
	Fe K	15.34	FeO	19.89
Total	100	Total	100	



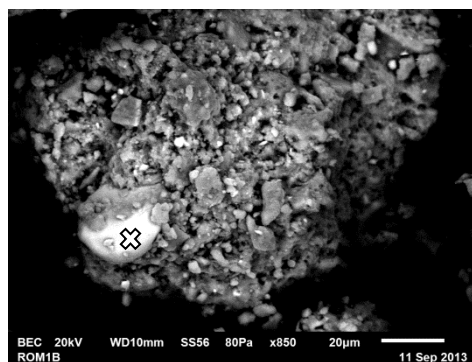
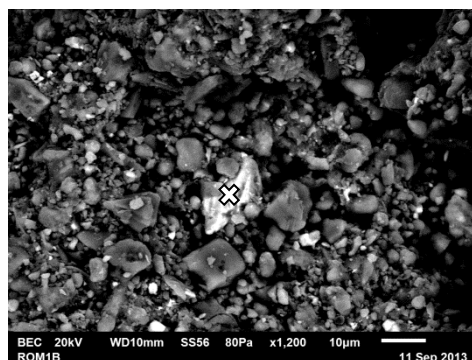
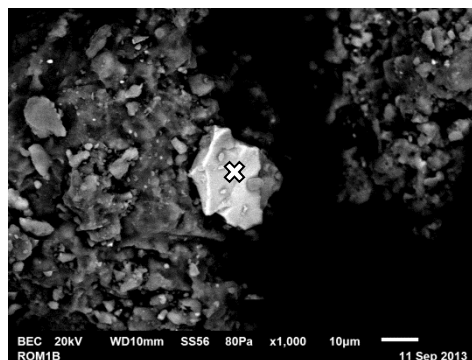
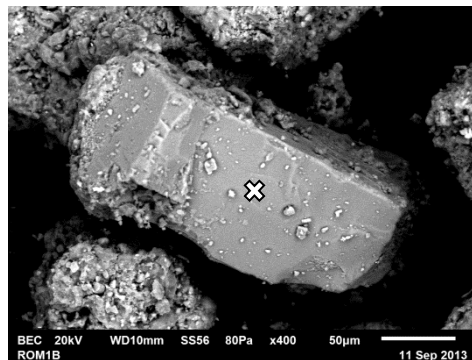
RM 1B-e	C K	6.92	CO <sub>2</sub>	24.47
	O K	48.63	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	1.83	MgO	2.92
	Al K	11.11	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.25
	Si K	15.80	SiO <sub>2</sub>	32.61
	K K	1.79	K <sub>2</sub> O	2.08
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	1.07	TiO <sub>2</sub>	1.72
	Fe K	12.84	FeO	15.94
Total	100	Total	100	



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
RM 1B-f	C K	26.62	CO <sub>2</sub>	62.98
	O K	42.68	-	-
	Na K	0.52	Na <sub>2</sub> O	0.37
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	9.86	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.03
	Si K	14.41	SiO <sub>2</sub>	19.91
	K K	3.75	K <sub>2</sub> O	2.92
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	2.16	FeO	1.80
Total	100	Total	100	
RM 1B-g	C K	15.12	CO <sub>2</sub>	40.19
	O K	31.48	-	-
	Na K	0.33	Na <sub>2</sub> O	0.32
	Mg K	0.28	MgO	0.33
	Al K	5.28	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.24
	Si K	7.16	SiO <sub>2</sub>	11.12
	K K	0.28	K <sub>2</sub> O	0.25
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	11.41	TiO <sub>2</sub>	13.81
	Fe K	28.65	FeO	26.74
Total	100	Total	100	
RM 1B-h	C K	10.63	CO <sub>2</sub>	35.62
	O K	43.89	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.69	MgO	1.04
	Al K	4.54	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.85
	Si K	8.14	SiO <sub>2</sub>	15.92
	K K	0.29	K <sub>2</sub> O	0.32
	Mn K	0.30	CaO	0.36
	Ti K	5.20	TiO <sub>2</sub>	7.93
	Fe K	26.32	FeO	30.96
Total	100	Total	100	
RM 1B-i	C K	10.27	CO <sub>2</sub>	35.91
	O K	46.50	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	1.45	MgO	2.29
	Al K	3.04	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.48
	Si K	4.92	SiO <sub>2</sub>	10.05
	K K	0.17	K <sub>2</sub> O	0.19
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	12.63	TiO <sub>2</sub>	20.10
	Fe K	20.64	FeO	25.33
V K	0.38	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.65	
Total	100	Total	100	

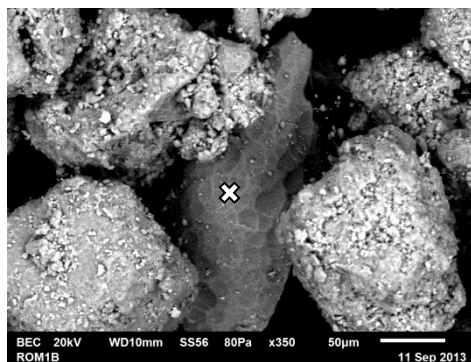
Fotomicrografía



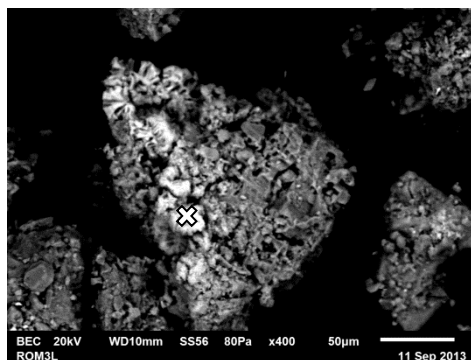
Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
RM 1B-j	C K	23.17	CO <sub>2</sub>	61.32
	O K	48.18	-	-
	Na K	0.47	Na <sub>2</sub> O	0.46
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	6.12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.35
	Si K	15.14	SiO <sub>2</sub>	23.39
	K K	1.47	K <sub>2</sub> O	1.28
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	0.50	TiO <sub>2</sub>	0.60
	Fe K	4.95	FeO	4.60
Total	100	Total	100	

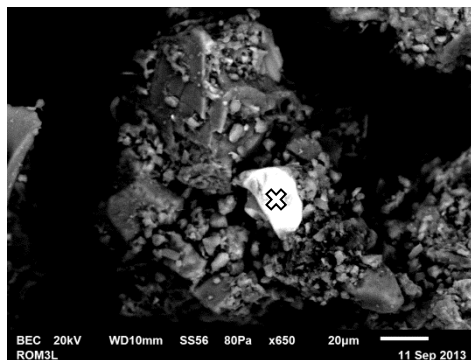
Fotomicrografía



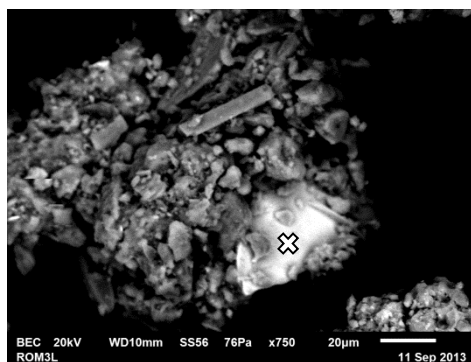
RM 3L-a	C K	15.42	CO <sub>2</sub>	51.02
	O K	49.31	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	2.33	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.97
	Si K	7.73	SiO <sub>2</sub>	14.93
	K K	0.19	K <sub>2</sub> O	0.21
	Ca K	0.50	CaO	0.63
	P K	0.78	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.62
	Fe K	23.74	FeO	27.62
Total	100	Total	100	



RM 3L-b	C K	16.16	CO <sub>2</sub>	45.96
	O K	40.74	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	2.01	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.95
	Si K	13.24	SiO <sub>2</sub>	21.98
	K K	0.34	K <sub>2</sub> O	0.32
	Ca K	0.18	CaO	0.19
	Fe K	1.45	FeO	1.45
	Zr L	25.88	ZrO <sub>2</sub>	27.14
Total	100	Total	100	



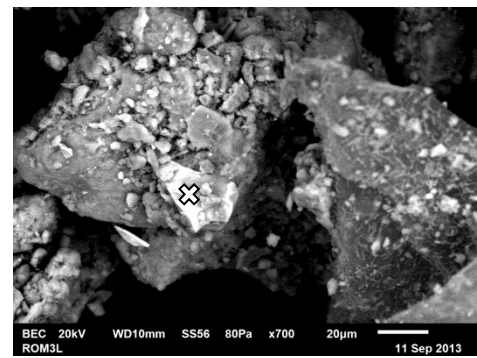
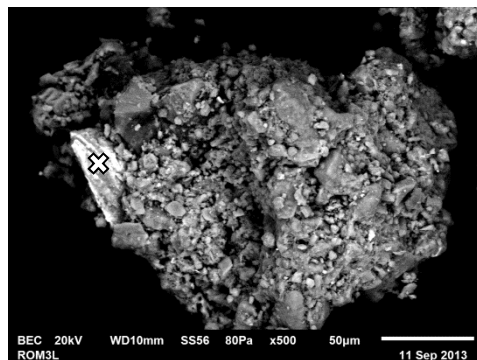
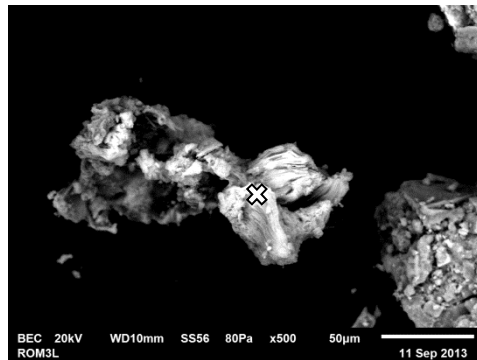
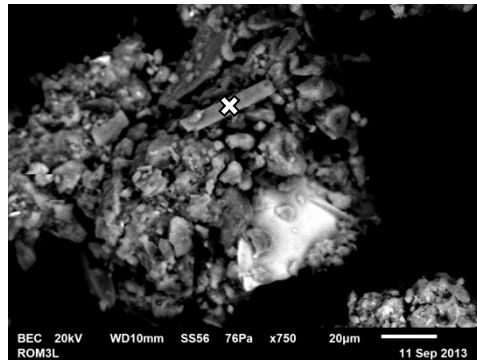
RM 3L-c	C K	16.07	CO <sub>2</sub>	42.91
	O K	34.28	-	-
	Na K	0.60	Na <sub>2</sub> O	0.59
	Al K	3.71	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.11
	Si K	9.00	SiO <sub>2</sub>	14.03
	K K	0.36	K <sub>2</sub> O	0.31
	Ca K	0.30	CaO	0.31
	Ti K	11.13	TiO <sub>2</sub>	13.52
	Fe K	23.54	FeO	22.07
	Mn K	0.42	MnO	0.39
V K	0.59	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.77	
Total	100	Total	100	



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
RM 3L-c'	C K	19.46	CO <sub>2</sub>	56.10
	O K	50.97	-	-
	Na K	1.49	Na <sub>2</sub> O	1.58
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	6.19	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.21
	Si K	16.32	SiO <sub>2</sub>	27.47
	K K	2.25	K <sub>2</sub> O	2.13
	Ca K	0.58	CaO	0.64
	Ti K	0.31	TiO <sub>2</sub>	0.41
	Fe K	2.43	FeO	2.46
Total	100	Total	100	
RM 3L-d	C K	28.11	CO <sub>2</sub>	71.90
	O K	45.22	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	1.38	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.82
	Si K	5.82	SiO <sub>2</sub>	8.69
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	0.29	CaO	0.29
	P K	0.11	TiO <sub>2</sub>	0.17
	Fe K	19.07	FeO	17.12
Total	100	Total	100	
RM 3L-e	C K	27.27	CO <sub>2</sub>	64.07
	O K	41.01	-	-
	Na K	0.30	Na <sub>2</sub> O	0.26
	Mg K	1.40	MgO	1.49
	Al K	9.54	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.56
	Si K	9.76	SiO <sub>2</sub>	13.39
	K K	0.27	K <sub>2</sub> O	0.21
	Ca K	0.26	CaO	0.23
	Ti K	1.59	TiO <sub>2</sub>	1.701
	Fe K	8.60	FeO	7.09
Total	100	Total	100	
RM 3L-f	C K	12.03	CO <sub>2</sub>	43.31
	O K	54.61	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.77	MgO	1.26
	Al K	5.12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.50
	Si K	9.91	SiO <sub>2</sub>	20.83
	K K	0.25	K <sub>2</sub> O	0.29
	Ca K	0.18	CaO	0.25
	Ti K	7.75	TiO <sub>2</sub>	12.70
	Fe K	9.38	FeO	11.86
Total	100	Total	100	

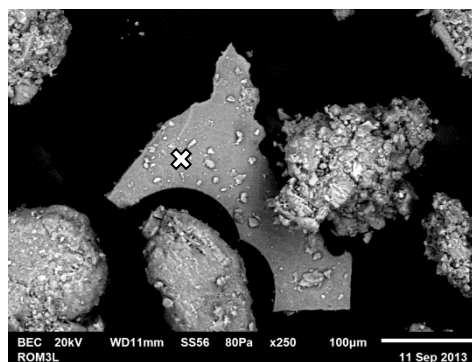
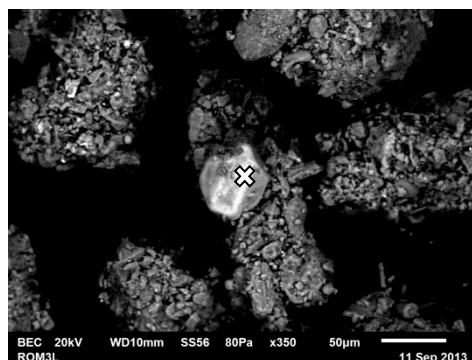
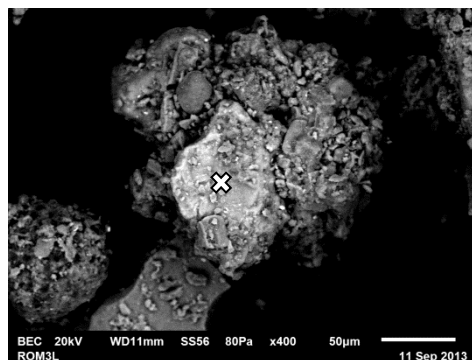
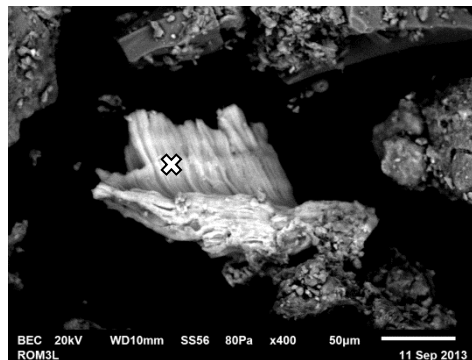
Fotomicrografía



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
RM 3L-g	C K	23.06	CO <sub>2</sub>	62.18
	O K	42.03	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	1.85	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.58
	Si K	4.08	SiO <sub>2</sub>	6.42
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	0.44	CaO	0.46
	P K	1.83	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.08
	Fe K	26.71	FeO	25.29
Total	100	Total	100	
RM 3L-h	C K	15.35	CO <sub>2</sub>	45.82
	O K	46.76	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.37	MgO	0.50
	Al K	8.69	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.38
	Si K	14.32	SiO <sub>2</sub>	24.96
	K K	0.25	K <sub>2</sub> O	0.24
	Ca K	0.44	CaO	0.51
	Ti K	0.35	TiO <sub>2</sub>	0.47
	Fe K	13.48	FeO	14.13
Total	100	Total	100	
RM 3L-i	C K	14.09	CO <sub>2</sub>	39.50
	O K	36.28	-	-
	Na K	0.30	Na <sub>2</sub> O	0.31
	Mg K	0.59	MgO	0.75
	Al K	5.12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.40
	Si K	7.25	SiO <sub>2</sub>	11.87
	K K	0.21	K <sub>2</sub> O	0.19
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	15.14	TiO <sub>2</sub>	19.32
	Fe K	21.01	FeO	20.68
Total	100	Total	100	
RM 3L-j	C K	27.67	CO <sub>2</sub>	63.35
	O K	42.53	-	-
	Na K	0.30	Na <sub>2</sub> O	0.25
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	4.22	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.98
	Si K	20.95	SiO <sub>2</sub>	28.01
	K K	2.61	K <sub>2</sub> O	1.96
	Ca K	0.28	CaO	0.24
	Ti K	0.16	TiO <sub>2</sub>	0.17
	Fe K	1.29	FeO	1.04
Total	100	Total	100	

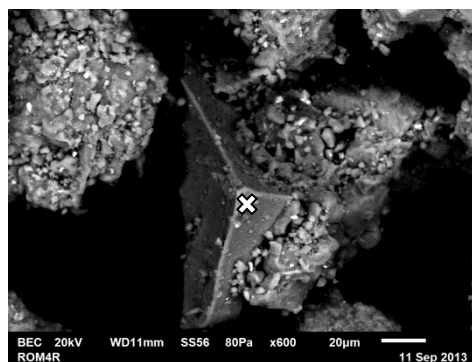
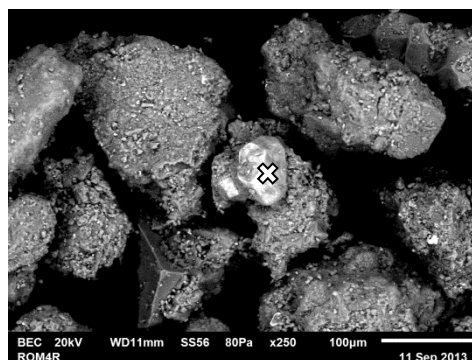
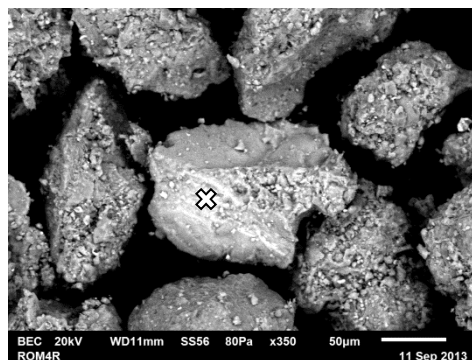
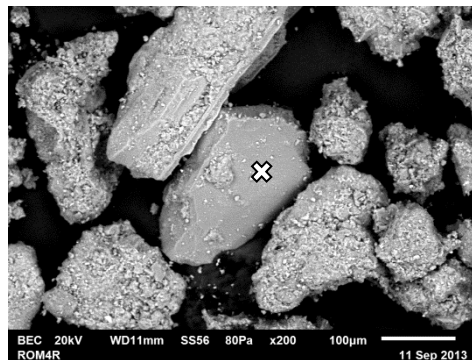
### Fotomicrografía



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
RM 4R-a	C K	19.20	CO <sub>2</sub>	51.99
	O K	48.13	-	-
	Na K	0.36	Na <sub>2</sub> O	0.36
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	5.50	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.68
	Si K	23.04	SiO <sub>2</sub>	36.42
	K K	0.48	K <sub>2</sub> O	0.43
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	3.28	FeO	3.12
Total	100	Total	100	
RM 4R-b	C K	9.51	CO <sub>2</sub>	33.03
	O K	50.90	-	-
	Na K	0.43	Na <sub>2</sub> O	0.55
	Mn K	8.09	MnO	9.90
	Al K	8.37	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.99
	Si K	16.86	SiO <sub>2</sub>	34.18
	K K	0.60	K <sub>2</sub> O	0.68
	Ca K	0.40	CaO	0.53
	Ti K	0.72	TiO <sub>2</sub>	1.14
	Fe K	4.10	FeO	4.99
Total	100	Total	100	
RM 4R-c	C K	12.26	CO <sub>2</sub>	38.58
	O K	43.61	-	-
	Na K	0.44	Na <sub>2</sub> O	0.51
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	5.25	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.52
	Si K	9.85	SiO <sub>2</sub>	18.10
	K K	0.26	K <sub>2</sub> O	0.27
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	8.33	TiO <sub>2</sub>	11.93
	Fe K	20.00	FeO	22.10
Total	100	Total	100	
RM 4R-d	C K	24.22	CO <sub>2</sub>	64.50
	O K	49.91	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	6.84	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.39
	Si K	13.48	SiO <sub>2</sub>	20.96
	K K	0.63	K <sub>2</sub> O	0.55
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	4.92	FeO	4.60
Total	100	Total	100	

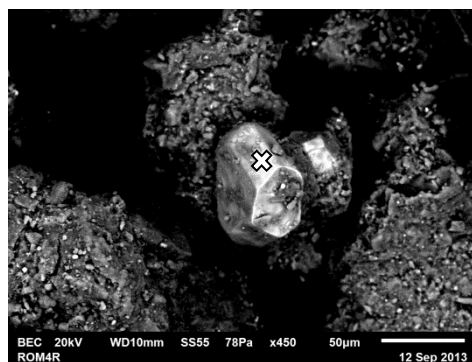
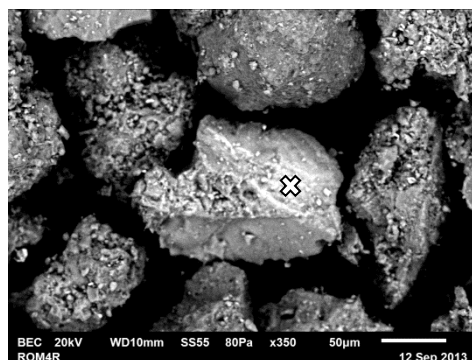
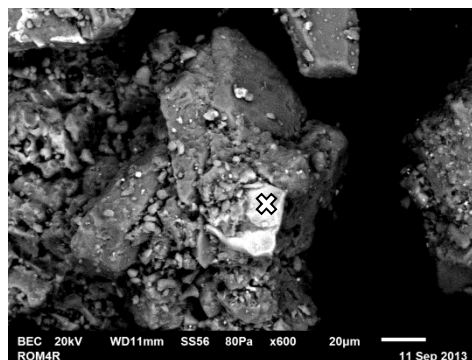
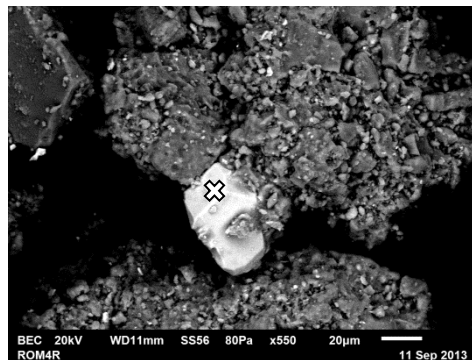
### Fotomicrografía



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
RM 4R-e	C K	8.40	CO <sub>2</sub>	31.13
	O K	48.99	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.47	MgO	0.79
	Al K	4.38	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.38
	Si K	6.81	SiO <sub>2</sub>	14.74
	K K	0.16	K <sub>2</sub> O	0.19
	Mn K	0.23	MnO	0.30
	Ti K	12.17	TiO <sub>2</sub>	20.53
	Fe K	18.39	FeO	23.93
Total	100	Total	100	
RM 4R-f	C K	10.71	CO <sub>2</sub>	36.38
	O K	45.40	-	-
	Na K	0.35	Na <sub>2</sub> O	0.44
	Mg K	0.79	MgO	1.21
	Al K	3.51	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.15
	Si K	6.09	SiO <sub>2</sub>	12.08
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Mn K	0.40	MnO	0.48
	Ti K	11.86	TiO <sub>2</sub>	18.34
	Fe K	20.90	FeO	24.93
Total	100	Total	100	
RM 4R-g	C K	9.82	CO <sub>2</sub>	33.32
	O K	49.06	-	-
	Na K	0.46	Na <sub>2</sub> O	0.57
	Al K	8.36	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.63
	Si K	15.98	SiO <sub>2</sub>	31.66
	K K	0.62	K <sub>2</sub> O	0.69
	Ca K	0.45	CaO	0.58
	Mn K	10.19	MnO	12.19
	Ti K	0.85	TiO <sub>2</sub>	1.32
	Fe K	4.22	FeO	5.03
Total	100	Total	100	
RM 4R-h	C K	9.24	CO <sub>2</sub>	33.49
	O K	47.66	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.51	MgO	0.84
	Al K	4.00	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.48
	Si K	6.26	SiO <sub>2</sub>	13.25
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Mn K	0.31	MnO	0.40
	Ti K	10.09	TiO <sub>2</sub>	16.65
	Fe K	21.92	FeO	27.90
Total	100	Total	100	

Fotomicrografía

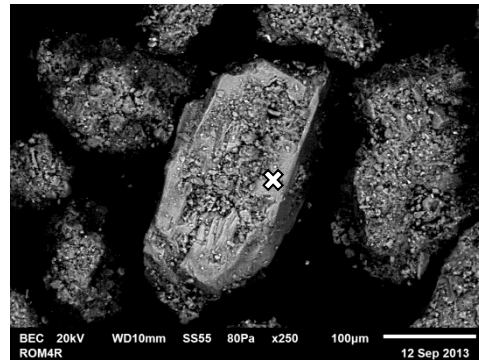


Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.



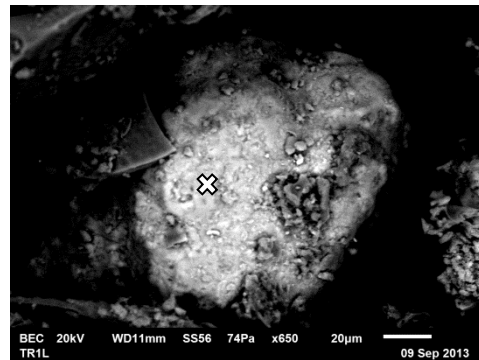
Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
RM 4R-i	C K	18.64	CO <sub>2</sub>	49.09
	O K	39.12	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.85	MgO	1.01
	Al K	6.26	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.50
	Si K	14.20	SiO <sub>2</sub>	21.83
	K K	0.34	K <sub>2</sub> O	0.29
	Ca K	0.71	CaO	0.71
	Ti K	0.65	TiO <sub>2</sub>	0.78
	Fe K	19.23	FeO	17.78
Total	100	Total	100	

Fotomicrografía

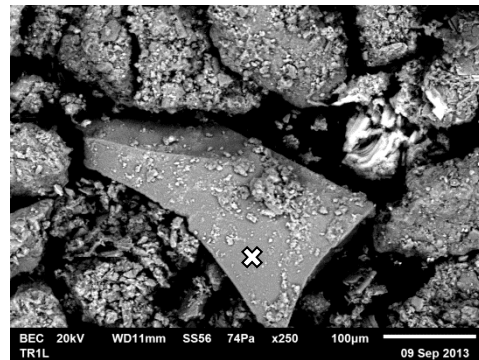


Localidad Rayuela

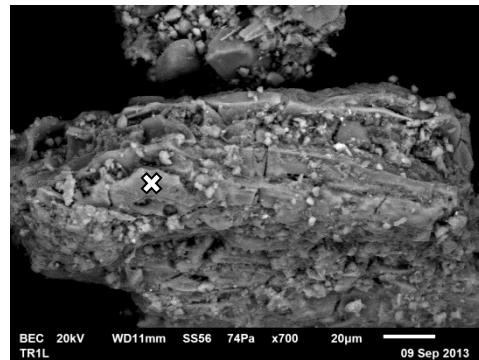
TR 1L-a	C K	14.38	CO <sub>2</sub>	41.19
	O K	34.72	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	4.19	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.19
	Si K	8.40	SiO <sub>2</sub>	14.05
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	0.45	CaO	0.49
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	37.86	FeO	38.08
Total	100	Total	100	



TR 1L-b	C K	10.00	CO <sub>2</sub>	33.96
	O K	53.18	-	-
	Na K	1.09	Na <sub>2</sub> O	1.36
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	5.86	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.26
	Si K	23.81	SiO <sub>2</sub>	47.21
	K K	2.20	K <sub>2</sub> O	2.46
	Ca K	0.38	CaO	0.49
	Ti K	0.25	TiO <sub>2</sub>	0.39
	Fe K	3.24	FeO	3.87
Total	100	Total	100	



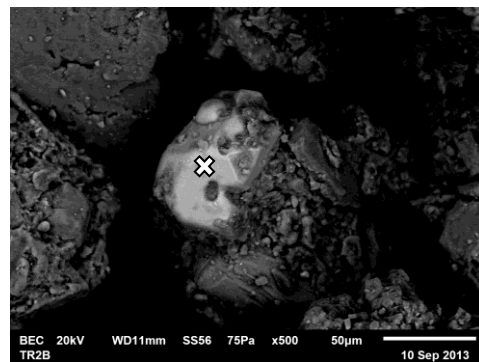
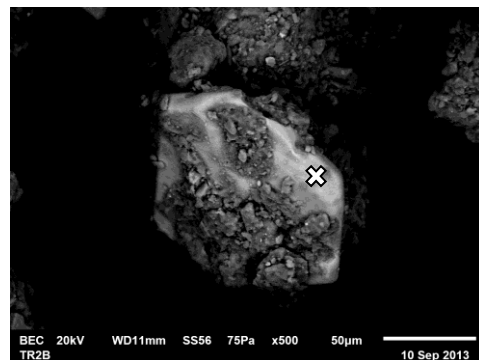
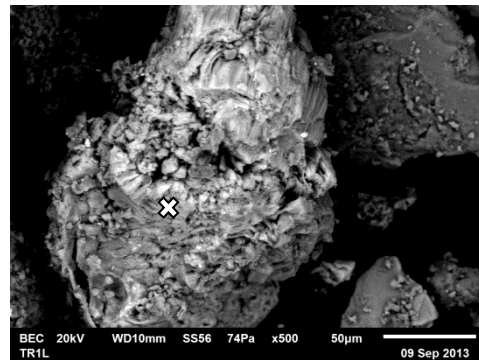
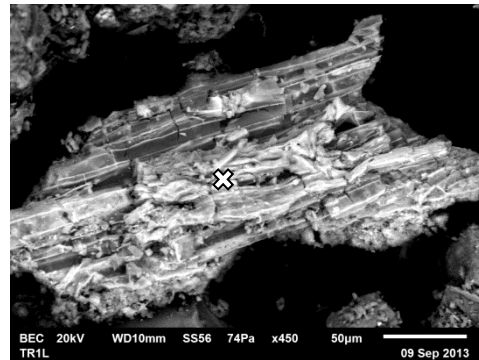
TR 1L-c	C K	26.05	CO <sub>2</sub>	63.15
	O K	46.37	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	3.34	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.17
	Si K	21.24	SiO <sub>2</sub>	30.06
	K K	0.42	K <sub>2</sub> O	0.34
	Ca K	0.33	CaO	0.30
	Ti K	0.23	TiO <sub>2</sub>	0.25
	Fe K	2.02	FeO	1.72
Total	100	Total	100	



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
TR 1L-d	C K	19.58	CO <sub>2</sub>	55.35
	O K	41.73	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	2.53	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.69
	Si K	8.20	SiO <sub>2</sub>	13.53
	K K	0.25	K <sub>2</sub> O	0.23
	Ca K	0.58	CaO	0.62
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	26.78	FeO	26.58
Total	99.65	Total	100	
TR 1L-e	C K	21.51	CO <sub>2</sub>	55.60
	O K	35.86	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	3.17	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.23
	Si K	8.18	SiO <sub>2</sub>	12.35
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	0.76	CaO	0.75
	Ti K	-	TiO <sub>2</sub>	-
	Fe K	29.84	FeO	27.08
Total	99.32	Total	100	
TR 2B-a	C K	11.33	CO <sub>2</sub>	35.66
	O K	40.52	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	1.10	MgO	1.56
	Al K	3.83	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.22
	Si K	6.69	SiO <sub>2</sub>	12.29
	K K	0.21	K <sub>2</sub> O	0.21
	Ca K	0.30	CaO	0.36
	Ti K	12.75	TiO <sub>2</sub>	18.27
	Fe K	22.99	FeO	25.41
Total	99.72	Total	100	
TR 2B-b	C K	13.33	CO <sub>2</sub>	40.78
	O K	37.70	-	-
	Na K	0.39	Na <sub>2</sub> O	0.44
	Mg K	0.79	MgO	1.09
	Al K	3.81	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.01
	Si K	6.43	SiO <sub>2</sub>	6.47
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	0.25	CaO	0.29
	Ti K	15.21	TiO <sub>2</sub>	21.18
	Fe K	22.09	FeO	23.73
Total	100	Total	100	

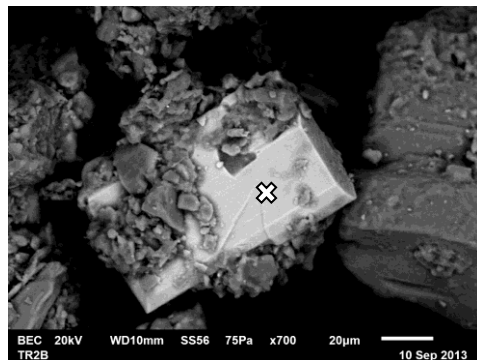
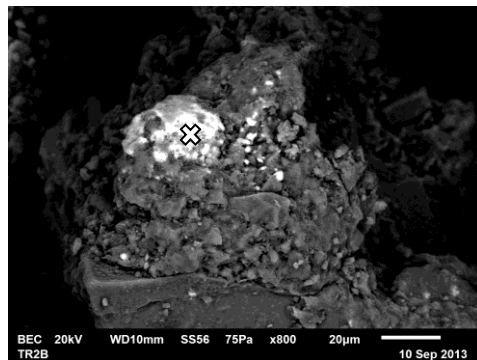
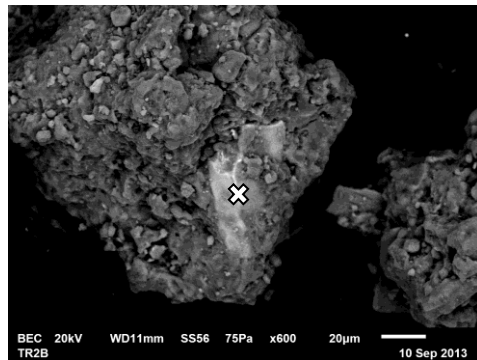
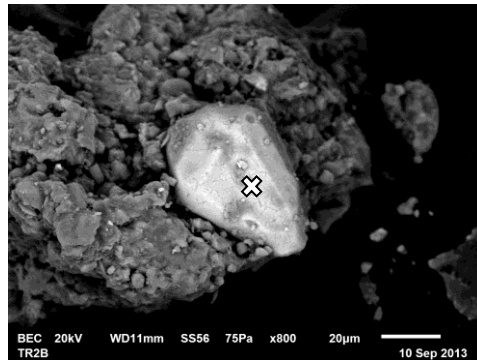
### Fotomicrografía



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
TR 2B-c	C K	20.19	CO <sub>2</sub>	46.00
	O K	24.71	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	1.30	MgO	1.34
	Al K	16.95	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.92
	Si K	5.11	SiO <sub>2</sub>	6.80
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	-	CaO	-
	Ti K	2.34	TiO <sub>2</sub>	2.43
	Fe K	29.40	FeO	23.52
Total	100	Total	100	
TR 2B-d	C K	22.52	CO <sub>2</sub>	52.25
	O K	30.72	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.71	MgO	0.75
	Al K	9.39	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.23
	Si K	5.37	SiO <sub>2</sub>	7.27
	K K	0.17	K <sub>2</sub> O	0.13
	Ca K	0.20	CaO	0.18
	Ti K	12.41	TiO <sub>2</sub>	13.11
	Fe K	18.52	FeO	15.09
Total	100	Total	100	
TR 2B-e	C K	19.84	CO <sub>2</sub>	51.22
	O K	36.49	-	-
	Na K	0.32	Na <sub>2</sub> O	0.30
	Mg K	-	MgO	-
	Al K	4.83	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.43
	Si K	9.95	SiO <sub>2</sub>	15.00
	S K	4.31	SO <sub>3</sub>	7.58
	K K	0.43	K <sub>2</sub> O	0.37
	Ca K	0.56	CaO	0.55
	Ba K	21.33	BaO	16.78
Fe K	1.94	FeO	1.76	
Total	100	Total	100	
TR 2B-f	C K	9.92	CO <sub>2</sub>	32.31
	O K	40.49	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.95	MgO	1.40
	Al K	3.06	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.14
	Si K	5.33	SiO <sub>2</sub>	10.13
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	0.28	CaO	0.35
	Ti K	14.66	TiO <sub>2</sub>	21.74
	Fe K	25.30	FeO	28.94
Total	100	Total	100	

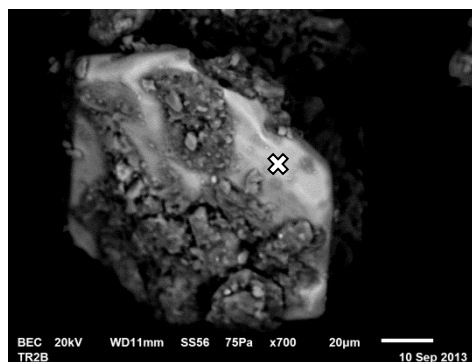
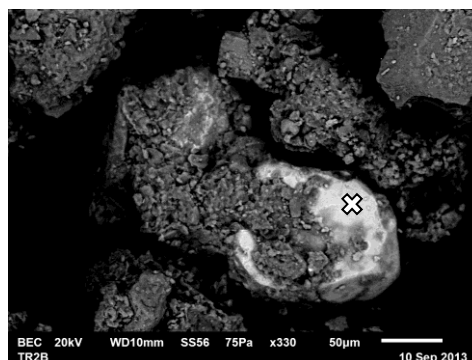
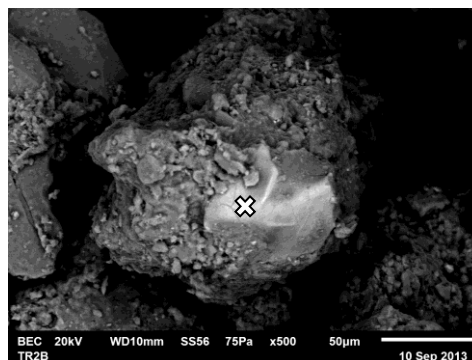
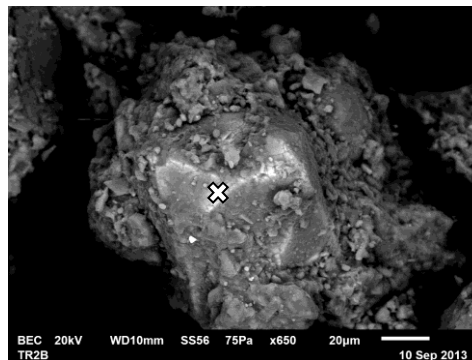
Fotomicrografía



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.

Microanálisis	Elemento	Wt% del elemento	Óxido	Wt% del compuesto
TR 2B-g	C K	15.40	CO <sub>2</sub>	45.25
	O K	42.35	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.53	MgO	0.71
	Al K	6.17	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.35
	Si K	9.96	SiO <sub>2</sub>	17.09
	K K	0.29	K <sub>2</sub> O	0.28
	Ca K	0.33	CaO	0.37
	Ti K	3.95	TiO <sub>2</sub>	5.28
	Fe K	21.02	FeO	21.68
Total	100	Total	100	
TR 2B-h	C K	10.06	CO <sub>2</sub>	30.71
	O K	39.65	-	-
	Na K	0.33	Na <sub>2</sub> O	0.37
	Mg K	0.62	MgO	0.86
	Al K	5.85	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.21
	Si K	10.73	SiO <sub>2</sub>	19.21
	K K	0.36	K <sub>2</sub> O	0.36
	Ca K	0.56	CaO	0.65
	Ti K	14.54	TiO <sub>2</sub>	20.20
	Fe K	17.29	FeO	18.53
Total	100	Total	100	
TR 2B-i	C K	7.97	CO <sub>2</sub>	29.19
	O K	36.78	-	-
	Na K	-	Na <sub>2</sub> O	-
	Mg K	0.52	MgO	0.86
	Al K	4.87	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.20
	Si K	9.14	SiO <sub>2</sub>	19.55
	K K	0.22	K <sub>2</sub> O	0.27
	Ca K	0.23	CaO	0.32
	Ti K	9.99	TiO <sub>2</sub>	1.65
	Fe K	30.29	FeO	38.96
Total	100	Total	100	
TR 2B-j	C K	13.00	CO <sub>2</sub>	40.13
	O K	42.26	-	-
	Na K	0.37	Na <sub>2</sub> O	0.42
	Mg K	0.82	MgO	1.15
	Al K	4.09	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.51
	Si K	7.37	SiO <sub>2</sub>	13.29
	K K	-	K <sub>2</sub> O	-
	Ca K	0.23	CaO	0.27
	Ti K	11.50	TiO <sub>2</sub>	16.16
	Fe K	20.36	FeO	22.07
Total	100	Total	100	

### Fotomicrografía



Fotomicrografías al microscopio electrónico de barrido (MEB) con electrones retrodispersados y su microanálisis (EDS) que permite definir posibles especies minerales, sin embargo por la débil estequiometría, no se pudo realizar el cálculo de la fórmula estructural para definir especies minerales ideales.