



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

*INTEGRACIÓN DE MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA DATACIÓN POR TERMOLUMINISCENCIA,
MINERALOGÍA Y QUÍMICA DE RESIDUOS EN CERÁMICAS DEL SITIO ARQUEOLÓGICO DE TABUCO,
VERACRUZ.*

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

RUTH RUIZ BACILIO

TUTOR: M. en C. Ángel Ramírez Luna



Ciudad Universitaria, CD. MX. 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: MONTIEL MALDONADO CELESTINO**

VOCAL: **Profesor: FABILA MONTOYA ELISA**

SECRETARIO: **Profesor: RAMÍREZ LUNA ÁNGEL**

1er. SUPLENTE: **Profesor: MORENO AVEDAÑO LUIS ÁNGEL**

2° SUPLENTE: **Profesor: PADILLA GÓMEZ ZURISADA I**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

INSTITUTO DE GEOFÍSICA, UNAM

ASESOR DEL TEMA:

Ramírez Luna Ángel

SUSTENTANTE:

Ruiz Bacilio Ruth

**INTEGRACIÓN DE MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA DATACIÓN POR
TERMOLUMINISCENCIA, MINERALOGÍA Y QUÍMICA DE RESIDUOS EN
CERÁMICAS DEL SITIO ARQUEOLÓGICO DE TABUCO, VERACRUZ**

ÍNDICE

Introducción	6
Objetivos:	10
1. CAPITULO I. ARQUEOMETRÍA.....	11
1.1 Arqueometría	11
1.2 Las ciencias exactas en la arqueología: arqueometría.....	12
1.3 La cerámica arqueológica y su caracterización.	14
1.4 Arqueometría de la datación.	18
1.4.1 Datación relativa y datación absoluta.....	19
2. CAPÍTULO II. EL SITIO ARQUEOLÓGICO DE TABUCO	25
2.1 El sitio arqueológico de Tabuco, Veracruz	25
2.2 Tuxpan.....	27
3. CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL CERÁMICO.....	30
3.1 Caracterización del material cerámico.....	30
3.2 Aplicación sistemática de métodos y técnicas para la caracterización del material cerámico.....	33
3.3 Termoluminiscencia	34
3.3.1 Radioactividad	34
3.3.2 Energías de decaimiento radioactivo.....	37
3.3.3 Radiaciones	38
3.3.4 Fenómeno de termoluminiscencia (TL).....	40
3.3.5 Datación por termoluminiscencia (TL)	42
3.3.6 Aplicación de la termoluminiscencia en la datación arqueológica	45
3.3.7 Ecuación de la edad (Paleodosis “P” y Tasa de Dosis Anual “T.D.A.”)	48
3.4 Química de residuos.....	50
3.4.1 Determinación de residuos orgánicos.....	54
3.4.2 Determinación de residuos inorgánicos.....	59
3.5 Mineralogía por microscopia electrónica de barrido.....	63

3.5.1	Microscopia electrónica de barrido (SEM).....	65
3.5.2	Espectrometría de longitud de onda dispersada de rayos X (WDS) y Espectrometría de energía dispersada de rayos X (EDS).....	68
4.	CAPÍTULO IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	69
4.1	Muestreo en campo.....	69
4.1.1	Determinación de uranio, torio y potasio en suelo aplicando espectrometría gama o dosimetría termoluminiscente o recolección de suelo.....	70
4.2	Descripción cerámica y registro.....	71
4.3	Lavado de muestras.....	71
4.4	Dibujo y fotografía.....	71
4.5	Descortezado de la muestra.....	72
4.6	Procedimientos y preparación de reactivos para la determinación de residuos químicos inorgánicos y orgánicos.....	72
4.6.1	Fosfatos:.....	72
4.6.2	Carbonatos.....	74
4.6.3	Determinación de pH.....	75
4.6.4	Residuos proteicos.....	75
4.6.5	Ácidos grasos.....	76
4.6.6	Carbohidratos.....	77
4.6.7	Análisis mineralógico, microscopía electrónica de barrido.....	78
4.7	Datación por termoluminiscencia.....	79
4.7.1	Descortezado y molido de las muestras.....	79
4.7.2	Factor de humedad.....	81
4.7.3	Tratamiento químico.....	81
4.7.4	Separación de tamaño de grano (técnica de grano fino 4-11 μm) y preparación de planchetas.....	82
4.8	Cálculo de la tasa de dosis anual.....	84
4.8.1	Determinación de uranio y torio por contador de partículas alfa en muestra cerámica.....	84
4.8.2	Determinación de potasio por el método de flamometría, en muestra cerámica.....	84
4.9	Cálculo de la paleodosis.....	86
4.10	Cálculo de la tasa dosis anual.....	87
4.11	Cálculo de la edad absoluta.....	87

5.	CAPÍTULO V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	89
5.1	Resultados de la datación por termoluminiscencia.....	89
5.1.1	Conclusiones de la datación por termoluminiscencia.....	94
5.2	Resultados de la microscopía electrónica de barrido.....	95
5.2.1	Análisis de resultados por microscopía electrónica de barrido.....	101
5.2.2	Conclusiones de microscopía electrónica de barrido.....	104
5.3	Análisis de los resultados de residuos inorgánicos y orgánicos:.....	104
5.3.1	Fosfatos.....	105
5.3.2	Carbonatos.....	108
5.3.3	Determinación de pH.....	109
5.3.4	Residuos proteicos.....	109
5.3.5	Carbohidratos.....	111
5.3.6	Ácidos grasos.....	113
5.4	Conclusiones y observaciones generales del análisis químico de residuos orgánicos e inorgánicos.....	113
5.5	Conclusiones generales.....	114
6.	Diagrama de proceso.....	117
6.1	Descripción del diagrama de proceso.....	118
7.	Referencias y bibliografía.....	121
8.	ANEXO A.....	131
9.	ANEXO B.....	149
10.	ANEXO C.....	150

Introducción

Esta tesis presenta una serie de métodos y técnicas químicas y físicas para la caracterización de cerámicas arqueológicas, siendo la datación por termoluminiscencia (TL) el eje principal de este trabajo; dado que la datación es fundamental para la arqueología y forma parte de preguntas básicas para cualquier estudioso del pasado ¿Cuál es la antigüedad de las cosas? ¿Cuándo comenzó la agricultura? ¿Cuándo se abandonó una ciudad? El deliberar acerca de las temporalidades es inherente a la naturaleza del arqueólogo, porque independientemente de los intereses que nos motiven, las dudas o preguntas que queramos resolver es parte esencial de cualquier investigación arqueológica el situar nuestro objeto de estudio en el espacio y tiempo concretos. En cualquier libro que tomemos sobre arqueología o historia, se mencionan fechas o se plantean interrogantes respecto a la cronología, debido a que recurrimos a la creación y generación de unidades concretas de tiempo para facilitarnos el estudio de culturas pasadas (Michels, 1973). Este trabajo además de la datación por TL pretende extraer la mayor cantidad de información contenida en las cerámicas aplicando diferentes técnicas de análisis e integrándolas de forma sistemática y óptima en un diagrama de flujo.

El material cerámico que llega al laboratorio a simple vista pareciera simplemente un trozo de tierra cocida, pero para los investigadores sociales es un trozo de historia, un punto muy pequeño en la línea de tiempo, pero con mucho sentido en su contexto. Con esta idea es en el laboratorio donde se revelan las respuestas a estas preguntas arqueológicas, pero no es tan simple, dado que requiere de un arduo trabajo en campo y la colaboración entre arqueólogos, químicos, físicos, antropólogos y otros especialistas. Los resultados arrojados no solo son números o compuestos químicos, con ayuda de un

equipo multidisciplinario, es una revelación de información que responden cuestiones del presente, entendiendo que el ser humano por su sentido de identidad, siempre ha buscado lo que el pasado puede revelar.

Existe la necesidad de revisar y elaborar protocolos que establezcan los métodos y las técnicas empleados para realizar análisis en cerámicas, que nos hagan inferir el uso, determinar la composición química, la edad de la muestra, el contexto de estudio y algunas otras características. No es que antes no se hayan establecido dichos métodos o técnicas, sino que no se han integrado sistemáticamente como un combo de análisis prácticos para analizar un material cerámico, en un diagrama de flujo que los contemple desde el planteamiento del proyecto. Todos estos métodos y técnicas químicos y físicos los reúne la *arqueometría* (de dos raíces griegas, *archaios* viejo o antiguo, misma que da forma al concepto arqueología, y de *metron*, que significa medida o medición). Estos métodos y técnicas pueden ser aplicados en los diversos materiales culturales presentes en un contexto arqueológico-antropológico, con los resultados obtenidos se caracterizan y/o agrupan los materiales y se infieren las condiciones o actividades en el pasado.

Aun cuando la Arqueometría está poco difundida, es bien recibida por los investigadores cuando se visualiza la relación e importancia de los resultados entre el estudio del contexto arqueológico y el trabajo en el laboratorio como menciona la arqueóloga Patricia Sánchez, (2014):

Al saber cuál es la materia prima con la que se fabricaron, los residuos presentes en ellos, la tecnología con la que se elaboraron, la fecha de creación y autenticación de la pieza, podemos acercarnos un poco más a la realidad del objeto y al pasado, por ejemplo, a las

formas de comercio y de interrelación en los antiguos pueblos, sus modos de vida y su percepción del mundo donde se vivía (p.21).

La cerámica extraída contiene en su componentes información que debe ser estudiada más allá de un punto de vista, para eso surgen estos métodos y técnicas que arrojan datos confiables siempre y cuando se usen adecuadamente y en conjunto. Por estas razones, aquí presentamos la propuesta de un diagrama de flujo y algunos de los protocolos sugeridos de estas técnicas experimentales que hemos llevado a cabo para la datación y caracterización de la cerámica de Tabuco para aplicarlas de forma sistemática con la intención de optimizar el proceso de análisis. Invitamos a los arqueólogos y antropólogos a aplicar estos métodos y técnicas, que, aunque en un inicio parecieran complejas, están adecuadas y pensadas para ser aplicadas de forma práctica y como un procedimiento rutinario en el análisis de materiales cerámicos arqueológicos en el laboratorio.

Particularmente estudiaremos y analizaremos fragmentos cerámicos (tepalcates) del sitio arqueológico de Tabuco en Veracruz, presentando su estudio a través de estas técnicas y métodos para inferir su edad, composición y sus posibles usos, estos análisis desde el punto de vista de la arqueología resulta motivador e importante porque el material cerámico de la costa del Golfo de México carece de cronologías absolutas, es decir, solo existen cronologías relativas correlacionadas con cerámicas del altiplano mexicano, los métodos y técnicas que sugerimos en esta tesis son cuantificables, reproducibles y confiables, algunas de esta técnicas y/o métodos ya se han aplicado al estudio de suelos obteniendo resultados positivos y además se han ido mejorando con el tiempo. Cabe mencionar que para establecer la procedencia, la datación el uso de estas cerámicas se requirió trabajar experimentalmente en el Laboratorio de Termoluminiscencia y en el

Laboratorio de Petrología de Instituto de Geofísica UNAM así como con el Laboratorio de Prospección del Instituto de Investigaciones Antropológicas UNAM.

En este trabajo desarrollaremos y presentaremos la elaboración de las fichas descriptivas donde se menciona la caracterización física de las cerámicas estudiadas con el fin de establecer un registro técnico para que otros especialistas tengan una mejor percepción de las formas y colores de las piezas cerámicas. También aplicaremos y presentaremos los resultados del método de fechamiento por termoluminiscencia o datación por termoluminiscencia ya aunque ha sido un continuo debate sobre cuál palabra emplear ambos conceptos se utilizan de forma similar. También se presentarán, los protocolos y los resultados de las seis técnicas químicas utilizadas para la determinación de los residuos orgánicos presentes en las cerámicas y los resultados del análisis mineralógico de las cerámicas midiendo la energía de los rayos X característicos de los componentes en el material cerámico por Espectroscopia por dispersión de energía o EDS,. Por último, presentaremos conclusiones sobre este trabajo.

Objetivos:

1. Datar la cerámica del sitio arqueológico de Tabuco en Tuxpan, Veracruz por el método de termoluminiscencia.
2. Determinar la mineralogía por microscopia electrónica de barrido (SEM) utilizando la técnica de espectrometría por dispersión de energía de rayos X (EDS).
3. Identificar residuos químicos orgánicos e inorgánicos en la cerámica del sitio arqueológico de Tabuco en Tuxpan, Veracruz aplicando técnicas de análisis para suelos.
4. Establecer un diagrama de flujo del proceso para la datación y caracterización de material cerámico empleando métodos y técnicas de análisis de forma sistemática.
5. Aportar información para el establecimiento de cronologías absolutas y caracterización del material cerámico de sitio arqueológico de Tabuco en Tuxpan, Veracruz.

1. CAPITULO I. ARQUEOMETRÍA

1.1 Arqueometría

La arqueometría surge de la necesidad de “medir” lo antiguo o lo viejo con métodos físicos y químicos. La palabra *Arqueometría* se creó uniendo dos raíces griegas «ἀρχαίος» *archaios*, viejo o antiguo, es la misma que da forma al concepto arqueología, y de «μέτρον» *metron*, que significa medida o medición.

Antes de utilizar esta palabra, los arqueólogos llamaban a esta acción *Archaeological Science* o *Science-based* pero estos términos sugieren que la arqueología en sí misma no es una ciencia “por lo cual, la acepción que varios especialistas prefirieron fue Arqueometría” (Montero *et al.* 2007, p.24). El uso de esta palabra es relativamente reciente, ya que fue usado por vez primera en la Universidad de Oxford por el profesor Christopher Hawkes en los años 50 aplicándose con posterioridad a la revista *Archaeometry* en 1958, que empezó a publicarse en esta misma institución. Sin embargo, el uso de técnicas de análisis sobre materiales arqueológicos se remonta al siglo XVIII, cuando Anne-Claude Caylus, Marqués de Esternay (1692-1765) y uno de los padres de la Arqueología Moderna, analizó por vez primera los esmaltes negros y rojos de cerámicas áticas y terras sigillatas respectivamente (Guirao D. 2015) según la literatura él fue el primero en crear un instrumento para analizar estos esmaltes, o Martin Heinrich Klaproth (Wernigerode 1743, Berlín 1817), químico alemán que descubrió el uranio, circonio y titanio, investigó intensamente en el ámbito de la química orgánica (sobre los fenómenos de la calcinación de los metales y de la combustión), con métodos que le convirtieron en el fundador de la química analítica dedicó parte de sus estudios al análisis de materiales arqueológicos, principalmente objetos metálicos, fue

capaz de determinar la composición química de monedas antiguas de origen griego y romano, además de vidrios y de otros objetos metales. En 1798 publicó los resultados derivados de estos análisis en la *Memoria de numismática docimástica*. Sus estudios en gravimetría fueron pioneros en el área de la química cuantitativa antes del desarrollo de las técnicas de análisis químico de inicios del siglo XX (Pollard *et al.* 2007). En conclusión, la arqueometría es la disciplina que recopila, adapta, inventa y utiliza técnicas o métodos físicos, químicos y de otras disciplinas para que mediante el análisis se caracterice el material antiguo de una forma certera, siendo así la arqueometría una herramienta fundamental para la Arqueología, Historia y Antropología.

1.2 Las ciencias exactas en la arqueología: arqueometría

Comencemos por definir qué son las ciencias exactas. Las ciencias exactas, también llamadas ciencias duras, ciencias puras o ciencias fundamentales son disciplinas que se basan en la observación y experimentación para crear conocimientos y cuyos contenidos pueden sistematizarse a partir del lenguaje matemático¹ admiten principios, consecuencias y hechos demostrables por medio de sistemas matemáticos aplicados. Las ciencias exactas experimentales se basan en la aplicación del método científico que comprueba una hipótesis y busca un objetivo en particular de tal forma que los resultados estén argumentados irrefutablemente. Las ciencias exactas no experimentales son aquellas que parten de axiomas y desarrollan una deducción lógica para explicar un objeto ideal. En este trabajo se aplicó una serie de métodos que cumplen con estas características, por ejemplo la datación por termoluminiscencia se aplicó porque se basa en lo que se conoce y se ha investigado que los electrones quedan atrapados en los estados

¹ <http://definicion.de/ciencias-exactas/>

metaestables (vacancias) de las bandas de valencia de los átomos del material que recibe radiación, este evento es aprovechado al calentar el material cerámico porque los estados metaestables adquieren energía (leyes de la termodinámica, principios fisicoquímicos) y liberan los electrones (fotones) que en lo macroscópico se observa como emisión de luz (Principio o Ley de la conservación de materia y energía). Entonces este conocimiento se vuelve una aplicación cuando se trabaja en equipo con otras disciplinas como lo es la arqueología, historia, antropología, sociología entre otras. De esta forma es como la arqueometría cobra vida y se hace indispensable para hacer ciencia. La introducción de estos métodos científicos hace una reconstrucción histórica del pasado desde una perspectiva absoluta, leemos en la mayoría de artículos y libros relacionados con la introducción de estos métodos que definitivamente han hecho que el estudio del pasado crezca de una manera agigantada y han dado a la cultura material un valor agregado (Rodá I. 1992). Hace falta que la arqueología aplique de forma cotidiana la Arqueometría, quizá una de las razones por lo cual esto no sucede es por el sentido de complejidad que estos métodos y técnicas suelen representar y que requieren de protocolos y laboratorios, sin duda son complejos, pero nunca incomprensibles, por ello es muy importante que la arqueología conozca cómo, cuándo y dónde usarla. Los análisis de laboratorio sin la interpretación o inferencias que dan los arqueólogos y/o antropólogos, historiadores etcétera son únicamente números (datos duros).

Dentro de la Arqueometría los análisis en el laboratorio y trabajo en campo son siempre trabajo en equipo, de otra forma no se podría avanzar. Así las ciencias exactas pueden trabajar en conjunto y se vuelven una base importante para las inferencias en la arqueología.

1.3 La cerámica arqueológica y su caracterización.

“No existe duda alguna de que la cerámica es uno de los medios empleados por el hombre para expresarse estéticamente, perfeccionando paulatinamente las técnicas de elaboración y obteniendo resultados siempre nuevos y sorprendentes” (Caruso N. 1986). El término *cerámica*, que proviene del griego *χεραμιχέ-χός* y que daba nombre al barrio de los alfareros de la antigua ciudad de Atenas, tiene generalmente dos acepciones: una en conexión con la arqueología y la historia del arte, que hace referencia a la habilidad de fabricar y elaborar objetos o artefactos de arcilla cocida y otra, más técnica y conectada directamente con la ciencia de materiales, en la que la cerámica se contempla como un material elaborado con silicatos endurecidos al aplicarles calor de forma continua. En cualquier caso, la cerámica es el primer material sintético, es el material artificial más antiguo creado por el hombre a partir de los cuatro elementos básicos: tierra, agua, fuego y aire; por ello, una tercera acepción recogida por el diccionario de la Real Academia de la Lengua hace referencia al conocimiento científico que se puede obtener de estos objetos y artefactos a través de la ciencia arqueológica. ¿Por qué entonces una de las acepciones del término cerámico está relacionada con el conocimiento arqueológico? Pues porque “al ser el primer material sintético sus vestigios son una de las primeras fuentes de información de los grupos humanos más antiguos”. (Hodge *et al.* 1992: 216)² Hay algunas teorías e hipótesis que suponen el origen de la creación cerámica una es la *teoría arquitectónica* dirigida a la necesidad de construcción de casa-edificio a partir arcillas y adobe, otra es la *hipótesis culinaria junto con la de intensificación de recursos* que hace referencia a los modos de preparación y producción de alimentos más

^{2,3} Información consultada en el libro “Métodos y Técnicas de Análisis y Estudio en Arqueología Prehistórica”, p.554-555, Editores García M & Zapata L. 2013

eficientes, el sedentarismo y el desarrollo de la agricultura, una más es la de *elaboración social y simbólica* que supone relaciones a mitos, religión y creencias con una hipótesis sobre la posible relación con la creación del hombre³ Vandiver *et al*, 1989, Rice 1996 mencionan:

Los primeros ejemplos de tecnología cerámica se documentan en el continente euroasiático, en el yacimiento checo de Dolní Vestonice, en contextos del Paleolítico con superior con fechas del 26.000 BP. Son fragmentos de figurillas zoomorfas y antropomorfas de arcilla cocida, que algunos investigadores piensan que no se manufacturaban con el propósito de que perduraran si no que se cocían aún húmedas para que el choque térmico del contacto brusco con el calor las hiciera estallar, quizá por razones rituales o adivinatorias (pp. 154-155)

La cerámica es un material sólido inorgánico compuesto de elementos metálicos y no metálicos, se encuentran monofásicas con una sola fase cristalina o vítrea, o polifásicas es decir con diferentes fases cristalinas y vítreas, se produce bajo tratamientos térmicos, por lo que resiste temperaturas altas, con una cocción de la pasta a más de 900°C la materia prima proviene de suelo, rocas, feldespatos, cuarzos, etc. La arcilla natural es producida de la disgregación y desintegración de las rocas graníticas u otras que contengan feldespatos, los minerales más abundantes en el feldespato son el sílice y alúmina en combinación con cantidades menores de sodio, calcio y potasio, las partículas de arcilla son finos cristales microscópicos de forma plana y oval que reciben el nombre de *flóculos*, que con humedad se adhieren entre sí íntimamente

hasta formar una masa compacta⁴, “no obstante la mayor parte de la arcilla natural se ha formado a partir de aquellas rocas que han sufrido la acción pulverizante de las heladas, los glaciares, que han sido lavadas por el agua, azotadas por el viento y transportadas a lugares lejanos por la acción erosiva de las aguas en movimiento” (Rothenberg P. 1990a), también la arcilla se considera la mezcla de diferentes minerales que en su composición contienen silicatos. Para la fabricación de las cerámicas se requiere seleccionar la materia prima, triturar, mezclar o amasar, diseñar, modelar y cocer. Fabricar cerámicas es un proceso creativo artesanal milenario en las culturas de todo el mundo y actualmente también es una práctica industrial. La elaboración de cerámicos se divide en dos campos, una es la clásica que ya mencionamos y la otra es la tecnológica, es decir, a partir de la investigación y la ingeniería de materiales se crean nuevas fases y estructuras de los sólidos inorgánicos en su mayoría en compuestos puros que le otorgan nuevas y diferentes propiedades, aprovechadas en la medicina, en aeronáutica, biotecnología, etcétera. A la arcilla con la que se elabora la cerámica artesanal se le agregan materiales llamados desgrasantes, los cuales modifican sus propiedades mecánicas o plásticas para producir cerámicas con ciertas características y de mejor calidad.

Existen razones muy importantes por las que los arqueólogos elijen la cerámica para estudiarla y caracterizarla ya que esta provee de mucha información sobre la cultura que la fabricó. Al identificar los tipos cerámicos se pueden establecer cronologías relativas que dan origen a determinar periodos en momentos específicos, al identificar la procedencia de la arcilla con la que se fabricó la cerámica, se pueden inferir aspectos como actividades comerciales y desarrollo tecnológico

⁴ Del libro “Manual de Cerámica Artística, sección 1” de Rothenberg Polly, 1990

alfarero, por ejemplo, "En los Estados Unidos a finales del Siglo XVIII muchos de los artesanos que trabajaban la porcelana traslúcida de pasta blanda provenían de Inglaterra" (Rothemberg P. 1990b) es decir, había exportación e importación de porcelana, o de arcilla molida o amasada. Otro ejemplo para definir status según lo estético de la época, era que, *El buen gusto determinaba la cultura de la casa.*

La cerámica es un material abundante en los contextos arqueológicos, desde su aparición hace aproximadamente 5,000 años en Mesoamérica, hay vestigios de cerámica en todos los sitios. Se encuentran vasijas y fragmentos de ellas lo mismo en Teotihuacán que en el más pequeño pueblo, tanto en los entierros como en los depósitos de fundación, sobre el suelo de las chozas y en los basureros, así como en los rellenos de las pirámides aunque resisten menos que la piedra los daños por el paso del tiempo, la cerámica es infinitamente más abundante que ella y es por lo tanto susceptible de ser objeto de análisis estadísticos. (Baudez C. 2003). Que la cerámica sea abundante en los contextos arqueológicos hace más fácil la obtención de ellas para poder estudiarla. Estudiar las cerámicas es de suma importancia para la arqueología, ya que a partir de ello se pueden establecer cronologías absolutas, periodos de ocupación, eventos socio-políticos y religiosos entre otros aspectos. Una razón muy clara para estudiar y caracterizar la cerámica es que ésta ha sido utilizada tanto para la elaboración de utensilios de uso doméstico (para la cocina, jardín, juguetes), hasta utensilios ceremoniales u ornamentales (como ofrendas, altares, o tumbas), estos posibles usos describen la vida cotidiana de la cultura pasada. ¿Cómo se puede saber el uso o función de una pieza? No hay forma concreta de saber esto, pero sí podemos ir acercándonos cada vez más a la realidad del pasado por medio del análisis físico de las piezas, es decir, su forma, su iconografía (decoraciones), su dureza, su microestructura, su composición etcétera y en el análisis químico como

los presentados en este trabajo donde se determinaron los residuos orgánicos e inorgánicos en la cerámica, que permiten inferir la funcionalidad y el uso de la misma.

Además de la caracterización de la cerámica, es muy importante contar con su registro gráfico y descripción de la misma, a través de dibujos y fotografías, un método de cómo hacerlo se encuentra en el libro "El Dibujo Arqueológico de Françoise Bagot" que sugiere una serie de reglas y códigos para la representación de las formas y decoraciones de las vasijas. Estos dibujos y fotografías deben proyectar a cualquier arqueólogo la información que el autor en un principio quiere dar a conocer. La Arqueóloga Patricia Sánchez menciona "La arqueología estudia a las sociedades pasadas a través de su cultura material, su campo de estudio se encuentra en el pasado. A diferencia de otras disciplinas, la nuestra se enfoca en culturas muchas veces ya desaparecidas y que únicamente podemos conocer por sus huellas materiales". Estandarizar y establecer metodologías asegura la información y la interpretación objetiva del estudio, por ejemplo, el sistema internacional de unidades se usa casi en todos los países y cuando un científico presenta una medida de longitud inmediatamente sabe que debe ser dado en metros y quien lo lea, sabrá que así es, otros ejemplos claros son las reglas que se deben seguir para asignar el símbolo de un elemento en la tabla periódica o darle un lugar en ella o la nomenclatura para nombrar los compuestos químicos, los Químicos en cualquier parte del mundo saben estas reglas. Al caracterizar una cerámica se deja un acervo en la investigación del pasado material, esto pone en claro la evidente importancia de caracterizar el material arqueológico propuesta en este trabajo.

1.4 Arqueometría de la datación.

“El fechamiento es la clave para organizar la evidencia arqueológica” (Lasky 2002 p.83) “El tiempo absoluto, verdadero y matemático, en sí mismo y en su propia naturaleza, sin relación a nada externo, fluye uniformemente y se dice con otro nombre “duración”. El tiempo relativo, aparente y vulgar, es alguna medida sensible y exterior (precisa o desigual) de la duración, mediante el movimiento usado por el vulgo en lugar del verdadero tiempo: hora, día, mes y año son medidas semejantes.” (Mataix 1999, pp. 72-73). La importancia de las cronologías reside en que nos permiten ubicar temporalmente eventos y materiales, facilitando con ello la reconstrucción de historias culturales y la generación de interpretaciones arqueológicas. Al organizar la cultura material en el tiempo, también podemos valernos de las periodizaciones, los periodos intentan reflejar las características de las sociedades que vivieron en un momento específico y se fundamentan en las cronologías. (Sánchez P., 2014). Por ello la arqueología recurre a la datación de objetos para establecer cronologías de una manera segura y demostrable. La datación arqueométrica se ha dividido en dos tipos, la datación absoluta y datación relativa.

1.4.1 Datación relativa y datación absoluta.

La ordenación temporal de la evidencia arqueológica está fundamentada tradicionalmente en los datos proporcionados por las características de los contextos arqueológicos y por el valor cronológico otorgado a los materiales descubiertos. “El fechamiento es la clave para organizar la evidencia arqueológica” (Lasky 2002a p. 83), y por ello “la datación se volvió un requerimiento casi obsesivo para obtener las fechas de los materiales de excavación y los contextos arqueológicos” (Artioli, 2010, p. 10). “Generalmente se utiliza fechamiento o datación para designar lo mismo, sin embargo, se distingue datación como el

otorgar un valor absoluto en años, por ejemplo, "tienes 28 años"; mientras que fechamiento, se entiende como el otorgar una edad relativa en años, al nacimiento de Cristo como punto de referencia por ejemplo, "naciste en 1987" A. Ramírez (Comunicación personal, septiembre, 2019).

Para poder fechar la cultura material se ha hecho uso de los métodos de datación, que dependiendo su naturaleza se clasifican en **relativas** o **absolutas** con los resultados se establecen cronologías o edades según el método empleado.

"El establecimiento de cronologías absolutas permite obtener puntos de referencia estandarizados, es decir, atar todos los fechamientos a una escala temporal específica, a una línea del tiempo usada por acuerdo común; mientras que, las cronologías relativas suelen ser diferentes entre sí, debido a que no todos consideran significativos los mismos acontecimientos, variando sus referentes temporales" (Sánchez P., 2014).

Las cronologías relativas se basan según se identifiquen patrones y cambios en la cultura material estableciendo tipologías artefactuales, fundamentado en el principio de que los materiales idénticos y/o similares pertenecen a una misma temporalidad.

Las cronologías relativas se fundamentan en las seriaciones arqueológicas y la estratigrafía, pues se ordenan temporalmente a los artefactos a partir de su asociación con determinados estratos. Cada estrato contiene información valiosa sobre eventos del pasado, sean procesos geológicos o humanos, por lo que se pueden crear secuencias cronológicas de la cultura material asociada a la estratigrafía de un sitio, bajo el *principio de superposición de estratos*, donde: las capas de sedimento se depositan en una secuencia temporal, en la que las más antiguas se encuentran en posición inferior a las más recientes (Renfrew y Bahn, 2008).

Las cronologías relativas son esencialmente métodos tradicionales utilizados en la investigación arqueológica, sin embargo, presentan inconvenientes potenciales para resolver interpretaciones arqueológicas e históricas pues se basan en aspectos subjetivos, los tipos de materiales se asocian dependiendo de criterios relativos como el color o el decorado y no cuentan con un referente a escalas temporales universales e independientes de los eventos arqueológicos (Rowe, 1998, p. 320).

Por lo tanto, la datación absoluta se vuelve un método de suma importancia en la arqueometría y el avance de la investigación arqueológica, ya que esta genera una edad absoluta que puede establecer una cronología absoluta. La metodología de las **dataciones absolutas** comprende una serie de técnicas físicas y químicas utilizadas para identificar cuándo ocurrieron los eventos además de los contextos, los resultados de las dataciones absolutas son expresados en años que hace más certera la edad de los materiales arqueológicos permitiendo relacionar cronologías relativas con una escala temporal general a partir de fechas calendáricas actuales, siendo indispensable para lograr una correlación entre diferentes sitios y consecuentemente conocer las relaciones de intercambio y tecnología entre distintas culturas. Fue a partir de la segunda mitad del siglo XX que se comenzaron a implementar técnicas procedentes de las ciencias duras en el análisis de materiales arqueológicos, lo que representó un enorme progreso (Sánchez P., 2014). Existen varios métodos para datar los objetos arqueológicos, según sean sus características o propiedades del material. Por ejemplo, el método idóneo para datar material cerámico es la termoluminiscencia, así como lo es el radiocarbono para datar material orgánico. No es la intención de este trabajo profundizar en todos los métodos y técnicas de datación por lo que se mencionan algunos de forma breve.

Datación por termoluminiscencia (TL)

La datación por termoluminiscencia es muy importante para este trabajo, ya que este método es la forma más directa para obtener las edades del material cerámico, dada la estructura cristalina del material cerámico, funge como un dosímetro antiguo y natural. Este método se comenzó a utilizar en los años cincuenta ya que anteriormente se usaba únicamente en dataciones para minerales. Este método se basa en la medición de la dosis de radiación acumulada en las trampas o defectos de la estructura cristalina que tiene la cerámica, esta dosis se cuantifica desde el momento de su fabricación hasta el día que es encontrado para ser analizado. Mayor dosis acumulada representa mayor tiempo. El rango de fechamiento por termoluminiscencia va desde 100 años hasta aproximadamente 800 mil años.

Dataciones por decaimiento radiactivo-Potasio-Argón

El método de potasio-argón fue desarrollado a mediados de la década de 1950, se fundamenta en la presencia de potasio en minerales ígneos, muscovita, biotita, ortoclasa, sanidina, microdina, leucita, y en micas, feldespatos, cenizas y cristales volcánicos. Se utiliza principalmente para estimar la edad de los depósitos geológicos, pudiéndose datar rocas o cenizas volcánicas de entre 50.000 años y

5.000.000 años. La datación consiste en evaluar la cantidad de argón radiactivo que se conserva en un cuerpo. Este elemento radiactivo se produce por la alteración de un isótopo del potasio, el ^{40}K , cuyo proceso de desintegración forma calcio 40 (^{40}Ca) y gas argón 40 (^{40}Ar). Este gas escapa mientras se forman nuevas rocas volcánicas, pero a medida que se cristalizan los minerales una parte del ^{40}Ar queda atrapado, mismo que será medido en el fechamiento.⁵

⁵ La sección de Potasio-Argón se redactó con información tomada de: Aitken 1974, 1999; Artioli 2010; Cervera 2010; Gentner y Lippolt 1982; Lasky 2002; Malainey 2011; Miller 1982; Prevec 2001; Rauret 1992;

Datación por carbono-14

Esta técnica se emplea para hacer datar y posteriormente establecer cronologías para materiales orgánicos, fue desarrollada por Willard F. Libby (1908-1980).

Éste método se fundamenta en la desintegración radiactiva del carbono 14. El Carbono 14 (^{14}C) se origina en la atmósfera cuando los rayos cósmicos inciden en el Nitrógeno atmosférico, este isótopo creado es inestable, por lo que, espontáneamente, se transmuta en nitrógeno-14 (^{14}N). A su vez este carbono se oxida rápidamente en el aire y forma dióxido de carbono, así entra en el ciclo global del carbono. Las plantas y los animales asimilan el carbono 14 a través del dióxido de carbono (CO_2), durante toda su vida se encuentran intercambiando carbono 14 con la biosfera, generando una concentración similar de radiocarbono entre ambos, a este fenómeno se le conoce como *Principio de Simultaneidad*. El intercambio de carbono en la atmósfera con el organismo, termina cuando este muere por lo que su contenido de ^{14}C empieza a disminuir. La datación por radiocarbono es, básicamente, un método diseñado para medir la radioactividad residual

Datación por Arqueomagnetismo

“La datación por arqueomagnetismo se fundamenta en la comparación de la información magnética de ciertos materiales ferromagnesianos con los cambios conocidos en el Campo Magnético de la Tierra (CMT). Para ello se analizan las direcciones e intensidades magnéticas grabadas en los materiales y se cotejan en una curva de referencia, es decir, los resultados del magnetismo en las muestras se interpretan con un registro de las variaciones temporales en el CMT llamado Curva de Variación Secular (SVC)” (Hueda 2000: 26). El

arqueomagnetismo investiga la historia del Campo Magnético de la Tierra (CMT), en los términos de las variaciones en dirección e intensidad que ha experimentado en el pasado, sirviéndose de materiales arqueológicos que han sufrido procesos de calentamiento de alta temperatura (>570 °C).

Datación por Dendrocronología

La dendrocronología estudia los cambios ambientales del pasado a través del análisis de los anillos anuales de los troncos de los árboles. *Dendro* se refiere a árbol y *cronos* al *tiempo*. Ésta disciplina se basa en que el crecimiento radial de las especies leñosas es rítmica de forma anual de acuerdo a condiciones ambientales determinadas por las estaciones del año. Así a cada anillo de crecimiento se le puede asignar un año calendario específico. Por otro lado, el crecimiento de los árboles es un resultado que integra un conjunto de estímulos ambientales bióticos (ej., competencia) y físicos (ej., temperatura, precipitación), e incorpora esa información en la estructura de sus anillos, convirtiéndolos en verdaderos archivos ambientales⁶ Así se hace valiosa para la Arqueometría y consecuentemente para la Arqueología.

⁶ <http://www.dendrocronologia.cl/cronosecuencias.html>

2. CAPÍTULO II. EL SITIO ARQUEOLÓGICO DE TABUCO

2.1 El sitio arqueológico de Tabuco, Veracruz

Tabuco se encuentra en el recinto portuario ubicado en el municipio de Tuxpan, en el Estado de Veracruz, Tuxpan es una región costera al norte del Golfo de México (conocida como parte muy importante de la Zona Huasteca), colinda al margen sur del río Tuxpan, en las coordenadas 20° 57' latitud norte y 97° 24' longitud oeste a una altura de 10 metros sobre el nivel del mar. (Figura 1). La "Huasteca" fue adjudicada desde el año de 1975 por la Secretaría de Marina para la realización de un muelle fiscal de la llamada Administración Portuaria Integral, por sus siglas API. La Zona huasteca está conformada por los Estados de Veracruz, Hidalgo, San Luis Potosí, Querétaro, Puebla y Tamaulipas (Figura 2). Lo más antiguo que puede hablarse hoy, en la cultura huasteca, es el periodo arcaico llamado Panuco I, contemporáneo de las fases más antiguas en Monte Albán o Zacatenco. Dada la liga maya-popoloca-totonaca-huasteca en la Costa Veracruzana y la presencia de fuertes elementos huastecas diseminados en casi todo el Estado, debían aparecer los elementos Panuco I al sur del río Tuxpan. Como hasta la fecha no se han encontrado, puede considerarse a los huastecas, el pueblo que realizó la mayor penetración de las altas culturas, rumbo al norte del Golfo de México, en tiempos precerámicos (Melgarejo, 1949a)

Las primeras exploraciones realizadas en Tabuco en forma controlada, se deben a G. Ekholm, Rafael Orellana y Roberto Pavón en 1947. El sitio también fue estudiado por W. Du Solier... También fue visitado en 1948 por el Arqueólogo Alfonso Medellín Zenil, quien hizo una descripción del sitio así como de algunos materiales cerámicos. La

situación geográfica de Tabuco nos permitiría estudiar aspectos concretos de un pueblo fronterizo entre los huastecos y totonacas.

Tuxpan es un lugar muy importante para la historia de México durante la conquista Española, estos relatos se encuentran en "*Los lienzos de Tuxpan*".

La exploración de esta zona es parte del Proyecto Arqueológico *Sur de la Huasteca Veracruzana*, cuyo objetivo es conocer el sistema de organización política en esta zona de frontera, ya que el río Tuxpan se considera la división étnica entre los **huastecos** y los **totonacos**, por ello la importancia de su investigación.⁷ El salvamento arqueológico en Tabuco arrancó en octubre de 2012, con el fin de liberar un predio en la zona más baja del área (que colindaba antiguamente con una laguna). Las escasas investigaciones sobre este importante asentamiento prehispánico (y de la Huasteca veracruzana en general) motivaron la creación de un proyecto de investigación integral⁸. Lo primero que salió a la luz en el área de excavación —cuya dimensión es de 60m de largo por 40m de ancho— fue un gran vertedero de fragmentos cerámicos, restos de animales, desechos de obsidiana y grandes cantidades de concha de ostión.⁹ De este sitio arqueológico se seleccionaron las cerámicas para su datación por TL y caracterizaron por diferentes métodos y técnicas físicas y químicas. Como concluyó la arqueóloga María Eugenia Maldonado: La gran cantidad de fragmentos cerámicos ubicados en el área contribuirán a realizar una seriación cerámica con

2, 4, 5, 8, 9 Información consultada en el Informe Técnico de Antropología Física del proyecto de *Salvamento Arqueológico Tabuco* apitux 2012, temporada de campo octubre 2012- abril 2013 y de la entrevista realizada a la maestra María Eugenia Maldonado Vite que aparece en la página: <http://inah.gob.mx/es/boletines/1800-encuentran-posible-muelle-prehispanico-en-veracruz>

⁹ <http://inah.gob.mx/es/boletines/1800-encuentran-posible-muelle-prehispanico-en-veracruz>

fechamientos precisos de la Cuenca de Tuxpan; entre los estilos cerámicos se encuentran el tipo tabuco negro sobre rojo y la tradición de pastas finas huastecas.

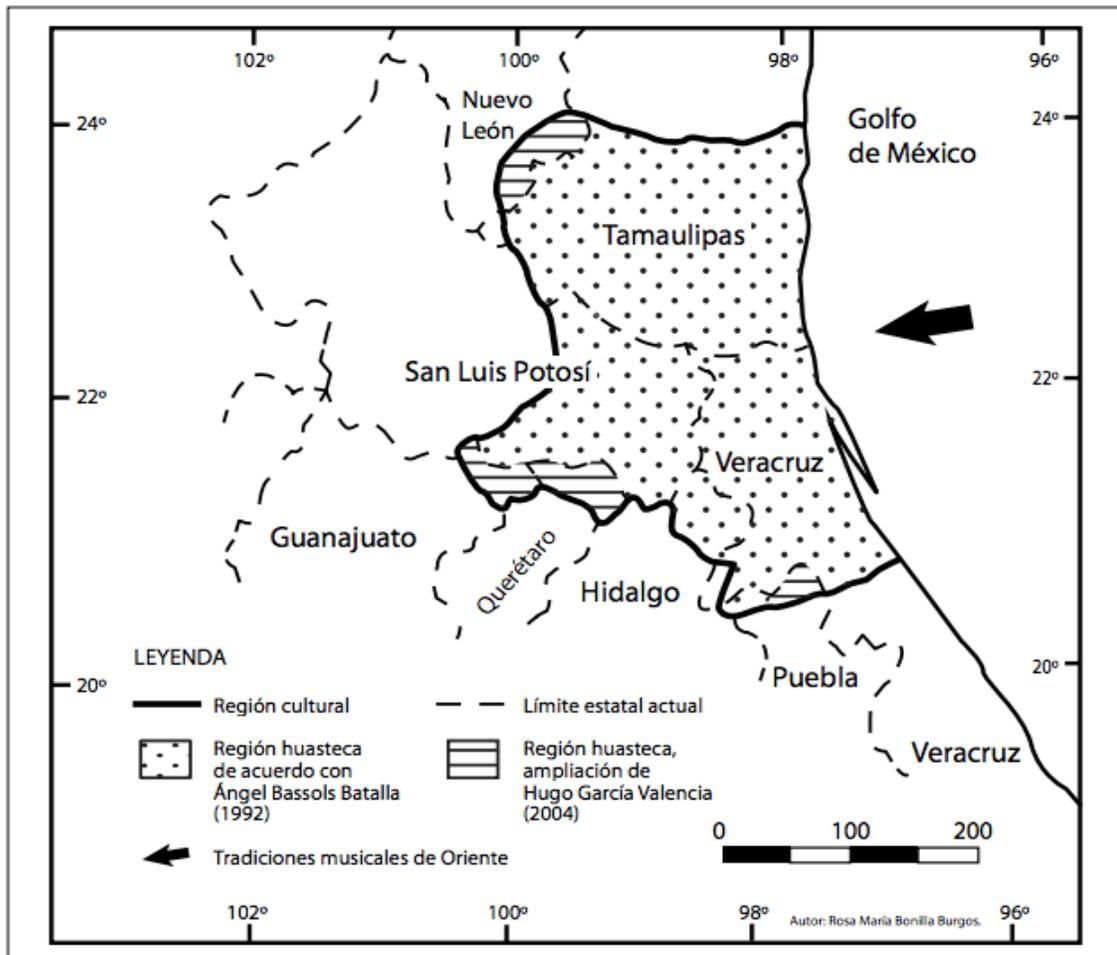
2.2 Tuxpan

“Para reconstruir la Provincia de Tuxpan existen datos abundantes; pero el hecho de haber comprendido bajo la denominación de Tuxpan a otras provincias y de haber sido Tuxpan el tope de varios pueblos y culturas, con las mezclas inherentes, así como la pérdida contemporánea de los toponímicos nativos, hace completamente difícil marcarla, si no es por eliminación siempre unilateral. (Melgarejo, 1949b). Como menciona el libro *“Historia de Veracruz en la Época Prehispánica”* Consideramos que uno de los testimonios más antiguos culturales, conservado y muchas veces intacto son las cerámicas. Con ellas podría hacerse la reconstrucción de su procedimiento, con los elementos arqueológicos y etnográficos, indicar: Selección y obtención del barro para fabricarla. Por ejemplo y por decir algo, Parece que los huastecos terminaron prefiriendo el de color blanquecino; los totonacas el de color crema, y los popolocas (olmecas), el de color rojo. Estos barros, propios del territorio que pobló cada grupo (Melgarejo, 1949c). Según la bibliografía consultada, no se encuentran dataciones absolutas en esta zona del Golfo de México, en ello radica la importancia de aplicar el método de datación cerámica por Termoluminiscencia y con ello abrir camino para una establecer una cronología absoluta. Además de caracterizar estas cerámicas que no sólo indican o infieren la parte estética de la cultura, la caracterización también nos da información sobre el proceso de manufactura y /o desarrollo tecnológico del lugar, es por esto que Tuxpan se convierte en un punto estratégico e importante para comenzar una cronología absoluta.

Figura 1. Zona explorada, ubicación actual del municipio de Tuxpan en el estado de Veracruz.



Figura 2. *Región Huasteca*



3. CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL CERÁMICO

3.1 Caracterización del material cerámico

Los materiales se clasifican según su estructura molecular, sus propiedades físicas y mecánicas. En ingeniería de materiales se entiende la estructura de un material como: la disposición de los electrones que rodean al núcleo de los átomos individuales esta afecta el comportamiento eléctrico, magnético, térmico y óptico entre otras propiedades. Además la configuración electrónica influye en la forma en que los átomos se unen entre sí (Askeland, 1998a). Este arreglo otorga al material sus propiedades. Por ejemplo, el polietileno vítreo es transparente, en tanto que el polietileno cristalino es traslúcido, es decir, tiene un arreglo atómico ordenado (red cristalina) pero otros materiales cerámicos y muchos polímeros no tienen una organización atómica ordenada (redes amorfas o vítreas), "en la mayor parte de los metales, de los semiconductores y de los cerámicos se encuentra una estructura granular" (Askeland, 1998b).

En arqueología el material cerámico se define como cerámicas tradicionales elaboradas con arcillas. En la preparación de una pasta cerámica existen tres ingredientes principales: los elementos *plásticos*, los *magros* o *desgrasantes* y los *fundentes*.

La cantidad y calidad de estos tres ingredientes es muy importante a la hora de obtener un determinado producto cerámico: Loza fina, loza, gres o porcelana, los **elementos plásticos** son las arcillas como los caolines; estos materiales forman la base de las pastas cerámicas debido a su plasticidad, es decir la posibilidad de cohesión que muestran las partículas constituyentes de la arcilla. La excesiva plasticidad provoca fisuras durante el secado. Los **elementos magros** o

desgrasantes son la sílice, la arena, trozos molidos de terracota (chamota) y las arcillas silíceas. Se añaden a la arcilla para reducir excesiva plasticidad, para aumentar la porosidad del cuerpo cerámico y para facilitar el secado del objeto. Los **elementos fundentes**, son los feldespatos, las micas de cal, los fosfatos, las fritas molidas, los vidrios pulverizados y las arcillas fundentes, ferrosas y calcáreas (Caruso N, 1986). Entonces los materiales cerámicos son combinaciones de elementos inorgánicos metálicos y no metálicos que forman compuestos duros, frágiles con tenacidad, baja ductilidad, alto punto de fusión, son resistentes y sirven como buenos aislantes eléctricos y térmicos; a menudo son resistentes al daño por ambientes corrosivos de temperaturas altas, gracias a su estabilidad química que proviene de sus enlaces fuertes iónicos y/o covalentes.

En ingeniería de materiales, se caracteriza un material cerámico por su capacidad de resistir el calor, su dureza, fragilidad, por su capacidad de aislar o conducir la electricidad, por fungir o no como catalizador, etcétera. No obstante, en función de la temperatura a la que son endurecidos, proceso que se conoce como cocción, son clasificados en tres categorías (Tabla 1): no vitrificados, parcialmente vitrificados y vitrificados. Es decir, se clasifican según el grado en que las arcillas de la matriz de la cerámica se van fundiendo y fusionando hasta convertirse en un material en el que la fase vítrea sea la más abundante, como es el caso de la última de las tres categorías (Kingery *et al.*, 1976, p. 516)

Tabla 1. *Categorías y características de los materiales cerámicos*

Categoría	Intervalo de cocción [°C]	Porosidad	Matriz	Superficie
Terracota	850-900	< 30%	No vitrificada	Debido a

				porosidad, a menudo cubierta con engobes
Loza	900-1.100	10-25%	Parcialmente vitrificada	Vidriada y no vidriada
Gres	1.200-1.350	> 1%	Mayoritariamente vitrificada	Vidriada y no vidriada
Porcelana	1.300-1.400	> 1%	Mayoritariamente vitrificada	Traslúcida

Las inclusiones no plásticas determinan la textura de la cerámica. Los óxidos minerales son en su mayoría los responsables de la coloración en las cerámicas. El color de una cerámica viene determinado por el contenido en hierro de la arcilla y de sus inclusiones, una vez que la materia prima que pudiera estar presente en la misma haya sido oxidada y eliminada durante la cocción. Así, según los contenidos en hierro, bajo la atmósfera oxidante (en presencia de oxígeno libre) se originan colores desde el rojo al marrón, mientras que bajo atmósfera predominantemente reductora (con escasez de oxígeno) se originan colores negros y grises (Rice 1987, pp.334-35; Sinopoli 1991, p. 12) El calor determina las fases de neoformación (nuevas fases mineralógicas) que no excluyen las fase primarias de los minerales, es decir las fases que ya se encontraban en la materia prima, antes de la cocción.

La porosidad es otra característica de la cerámica ya que esta le concede al material la capacidad de absorción, la porosidad varía según el tipo de arcilla empleada, cuanto más pequeñas son las partículas de arcilla, tanto menores son los poros entre ellas y tanto más estrechamente se agrupan al ser secadas y cocidas, se encogerá

demasiado. Las arcillas finas pueden mezclarse con arena o chamota para aumentar así su porosidad y disminuir el encogido durante la etapa de secado y cocción (Rothemberg P. 1990c). El factor de humedad también nos arroja información sobre la porosidad de la cerámica. Por estas razones, no solo es importante datar la cerámica sino también hacer un registro descriptivo y gráfico de sus características y propiedades físicas, como sus colores, formas, texturas, tamaño, dureza, forma granular, porosidad, factor de humedad, por mencionar algunas.

En arqueología se define la arcilla como la pasta fundamental con la que se elaboró la cerámica (constitución interna), ya que existen otros elementos como pintura y acabado que en ocasiones están constituidos por otros materiales diferentes a la arcilla.

3.2 Aplicación sistemática de métodos y técnicas para la caracterización del material cerámico

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, la arqueometría surge de la necesidad de medir lo antiguo, hace uso y adaptación de métodos, técnicas, fenómenos y fundamentos de otras disciplinas para llevar a cabo un estudio analítico y experimental sobre el material arqueológico/antropológico que a su vez colabora con la arqueología e infieren o dan respuestas a cuestionamientos sobre el pasado. Así se ha hecho necesario obtener métodos y técnicas que se han ido estableciendo y perfeccionando con el paso del tiempo. Aplicar y replicar ordenadamente métodos y técnicas para caracterizar material arqueológico, conserva el estudio material y complementa las inferencias arqueológicas a la hora de interpretar los resultados.

Aplicando diagramas y protocolos se establece un orden lógico, trazable, óptimo, reproducible, confiable y estandarizado para estudiar y conocer el material del pasado, como ejemplo de ello, se desarrolló esta

tesis donde registramos, las cerámicas extraídas en el sitio arqueológico de Tabuco, Veracruz.

En este trabajo se desarrolló el "*Diagrama de Flujo del Proceso para la Datación y Caracterización de una Cerámica Arqueológica*" ver el

Diagrama de proces en los anexos, el cual describe todo el proceso para la datación por TL y los análisis para la caracterización cerámica, desde la toma de la muestra en campo, pasando por los análisis, descripciones y resultados en el laboratorio. Por medio de esta investigación se establecieron las etapas a seguir de forma ordenada, sistemática, sucesiva o en paralelo para efectuar la descripción, datación, química de residuos y mineralogía de una cerámica. Este diagrama nos proporciona un panorama general de las etapas o partes del proceso que implica la datación por termoluminiscencia y caracterización con la finalidad de considerar y planear los factores que en ello intervienen además de sus implicaciones. Así será de gran ayuda para organizar y optimizar el tiempo y los recursos, pero sobre todo, aprovechar eficientemente la generalmente escasa cantidad de una muestra cerámica.

3.3 Termoluminiscencia

3.3.1 Radiactividad

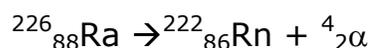
La radiactividad o radioactividad, (también conocida como radiación nuclear o desintegración nuclear) es el proceso por el cual un núcleo atómico inestable pierde energía mediante la emisión de radiación (propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas). La Radiactividad es un fenómeno que tardó mucho en descubrirse pues el ser humano no puede percibirla a simple vista, las radiaciones nucleares sólo se pueden observar indirectamente a través de los efectos que producen al

atravesar la materia y los equipos diseñados para medir su energía e intensidad están basados en la producción de iones cargados eléctricamente y la producción de excitación que se emite en forma de luz.

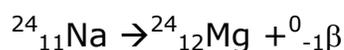
Desde que la tierra fue formada existen isótopos radiactivos, desde entonces todos los isótopos radiactivos han decaído. Sólo los isótopos con vidas medias muy largas (100 millones de años o más) permanecen junto con los isótopos formados a partir del decaimiento de los isótopos de larga vida. Los isótopos predominantes en la tierra son ^{40}K , ^{238}U y ^{232}Th ; así como los productos de sus decaimientos, entre ellos ^{226}Ra y ^{222}Rn . Los núcleos de los átomos pueden transformarse unos en otros o pasar de un estado energético a otro, mediante la emisión de radiaciones. Se dice entonces que los núcleos son radiactivos; el proceso que sufren se denomina *decaimiento radiactivo* o *desintegración radiactiva*. Esta transformación o decaimiento sucede de manera espontánea en cada núcleo, sin que pueda impedirse mediante un factor externo. Además, cada decaimiento va acompañado por la emisión de al menos un tipo de radiación. La energía que se lleva cada radiación es perdida por el núcleo siendo la fuerza nuclear el origen de esta energía y lo que da a las radiaciones sus dos características más útiles: poder penetrar materia y poder depositar su energía en ella.

No todos los núcleos de la naturaleza son radiactivos. El decaimiento nuclear sólo sucede cuando hay un exceso de masa-energía en el núcleo, la emisión le ayuda entonces a lograr una mayor estabilidad. Los decaimientos radiactivos de los diferentes núcleos se caracterizan por el tipo de emisión, su energía y la rapidez de decaimiento. Solo hay unas cuantas formas en que los núcleos pueden decaer.

a) *Decaimiento alfa* (α): un grupo importante de elementos pesados pueden decaer emitiendo partículas alfa, que consisten de un agregado de dos protones y dos neutrones. Estas partículas alfa son idénticas a núcleos de helio (${}^4\text{He}$). Por lo que su carga es $+2e$ y su número de masa es 4. Cuando un núcleo emite una partícula alfa, pierde 2 unidades de carga y 4 de masa, transformándose en otro núcleo, como lo indica en el siguiente ejemplo:

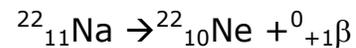


b) *Decaimiento beta* (β): Hay dos tipos de decaimiento beta, el de la partícula negativa y el de la partícula positiva. La partícula beta negativa que se emite es un electrón, con su correspondiente carga y masa, indistinguible de los electrones de las capas atómicas. En vista de que los núcleos no contienen electrones, la explicación de esta emisión es que un neutrón del núcleo se convierte en un protón y un electrón; el protón resultante permanece dentro del núcleo en virtud de la fuerza nuclear, y el electrón escapa como partícula beta. El número de masa del núcleo resultante es el mismo que el del núcleo original, pero su número atómico se ve aumentado en uno, conservándose así la carga. El siguiente caso es un ejemplo de decaimiento beta negativa.



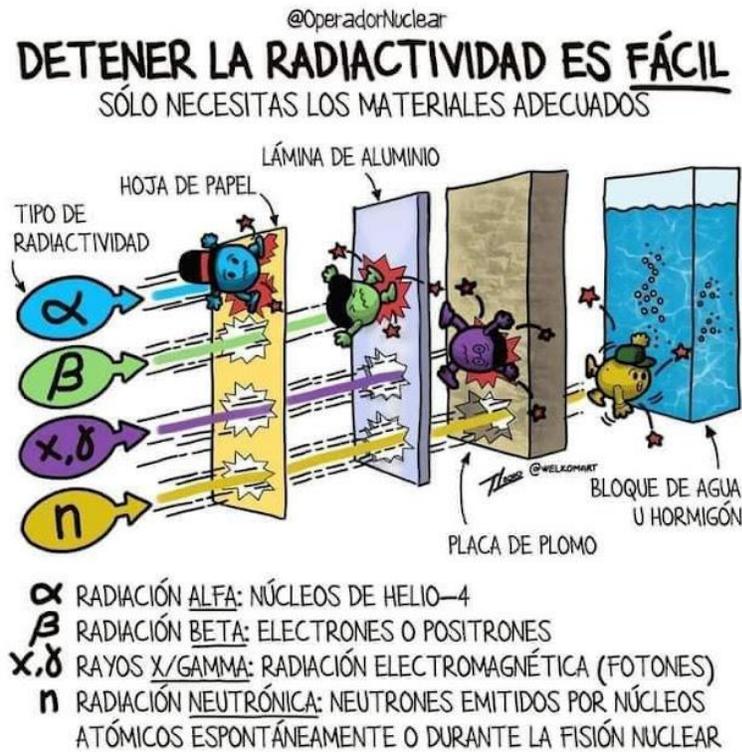
Debe mencionarse que en todo decaimiento beta se emite también una nueva partícula, el neutrino. Ésta partícula no tiene carga ni masa y, por lo tanto, no afecta el balance de la ecuación anterior. Sin embargo, se lleva parte de la energía total disponible en el proceso, quedando la partícula beta con sólo una parte de ésta.

Algunos núcleos emiten partículas beta, que tienen la misma masa que los electrones, y carga $+e$. Se crean en el núcleo cuando un protón se convierte en un neutrón. El nuevo neutrón permanece en el núcleo y el positrón (junto con otro neutrino) es emitido. En consecuencia, el núcleo pierde una carga positiva, como lo indica el siguiente ejemplo:



c) *Decaimiento gama* (γ). Los rayos gama son fotones, es decir paquetes de radiación electromagnética, como la luz visible, la ultravioleta, la infrarroja, los rayos X, las microondas y las ondas de radio. No tienen masa ni carga, y solamente constituyen energía emitida en forma de onda. En consecuencia, cuando un núcleo emite un rayo gama, se mantiene como el mismo núcleo, pero en un estado de menor energía.

Figura 3. Ejemplo de tipos de radiación



3.3.2 Energías de decaimiento radioactivo

La segunda propiedad que caracteriza al decaimiento radioactivo de cada núclido es la energía de la radiación emitida. Esta energía está dada por la diferencia entre los niveles involucrados en el decaimiento. Como los núcleos sólo pueden existir en niveles de energía fijos (se dice que su energía está cuantizada), se deduce que la energía de decaimiento entre dos estados dados es siempre la misma. Esta energía puede incluso servir para identificar el núclido.

Las radiaciones α y γ cumplen con esta regla de ser monoenergéticas si provienen de un solo tipo de decaimiento. Las β , sin embargo, deben compartir la energía disponible con el neutrino, por lo que tienen un espectro continuo de energías.

3.3.3 Radiaciones

Para medir la edad de las piezas arqueológicas, fósiles, yacimientos o la de la Tierra misma, se requiere de un reloj que permita medir el tiempo transcurrido desde que se fabricaron las piezas, desde que murió la planta o animal que luego quedó en forma de fósil, desde que se depositaron los minerales en un yacimiento o desde que nació la tierra misma. En ocasiones estos tiempos solo son de miles de años, y en otras de miles de millones de años. El reloj requerido debe variar en una forma muy bien conocida. El decaimiento radiactivo posee precisamente estas características, ya que se puede considerar que decae en forma constante a través del tiempo, en ocasiones con una vida media relativamente corta como el carbono-14, de menos de 6 000 años y en otras con vidas medias extremadamente largas, como las del uranio-238, de 4 500 millones de años. La vida media de cada radioisótopo es una constante y se mantiene invariable a través del tiempo. Para poder utilizar ese reloj se requiere conocer la concentración de material radiactivo cuando se inició el proceso cuya edad se desea estimar. También se requiere conocer esa concentración de material radiactivo en el momento actual. Utilizando la vida media del isótopo se puede calcular el tiempo transcurrido. Cuando mayor sea la vida media de un radioisótopo es mayor su utilidad para estimar edades de piezas o acontecimientos más antiguos. Los radioisótopos que se utilizan más a menudo para este propósito son el carbono-14, el uranio-238, uranio-232, torio-232, rubidio-87 y potasio-40

Para la medida de edades geológicas, como la edad de ciertos yacimientos o la edad de la Tierra, se utilizan isótopos radioactivos de edades medias muy largas, son muy poco los átomos radiactivos con vidas medias del orden de la duración de tiempos geológicos, los geocronologistas usan principalmente tres relojes, los cuales se

caracterizan por su par de átomos: el padre siempre radiactivo y el hijo, que puede o no ser radiactivo. Estos métodos son conocidos con los nombres de potasio -argón, rubidio -estroncio, y uranio-plomo, en virtud de que el primer isótopo de cada par es el átomo padre y el segundo su descendiente.

El potasio-40 al decaer da lugar al nacimiento del argón-40, que tiene una vida media de más de 1, 260 millones de años; el rubidio-87, por su parte da lugar al nacimiento del estroncio-87 con una vida media de 48 000 millones de años; y finalmente, el uranio-235 y el uranio-238 tienen por descendientes dos isótopos estables de plomo, de peso 206 y 208 respectivamente. Estos isótopos radiactivos padres generan a sus descendientes muy lentamente, en el transcurso de millones de años. Al analizar una muestra de acuerdo con la presencia del isótopo hijo, sea radiactivo o no, puede determinarse con la ayuda de las leyes de decaimiento radiactivo, el tiempo transcurrido desde la formación del yacimiento o de la Tierra. En este caso, una mayor cantidad del isótopo hijo indica una mayor antigüedad de la muestra. Simples en principio, estos métodos para estimar edades deben ser aplicados con mucha precaución. En efecto se puede calcular la edad por estos métodos si, a partir de la fecha en que se depositó el yacimiento o se formó la tierra no ha habido movimiento de los descendientes y los padres del par radioactivo en la muestra; es decir, si no ha habido aporte o pérdida de los elementos allí presentes es esta forma se calculó que la corteza sólida de la tierra debe haber existido desde hace aproximadamente cuatro mil quinientos millones de años.

3.3.4 Fenómeno de termoluminiscencia (TL)

Cuando se estimula térmicamente un sólido cristalino que previamente fue irradiado y este desprende la energía acumulada en su estructura atómica, observada como emisión de luz, se genera el

fenómeno de termoluminiscencia (TL) o luminiscencia térmicamente estimulada. Este fenómeno es característico de ciertos sólidos cristalinos que presentan defectos intrínsecos o extrínsecos en su estructura, estos sólidos al ser irradiados atrapan a los electrones ya que sus defectos funcionan como trampas, y posterior a esto, si se eleva su temperatura por encima de 500°C estos electrones adquirirán suficiente energía para ser liberados y regresar a su estado inicial. Los materiales cristalinos tienen una estructura ordenada, sin embargo, existen defectos en ellos, defectos intrínsecos que son naturales o propios del sólido, y los extrínsecos que son impurezas, también se generan defectos a partir de la radiación ionizante. Se llaman *defectos de superficie* aquellos que involucran fronteras o planos que separan un material en regiones con diferentes orientaciones cristalográficas, *defectos de líneas o dislocación*, aquellos que implican ausencia de una fila de átomos y *defectos puntuales* a los que son discontinuos en la red que involucran uno o más átomos.

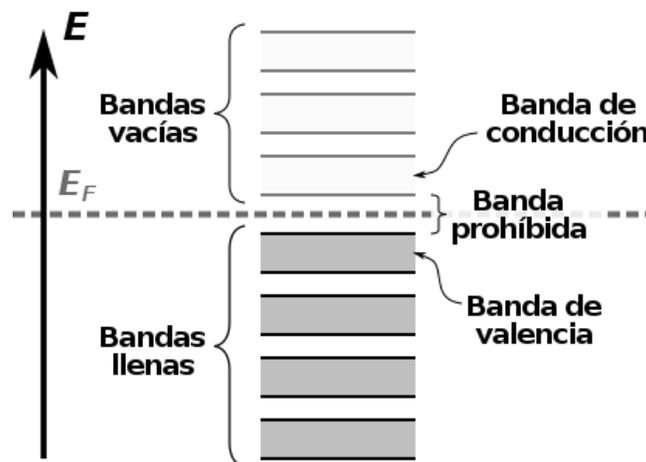
Para que se genere el fenómeno termoluminiscente (TL), inicialmente el material o sólido cristalino debe estar expuesto e interactuar con algún tipo de radiación ionizante como partículas alfa, partículas beta, rayos gamma, rayos X, luz UV, la interacción entre la radiación y el sólido produce efectos en los defectos del sólido de tal forma que los electrones quedan atrapados en un estado de equilibrio metaestable. Cuando este fenómeno ocurre en un sólido cristalino a este se le denomina "Dosímetro Termoluminiscente (DTL)" ya que funciona como sistema de medición de dosis de radiación, cuando estos cristales se calientan, liberan la energía en forma de fotones (luz), que puede ser medida y esta es proporcional a la cantidad de radiación adsorbida.

El número de defectos generados en el cristal es proporcional tanto a la dosis de radiación como al tiempo de exposición a esta. En la

emisión de la señal termoluminiscente, la intensidad luminiscente **I** aumenta proporcionalmente con la temperatura **T** debido a que cada vez más electrones adquieren energía suficiente para liberarse y recombinarse. Sin embargo, después de un tiempo de irradiación, el número de defectos comenzará a decrecer gradualmente. La eficiencia luminiscente de un material depende tanto de la red cristalina como de la impureza que actúa como activador o dopante.

En los sólidos cristalinos se consideran tres espacios continuos de energía a los que se les llaman bandas, banda de valencia que contiene a los electrones de la capa externa del átomo, banda prohibida que contiene estados de energía que no pueden ser ocupados por electrones y banda de conducción que contiene estados electrónicos con exceso de energía casi siempre se encuentra vacía, ver Figura 4.

Figura 4. Espacios continuos de energía en los sólidos cristalinos



Un cristal perfecto tendrá una banda de valencia completamente llena y una banda de conducción vacía. Los electrones pueden ser excitados desde la banda de valencia a la banda de conducción dejando vacíos niveles de la banda de energía o huecos si absorben suficiente energía procedente de la radiación que atraviesa el cristal. Los átomos

de las impurezas presentes en el cristal añaden niveles de energía aislados a esta estructura de bandas que están justo por debajo de la banda de conducción. Si un electrón es excitado a la banda de conducción y cae a uno de estos niveles aislados queda "atrapado". Cuando posteriormente se calienta el cristal, el electrón atrapado puede recibir suficiente energía térmica para regresar a la banda de conducción y emigrar hasta llenar un hueco. Cuando el electrón pierde energía al llenar el agujero, emite un fotón de luz visible. La luz total emitida (Intensidad) al calentar el cristal mide el número de electrones atrapados, y por lo tanto, la dosis de radiación total absorbida.

3.3.5 Datación por termoluminiscencia (TL)

Cuando se estimula térmicamente un sólido cristalino que previamente fue irradiado y este desprende la energía acumulada en su estructura atómica, observada como emisión de luz, se genera el fenómeno de termoluminiscencia (TL) o también llamado luminiscencia térmicamente estimulada.

La datación por termoluminiscencia es un método utilizado para determinar la edad absoluta de materiales cerámicos, es decir, revela edades numéricas que no requieren calibración posterior a la escala de tiempo calendárico y el límite máximo de edad está dado por la cantidad de carga o dosis acumulada en los defectos cristalinos característico de cada material cerámico. Por ejemplo, los materiales presentes (minerales) en fogones y hornos muestran el fenómeno de termoluminiscencia. Al obtener la edad de las piezas cerámicas se determina el momento en la que estas se manufacturaron o fueron calentadas por última vez a una temperatura superior a los 500°C. "Si bien el fenómeno de la TL es conocido desde hace mucho tiempo, su aplicación en la datación de restos arqueológicos cerámicos es relativamente reciente" (Aitken, 1985), "conformando en la actualidad

una técnica de datación rutinaria en el estudio de yacimientos arqueológicos” (Arribas et al, 1989a)

Es importante mencionar que para realizar la datación por termoluminiscencia, el contexto de las cerámicas debe analizarse y documentarse por lo que hay una serie de pasos previos a seguir antes de llegar al laboratorio. Aquí los mostramos según lo menciona la arqueóloga Patricia Sánchez (2014):

En resumen, los principales requisitos de un contexto para datación por termoluminiscencia son:

- El contexto no debe estar alterado a menos de 30 cm del punto de muestreo con basura moderna, arado, canales de riego, etc.
- No debe tratarse de un sitio que fue sometido a algún tipo de radiación que pudiera afectar a las muestras.
- Se debe contar con suelo suficiente para colocar el espectrómetro a una profundidad de 30 cm. Esta condición se cumple generalmente a la mitad de la excavación o manteniendo un perfil de excavación intacto durante el trabajo en campo, entendiendo que en dicho perfil se encuentran las muestras (por ejemplo la cerámica).
- El espectrómetro se coloca en el punto exacto de donde provienen los materiales muestreados.
- Dependiendo el contexto se puede realizar la medición de los radioisótopos naturales por medio de espectrometría gama, muestra de suelo o dosimetría termoluminiscente.
- Se recomienda ampliamente el uso del espectrómetro gama in situ en vez de la toma de muestra de suelo, ya que el espectrómetro mide la dosis real que reciben los materiales en el punto donde se encontraban. Mientras que con la toma de suelo, tenemos una dosis muy cercana a la real determinada en el laboratorio y es

posible que no se considere la afectación de diversos factores en el cálculo de la dosis de radiación natural, como son los elementos constructivos (muros, alineamientos, derrumbes, etc.) y/o los elementos naturales (piedras, agua, etc.)(pp.116-117).

Para el muestreo de los materiales son requisitos:

- En el caso de que la muestra sea cerámica, ésta no debe ser de superficie.
- Una vez extraídas las cerámicas colocarlas en un lugar protegido del sol para evitar calentamiento.
- Evitar que las muestras sufran un proceso de calentamiento, como secado en hornos o en estufas.
- El tamaño mínimo de los materiales debe ser de 4 x 4 centímetros, dependiendo su grosor.
- Las muestras no deben someterse a ningún tipo de radiación artificial como rayos X o escáner, dado que alteran la señal TL natural.
- Si los materiales durante su traslado deben de pasar por alguna revisión, como en el caso de una aduana, para evitar que las muestras sean alteradas por algún tipo de escáner se recomienda contar con los oficios pertinentes para evitar sean escaneadas.
- Por ser un método destructivo es necesario realizar un registro detallado de la muestra, descriptivo y fotográfico, antes de iniciar su procesamiento.
- Seleccionar las muestras de mayor interés para el proyecto en función de las temporalidades a investigar y tipos diagnósticos de la región.

3.3.6 Aplicación de la termoluminiscencia en la datación arqueológica

La datación por termoluminiscencia (TL), es un método de fechamiento directo en la obtención de edades arqueológicas al datar directamente uno de los materiales más importantes y abundantes en los contextos arqueológicos, la cerámica. En ese sentido, la termoluminiscencia ofrece grandes ventajas al quehacer arqueológico aportando dataciones absolutas que pueden respaldar y sustentar a cualquier investigación arqueológica, por medio del fechamiento de cualquier material que en su manufactura o en su uso fue sometido a una temperatura mayor a 500° C. Por ejemplo, además de la cerámica, ladrillos, hornos, hogares, tejas o materiales de construcción, piedras quemadas, sílex quemado, bronce con núcleo de arcilla y sedimentos, sean quemados o no (Arribas et al. 1989b; Martini y Sibila 2001).

El fechamiento por termoluminiscencia se fundamenta en el fenómeno termoluminiscente que presentan algunas estructuras cristalinas y la medición de la dosis de radiación natural absorbida por la muestra a través del paso del tiempo, es decir, radiación natural que proviene de los tres radioisótopos naturales más abundantes y con vidas medias de varios miles de millones de años, el Uranio 238 (U^{238}), Torio 232 (Th^{232}) y Potasio 40 (K^{40}) (Arribas et al. 1989c p. 233). El fenómeno de termoluminiscencia si bien se conoce desde la antigüedad, fue estudiado como herramienta de datación hasta los años cuarenta del siglo pasado. No obstante, los primeros trabajos de fechamiento por medio del método se aplicaron en la determinación de edades en minerales, siendo hasta la siguiente década, en 1953, cuando Farrington Daniels y colaboradores sugirieron la termoluminiscencia en dataciones arqueológicas (Ramírez, 2011, p.2). Pero hasta dos décadas después, en 1974, se desarrollaron los protocolos y principios básicos para lograr

fechamientos a partir de la termoluminiscencia por las investigaciones del físico y arqueólogo inglés, M. J. Aitken (Khaswneh et al., 2011, p. 45). En 1985 Aitken publica *Thermoluminescence Dating*, trabajo en el que desarrolla la metodología y los fundamentos generales para la datación por termoluminiscencia, la cual requiere de dos procesos diferentes para obtener la edad total del material uno es el cálculo de la radiación total adquirida por la muestra desde su último calentamiento (paleodosis) y el otro, la medición de la dosis que el material recibía por año. *Ecuación de la edad absoluta en sección 3.3.7*

Roberts, 1997, nos informa que el empleo de la luminiscencia como método de datación absoluta empieza en la década de los años 50 del siglo pasado. La aplicación de la termoluminiscencia en la datación de cerámica arqueológica es un método confiable, reproducible y cuantificable. Considerando el fenómeno de termoluminiscencia y sabiendo que en la mayoría de las zonas que se consideran arqueológicas donde sin duda se han encontrado piezas, herramientas, fogones, utensilios domésticos, ornamentales, construcciones y otras piezas enterradas hechas de material cerámico, podemos decir que el material en sí mismo es un dosímetro TL, lo cual es conveniente para la arqueometría y a su vez para la Arqueología, paleontología, y disciplinas a fin ya que se podrá medir la radiación total acumulada en ella a través del fenómeno TL y así obtener edades absolutas de las piezas, construcciones y otros materiales culturales.

Esto es fundamental para establecer cronologías absolutas, por ejemplo, establecer una cronología absoluta en Golfo de México a partir de cerámicas extraídas de los yacimientos arqueológicos, para autenticar una pieza, datar sedimentos eólicos, fluviales, marinos, costeros, rocas volcánicas, etcétera. Posiblemente la termoluminiscencia sea el más desconocido en cuanto a métodos se refiere. Por ejemplo,

para obtener un fechamiento por TL se requiere combinar una serie de técnicas y requisitos en campo. Este desconocimiento propicia que a pesar de datar directamente la cultura material y no materiales asociados al contexto, sea de los métodos menos utilizados en el país. Para su aplicación en las investigaciones arqueológica es necesario (al igual que se recomienda en la arqueometría) considerar la incorporación de la datación por termoluminiscencia desde la planeación y diseño del proyecto (Sánchez, 2014c) por lo que se ha desarrollado este trabajo y se ha plasmado en el diagrama de flujo presentado.

Y por último es importante recordar que para la datación por termoluminiscencia uno de los laboratorios de referencia y con experiencia en fechamientos arqueológicos y geológicos, es el Laboratorio de Termoluminiscencia del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), bajo la responsabilidad del Dr. Peter Schaaf y el Mtro. Ángel Ramírez Luna. De hecho, las primeras dataciones por termoluminiscencia realizadas en el país se llevaron a cabo en dicho laboratorio, el cual ha trabajado con muestras arqueológicas desde 1995.

3.3.7 Ecuación de la edad (Paleodosis "P" y Tasa de Dosis Anual "T.D.A.")

"La datación de un objeto por el método de termoluminiscencia requiere de dos magnitudes: La paleodosis y la tasa de dosis anual" (Atiken, 1985).

$$Edad\ absoluta = \frac{Paleodosis\ [Gy]}{Tasa\ de\ dosis\ anual\ [\frac{Gy}{año}]}$$

La paleodosis es la dosis acumulada a través del paso del tiempo en el material a datar. La tasa de dosis anual es la que recibe el material por unidad de tiempo y se mide en el entorno inmediato del mismo,

depende fundamentalmente de la concentración de los radioisótopos del uranio (^{238}U), torio (^{232}Th) y potasio (^{40}K) y en menor medida de la radiación cósmica. Para que la datación sea exacta, es imprescindible que el mineral haya perdido señal acumulada antes de incorporarse al objeto que se está datando, esto puede suceder mediante el calentamiento de la pieza, por lo que la señal susceptible de ser acumulada se liberará también mediante calentamiento (Termoluminiscencia). También, en el caso de la Luminiscencia Estimulada Ópticamente, puede suceder debido a la exposición a la luz solar del material. En este último caso, la señal se acumulará siempre que el material quede enterrado, protegido de la luz solar.

“El cálculo de la tasa de dosis anual, se realiza de manera independiente a la lectura del espectro termoluminiscente. Para su medición se requiere conocer la concentración de radiación natural tanto en el suelo que rodea a la muestra como de la misma composición de la muestra cerámica. Tal radiación procede de la, radiación alfa (α), beta (β) y gama (γ) de los radioisótopos de uranio (^{238}U), torio (^{232}Th) y potasio (^{40}K) tanto del entorno (suelo) como de la misma muestra (autoirradiación), además de la contribución de la dosis de radiación cósmica (c). La tasa de dosis anual se calcula sumando las dosis alfa (α), beta (β) y gama (γ) más la dosis cósmica (0.15×10^{-3} Gy/año, Aitken, 1985). Utilizando los factores de conversión correspondientes, estas dosis son corregidas con el factor de atenuación por saturación de humedad y el factor de eficiencia alfa/beta” Ángel Ramírez (comunicación personal 2015b).

La TL natural es la paleodosis la cual está compuesta por la dosis equivalente “Q” y el factor por supralinealidad “I”, considerando la contribución de las partículas alfa, de las partículas beta, de la energía gama y de la radiación cósmica, la TL adquirida en el año se transforma y se representa en la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \text{Edad absoluta} &= \frac{\text{Paleodosis [Gy]}}{\text{Tasa de dosis anual } \left[\frac{\text{Gy}}{\text{año}}\right]} \\
 &= \frac{\text{Dosis equivalente Q} + \text{Factor supralinealidad I}}{\text{Dosis } \alpha + \text{Dosis } \beta + \text{Dosis } \gamma + \text{Dosis } c}
 \end{aligned}$$

“Una vez calculado los valores de la paleodosis y la tasa de dosis anual se integran todos los datos duros mediante varios algoritmos” (Ramírez, Schaaf, et al., 2010 p. 48). En términos generales, se divide la paleodosis entre la tasa de dosis anual dando como resultado la datación termoluminiscente de la muestra, es decir la edad absoluta de la muestra en años antes del presente, entendido como presente el año en que se realiza la datación.

3.4 Química de residuos

La determinación de las funciones de los utensilios es muy importante en el estudio de los materiales arqueológicos. Resulta de gran valor poder determinar, mediante análisis químicos los residuos que han dejado su huella en los artefactos hallados en las excavaciones, indicadores de los usos que fueron destinados. Por ejemplo, los fragmentos de cerámica en los que la evidencia experimental demuestra la presencia de rastros de comida permiten inferir el uso del objeto como utensilio de cocina y no con tintes decorativos, ceremoniales o como receptáculos de líquidos. En ocasiones algunos residuos de alimentos se pueden detectar microscópicamente. Sin embargo, puesto que en la mayor parte de los casos sólo se dispone de fragmentos de cerámica. El único procedimiento es el análisis químico (Barba et al., 1991a).

Cuando se trata de vasijas de barro o partes de ellas, podemos determinar su uso en la preparación de alimentos por medio de reacciones a la gota, instrumento analítico que no los identifica como

tales pero que muestra sus componentes. Algunos ejemplos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2. *Componentes a identificar según los residuos encontrados.*

Alimentos	Componentes a identificar
Carnes	Albúmina
Grasa y aceite	Ácidos grasos
Tubérculos y otros alimentos ricos en azúcar	Carbohidratos

Así, las cerámicas halladas en Tabuco Veracruz, fueron analizadas químicamente para identificar la presencia o ausencia y las cantidades relativas de carbohidratos, proteínas, ácidos grasos, carbonatos, fosfatos y pH, con técnicas desarrolladas y aplicadas para suelos que siguen los protocolos del Laboratorio de Prospección Arqueológica de la UNAM.

Existen otras técnicas y/o métodos para determinar residuos como la microscopía óptica y eléctrica, diversos métodos analíticos como espectrofotometría de absorción en infrarrojo, cromatografía de gases, espectrometría de masas acoplada, entre otras, sin embargo las técnicas que se usaron en las muestras cerámicas fueron sencillas de aplicar y no requieren equipos ni infraestructura compleja por lo que se vuelven un trabajo práctico en laboratorio, si bien estas técnicas no identifican específicamente las sustancias químicas presentes y su cantidad pero sí logra clasificar el tipo de residuo, por ejemplo, la prueba de ácidos grasos identifica los ácidos pero no diferencia entre si es de origen animal o de origen vegetal. Estas técnicas han demostrado ser una de las mejores formas de detectar la presencia de residuos orgánicos. Permiten apreciar la abundancia relativa de los residuos

químicos estudiados, proporcionando datos importantes sobre el uso de cerámicas y del espacio. Además sus resultados han probado que también pueden ser una buena forma de seleccionar las muestras susceptibles a ser analizadas con técnicas analíticas instrumentales y cuantitativas en etapas posteriores (Middleton et al., 2010)

Se consideraron dos razones por las que se eligieron estas seis técnicas, la primera razón es que las reacciones que se ocupan son hasta cierto punto sencillas de aplicar en el laboratorio, son prácticas, reproducibles y confiables. La segunda pero no menos importante es que dado que son reacciones químicas tenemos la seguridad que están sujetas a los principios estequiométricos de la materia y eso siempre arrojará resultados y cantidades absolutas, así tendremos la certeza de los resultados. Lo anterior es muy importante porque las cerámicas encontradas, en su mayoría son fragmentos muy pequeños, piezas únicas, esto de cierta forma limita el análisis y por lo tanto se debe seguir una línea estricta para no cometer errores como desperdiciar el material, sólo tendremos una única oportunidad de análisis. Si realizamos el análisis siguiendo los protocolos establecidos, tendremos resultados favorables ya que así como una reacción química funciona en un kilo de muestra lo hará en un gramo.

La porosidad en las cerámicas es una gran ventaja para estudiar los posibles usos o funciones que tuvieron cuando fueron un cántaro, un plato, una vasija, un macetero, un adorno, un vaso, un juguete, una urna, etcétera, ya que estos tienen la propiedad de absorber en sus poros las sustancias con las que estuvieron en contacto, y las conservan, sobre todo si fueron líquidos, esta porosidad es aprovechada porque funge como marcador original *in situ* es decir los residuos contenidos permanecerán ahí. Luis Barba, Agustín Ortiz y Alessandra Pecci, (2013) citan en su trabajo "*Los residuos químicos. Indicadores*

arqueológicos para entender la producción, preparación, consumo y almacenamiento de alimentos en Mesoamérica” lo siguiente:

El análisis de los residuos en cerámica tiene aplicaciones en el estudio de la alimentación en el pasado, principalmente porque permite entender qué alimentos se producían, conservaban, cocinaban y transportaban en ésta. En particular el estudio de la cerámica de cocina permite evaluar los alimentos cocinados y la forma de cocción (Evershed 1993, 2008a; Chartres *et al.* 1993; Malainey *et al.* 1999a; Regert 2011), el estudio de la cerámica de almacenamiento y de servicio, entender los alimentos conservados y consumidos (por ejemplo, Barba 2009; Hurst *et al.* 2002; Pecci 2009b), mientras que el estudio de la cerámica de transporte permite obtener información sobre los alimentos transportados y comerciados en la antigüedad, como sugiere el estudio de las ánforas romanas en el Mediterráneo (Condamin *et al.* 1976; Garnier 2007; Garnier *et al.* 2011; Romanus *et al.* 2009; Pecci 2009b). Finalmente, el estudio de la cerámica en los lugares de producción de alimentos y bebidas (*i. e.* ánforas y *dolia* para la producción de vino y aceite en el Mediterráneo, o la cerámica pulquera en Mesoamérica) permite entender mejor la producción y distribución de tales sustancias.

Es decir analizar cerámicas a partir de sus residuos químicos permite no solo hacer inferencias sobre la alimentación, sino también sobre el comercio y la tecnología del sitio.

Para la realización de estos estudios es esencial considerar que durante su fabricación las paredes de los recipientes cerámicos se someten a altas temperaturas y parten de una concentración de residuos orgánicos

muy baja, a excepción de aquellas que hubieran sido impermeabilizadas con sustancias orgánicas, como resinas o la cera de abejas. De esta manera el uso de los recipientes puede enriquecer su contenido mediante la adición de sustancias químicas. Para poder interpretar esta información se hace necesario contar con datos de referencia acumulados a partir de estudios etnoarqueológicos y de experimentos en el laboratorio bajo condiciones controladas. El trabajo realizado en las últimas tres décadas permite ahora aproximarnos al estudio de los espacios arquitectónicos utilizados para preparar los alimentos, a la identificación de los recipientes utilizados para su almacenamiento o preparación y en ocasiones a la identificación de sustancias remanentes de los alimentos originales. (Barba et al., 2014). Los residuos preservados en los recipientes cerámicos, en los pisos y depósitos tienen las siguientes características: son invisibles, son intangibles, se mantienen durante tiempo prolongado dentro de los poros y en condiciones normales son difíciles de remover” (Barba 2009).

3.4.1 Determinación de residuos orgánicos

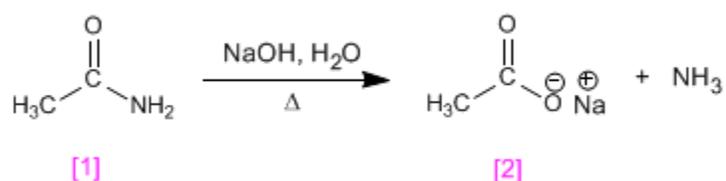
3.4.1.1 Residuos proteicos.

Los residuos de proteínas son detectables cuando se hacen reaccionar con un agente fuertemente alcalino y libera amoníaco en forma de gas. Podemos detectar el gas amoníaco con ayuda del papel pH (indicador universal de pH). Al observarse un valor de 8 en la escala de pH se considera que hay presencia de residuos de proteínas dado que el pH del amoníaco es básico. “Los residuos proteicos se relacionan con la carne y la sangre” (Barba et al.1991b, p. 21).

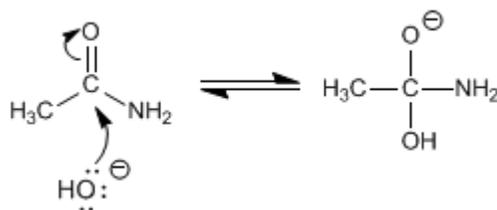
Las proteínas son polímeros de aminoácidos que son fundamentales en casi todos los procesos fisiológicos, un aminoácido es un compuesto que por lo menos tiene un grupo amino ($-NH_2$) y un grupo carboxilo ($-COOH$). Por ejemplo las proteínas del cuerpo humano

están formadas por 20 aminoácidos distintos. Para esta prueba se usó como reactivo analítico de referencia, albúmina que es una proteína plasmática, se refirió esta, dado que es una proteína de transporte en la sangre y tiene dos funciones esenciales para la vida, una es contribuir al 80% de la presión osmótica que proporciona suficiente fuerza para mantener los fluidos en el interior vascular y la otra es unir diferentes ligandos. El nitrógeno está contenido en los aminogrupos y este reaccionará para formar amoníaco en forma de gas.

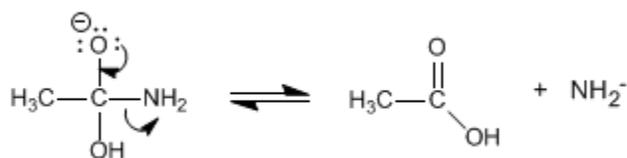
Ejemplo de hidrólisis básica de amidas donde se desprende amoníaco: Las amidas se transforman en aminas y ácidos carboxílicos por tratamiento con sosa acuosa bajo calefacción. La etamida [1] Se hidroliza en presencia de sosa acuosa para formar etanoato de sodio [2]. El mecanismo de reacción transcurre en los siguientes pasos



Etapa 1. Ataque nucleófilo



Etapa 2. Eliminación



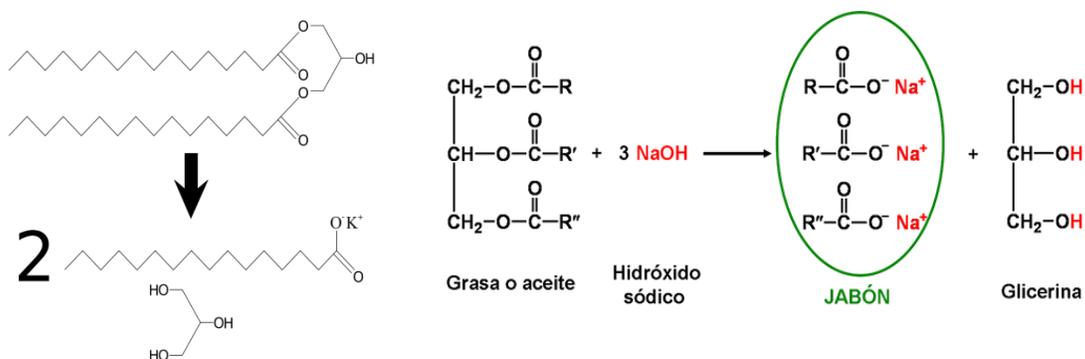
Etapa 3 Equilibrio ácido-base desplazado



3.4.1.2 Ácidos grasos.

“Esta prueba está vinculada con sustancias tales como resinas, grasas y aceites de origen vegetal y animal” (Obregón et al., 2016). La detección de residuos de grasas en material arqueológico puede hacerse mediante una reacción de saponificación ya que estos son cadenas lineales hidrocarbonadas que en un extremo tiene un grupo carboxilo Figura 5 que al reaccionar con sosa o algún otro hidróxido forma jabones. El hidróxido de amonio, hidroliza las grasas produciendo espuma (jabones de amonio). Aunque es poco probable la permanencia de grasas en las cerámicas arqueológicas, pueden darse casos en los que la prueba aporte evidencias de su uso. Por ejemplo grasas animales. En esta prueba se extrajeron los probables residuos de la muestra con cloroformo, calentando suavemente y posteriormente haciéndola reaccionar con hidróxido de amonio (25%) a fin de producir una reacción de saponificación que con peróxido de hidrógeno produce espuma. La cantidad de ácidos grasos está relacionada con la cantidad final de espuma producida por las reacciones y se le asigna un valor de 0 a 3, Cero para una nula presencia de espuma, es decir sin presencia de ácidos grasos y tres para una abundante formación de espuma sobre el vidrio de reloj.

Figura 5. *Reacción de saponificación. En nuestro caso utilizamos hidróxido de amonio, es decir el catión que reacciona en presencia de calor para romper la molécula orgánica es el ión amonio NH_4^+ que produce jabones de amonio.*



3.4.1.3 Carbohidratos.

“Los carbohidratos se encuentran naturalmente contenidos en alimentos ricos en azúcares y almidones tales como tubérculos, cereales y granos. En el centro y el noroeste de México se han registrado relaciones claras entre residuos de carbohidratos y bebidas como el pulque, el atole, el pozol y el tesgüino” (Obregón et al., 2016b).

Además de las grasas y las proteínas los carbohidratos o hidratos de carbono son parte de las macromoléculas principales para la alimentación humana, son la fuente de energía y se encuentran en un sinnúmero de alimentos como frutas, almidones, cereales, lácteos, leguminosas, etcétera. Los carbohidratos son unidades moleculares formadas por azúcares que se pueden clasificar según el número de unidades de azúcar que se combinan en la molécula, los principales tipos de carbohidratos alimenticios son los siguientes:

Tabla 3. Principales tipos de carbohidratos y algunos ejemplos donde se pueden encontrar.

Carbohidratos	Ejemplos de carbohidratos	Ejemplos de alimentos
Monosacáridos	Glucosa, fructosa, galactosa	Miel, bayas, verduras. Caña de azúcar

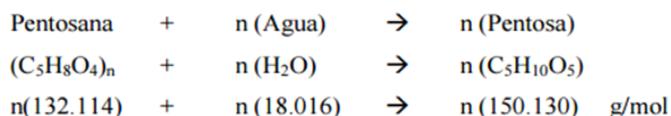
Disacáridos	Sacarosa, lactosa y maltosa	Productos lácteos
Polioles	Sorbitol, isomaltosa y matitol	Edulcorantes
Oligosacáridos	Maltodextrina, fruto-oligosacáridos	Se encuentran en pequeñas cantidades como legumbres, cereales y verduras
Polisacáridos con almidón	Amilosa, amilopectina	Hortalizas de raíz y cereales
Polisacáridos sin almidón	Celulosa, pectinas, hidrocoloides	Fibra alimenticia, plantas, madera y algodón. Trigo, centeno y cebada.

Por hidrólisis y deshidratación de estos compuestos (carbohidratos) se desprende furfural o hidroximetilfurfural, Figura 6 El furfural se produce a partir de residuos agrícolas que contienen pentosanas, que son hidrolizadas a furfural y otros subproductos. Las pentosanas son hemicelulosas (carbohidratos complejos) que están presentes dentro de la celulosa en muchos tejidos de plantas leñosas. Las materias primas más comunes para la producción de furfural incluyen mazorcas de maíz, bagazo de la transformación de caña de azúcar, y el producto de las corrientes de curtido y la producción de fibras celulósicas (Gubler, 2008).

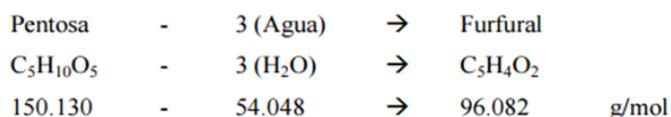
Posteriormente en una reacción de condensación con resorcinol generan compuestos coloridos los cuales puede ser detectados visualmente por el color violeta producido en el papel indicador preparado o relacionando la cantidad de carbohidratos contenidos con la intensidad del color rojizo generado en la muestra y se le asigna un valor de 0 a 4. Cero cuando es casi transparente, es decir no hay presencia de carbohidratos y cuatro cuando el color es muy intenso.

Figura 6. "Estequiometria. Las pentosanas se hidrolizan a pentosas, en catálisis en medio ácido acuoso, y esta pentosa se deshidrata a furfural en un proceso unificado." (Amaya y Flores, 2011)

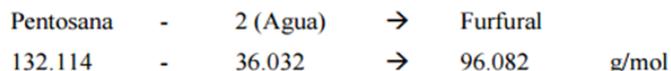
1. La hidrólisis de pentosanas:



2. Deshidratación de las pentosas:



Por lo tanto, la reacción general se puede decir que es:



3.4.2 Determinación de residuos inorgánicos

3.4.2.1 Fosfatos.

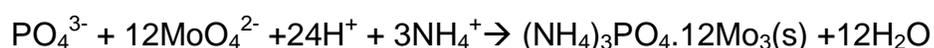
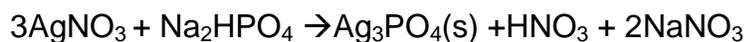
Se sabe que el fósforo está contenido en la orina, en tejidos como el óseo, heces, desechos de carne o piel, de esto es lógico pensar que el fosforo se acumula en los asentamientos humanos. El análisis de fosfatos es una de las técnicas más populares de análisis de suelos en arqueología. Aunque este análisis se originó en la agricultura y ramas afines, donde se aplica con mucho éxito, pero al aplicarse a problemas arqueológicos tuvo durante mucho tiempo la dificultad de ser una prueba laboriosa y que requería instalaciones fijas de laboratorio" (Barba et al., 1991b). Por esto se buscaron alternativas que fueran más prácticas a la hora de su aplicación como es el caso que presentamos.

Una particularidad muy importante del fósforo en su forma de fosfato, es que es muy estable químicamente, lo que significa que

permanece durante mucho tiempo en el sitio en el que fue depositado. El radical fosfato (PO_4^{-3}) se fija a las partículas del suelo con gran facilidad y estabilidad, lo que es muy afortunado para la arqueología. De esta manera, muchos años después de que el sitio ha sido abandonado es posible detectar la presencia de fosfatos y en consecuencia pueden localizarse o delimitarse sitios arqueológicos. (Barba et al, 1991c)

Todos los métodos de determinación de fosfatos coinciden en los siguientes pasos:

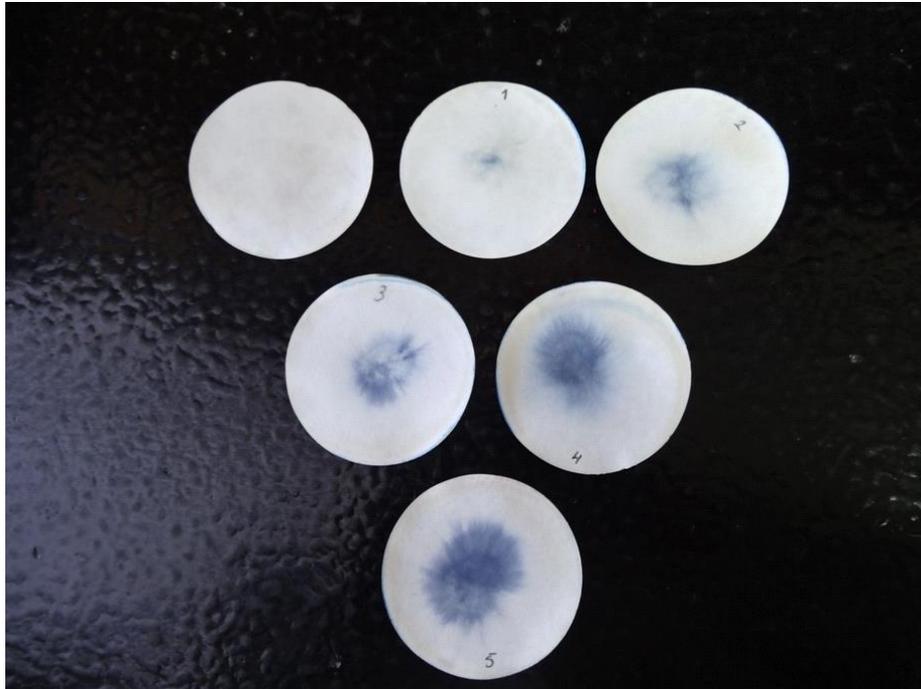
1. Extracción del fosfato. Se logra mediante la reacción de la muestra del suelo con un ácido. Recordemos que nuestras muestras son cerámicas.
2. Formación de fosfomolibdato. El fósforo en la solución ácida se encuentra en forma de ácido fosfórico, que al reaccionar con algún molibdato forma fosfomolibdato, como en la siguiente reacción:



Reducción. Los fosfomolibdatos, de color amarillo, se ponen en contacto con los agentes reductores para formar compuesto de azul de molibdeno (Barba et al., 1991c). Para las cerámicas en este paso la reacción se detiene con ayuda de citrato de sodio. La cantidad de fosfatos contenidos en la muestra se relaciona con la intensidad del color azul que aparecerá en el papel filtro. Una vez que el color se ha fijado en el papel filtro se deja secar, se limpia y se le asigna un valor entre 0 y 5, la escala se muestra en la Figura 7. Un valor de cero se

asigna cuando el papel está totalmente sin color azul, es decir no hay presencia de fosfatos y un valor de 5 se asigna cuando la mayor parte de la muestra reacciona y forma azul de molibdeno.

Figura 7. *Escala colorimétrica de 0 a 5 para determinar residuos de fosfatos en las cerámicas de Tabuco.*



3.4.2.2 Carbonatos.

“Los carbonatos están asociados con prácticas culinarias tales como la cocción del maíz en agua con cal (Nixtamalizado). De otro lado, ésta prueba también resulta sensible a los contenidos de roca caliza naturalmente presentes en las pastas cerámicas.”(Obregón et al., 2016). En el estudio de unidades habitacionales y de sus áreas de actividad se ha encontrado que la simple prueba de carbonatos puede ser utilizada intensivamente y contribuye a la interpretación de algunas áreas de actividad, que de otra manera no serían detectables.

“La prueba de carbonatos, en combinación con la determinación de color del suelo y la fotografía aérea de baja altura contribuye al estudio de los sitios desde la superficie con la posibilidad de informar sobre rasgos no evidentes (como sedimentos, restos de aplanado y estucado) que enriquecen la información arqueológica.” (Barba et al., 1991d).

Cuando se hace reaccionar ácido clorhídrico diluido a 10 % con muestras que contengan carbonatos se produce una reacción efervescente. La efervescencia es indicativa de carbonatos presentes.

El carbonato en polvo con la solución ácida produce efervescencia, según la siguiente reacción:



Según la estequiometría de la reacción, la producción de CO_2 en forma de gas es directamente proporcional a los iones CO_3^{-2} presentes en la muestra.

Tabla 4. *Valores según la efervescencia producida en la reacción*

Observaciones	Valor asignado
No hay burbujas ni se percibe ningún ruido al acercar el oído al tubo de ensayo.	0
No se ven burbujas pero se percibe el ruido de efervescencia.	1
Se detectan pequeñas burbujas.	2
Reacción uniforme con liberación de pequeñas burbujas.	3
Reacción poco violenta, liberación de grandes burbujas, formación de espuma.	4
Reacción violenta, la espuma sube algunos centímetros dentro del tubo.	5
Reacción violenta y la espuma se derrama del tubo.	6

3.4.2.3 Potencial de Hidrógeno (pH).

Con la determinación del pH de las cerámicas se cubre la necesidad de cuantificar la acidez o alcalinidad de las muestras. El grado de acidez o alcalinidad de una muestra se determina con ayuda de un potenciómetro. El pH varía entre 1-14, un pH menor de 7 indica acidez y un pH mayor de 7 indica alcalinidad e igual a 7 neutralidad. En las muestras analizadas pH se cuantificó utilizando un medidor equipado con electrodo combinado.

“Los valores de pH obtenidos están directamente vinculados con los minerales que contiene la pasta cerámica (arcillas y partículas). Sin embargo, las variaciones de pH al interior de un mismo tipo de pasta pueden resultar útiles para identificar el enriquecimiento del recipiente con sustancias alcalinas tales como el agua de nixtamal o las cenizas.” (Barba et al., 1999, p. 25).

3.5 Mineralogía por microscopía electrónica de barrido

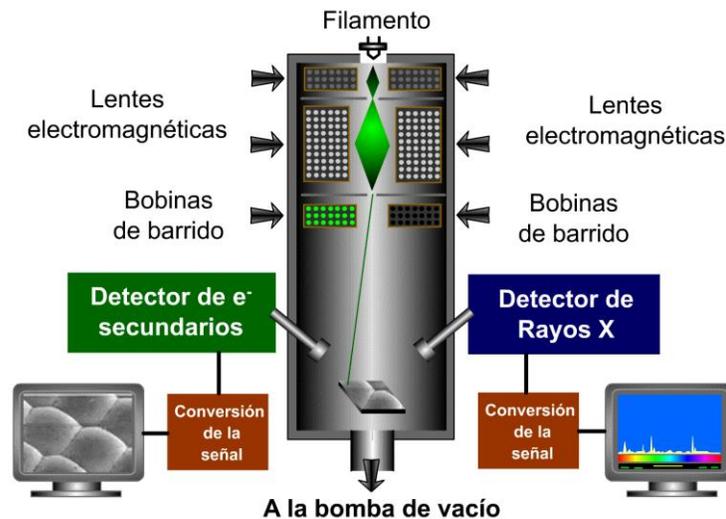
Estudiar las pastas o arcillas con las que se elaboraron las cerámicas nos permite saber sobre los minerales y las proporciones presentes en ella, sobre su naturaleza química y física, sobre la tecnología de manufactura y reconocer la procedencia de sus materiales.

Por otro lado, la comparación mineralógica de las cerámicas de un mismo sitio nos permite hacer inferencias sobre las relaciones, similitudes o diferencias entre ellas, tales como: estilos, formas, funciones, tipo de materiales (arcillas y desgrasantes) usados en su fabricación, y la relación existente entre materiales y temporalidad.

Por esta razón, se procedió a determinar la mineralogía de las cerámicas del sitio de Tabuco, empleando un microscopio electrónico de barrido en el Laboratorio Universitario de Petrología del Instituto de

Geofísica, UNAM (LUP-LANGEM-CONACyT) Figura 8. Usando microscopía electrónica de barrido por dispersión de energía de rayos X.

Figura 8 Laboratorio Universitario de Petrología y esquema de Microscopio electrónico de barrido.



3.5.1 Microscopia electrónica de barrido (SEM)

El microscopio electrónico de barrido (SEM por sus siglas en inglés). El equipo utilizado es una microsonda electrónica de barrido, Electron Probe Microanalyzer (EPMA por sus siglas en inglés) marca JEOL, modelo JXA8900R WD/ED Combined Microanalyzer. Es un equipo capaz de producir imágenes de alta resolución de la superficie de una muestra a partir de las interacciones electrón-materia por medio de un haz de electrones. El proceso de esta técnica se llama microanálisis químico que "se basa en la adquisición y cuantificación de rayos X" (González y Noguez, 2009a) que son emitidos cuando dentro del microscopio un haz de electrones bombardea la muestra a estudiar. Cada elemento químico tiene una estructura atómica diferente; al ceder energía a sus electrones, estos se excitan y salen de sus orbitales, produciendo fotones y los rayos X característicos, así la energía y longitud de onda de los rayos X son propias del elemento que los originan. "La energía de los rayos X emitidos está directamente relacionada con el peso atómico del elemento emisor. Puesto que la diferencia de energía entre orbitales aumenta según lo hace el peso atómico. De este modo podemos asociar cada valor de energía emitida con un elemento de la tabla periódica.

Cuando la muestra es colocada en la cámara del microscopio y es irradiada con un haz de electrones (electrones primarios), estos electrones provenientes del haz, pueden atravesar la muestra o chocar con ella, interactuando con sus átomos y emitiendo diferentes señales que nos proporciona información sobre la muestra estudiada, como se muestran en la

Tabla 5. Por ejemplo, un electrón secundario es generado cuando el electrón primario choca con un electrón de los átomos de la muestra y

lo expulsa, el electrón secundario genera una vacancia y el átomo queda ionizado, algún electrón de las capas más cercanas ocupa esta vacancia dejando al átomo con un excedente de energía que puede solucionar de dos formas:

1. Para volver al equilibrio, el átomo emite rayos X pero la energía no sale de la muestra sino que es reabsorbida dentro del mismo átomo, excitando un electrón de más baja energía que saldrá del átomo, estos electrones se conocen como electrones Auger.

2. Para volver al equilibrio. Después de que se ha eyectado un electrón y otro electrón de una capa diferente ocupa la vacancia, da como resultado una diferencia de energía entre los dos orbitales, que se libera hacia fuera del átomo como radiación "rayos X". Ésta, finalmente, es la base de la espectrometría por dispersión de energías de rayos X (XEDS, X-Ray Energy Dispersive Spectrometry, EDS, EDXRS, EDX o XDS.)

La información que proporcionan los electrones Auger es específica de la superficie de la muestra porque son electrones de baja energía y atraviesan distancias menores a 1 nm dentro de la muestra, además de arrojar información del átomo que los originó. "El proceso de producción de la señal Auger se favorece en elementos con número atómico bajo, en elementos con número atómico alto, se propicia más la formación de radiación característica de rayos X" (González y Noguez, 2009b). Cada elemento requiere cierta energía para liberar a los electrones que producen los rayos X característicos, ésta energía se llama energía de ionización o energía de excitación que evidentemente es mayor que la energía de enlace que es la energía que mantiene unido al electrón en su orbital.

Tabla 5. "Resolución espacial y tipo de información que proporcionan señales emitidas por interacción del haz primario de electrones en el espécimen." (González y Noguez, 2009c, p. 59)

Señal	Resolución Espacial	Información	Referencia
Electrones Secundarios	10 nm	Topografía	Prasad, et al. (1995)
Electrones Retrodispersados	100 nm	Topografía, composición química cualitativa, estado cristalino	Prasad, et al. (1995)
Electrones Auger	1 μ m	Topografía, composición química	Kenichi, et al. (2001); www.thermo.com
Radiación característica de rayos X	1 μ m	Composición química	Prasad, et al. (1995); Henrich y dale (1986); Philips (1995)
Catodoluminiscencia	100 nm	Luminiscencia visible o infraroja	Prasad, et al. (1995)

NOTA: La Resolución espacial es la zona donde los rayos X no son reabsorbidos antes de llegar a los detectores.

3.5.2 Espectrometría de longitud de onda dispersada de rayos X (WDS) y Espectrometría de energía dispersada de rayos X (EDS)

“Cuando los rayos X se cuantifican por su longitud de onda la técnica se conoce como espectrometría por dispersión de longitud de onda de rayos X (**WDS**) y cuando éstos se cuantifican por su energía se denomina espectrometría por dispersión de energía de rayos X (**EDS**)” (González y Noguez, 2009d)

4. CAPÍTULO IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 Muestreo en campo

Una vez en el sitio o contexto arqueológico (en este caso el sitio de Tabuco, Veracruz Figura 9) se analizan los puntos donde se hará el muestreo, puntos indicados por el arqueólogo en colaboración con el arqueómetra. En dichos puntos las cerámicas son extraídas, en este caso las muestras se tomaron en relación a los diferentes entierros encontrados en el sitio dada la importancia de dichos entierros en la investigación arqueológica del sitio. Todas las muestras cerámicas se identifican como se muestra en la Tabla 6.

Figura 9. Proyecto de salvamento, Centro Ceremonial de Tabuco, Veracruz



Tabla 6. *Ubicación de las cerámicas arqueológicas extraídas en Tabuco, Veracruz el 25/02/13*

Código	Entierro	Cuadrante	Otro
TAB1, TAB2, TAB3	32-ADULTO	36-L	Cerámica asociada
TAB4, TAB5	34- ADULTO	36-R	Cerámica (2)
TAB6, TAB7	INFANTE	38-Q	-----
TAB8, TAB9, TAB10	BASURERO 4	48-A (PRIMA)	Interior del muro

4.1.1 Determinación de uranio, torio y potasio en suelo aplicando espectrometría gama o dosimetría termoluminiscente o recolección de suelo

Para medir la tasa de dosis anual de radiación recibida por la muestra en su contexto de enterramiento (suelo) se empleó el espectrómetro gama portátil GEOFYZIKA BRNO PORTABLE GAMMA RAY SPECTROMETER GS-512 con detector de NaI(Tl), para ello se excavó un hoyo justo del volumen del detector del espectrómetro, exactamente en el punto donde se extrajeron cada una de las muestras cerámicas, se introdujo el detector para hacer la medición correspondiente como se muestra en la Figura 10. La lectura del espectrómetro gama nos indica la concentración de los radioisótopos ^{238}U , ^{232}Th y ^{40}K presentes en el medio (suelo) que rodea a la muestra. Las cerámicas extraídas deben ser protegidas de cualquier otro tipo de radiación natural o artificial como rayos X o escáneres para no alterar la dosis de radiación natural, así como evitar su calentamiento para no disminuir la señal TL natural.

Figura 10. *Espectrometría gama en suelo.*



4.2 Descripción cerámica y registro

Una vez transportadas las cerámicas al Laboratorio de Termoluminiscencia, se realizaron sus respectivas fichas descriptivas, para conservar su información característica dado que este método de datación es destructivo (Ver Anexo A).

4.3 Lavado de muestras

Las cerámicas se lavaron únicamente con agua quitando todos los excesos de tierra, esto para que se apreciaran sus colores, formas y texturas para poder realizar su correcta descripción y fotografía.

4.4 Dibujo y fotografía

Se elaboraron los dibujos arqueológicos de las cerámicas bajo la supervisión del Dr. Mauricio Obregón y tomando en cuenta el libro de "El Dibujo Arqueológico de Françoise Bagot" (Ver Anexo A). Para inferir los diámetros de algunas cerámicas, se usó el bordímetro (desarrollado durante este trabajo, (ver Anexo B), los grosores de las muestras se midieron con ayuda de un vernier digital. Se realizó para cada una de las cerámicas un registro fotográfico, registro del color de las pastas, se

implementó el uso de una tabla de coloración Munsell para suelos y se realizó la descripción cerámica tradicional ver (Ver Anexo A).

4.5 Descortezado de la muestra

Las cerámicas se descortezaron utilizando un mototool, retirando entre 1 y 2 mm de superficie aproximadamente según el tamaño y grosor de cada muestra. Del polvo resultante (área superficial), se separaron 3g aproximadamente por cada muestra para su análisis mineralógico y determinación de residuos orgánicos e inorgánicos.

4.6 Procedimientos y preparación de reactivos para la determinación de residuos químicos inorgánicos y orgánicos

4.6.1 Fosfatos:

Preparación de los reactivos:

- Reactivo A: Se Disolvió 5g de molibdato de amonio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) en 35 mL de ácido clorhídrico (HCl) 5N y se aforó hasta un volumen de 100 mL con agua destilada.
- Reactivo B: Se disolvió 0.5 g de ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) en 100 mL de agua destilada.
- Reactivo C: Se preparó una solución saturada 2:1 de citrato de sodio en agua destilada.
- Por separado las tres soluciones se colocaron en goteros de plásticos de 100 mL.

Procedimiento:

- i. Sobre la superficie de un molde se colocó un disco de papel filtro.
- ii. En el centro del papel filtro se colocó 0.05 g de muestra.
- iii. A esta muestra se le agregaron dos gotas de la solución A, transcurrido 30 segundos se le añadió dos gotas de la solución B.

- iv. Transcurrido 2 minutos desde que se le agregó la solución A, se añadió la solución C, bañando la zona de reacción, a fin de detener la reacción y fijar el color.
- v. La presencia de fosfatos se observó cuando en el papel se fijó un color azulado. Los valores que se asignaron fueron de [0 a 5] relacionados con la intensidad del color, como se muestra en la Figura 11. Fue importante evitar la contaminación del papel filtro. Para su manejo se utilizaron pinzas.

Figura 11. *En fotografía se observa diferentes intensidades de color azul, la intensidad, resultado de la presencia de fosfatos en las cerámicas de Tabuco. Vista posterior*



4.6.2 Carbonatos

Procedimiento

- i. Se tomó una muestra de la corteza de la cerámica molida (0.1 g), se colocó en un tubo de ensayo.
- ii. Con la pipeta se vertió 1 mL de HCL (10%)
- iii. De acuerdo a lo intenso de la reacción se asignó un valor de [0 a 6] Tabla 7.
- iv. El carbonato en polvo con la solución ácida produce efervescencia, como muestra la siguiente reacción:



Según la estequiometria de la reacción, la producción de CO_2 en forma de gas es directamente proporcional a los iones CO_3^{-2} presentes en la muestra.

Tabla 7. Valores asignados dada la efervescencia producida en la reacción.

Observaciones	Valor asignado
No hay burbujas ni se percibe ningún ruido al acercar el oído al tubo de ensayo.	0
No se ven burbujas pero se percibe el ruido de efervescencia.	1
Se detectan pequeñas burbujas.	2
Reacción uniforme con liberación de pequeñas burbujas.	3
Reacción poco violenta, liberación de grandes burbujas, formación de espuma.	4
Reacción violenta, la espuma sube algunos centímetros dentro del tubo.	5
Reacción violenta y la espuma se derrama del tubo.	6

4.6.3 Determinación de pH

El pH se determinó utilizando un medidor equipado con electrodo combinado. Se colocó 0.2 g de muestra en un tubo de ensayo al que se le agregaron 15 ml de agua bi-destilada agitando el recipiente y dejando reposar por una hora. Antes, se calibró el medidor con dos soluciones de referencia (con valores 4 y 7), se midió el pH del agua bi-destilada y luego se midieron los pH de las muestras. El tiempo para la lectura de cada muestra se estandarizó en 1 minuto. "Los valores de pH obtenidos están directamente vinculados con los minerales que contiene la pasta cerámica (arcillas y partículas).

4.6.4 Residuos proteicos

Procedimiento:

- i. Se tomó una muestra de 5 a 10 mg de la cerámica y se colocó en el fondo del tubo de ensayo (100x 10 mm). Se añadió 0.05 g aproximadamente de CaO con cinco gotas de agua destilada.
- ii. En la boca del tubo de ensayo se colocó una tira de papel indicador universal humedecido con agua destilada, cubriéndola totalmente como se muestra en la Figura 12.
- iii. En la boca del tubo se colocó de forma paralela dos tiras de papel indicador universal (0-14) previamente humedecidas con agua destilada como se muestra en la Figura 12.
- iv. Se calentó el tubo, usando un mechero de alcohol, cuidando que el CaO no saltara. Después de 60 segundos aproximadamente, (la muestra reaccionó) si existía albúmina o algún residuo proteico se desprendió amoníaco y el papel se coloreó azul. Antes se hace una prueba en blanco.

Figura 12

4.6.5 Ácidos grasos

Procedimiento:

- i. Con una pipeta Pasteur se tomó una alícuota de la muestra y se colocó en un vidrio de reloj.
- ii. Se agregaron dos gotas de hidróxido de amonio (25-27%); transcurridos 2 minutos se añadieron dos gotas de peróxido de hidrógeno al 30%
- iii. Las muestras con residuos de grasas formaron al instante burbujas, que en minutos se convirtieron en una espuma estable ver Figura 13.

Figura 13

4.6.6 Carbohidratos

Procedimiento:

Se mezcló una alícuota de muestra con 8 mg aproximadamente de ácido oxálico en polvo, en un microcrisol de porcelana alto, y se le agregaron 2 mL de ácido sulfúrico diluido (1:3). La reacción se inició calentando con un mechero.

Preparación de los reactivos:

Solución A: Se disolvió 0.7 g de Resorcinol en un vaso de pp con 500 mL de agua destilada. Prepara el mismo día de uso.

Solución B: Ácido sulfúrico concentrado.

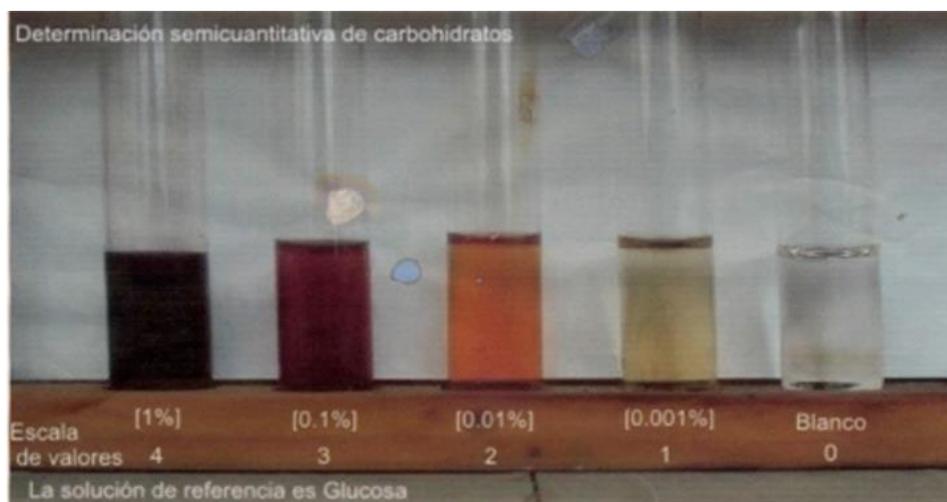
Procedimiento:

1. En un tubo de ensayo (13 x10) se colocaron 0.2 g de muestra.
2. Se agregó 2 mL del reactivo A

3. Se vació rápidamente 2 mL de ácido sulfúrico concentrado con la pipeta volumétrica vertiéndolo por las paredes del tubo. (La reacción se llevó a cabo en la campana de extracción).
4. Se comparó con la tabla de color Figura 14.

Figura 14

Escala de color para determinación semicuantitativa de carbohidratos, solución de referencia es glucosa.



4.6.7 Análisis mineralógico, microscopía electrónica de barrido

El análisis mineralógico se realizó en el Laboratorio Universitario de Petrología, UNAM, utilizando la microsonda electrónica JEOL modelo JXA-8900R para obtener un análisis por EDS o también llamado espectrometría de energía dispersada de rayos X.

Los pasos a seguir fueron:

1. Las muestras (en polvo de unos cuantos micrómetros hasta unos 600-800 μm aproximadamente) se colocaron sobre un portamuestras específico para este equipo, este fue previamente preparado con cinta de grafito con pegamento en las dos caras para la adhesión del polvo de la cerámica. Figura 15.

2. Una vez colocadas las muestras a analizar, se roció grafito en aerosol para cubrir completamente y hacer conductivas las partículas de las muestras y se dejó secar.
3. Se introdujeron a la cámara de la microsonda para ser analizadas.

Figura 15. *Muestras en polvo montadas sobre una cinta de grafito con doble cara adhesiva en una placa de vidrio para su análisis en la Microsonda Electrónica (Laboratorio Universitario de Petrología/ UNAM, 2015).*



4.7 Datación por termoluminiscencia

4.7.1 Descortezado y molido de las muestras

El fragmento cerámico se descortezó utilizando un mototool, retirando entre 1 y 2 mm de superficie aproximadamente según el tamaño y grosor de cada muestra.

Del polvo del descortezado (área superficial), se separaron 3g aproximadamente por cada muestra para su análisis mineralógico y determinación de residuos orgánicos e inorgánicos.

El material resultante del descortezado (cuerpo descortezado) se colocó en una bolsa y se etiquetó para determinar posteriormente el contenido de Uranio ^{238}U , Torio ^{232}Th y Potasio ^{40}K y para determinar la dosis de autoirradiación en la cerámica. Ver

Figura 16.

Después de descortezar cada muestra se trituraron y molieron por separado. De cada una se tomó un fragmento de 5 mm x 5 mm aproximadamente para determinar el factor de humedad.

Figura 16

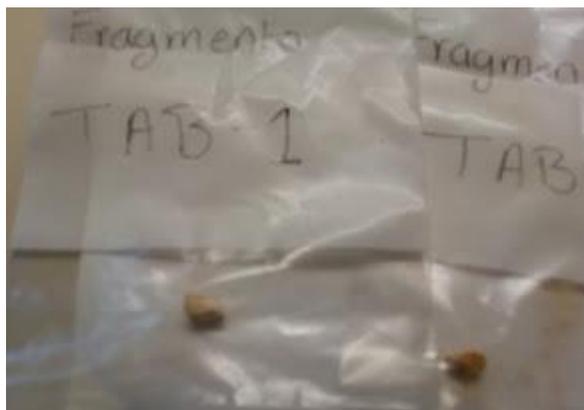
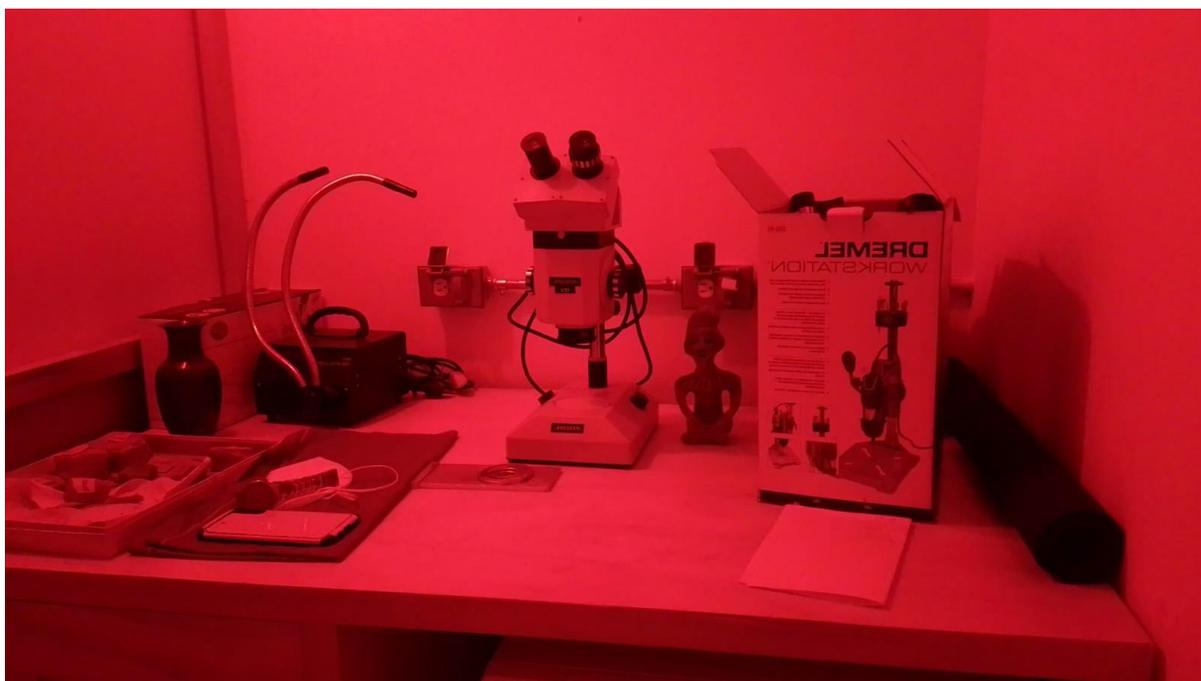


Figura 17. Una vez comenzando el molido de las muestras, todo el proceso para su datación se trabajó en el laboratorio de Termoluminiscencia el cuarto oscuro con luz roja controlada



4.7.2 Factor de humedad

Para determinar el factor de humedad, se utilizó el fragmento sin moler del paso anterior. Por separado, cada fragmento se dejó sumergido en agua durante 6 días, pasado este tiempo, se retiró el agua, se pesó cada muestra cerámica saturada en agua; enseguida, los fragmentos se colocaron en una estufa a una temperatura de 75 °C durante 6 días, pasado esto días fueron pesados nuevamente los fragmentos. Se registró el peso saturado y peso seco para el posterior cálculo del factor de atenuación higroscópica en los diferentes tipos de dosis de radiación adquirida por la muestra en campo.

4.7.3 Tratamiento químico

El tratamiento químico tiene el objetivo de eliminar la materia orgánica presente en la muestra dado que puede inhibir el fenómeno de termoluminiscencia cuando la muestra es calentada hasta los 500°C durante su lectura.

Cada muestra ya pulverizada se sometió a tratamiento químico de la siguiente manera:

A los frascos que contenían las cerámicas se les agregó H_2O_2 al 10% dejando que el peróxido cubriera todo el material. Se dejaron reposar hasta que la muestra deje de presentar efervescencia. Las muestras se lavaron con H_2O_2 , se decantaron y se dejaron reposar por un día. Se repitió el proceso por tres veces.

El siguiente paso fue agregar HCl para neutralizar los carbonatos presentes en las cerámicas ya que estos inhiben la señal TL.

Se decantó el HCl, las muestras se lavaron con agua destilada, ya secas se dejaron reposar por un día. Se repitió el proceso tres veces.

4.7.4 Separación de tamaño de grano (técnica de grano fino 4-11 μm) y preparación de planchetas

Cuando las muestras estuvieron secas y limpias se comenzó con la técnica de *grano fino* (Zimmerman, 1967) para elaborar alícuotas sobre discos de aluminio (planchetas).

Las cerámicas ya trituradas se volvieron a moler en un mortero ágata.

El proceso de la separación del tamaño de partícula se realizó en el Laboratorio de Termoluminiscencia, en el cuarto oscuro con luz roja controlada. Cada muestra se colocó en un tubo de ensayo (Figura 18.) y se les agregó acetona generando una mezcla homogénea.

Los tubos se agitaron y se reposaron por 2 minutos, para que las partículas mayores a 11 μm se precipitaran, al término de los dos minutos, se decantó, colectando la parte acuosa en otro tubo. Se realizó la misma actividad en 8 ocasiones.

Se dejaron reposar por 75 minutos, pasado este tiempo se decantaron y el sedimento se colectó en un solo tubo, este paso por cada muestra.

A los tubos colectados, se les agregó acetona, se dejaron reposar por 20 minutos, se decantaron y se dejaron reposar hasta la evaporación de la acetona.

Figura 18



Con el precipitado colectado (tamaño de grano 4-11 μm) se preparó una solución homogénea con acetona. Esta solución se depositó en las planchetas de aluminio (discos de aluminio de 9 mm de diámetro) colocadas en tubos pequeños para después colocarlas en un portamuestras Figura 19.

Cuando las planchetas estuvieron secas con la capa fina de muestra (Entre 30 y 45 placas por muestra), unas se colocaron en el equipo lector DAYBREAK 1100 AUTOMATED TL SYSTEM donde se hicieron las lecturas de la señal TL natural (TLN). A una tasa de calentamiento de 10 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ y a una temperatura máxima de 500 $^{\circ}\text{C}$, en presencia de nitrógeno de alta pureza. Otras se irradiaron a ciertas dosis para volver a hacer las lecturas de TL.

Figura 19



4.8 Cálculo de la tasa de dosis anual

4.8.1 Determinación de uranio y torio por contador de partículas alfa en muestra cerámica.

La muestra pulverizada se colocó en el equipo DAYBREAK ALPHA COUNTER 583 que mide la concentración de ^{238}U y ^{232}Th a partir de sus emisiones alfa.

Sobre una placa de sulfuro de zinc se colocó la muestra en polvo de cerámica, cubriendo uniformemente la superficie de la placa, esta se introdujo en el portamuestras del contador de partículas alfa, una vez cerrado, se activó (HV), (CALL) Y (COUNT) y se dejó encendido durante 24 hrs. Al término de las 24 hrs se sacó del portamuestras, se regresó la muestra de la cerámica a un contenedor para futuros análisis. Se lavó y secó cuidadosamente el portamuestra, Se realizó el mismo proceso para cada muestra.

4.8.2 Determinación de potasio por el método de flamometría, en muestra cerámica

Se realizó la digestión

Figura 20, de las cerámicas aplicando la técnica de "roca entera" desarrollada en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica LUGIS donde la muestra se digiere en ácido fluorhídrico 80°C. Posteriormente las muestras se prepararon en solución

Figura **21**, para ser analizadas en un Flamómetro Sherwood Mod. 360 flame photometer

Figura **22**, en el Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología UNAM y se procedió a realizar las lecturas pertinentes

obteniendo la cantidad de potasio total. La concentración de ^{40}K es un porcentaje del 0.012 % de la concentración del potasio total.

Figura 20. *Digestión de las cerámicas en ácido fluorhídrico. Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica LUGIS*

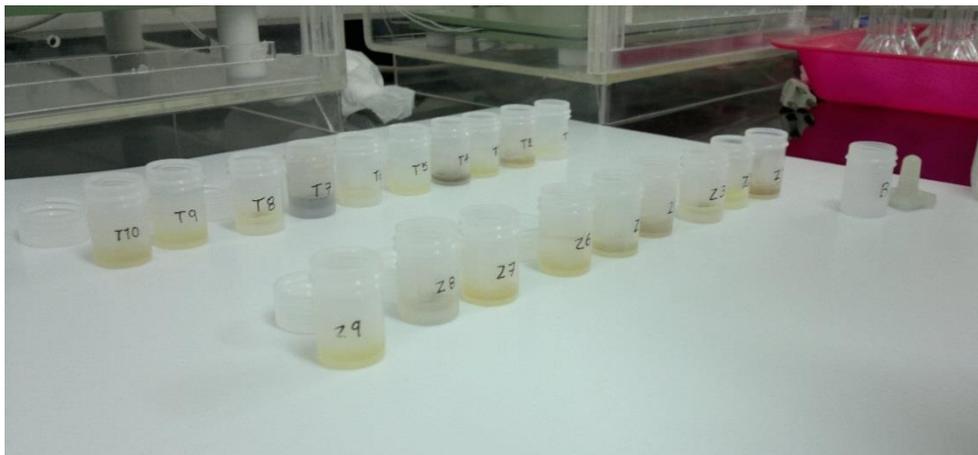


Figura 21. *Preparación de soluciones para determinación de potasio ^{40}K por flamometría*

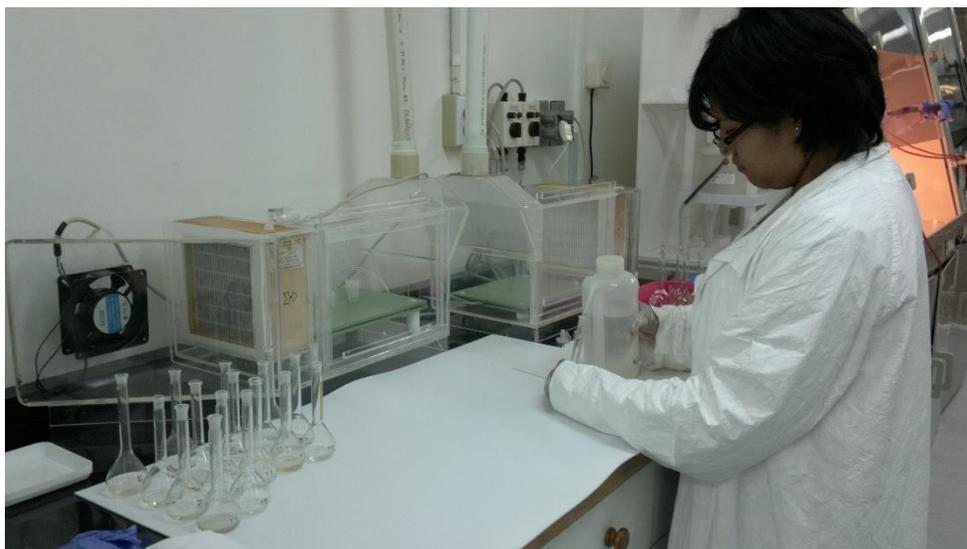


Figura 22. *Flamómetro Sherwood Mod. 360 flame photometer.*



4.9 Cálculo de la paleodosis

“La paleodosis corresponde a la dosis de radiación recibida por la muestra a través del paso del tiempo y se calcula a partir de la medición de la señal termoluminiscente natural (TLN) ver Figura 23 aplicando el método aditivo que consiste en irradiar muestras naturales con radiación artificial (TLN+ β) para posteriormente aplicar una extrapolación en una ecuación lineal” Ángel Ramírez (Comunicación personal, 2015).

Las mediciones de la luminiscencia en la muestra se realizaron con un equipo lector de termoluminiscencia Daybreak 1100 Automated TL System. En el proceso de las lecturas luminiscentes se emplearon los filtros Corning 7-59 para impedir la señal en la longitud de onda del infrarrojo >750 nm además del filtro Schott BG-39 con un rango que permite el paso de longitudes de onda entre los 300 y 700 nanómetros.

Para completar la paleodosis, la dosis equivalente "Q" y el factor por supralinealidad "I" se calcularon a partir del método aditivo; este método consistió en irradiar las alícuotas naturales (TLN) a diferentes dosis de radiación artificial (TLN+β) ver ejemplo en Figura 24 y Figura 25 , las irradiaciones se realizaron con una fuente beta de ^{90}Sr en un equipo Daybreak 801 Multiple Sample Irradiator.

4.10 Cálculo de la tasa dosis anual

La Tasa de Dosis Anual se calculó sumando las dosis alfa, beta y gama más la dosis cósmica (0.15×10^{-3} Gy/año) Las dosis alfa, beta y gama se midieron a partir de la concentración de los radioisótopos uranio (^{238}U), torio (^{232}Th) y potasio (^{40}K ,) presentes tanto en suelo como en la cerámica utilizando los factores de conversión correspondientes. Además, estas dosis también fueron corregidas con los debidos factores tales como el factor de atenuación higroscópica y el factor de eficiencia alfa/beta. La concentración de radioisótopos en suelo se determinada con la lectura del espectrómetro gama *in situ*; y las concentraciones de los radioisótopos en la muestra se determinadas con el contador de partículas alfa para uranio y torio, y la técnica de flamometría para potasio

4.11 Cálculo de la edad absoluta

Finalmente, calculado los valores de la Paleodosis y Tasa de Dosis Anual se determinó la edad total por la siguiente ecuación:

$$\text{EdadTL} = \frac{\text{Paleodosis(Gy)}}{\text{Tasa de Dosis Anual}\left(\frac{\text{Gy}}{\text{año}}\right)}$$

En términos generales, se dividió el valor de la Paleodosis entre el valor de la Tasa de Dosis Anual, dando como resultado la edad termoluminiscente de las muestras, es decir, la edad absoluta de cada muestra en años antes del presente, siendo el presente el año en que se realiza el fechamiento.

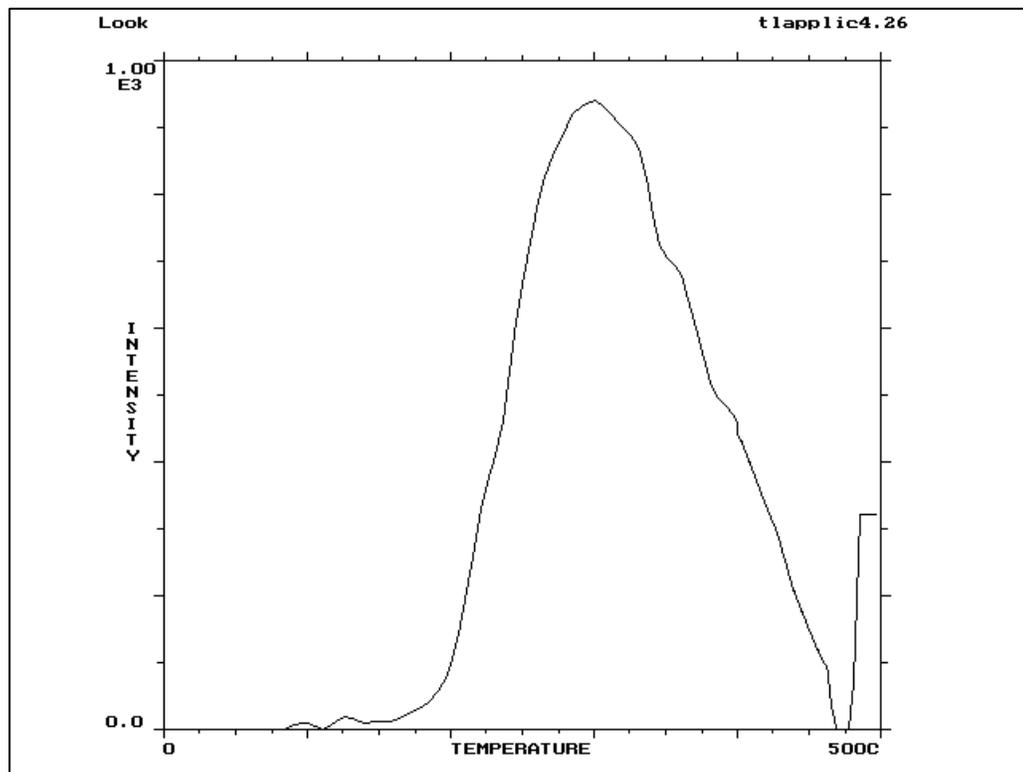
5. CAPÍTULO V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

5.1 Resultados de la datación por termoluminiscencia

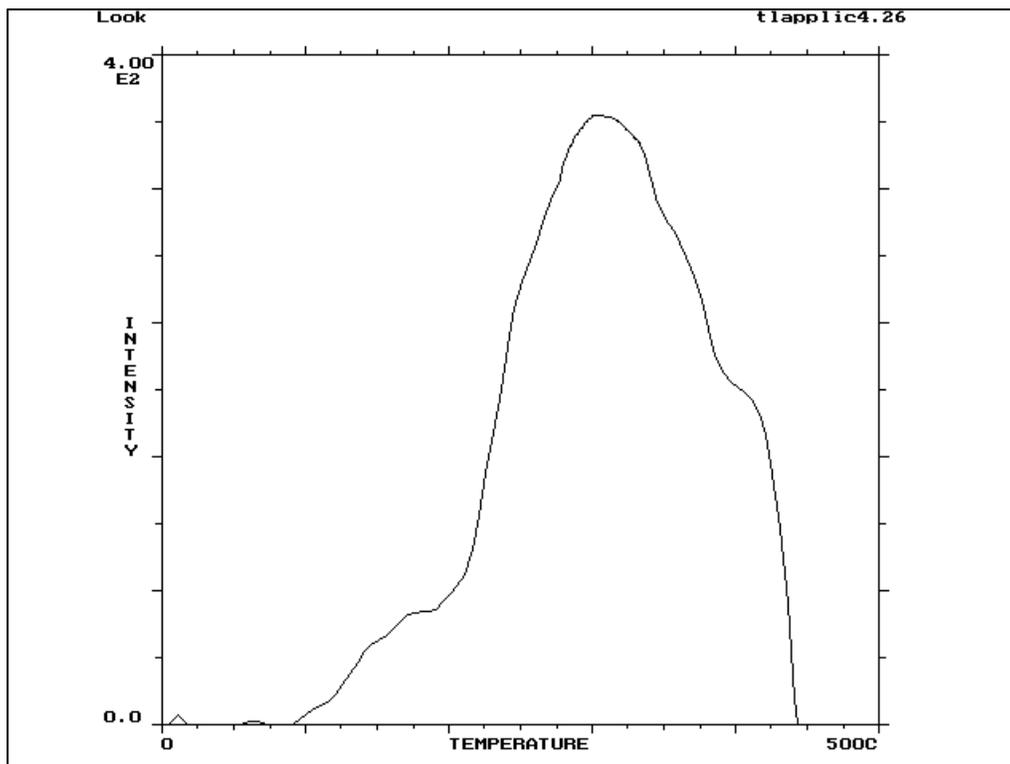
Se muestran algunos ejemplos de las curvas naturales obtenidas de las cerámicas datadas:

Figura 23. Estos gráficos muestran la Señal termoluminiscente natural de TAB1, TAB2 y TAB4 consecutivamente, observamos cómo va incrementando la intensidad conforme la temperatura aumenta, lo que revela que los electrones son liberados al obtener la energía suficiente de excitación, llegando a una señal máxima.

TAB1-TLN



TAB2-TLN



TAB7-TLN

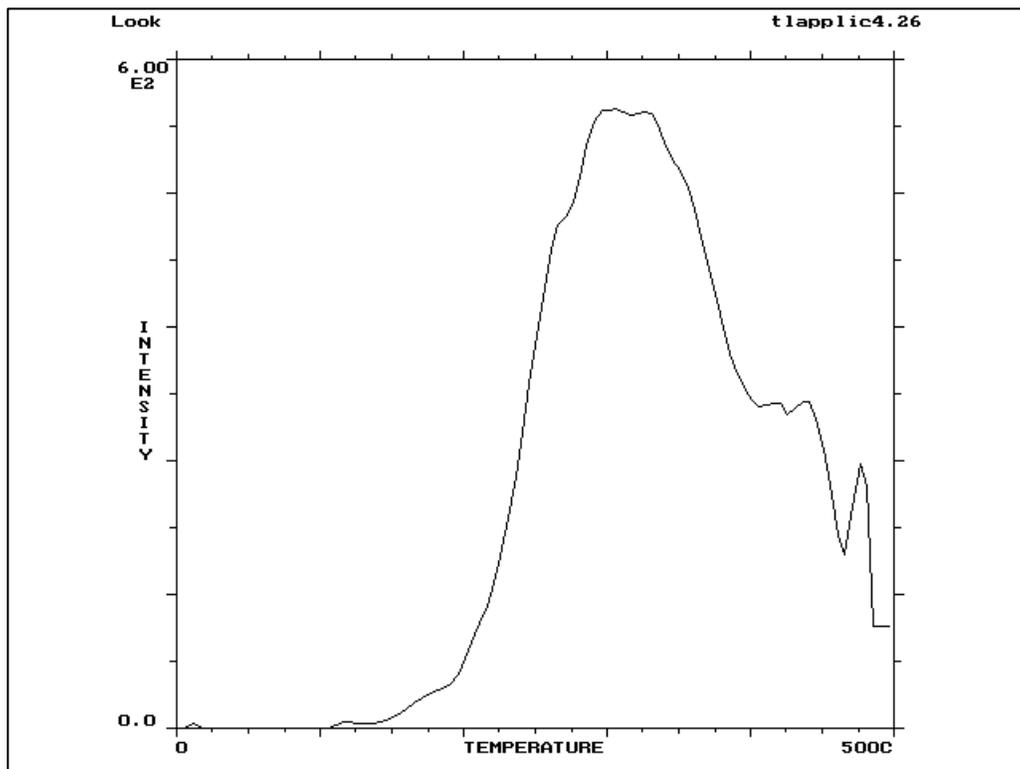


Figura 24. Estas curvas muestran la intensidad de la cerámica TAB4, al ser irradiadas con diferentes dosis artificiales.

TAB4-TLN+ β

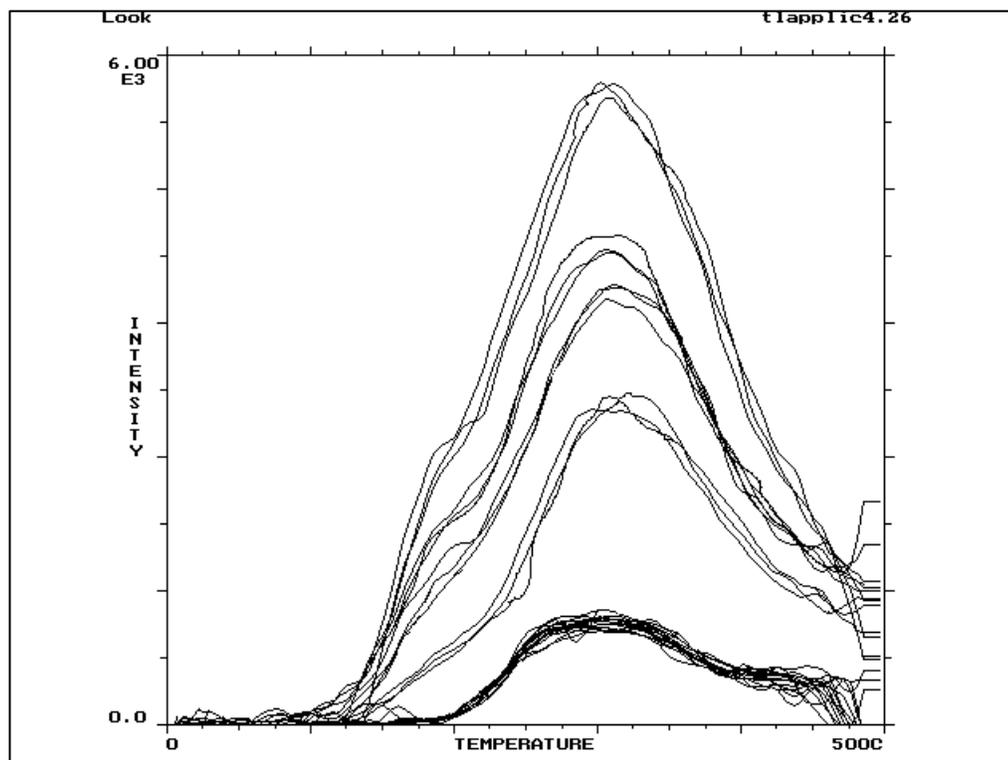


Figura 25. Extrapolación en ecuación lineal para calcular el factor por supralinealidad "I" con el método aditivo

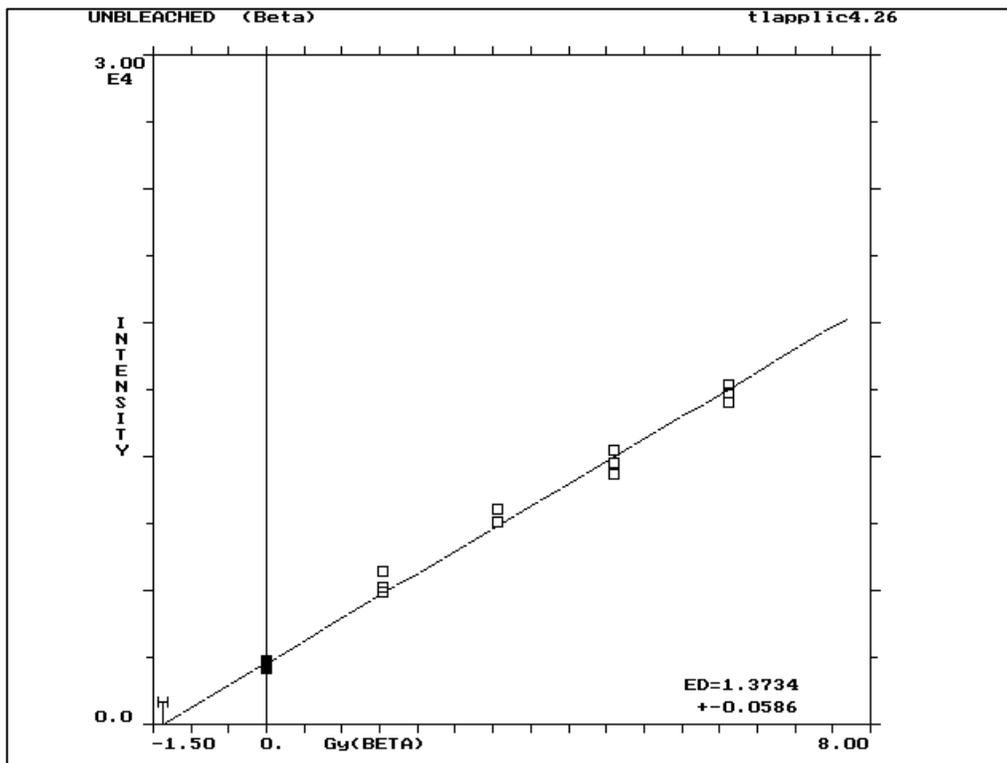


Tabla 8. Datos experimentales de la concentración de los elementos medidos en suelo por espectrometría gama y en muestra por contador de partículas alfa.

CÓDIGO	En muestra			En suelo		
	Uranio ^{238}U [ppm]	Torio ^{232}Th [ppm]	Potasio ^{40}K [%]	Uranio ^{238}U [ppm]	Torio ^{232}Th [ppm]	Potasio ^{40}K [%]
TAB 1	6.25	5.33	2.56	1.21	5.66	1.25
TAB 2	6.14	7.37	2.05	1.21	5.66	1.25
TAB 3	6.47	7.74	2.07	1.21	5.66	1.25
TAB 4	6.58	5.32	0.77	1.26	4.77	1.11
TAB 5	7.00	5.85	2.25	1.26	4.77	1.11
TAB 6	6.25	5.83	1.45	1.16	5.00	1.15
TAB 7	8.16	4.62	0.82	1.16	5.00	1.15
TAB 8	7.2	11.65	1.06	1.14	4.77	1.13
TAB 9	7.6	4.45	1.60	1.14	4.77	1.13
TAB 10	6.51	2.76	1.63	1.14	4.77	1.13

Tabla 9. Resultados experimentales para determinar la tasa de dosis anual T.D.A.

Contribución total de dosis	Contribución total de dosis con corrección por factor de humedad							T.D.A. (Gy/año)	
	Cerámica	$D_{\alpha T}$	$D_{\beta T}$	$D_{\gamma T}$	$D_{\text{CÓSMICA}}$	$D_{\alpha T^*}$	$D_{\beta T^*}$		$D_{\gamma T^*}$
TAB 1		1.688	3.099	0.718	0.150	1.264	2.423	0.572	0.00426
TAB 2		1.788	2.733	0.718	0.150	1.377	2.188	0.585	0.00415
TAB 3		1.883	2.808	0.718	0.150	1.491	2.304	0.598	0.00439
TAB 4		1.759	1.721	0.646	0.150	1.444	1.456	0.554	0.00345
TAB 5		1.883	2.980	0.646	0.150	1.369	2.270	0.503	0.00414
TAB 6		1.718	2.227	0.656	0.150	1.336	1.799	0.539	0.00367
TAB 7		2.061	1.973	0.656	0.150	1.702	1.678	0.565	0.00395
TAB 8		2.280	2.213	0.638	0.150	1.792	1.803	0.528	0.00412
TAB 9		1.928	2.510	0.638	0.150	1.439	1.955	0.507	0.00390
TAB 10		1.588	2.329	0.638	0.150	1.211	1.849	0.516	0.00358

Resultados experimentales: Dado el alcance y el tiempo estimado del proyecto presentado, únicamente seleccionamos 5 cerámicas y las datamos de las cuales la cerámica-TAB5 no fue reproducible debido a sus características materiales, se muestra en la siguiente tabla la edad absoluta de 4 cerámicas datadas por el método de termoluminiscencia y la edad relativa D. C. al año presente (2023)

Tabla 10. *Muestras datadas. Edad absoluta obtenida*

Código-Cerámica	Edad absoluta en años	Edad relativa D. C. en años referida al 2023
TAB1	709 ±25	1314±25
TAB2	448 ±09	1575±09
TAB4	552 ±14	1471±14
TAB5	No reproducible	No reproducible
TAB7	434±20	1589±20

5.1.1 Conclusiones de la datación por termoluminiscencia

En general las concentraciones de uranio, torio y potasio tanto en muestra como en suelo, resultaron similares entre las muestras cerámicas, lo que nos confirma que estas pertenecen a una misma temporalidad corroborada con las edades obtenidas en ellas.

Finalmente se obtuvieron dataciones absolutas para TAB1, TAB2, TAB4 y TAB7. La muestra TAB5 no se pudo datar por propiedades termoluminiscentes de los minerales presentes en la arcilla con la que la pieza fue elaborada. Con estas dataciones se establece la primera cronología cerámica absoluta en la zona del Golfo de México, en particular en la zona huasteca-totonaca del sitio de Tabuco Veracruz.

5.2 Resultados de la microscopía electrónica de barrido

Las siguientes tablas informan sobre los porcentajes de minerales encontrados en las muestras cerámicas

Tabla 11

TAB 1	
Plagioclasa cálcica	70%
Feldespato potásico	15%
Piroxeno	2%
Anfibol	3%
Ilmenita	2%
Magnetita	2%
Matriz Vítreo	6%
Total	100%

Tabla 12

TAB 2	
Plagioclasa	54%
Feldespato potásico	15%
Anfibol	10%
Ilmenita	7%
Magnetita	2%
Biotita	2%
Matriz Vítreo	10%
Total	100%

Tabla 13

TAB 3	
Plagioclasa	20%
Feldespató potásico	15%
Anfibol	55%
Magnetita	3%
Matriz Vítreá	7%
Total	100%

Tabla 14

TAB 4	
Plagioclasa	15%
Feldespató potásico	60%
Magnetita	10%
Cuarzo	3%
Matriz Vítreá	12%
Total	100%

Tabla 15

TAB 5	
Carbonato de calcio	80%
Cuarzo	2%
Magnetita	3%
Plagioclasa	10%
Matriz Vítreá	5%
Total	100%

Tabla 16

TAB 6	
Anfibol	50%
Cuarzo	3%
Biotita	3%
Magnetita	2%
Zircón	1%
Fosfato de Tierra raras	1%
Matriz-feldespató	40%
Total	100%

Tabla 17

TAB 7	
Cuarzo	2%
Barita	2%
Ilmenita	1%
Fosfato de Ce	1%
Rutilo	1%
Plagioclasa	65%
Matriz vítrea	28%
Total	100%

Tabla 18

TAB 8	
Plagioclasa	60%
Feldespato potásico	20%
Ilmenita	3%
Titanomagnetica	3%
Matriz vítrea	14%
Total	100%

Figura 26. Comparación en la distribución de los minerales encontrados en las cerámicas:

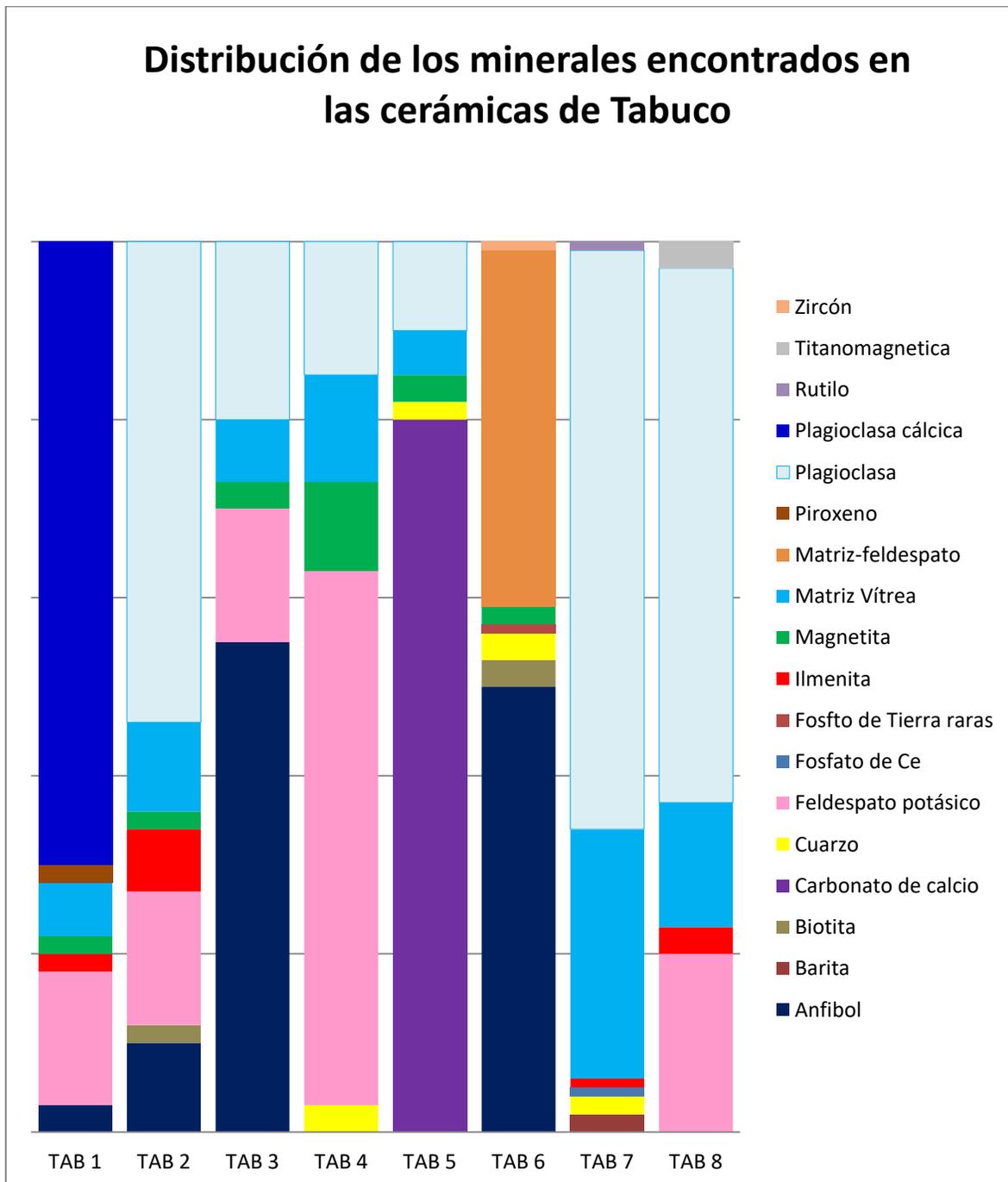
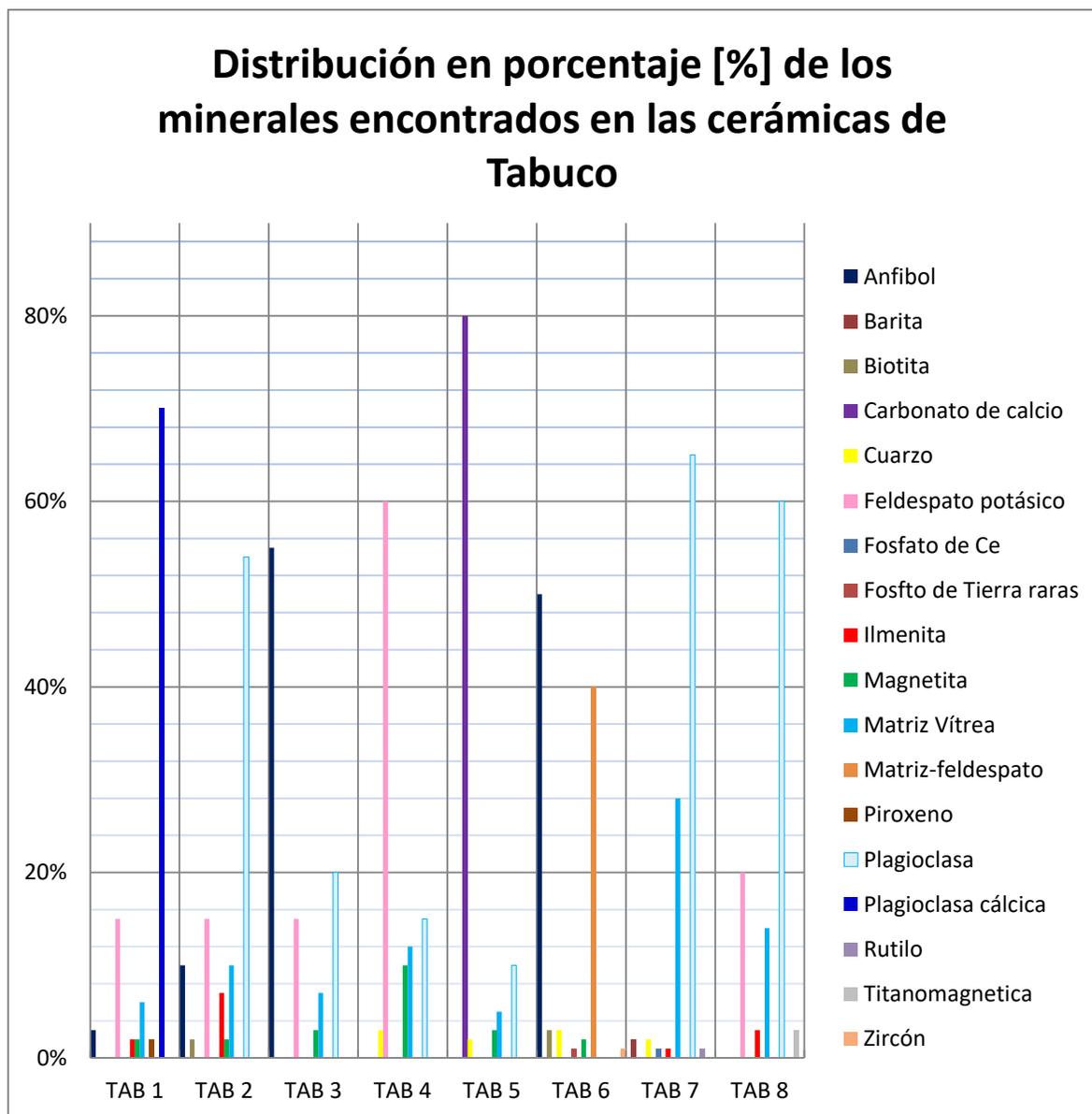


Figura 27. Porcentaje de los minerales encontrados en las cerámicas**Tabla 19.** *Minerales encontrados en las cerámicas de Tabuco*

Mineral	Espectro	Referencia
---------	----------	------------

Barita	TAB 7-ESP4	
Carbonato de Calcio	TAB 5-ESP2	
Clinopiroxeno	TAB 1-ESP2, TAB3-ESP1, TAB 3-ESP3, TAB5-ESP1, TAB 5-ESP4, TAB 6-ESP1	
Clorita con excedente de Fe	TAB 2-ESP3	
Cuarzo	TAB 2-ESP4, TAB 4-ESP5, TAB 7-ESP2, TAB 6-ESP4	
Feldespatos	TAB 1 -ESP1, TAB 1-ESP4, TAB 2-ESP2, TAB 6-ESP2, TAB 6-ESP3	
Feldespatos potásicos	TAB 4-ESP1	
Fosfato de tierras raras	TAB 6-ESP7	Anexo C
Ilmenita	TAB 1-ESP3, TAB7-ESP5	
Magnetita	TAB 5-ESP5, TAB 6-ESP5, TAB 4-ESP4	
Monacita en combinación con silicoaluminato de Ca y K	TAB 3-ESP2	
Plagioclasa	TAB 6-ESP8, TAB 7-ESP1, TAB 4-ESP3	
Rutilo	TAB 7-ESP3	
Tierras raras de Ce	TAB 7-ESP6	
Titanomagnetita	TAB 3-ESP4	
Vidrio	TAB 4-ESP2	
Zirconia	TAB 6-ESP6	

5.2.1 Análisis de resultados por microscopía electrónica de barrido

TAB1. De la imagen composicional general (Ver Figura C-1) se observa una composición química similar a los silicoaluminatos tendiendo a ser comparable a una plagioclasa cálcica con un exceso de

hierro. Los tamaños de grano van desde unos cuantos micrómetros hasta 300 μ m.

TAB2. De la imagen composicional (Ver Figura C-2) observamos que la composición química es similar a un silicoaluminato de calcio con un exceso de sodio. Los tamaños de grano van unos cuantos micrómetros hasta 250 μ m.

TAB3. De la imagen composicional (Ver Figura C-3) observamos una composición química similar al anfíbol con un exceso de hierro. Los tamaños de grano van desde unos cuantos micrómetros hasta 250 μ m.

TAB4. De la imagen composicional (Ver Figura C-4) observamos una composición química correspondiente a un silicoaluminato de calcio con presencia de hierro. Los tamaños de grano van desde unos cuantos micrómetros hasta 600 μ m.

TAB5. De la imagen composicional (Ver Figura C-5) Observamos una composición química similar a un silicoaluminato. Los tamaños de grano van desde unos cuantos micrómetros hasta 500 μ m. La imagen composicional (BEI por sus siglas en inglés) está generada por electrones retrodispersados (Backscattered electron)

TAB6. De la información que nos proporciona la imagen composicional (Ver Figura C-6) es similar a un anfíbol. Los tamaños de grano van desde unos cuantos micrómetros μ m hasta 300 μ m.

TAB7. De la imagen composicional (Ver Figura C-7) Observamos que su composición química es similar a una plagioclasa con un exceso de hierro con una forma de partícula subangular. Los tamaños de grano van desde unos cuantos micrómetros hasta 500 μ m.

TAB8. De la imagen observamos que su composición química es muy similar a un silicoaluminato de calcio que se aproxima a una plagioclasa. Los tamaños de grano van desde unos cuantos micrómetros hasta 250 μ m. No se cuenta con archivo digital.

5.2.2 Conclusiones de microscopía electrónica de barrido

Dado los resultados analizados y las gráficas (ver tablas 11-18) observamos que todas las cerámicas son diferentes en su contenido y porcentaje de minerales, siendo la plagioclasa y el feldespato los minerales más abundantes. En general con tamaños de partículas similares y formas angulares a subangular (Ver Anexo C). También se comprobó que es mejor una lámina petrográfica que la muestra en polvo para este análisis, solo que hasta este punto del método ya no se contaba con un fragmento para hacer una lámina. Como resultado en el diagrama de proceso se agrega esta nota antes de triturar toda la muestra cerámica.

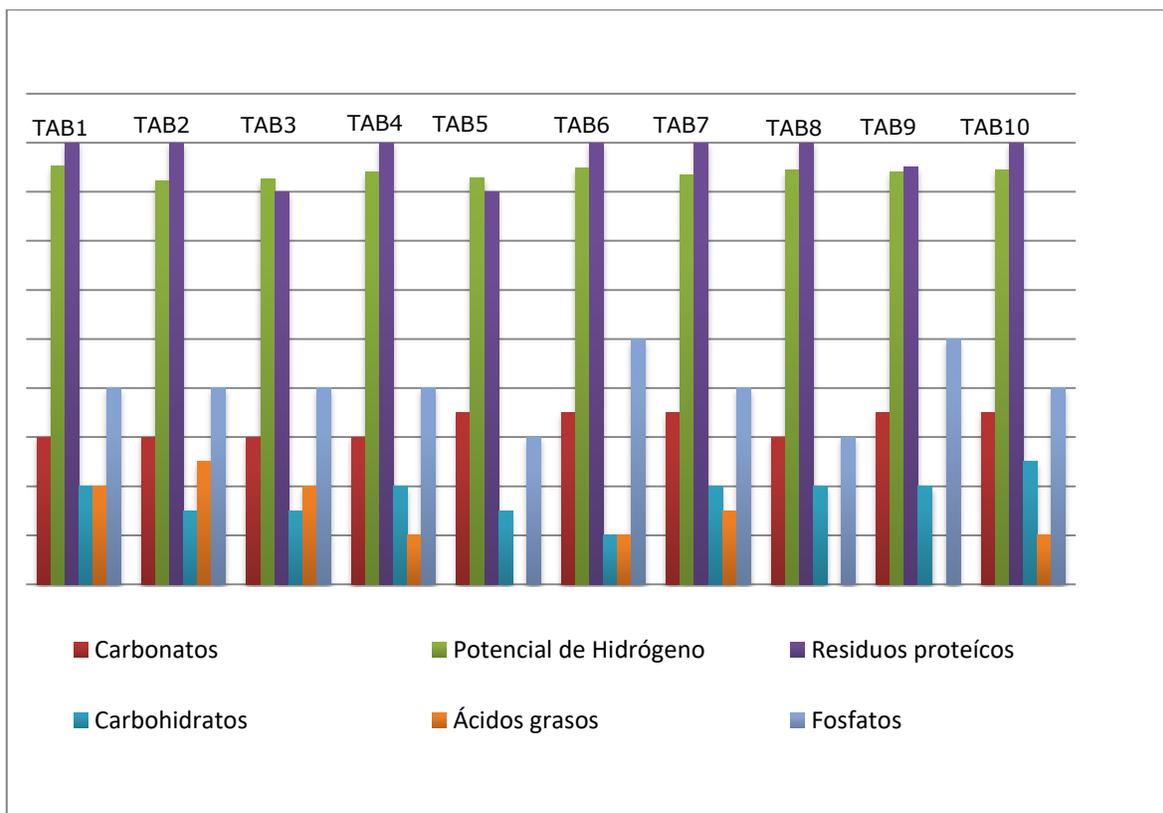
5.3 Análisis de los resultados de residuos inorgánicos y orgánicos:

Tabla 20. Resultados del análisis de residuos orgánicos e inorgánicos.

Código	Residuos inorgánicos			Residuos orgánicos		
	Fosfatos	Carbonatos	pH	Residuos proteicos	Carbohidratos	Ácidos Grasos
TAB 1	4	3.0	8.52	9.0	2.0	2.0
TAB 2	4	3.0	8.23	9.0	1.5	2.5
TAB 3	4	3.0	8.26	8.0	1.5	2.0
TAB 4	4	3.0	8.40	9.0	2.0	1.0
TAB 5	3	3.5	8.28	8.0	1.5	0.0
TAB 6	5	3.5	8.48	9.0	1.0	1.0
TAB 7	4	3.5	8.35	9.0	2.0	1.5
TAB 8	3	3.0	8.44	9.0	2.0	0.0
TAB 9	5	3.5	8.41	8.5	2.0	0.0
TAB 10	4	3.5	8.45	9.0	2.5	1.0
Valores de	[0-5]	[0-6]	[0-14]	[7-10]	[0-4]	[0-3]

referencia

Figura 28. En esta gráfica representa la presencia de residuos orgánicos (residuos proteicos, ácidos grasos y carbohidratos), residuos inorgánicos (carbonatos y fosfatos) así como el pH de cada muestra.



5.3.1 Fosfatos

Todas las muestras presentaron relativamente la mitad o más de la mitad de fosfatos, más del 50% de la cantidad total de muestra puesta en el papel filtro se tiñó de color azul intenso Figura 32, es decir contienen una alta cantidad de fosfatos según la escala de referencia que va de [0 a 5] Figura 30. Si de antemano se sabe que el fósforo está contenida en la orina, o en los tejidos óseos, heces, desechos de carne o piel, podríamos inferir inmediatamente como lo expresaron Obregón M. Barba L. & Ortiz A. 2016 que en el caso de los recipientes con mayor cantidad de fósforo [4,5] la alta cantidad de fosfatos podría estar

vinculada, tanto con el uso de los recipientes como con un enriquecimiento debido al contexto pos-deposicional. Pero es sugerido y preciso analizar el contexto de recuperación de los fragmentos para avanzar en la interpretación del resultado obtenido. También se observó que los que presentaron menor cantidad de fosfatos fueron TAB5 y TAB8 que además de ser piezas con decoración y tener una pasta aparentemente homogeneizada como observamos en el MEB y que presentaron bajo contenido de carbohidratos, nada de ácidos grasos y alta cantidad de residuos proteicos podría reforzar la hipótesis de ser piezas ceremoniales o de uso ritual.

Figura 29. *Referencia experimental para escala cualitativa de color de 0 a 5 para determinar residuos de fosfatos en las cerámicas de Tabuco.*

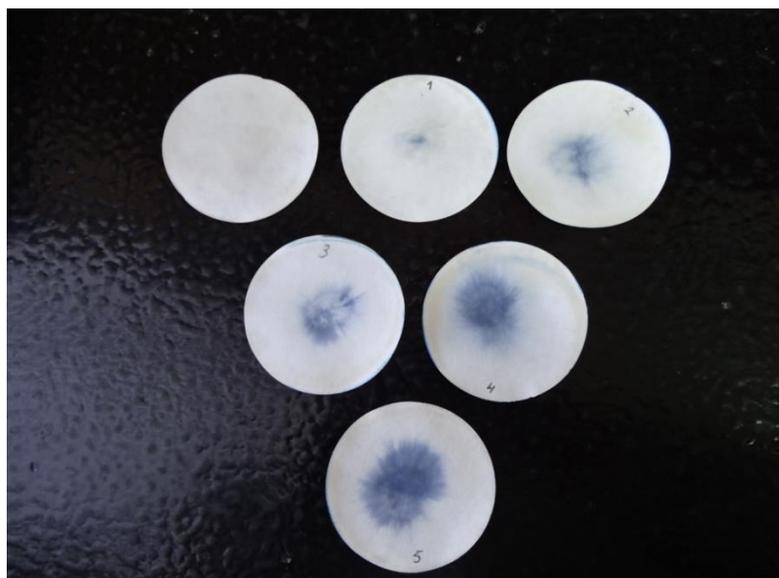


Figura 30. Diferencia de intensidad del color azul, según la muestra analizada y la presencia de fosfatos en las cerámicas de Tabuco. Vista posterior



Figura 31. Escala de color para detección de fosfatos por reacción a la gota

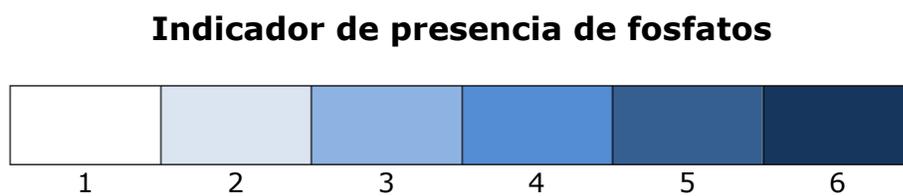


Figura 32. Después de la reacción con la muestra, se tiñó el papel filtro con diferentes intensidades de color azul según la presencia de fosfatos en cada cerámica. Fotografía Vista frontal



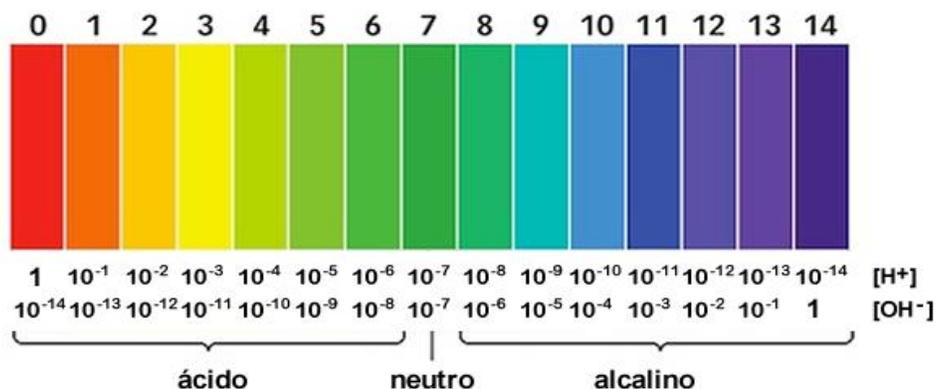
5.3.2 Carbonatos

Todas las muestras presentaron carbonatos de forma homogéneo o muy similar con valores de 3 y 3.5, no existe mucha variabilidad, esto es un indicio que el origen de la pasta podría ser la misma para todas las muestras, la aplicación de rayos X en el MEB, nos confirma que en todas las muestras existe este compuesto. Podríamos decir entonces que en la manufactura de las cerámicas, la arcilla utilizada fue prácticamente del mismo lugar.

5.3.3 Determinación de pH

Todos los valores de pH fueron mayores a 8 con una escasa variabilidad, es decir el compuesto cerámico es básico esto es coherente con los resultados de los carbonatos puesto que todas las muestras resultaron con presencia de ellos homogéneamente, el análisis mineralógico confirma la presencia de los carbonatos en la pasta, Los resultados de los carbonatos, el pH y el análisis mineralógico "podrían indicar que las materias primas usadas por los alfareros provienen de una cuenca sedimentaria y son producto de la meteorización de roca caliza." (Obregón et al., 2016b).

Figura 33. El pH es una medida que sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad de una disolución.



5.3.4 Residuos proteicos

En la prueba para determinar residuos proteicos las 10 muestras cerámicas presentaron valores de pH básico, pues 7 muestras resultaron con un valor de pH = 9, significativamente esto indica que hay presencia de proteínas ya que como lo habíamos mencionado antes, en la reacción dada, al desnaturalizarse las proteínas liberan amoníaco que es un compuesto de pH básico. Además tomando en cuenta los "dibujos

arqueológicos” de las probables formas que pudieron haber tenido estas piezas que en su mayoría suponen ser cajetes, ollas y bandejas, piezas de servicio, diría que probablemente estos residuos están ligados a alimentos de origen animal y tal vez en la muestra TAB 8 aunque parece ser un plato; por el tamaño de grano aparentemente seleccionado, la decoración, la dureza y homogeneidad de la pasta se podría pensar que está relacionada con prácticas rituales con sangre. Pero esto no será totalmente acertado hasta que se obtengan más evidencias sobre la cerámica y el contexto donde se extrajeron y se interprete por unos especialistas en el tema. Si se hace una aplicación de tiras reactivas para determinar la presencia de hemoglobina (como lo sugieren Obregón, et al. 2016) habrá mayor certeza de si los utensilios eran de cocina, servicio o con un fin ritual.

Figura 34. *Reacción química de la muestra cerámica con CaO en el interior del tubo, en la boca del tubo papel indicador para medir el pH del amoníaco liberado en forma de gas.*



Figura 35. Diferencia observada en el papel indicador entre una muestra con menores residuos proteicos (foto izquierda, pH ácido) y una con alto contenido en residuos proteicos, mancha verde (foto derecha, pH básico).



5.3.5 Carbohidratos

Los valores obtenidos en esta prueba, fueron en su mayoría 2 y los demás muy cercanos a 2 por lo que se puede hacer un promedio general de 1.8 este representa un valor bajo según la escala de referencia que va de [0 - 4], estos residuos están más relacionados con alimentos de origen vegetal, se puede inferir que es escasa la presencia de los mismo a excepción de la muestra TAB 10 que tiene un valor de 2.5, es un poquito más que la mitad y que comparando con las demás pruebas también presenta enriquecimiento de residuos proteicos y un poco de ácidos grasos.

Resultados:

Figura 36. Escala de color cualitativa, con valores de [0, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4] Resultado de la determinación de carbohidratos en muestras cerámicas. Los valores de 0 y 4 son muestras testigos.

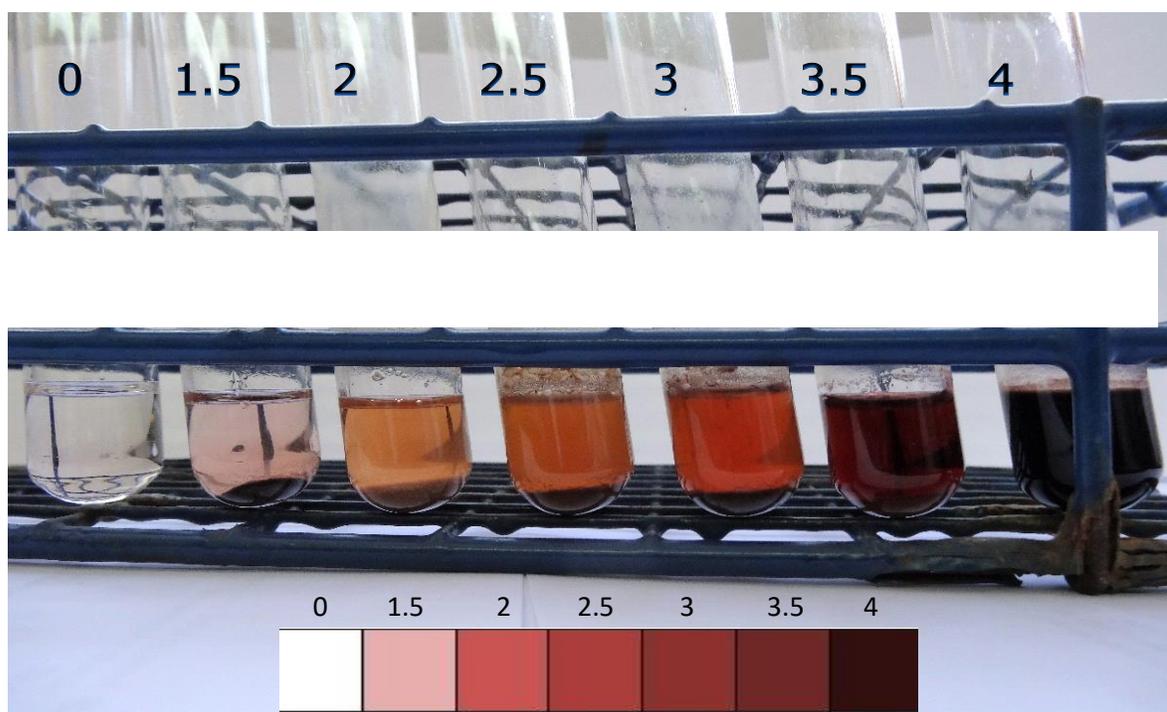


Figura 37. Reacción del ácido sulfúrico concentrado con las muestras cerámicas.



5.3.6 Ácidos grasos

Solo tres muestras no presentaron residuos de ácidos grasos, todas las demás revelan presencia de ácidos grasos, el valor máximo obtenido fue de 2.5 para TAB2 en una escala de referencia de [0-3] que también reveló residuos proteicos y carbohidratos. Dado que los ácidos grasos pueden tener su origen de animal o vegetal, Obregón M. Barba L. & Ortiz A. 2016 Sugirieron el desarrollo de análisis de cromatografía de gases sobre la muestra TAB2 (también TAB1 y TAB3) para identificar o relacionar más asertivamente el origen de los ácidos grasos.

Figura 38. *Formación de burbujas en el polvo de la cerámica.*



Figura 39. *Formación de una espuma estable, reacción*



5.4 Conclusiones y observaciones generales del análisis químico de residuos orgánicos e inorgánicos

En general las cerámicas tuvieron una escasa presencia de ácidos grasos y carbohidratos, sí presentaron residuos proteicos, y tuvieron alto contenido de fosfatos y carbonatos con un pH básico en todas las muestras. Por lo tanto estas cerámicas podrían vincularse con contextos rituales ya que según los especialistas en contextos mesoamericanos los recipientes vinculados a la preparación de alimentos se caracterizan por la presencia notable de carbohidratos acompañados de escasos residuos

de proteínas y ácidos grasos, todo lo contrario a los resultados obtenidos.

5.5 Conclusiones generales

Después del arduo trabajo en el laboratorio de TL se obtuvieron cinco dataciones de las muestras cerámicas de tabuco como se presentan a continuación: TAB1= 709 ± 25 años d.C., TAB2= 448 ± 9 años d.C., TAB4= 552 ± 14 años d.C, TAB5= No reproducible y TAB7= 434 ± 20 años d.C.

La muestra TAB5 no fue datada debido a que al realizar las mediciones de la dosis acumulada (paleodosis), la muestra presentó una curva termoluminiscente (TL) no reproducible, es decir, mostro un espectro TL sin picos definidos que imposibilitan su medición, dicho espectro TL se debe a las características termoluminiscentes de la estructura molecular de los minerales presentes en la arcilla con la que la pieza fue elaborada.

A su vez, con estas dataciones se establece la primera cronología cerámica absoluta en la zona Golfo de México y en particular en la zona huasteca-totonaca, así mismo, las dataciones ayudaran a establecer la cronología del sitio arqueológico de Tabuco. En cuanto a los fechamientos obtenidos, estos evidencian una ocupación posterior a la esperada para el sitio de Tabuco que se consideraba había sido abandonado a la llegada de los españoles a la región por el año 1519 Vite M. (2023)

Se determinó también, la mineralogía de las muestras cerámicas por medio de la técnica de espectrometría por dispersión de energía de rayos X (EDS), en un microscopio electrónico de barrido (MEB). Respecto al análisis mineralógico, las muestras presentaron una mineralogía diferente entre ellas, esto infiere que las cerámicas fueron

elaboradas con diferentes fuentes de arcilla además de los posibles desgrasantes, también infiere que las arcillas con la que las elaboraron pueden provenir de diferentes bancos de extracción. Por otro lado, esta información mineralógica contribuye a la caracterización alfarera de Tabuco. Posteriores estudios podrían centrarse en el origen y procedencia de los materiales cerámicos considerando la probabilidad de que sean materiales externos al sitio.

Así, se migró con éxito la aplicación de las técnicas de análisis químico de residuos orgánicos e inorgánicos desarrollados para suelos al material cerámico del sitio de Tabuco, las técnicas se aplicaron al material obtenido del descortezado de la cerámica. Aplicando estas técnicas se lograron identificar tres tipos de residuos orgánicos (carbohidratos, ácidos grasos y proteínas), dos tipos de residuos inorgánicos (carbonatos y fosfatos) más la medición del potencial de hidrógeno en las muestras, obteniendo los datos ya analizados y presentados en la sección 5.3. Como lo antes mencionado, en general las cerámicas dieron como resultado una escasa presencia de ácidos grasos y carbohidratos, sí presentaron residuos proteicos, y tuvieron alto contenido de fosfatos y carbonatos con un pH básico. Por lo tanto, estas cerámicas podrían vincularse con contextos rituales ya que según los especialistas en contextos mesoamericanos los recipientes vinculados a la preparación de alimentos se caracterizan por la presencia notable de carbohidratos acompañados de escasos residuos de proteínas y ácidos grasos, todo lo contrario, a los resultados obtenidos.

Con base en la aplicación sistemática de métodos y técnicas de análisis para la datación y caracterización de material cerámico del sitio de Tabuco, se diseñó e implemento un diagrama de flujo del proceso en el Laboratorio de Termoluminiscencia, identificando y estableciendo los

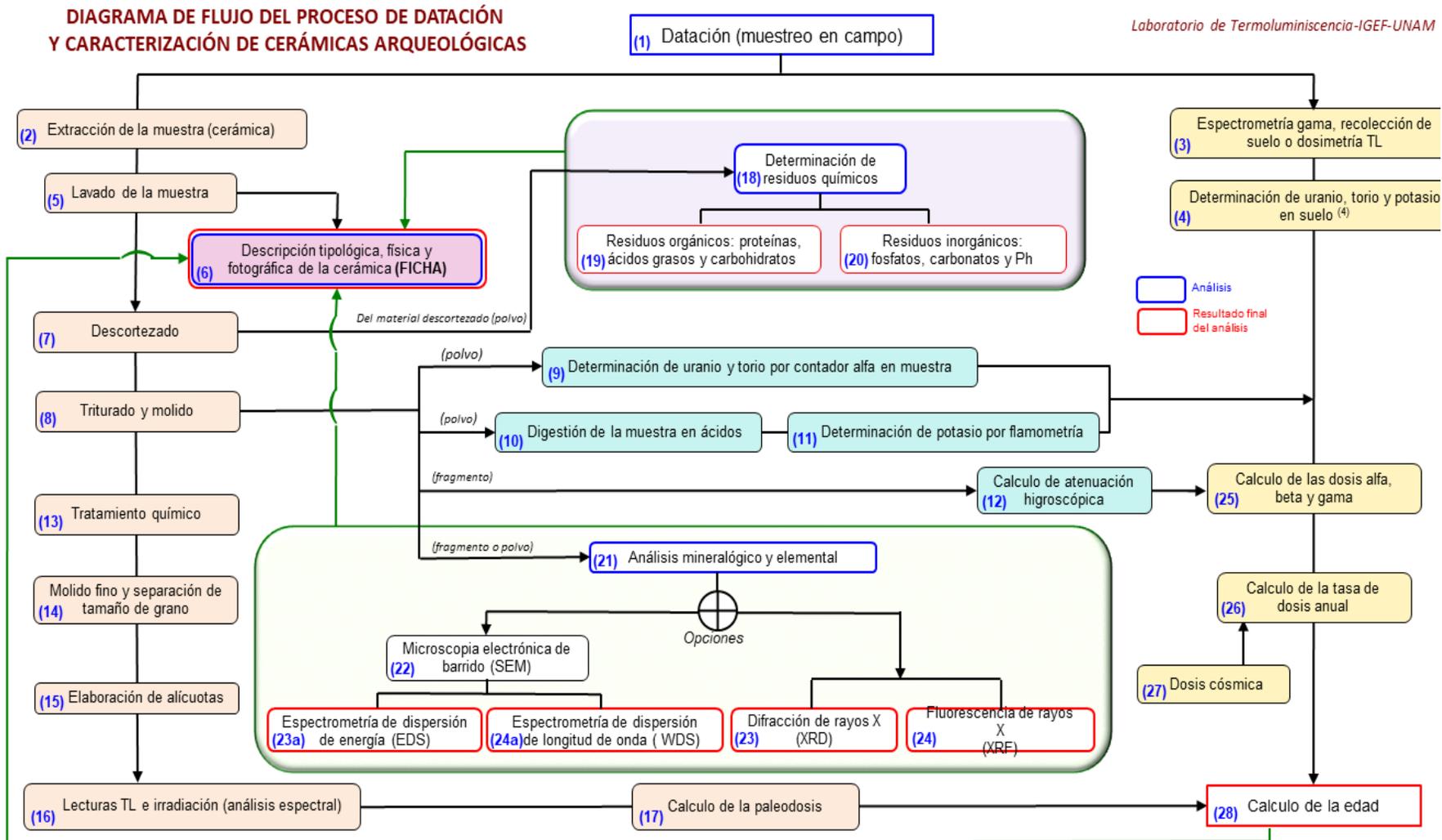
pasos y etapas a seguir, iniciando en el muestreo en campo y concluyendo con la datación y caracterización de las muestras cerámicas. Cabe señalar la importancia que este trabajo representa, dado que dicho diagrama es la base actual para el procesamiento de las muestras de cerámicas arqueológicas e históricas que llegan al laboratorio. El desarrollo e implementación de dicho diagrama de flujo del proceso tuvo como objetivo además de optimizar los tiempos, recursos y materiales, la posibilidad de aplicar los métodos y técnicas de análisis de forma secuencial y ordenada evitando afectaciones o alteraciones en la secuencia de análisis.

No cabe duda que el enriquecimiento y avance de la ciencia y en este caso para el estudio del pasado, es el resultado del trabajo sinérgico y multidisciplinario entre las ciencias sociales, humanísticas y las ciencias exactas, este tipo de trabajos en conjunto, crea nuevas herramientas para el progreso y desarrollo de la arqueometría.

Por lo anteriormente mencionado, podemos decir que se lograron los objetivos planteados en este proceso de investigación.

.

6. Diagrama de proceso



6.1 Descripción del diagrama de proceso

[1] Y [2]. Se extraen las cerámicas de las ubicaciones seleccionadas por el arqueólogo(a), tomando en cuenta todas las indicaciones descritas y resumidas en este trabajo página 44.

[3] Y [4] Espectrometría gama, recolección de suelo o dosimetría TL en campo y determinación de uranio, torio y potasio en suelo: Para esta medición se usa un espectrómetro gama portátil, se introduce el detector cavando un hoyo exactamente del volumen el instrumento en el punto donde se extrajeron cada una de las cerámicas y se toman las lecturas correspondientes.

[5] Se transportan las cerámicas al laboratorio de TL y se procede al lavado, este debe ser suave cuidando cada aspecto de textura, color, bordes, aplicaciones etcétera por lo que se debe controlar el flujo de agua y la fuerza de tallado.

[6] Ya limpias y secas se procede a la elaboración de fichas descriptivas, es decir, hacer los dibujos respectivos y las fotografías a escala (para hacer los dibujos consultar el libro "EL DIBUJO ARQUEOLÓGICO, LA CERÁMICA por Françoise Bagot" Describir sus texturas y colores como es mostrado en el anexo A de este trabajo.

[7] En el cuarto oscuro del laboratorio de TL, con un mototool y con mucho cuidado se descortezan cada muestra.

[8] Molido fino, se pulveriza la muestra para obtener tamaños de granos entre 4- 11 [μm] con un mortero en el cuarto oscuro con luz controlada.

[9] Determinación de uranio y torio por contador de partículas alfa en muestra, las muestras son colocadas en una placa de sulfuro de zinc y se toman las lecturas de cada una.

[10] y [11] Se hace una digestión de las cerámicas aplicando la técnica de roca entera desarrollada en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica LUGIS donde la muestra se digiere en ácido fluorhídrico 80°C. Posteriormente las muestras se preparan en solución para ser analizadas en un Flamómetro Sherwood Mod. 360 flame photometer, en el Laboratorio de Edafología Ambiental del Instituto de Geología UNAM para determinar el porcentaje de ^{40}K .

[12] Cálculo de atenuación higroscópica, se sumergen las muestras en agua por 6 días se pesan, después se dejan secar en el horno a 75° C y se vuelven a pesar, la diferencia de peso es el dato para calcular el factor de humedad en cada muestra. Se hacen los cálculos pertinentes

[13] Tratamiento químico con H_2O_2 y HCl . A cada muestra pulverizada se le agregó H_2O_2 hasta cubrir todo el material, se dejan reposar hasta que ya no haya efervescencia, después se lavan con H_2O_2 , se decantan y se dejan reposar por un día (Se repite el proceso por tres). Después se agrega HCl se decantan, se lavan con agua destilada, se decantan nuevamente y se dejan reposar por un día (se repitió el proceso tres veces).

[14] Separación de tamaño de grano. En el cuarto oscuro se tritura y luego se muele cada cerámica hasta obtener un polvo fino. La separación se lleva a cabo por diferencia de densidad en solución con acetona, las partículas más pesadas irán al fondo más rápido; Para ello se requiere tomar el tiempo cada vez que se decante hasta obtener los tamaños deseados.

[15] Elaboración de alícuotas. Con el precipitado de la separación de tamaño de grano (4-11 μm) y acetona se prepara una solución homogénea para depositar en las planchetas de aluminio (discos de aluminio de 9 mm de diámetro) y colocarlas en un portamuestras.

[16] Lecturas e irradiación de muestras (análisis espectral). Se colocan las planchetas en discos y luego en el equipo lector DAYBREAK 1100 AUTOMATED TL SYSTEM donde se hacen las lecturas de la señal TL natural (TLN). A una tasa de calentamiento de 10 °C/s y a una temperatura máxima de 500°C, en presencia de nitrógeno de alta pureza

[17] Cálculo de la Paleodosis. Consultar página 48.

[18], [19] y [20] Determinación de residuos químicos orgánicos e inorgánicos. Se llevaron a cabo los protocolos del laboratorio de Prospección arqueológica, UNAM (2015).

[21]-[24] Análisis mineralógico: EDS y WDS son técnicas utilizada para determinar imagen composicional de las muestras. Se usarán dependiendo del tiempo, recursos y necesidades, Se trabaja en el Laboratorio de Petrología, UNAM. "Cuando los rayos X se cuantifican por su longitud de onda la técnica se conoce como espectrometría por dispersión de longitud de onda de rayos X (WDS) y cuando éstos se cuantifican por su energía se denomina espectrometría por dispersión de energía de rayos X (EDS)" (González G., Noguez E. 2009)

[25] Cálculo de dosis alfa, beta y gama en el laboratorio TL.

[26] Cálculo de la tasa de dosis anual en laboratorio TL.

[27] Dosis cósmica. Constante

[28] Cálculo de la edad. Después de obtener Dosis total de cada muestra y la TDA, se usa la ecuación descrita en la sección 4.11.

7. Referencias y bibliografía

Aitken, Martin J.

(1974) *Physics and archaeology*. 2da. ed., Clarendon Press Oxford.

(1985) *Thermoluminescence Dating*. Academic Press, London.

(1999) Archaeological dating using physical phenomena. *Reports on Progress in Physics* – IOPscience 62, pp. 1333-1376.

Arribas, J.G.; T. Calderon y C. Blasco.

(1989) *Datación Absoluta por Termoluminiscencia: un ejemplo de aplicación arqueológica*. *Trabajos de Prehistoria* 46, pp. 231-246.

Arribas, J.G., P. Benítez, A. Millán, T. Calderón, C. Blasco y L. Ramos

(1992) *Aplicación de la termoluminiscencia a la autenticación de piezas de museo: un ejemplo sobre supuestos materiales nazcas y tiahuanacotas del Museo de América (Madrid)*. *Revista Española de Antropología Americana* 22, pp. 35-51.

Arribas, J. G. et al.

(s.f) *Datación absoluta por termoluminiscencia y análisis mineralógico de materiales arqueológicos procedentes del yacimiento cueva de la vaquera (Segovia)*.

https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/71399/1/Datacion_absoluta_por_termoluminiscencia.pdf

Artioli, Gilberto

(2010) *Scientific Methods and Cultural Heritage: An introduction to the application of materials science to archaeometry and conservation science*, Oxford University Press.

Askeland, D., Wendwlin J.

(1998) *La ciencia e ingeniería de los materiales* (3a. ed.). MEXICO: INTERNATIONAL THOMSON EDITORES

Azorín, N.

(s.f.) *La Termoluminiscencia y sus aplicaciones*, Departamento de física UAM

<https://www.fis.unam.mx/pdfs/seminariosBiofisica/trrmoluminiscencia.pdf>

Berrocal, L.

(2015) Cuadernos de prehistoria y arqueología de la universidad autónoma de Madrid (Vol41)

<https://www.uam.es/otros/cupauam/pdf/Cupauam15/1514.pdf>

Calderón, J; Arribas, J.G.; Millán, A; Blasco, C.

(1988) *Servicio de datación absoluta por termoluminiscencia y analítica de cerámicas arqueológicas en la Universidad Autónoma de Madrid*". CuPAUAM: Cuadernos de Prehistoria y Arqueología 15, pp. 385-397.

Comas, J.y Editores

(2006), *Anales de Antropología*

Cultura huasteca

(2020) Sites.google.com. 2020. *CULTURA HUASTECA*. [online] Available at: <<https://sites.google.com/site/culturahusteca/>> [Accessed 14 August 2020].

Del Refugio M

(2019) Tendencias alimentarias de los pobladores de Tabuco, Veracruz, durante el periodo posclásico y su relación con los recursos naturales de su medio ambiente regional

Daneels, Annick.

(2004) Un estudio de formación de territorios políticos centralizados y segmentarios. *XVII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala 2003*, J.P. Laporte, B. Arroyo, H. Escobedo y H. Mejía (eds.), pp. 282-292.

(2006) La cerámica del Clásico en Veracruz, 0-1000 d.Cr.". *La alfarería del México antiguo II*, Leonor Merino y Ángel García Cook (coord.), México, INAH pp. 393-504.

(2009) Algunos problemas en la cronología del Golfo de Veracruz". *Memorias del V Coloquio Pedro Bosch Gimpera, Cronología y Periodización en Mesoamérica y el Norte de México*, Daneels Annick (ed.), IIA-UNAM.

González-Marcen, Paloma y Marina Picazo Gurina.

(1998) *El tiempo en arqueología*. Arco Libros, Madrid, España.

González-Martínez, Pedro Ramón.

(2011) Datación de cerámica prehispánica por el método emisión de luz térmicamente estimulada". *Memorias Sección Química Nuclear, 46 Congreso Mexicano de Química, 30 Congreso Nacional de Educación Química Septiembre 10 al 14, 2011*, Sitio web:

http://www.quimicanuclear.org/pdf_memorias2011/simposium/pedro_gonzalez.pdf

González-Martínez

(2002) *Thermoluminescence dating of ceramics from Teotenango-Mexico*. *Revista de Arqueología Americana* 21, pp. 214-225.

(2004) *Algunos Resultados sobre el Fechamiento de Cerámica Prehispánica Mexicana por el Método de Termoluminiscencia*. *Ciencia de Materiales y su Impacto en la Arqueología 1*, Mendoza Anaya, Demetrio, Eva Leticia Brito Benítez y Jesús A Arenas Alatorre (eds.), Academia Mexicana de Ciencia de Materiales A. C., pp.169-176.

(2005) *Datación de Cerámica de Chichén Itzá por el Método de Termoluminiscencia*. *Ciencia de Materiales y su Impacto en la Arqueología 2*, Mendoza Anaya, Demetrio, Eva Leticia Brito Benítez y Jesús A Arenas Alatorre (eds.), Academia Mexicana de Ciencia de Materiales A. C., pp. 113-134.

Gordon Frederick Ekholm

(2020) *Pueblosoriginarios.com*. 2020. Gordon Frederick Ekholm.

[online] Available at:

<<https://pueblosoriginarios.com/biografias/ekholm.html>> [Accessed 14 August 2020].

Guarnizo et al.

(s.f.) *Experimentos de Química Orgánica con enfoque en ciencias de la vida*, Ediciones Elizcom

[https://books.google.com.mx/books?id=Otm5wsEeKYEC&pg=PA31&dq=fosfomolibdato+de+amonio+\(color+amarillo\)+haciendolo&hl=es-](https://books.google.com.mx/books?id=Otm5wsEeKYEC&pg=PA31&dq=fosfomolibdato+de+amonio+(color+amarillo)+haciendolo&hl=es-)

[419&sa=X&ved=2ahUKEwiq5dz6oN3sAhUJVs0KHbROBJsQ6AEwAHoECAUQAq#v=onepage&q=fosfomolibdato%20de%20amonio%20\(color%20amarillo\)%20haciendolo&f=false](http://www.google.com/search?sa=X&ved=2ahUKEwiq5dz6oN3sAhUJVs0KHbROBJsQ6AEwAHoECAUQAq#v=onepage&q=fosfomolibdato%20de%20amonio%20(color%20amarillo)%20haciendolo&f=false)

Gutiérrez-Emilia.

(2008) *La dendrocronología: métodos y aplicaciones. Arqueología Náutica Mediterrània X*, Nieto i. M.A. Cau (eds.), pp. 303-315 en la *Universidad*, Programa de estudios interdisciplinarios del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM, México.

Kane J. y Sternheim M.

(2007) *Física* (2da Edición) Editorial REVERTÉ, S. A.

Khasswneh, S., Z. al Muheisen y R. Abd-Allah.

(2011) Thermoluminescence dating of pottery objects from Tell Al-Husn, Northern Jordan". *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 11(1), pp. 41-49.

Laboratorio de Arqueometría de Occidente

(2009) Laboratorio de Arqueometría de Occidente, LARQUEOC. Consultado 3 mayo 2013*, Sitio web: <http://www.iim.umich.mx/arqueometria/index.htm>.

Laboratorio Nacional de Dendrocronología

Laboratorio Nacional de Dendrocronología del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, web:

http://intranet.inifap.gob.mx/images/pagina_web/cirs/cenids/dendrocronologia.htm

Lasky, Linda

(2002) *La noción del tiempo. Reflexión histórica y antropológica en torno a la física y la arqueología*. CONACULTA-INAH, Plaza y Valdés, México.

Lidefer,

(2021) *Etanamida: estructura, propiedades, usos, efectos*
<https://www.lifeder.com/etanamida/>

Manzanilla-Barba.

(1994) *La Arqueología: Una visión científica del pasado del hombre*. Colección La Ciencia para Todos, FCE, México.

Manzanilla- Barba

(2000) *La antropología como puente transdisciplinario: experiencias del instituto de investigaciones antropológicas. Memorias del primer encuentro: La experiencia transdisciplinaria*

Melgarejo, V. J

(1949), *Historia de Veracruz*, 23, 146, 217

Melgarejo, V. J, Álvarez Manuel,

(1970) *Códices de Tierra, Lienzos de Tuxpan*

Michels, Joseph W.

(1973) *Dating methods in archaeology*. The Pennsylvania State University, Studies in Archaeology, Seminar Press, E.U.

Montero-Ignacio

(2007) *Arqueometría: Cambios y tendencias actuales Trabajos de Prehistoria* 64 (1), pp. 23-40.

Ortíz y Aquino

(1970), *Rescate Arqueológico*, Tuxpan, Veracruz, México.

Pérez A. et al.

(1992) *Ciencias, metodologías y técnicas aplicadas a la arqueología*, (1ra Edición), Editorial LA CAIXA

Pierre P y Alberto C.

(2009) *Luminiscencia persistente, termoluminiscencia y luminiscencia ópticamente estimulada en aluminatos de estroncio dopados con Eu²⁺ y Dy³⁺* [Tesis de maestría, Universidad de Sonora .División de Ciencias Exactas y Naturales] BIBLIOTECA DIGITAL
<http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=19742>

Pollard, A.M.

(2008) *Archaeometry 50th Anniversary*". *Archaeometry* 50 (2), pp. 191-193.

Pollard, A.M y Carl Heron.

(2008) *Archaeological Chemistry*. The Royal Society of Chemistry (RSC).

Ramírez Luna, Ángel.

2006. *Fechaamiento y Prueba de Autenticidad en Cerámicas por Termoluminiscencia*". *Libro de artículos del Coloquio: Rayos X y otras Técnicas Físicas en Arte, Arqueología e Historia*, Sociedad Mexicana de Cristalografía (SMCr) y Escuela Nacional de Restauración, Conservación y Museografía, México

(2011) *Fechaamiento de Muestras Geológicas por el Método de Termoluminiscencia*. *Memorias Sección Química Nuclear*, 46 Congreso Mexicano de Química, 30 Congreso Nacional de Educación Química, Septiembre 10 al 14, Sitio web:
http://quimicanuclear.org/pdf_memorias2011/symposium/angel_ramirez.pdf

Ramírez Ángel, Peter Schaaf y Edith Ortiz

(2010) Analysis of Zapotec Ceramics of the Caxonos River Basin, Oaxaca, Mexico by Thermoluminescence (TL)". *Journal of Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 10(4), pp. 121-127.

Región huasteca

(2020) Es.wikipedia.org. 2020. *Región Huasteca*. [online] Available at:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%B3n_Huasteca#/media/Archivo:Regi%C3%B3n_Huasteca.png> [Accessed 14 August 2020].

Renfrew-Bahn.

(1998) *Arqueología. Teoría, Métodos y Práctica*. Ediciones Akal, Madrid.

Renfrew-Colin.

(1985) La Nueva Arqueología". *El Correo*, Año XXXVIII, UNESCO, pp.4-8.

(1986) *El alba de la civilización. La revolución del radiocarbono y la Europa Prehistórica*. Colegio Universitario de Ediciones Istmo, España.

Rowe, John H

(1998) *Max Uhle y la idea del tiempo en la arqueología americana*. Indiana 15, Ibero-Amerikanisches Institut Preussischer Kulturbesitc, pp. 257-267.

Sánchez, P.

(2014) Selección de métodos arqueométricos para materiales arqueológicos: una guía de procedimientos para datación. Tesis de licenciatura en Arqueología, ENAH, Ciudad de México, pp. 232.

Somera, L.

(2016)*Propiedades de termoluminiscencia de materiales cristalinos NaCl-KCl impurificados con ión manganeso irradiados* [Tesis de maestría, Instituto de ciencias nucleares UNAM] TESIUNAM DIGITAL <http://132.248.9.195/ptd2016/mayo/0745332/Index.html>

Tabuco

(2020) Cronistadetuxpan.blogspot.com. 2020. *Tabuco*. [online] Available at:

<<http://cronistadetuxpan.blogspot.com/2009/08/tabuco.html>>
[Accessed 14 August 2020].

Unidad de microscopía electrónica

(2011) Centro de Investigación y Control de la Calidad (CICC)
<http://microscopia-electronica-cicc-inc.blogspot.com/2011/03/fundamentos.html>

UPV

(2019) Un grupo de investigación de la UPV/EHU encuentra un yacimiento de 5.000 años en Punta Begoña,
http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla12/Macla12_17.pdf

Veracruz.

(2020) *Encuentran Más Vestigios De Tabuco En Tuxpan*. [online]
Diario Vanguardia de Veracruz. Available at:
<<https://www.vanguardiaveracruz.mx/encuentran-mas-vestigios-de-tabuco-en-tuxpan/>> [Accessed 14 August 2020].

Zimmerman, D.W.

(1971) *Thermoluminescence dating using fine grains from pottery*.
Archaeometry 13, pp. 29-52

8. ANEXO A.

**Fichas descriptivas, fotografía y dibujo arqueológico de las
cerámicas extraídas en tabuco, Veracruz.**

Dibujo: Ruth Ruiz Bacilio

Fotografía: M. en C. Ángel Ramírez Luna

Revisión y descripción característica: Dr. Mauricio Obregón Cardona

FICHA DESCRIPTIVA DE LA CERÁMICA			
Clave del material cerámico:		Clave de Laboratorio: TAB 1	
CONTEXTO		Proyecto	Proyecto de Salvamento Arqueológico, Tabuco APITUX
		Sitio	Tabuco (Veracruz)
		Clasificación cerámica	
		Ubicación en excavación	Entierro 32-Adulto, cuadrante 36-L
FORMA		Parte de la pieza	Borde
		Descripción	Evertido (50°), engrosado (8.6 mm) con labio redondeado
		Tipo de pieza	Recipiente de boca circular con 18 cm de diámetro
		Dimensiones del fragmento	28 mm x 25 mm
PASTA	PARTÍCULAS MINERALES	Cantidad	30%
		Tamaño	Muy finas (3mm<)
		Angulosidad	Angulares y subangulares
	NÚCLEO DE COCCIÓN	Composición	Minerales oscuros (60%) y claros (40%)
		Color [Munsell]	10YR 8/1 (White)
		Posición	Centro
PASTA		Grosor	5.6 mm
		Color (Munsell)	7.5YR 8/4 (Pink)
		Matriz	Muy fina friable
		Dureza (Escala Mohs)	<4
SUPERFICIE	ACABADO	Interior	Pulido con engobe 7.5YR 6/8 (Reddish Yellow)
		Exterior	
		Erosión	60%
	DECORACIÓN	Técnica	Incisión acanalada (2.4mm) en cara externa
		Motivo	Lineal
			

FICHA DESCRIPTIVA DE LA CERÁMICA			
Clave del material cerámico:		Clave de Laboratorio: TAB 2	
CONTEXTO	Proyecto	Proyecto de Salvamento Arqueológico, Tabuco APITUX	
	Sitio	Tabuco (Veracruz)	
	Clasificación cerámica		
	Ubicación en excavación	Entierro 32-Adulto, cuadrante 36-L	
FORMA	Parte de la pieza	Cuerpo	
	Descripción	Fragmento rectangular fracturado por la unión entre rollos	
	Tipo de pieza	Recipiente subglobular	
	Dimensiones del fragmento	47 mm x 21 mm	
PASTA	PARTÍCULAS MINERALES	Cantidad	20%
		Tamaño	Muy finas (3mm<)
		Angulosidad	Angulares y subangulares
	NÚCLEO DE COCCIÓN	Composición	Minerales oscuros (30%) y claros (70%)
		Color [Munsell]	5YR 8/2 (Pinkish white)
		Posición	Centro
PASTA	Grosor	6.5 mm	
	Color (Munsell)	5YR6/6 (Reddish Yellow)	
	Matriz	Muy fina friable	
	Dureza (Escala Mohs)	<4	
SUPERFICIE	ACABADO	Interior	Adherencia post-deposicional en pequeños sectores, compuesta por 3 capas de color 7.5YR8/6 (Reddish Yellow), 7.5YR6/1 (Gray) y 7.5YR2.5/2 (Very dark brown)
		Exterior	
		Erosión	90%
	DECORACIÓN	Técnica	No se registra por la mala conservación de la superficie
		Motivo	
			

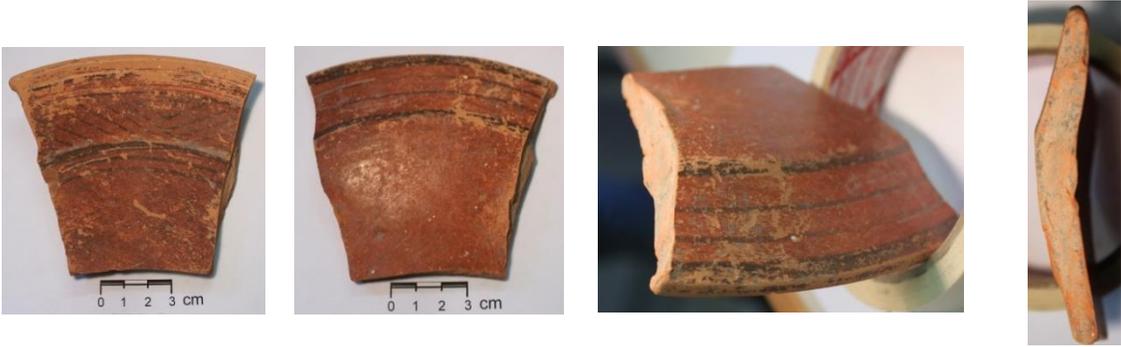
FICHA DESCRIPTIVA DE LA CERÁMICA			
Clave del material cerámico:		Clave de Laboratorio: TAB 3	
CONTEXTO		Proyecto	Proyecto de Salvamento Arqueológico, Tabuco APITUX
		Sitio	Tabuco (Veracruz)
		Clasificación cerámica	
		Ubicación en excavación	Entierro 32-Adulto, cuadrante 36-L
FORMA		Parte de la pieza	Cuerpo
		Descripción	Fragmento irregular
		Tipo de pieza	
		Dimensiones del fragmento	47 mm x 37 mm
PASTA	PARTÍCULAS MINERALES	Cantidad	30%
		Tamaño	Finas y muy finas (entre 0.6 y 0.3 mm)
		Angulosidad	Angulares y subangulares
	NÚCLEO DE COCCIÓN	Composición	Minerales oscuros (60%) y claros (40%)
		Color (Munsell)	
		Posición	Sin núcleo de cocción
PASTA		Grosor	6.0 mm
		Color (Munsell)	10YR8/1 (White)
		Matriz	Muy fina friable
		Dureza (Escala Mohs)	<4
SUPERFICIE	ACABADO	Interior	Restos de pulido
		Exterior	
		Erosión	70%
	DECORACIÓN	Técnica	No se registra
		Motivo	
			

FICHA DESCRIPTIVA DE LA CERÁMICA			
Clave del material cerámico:		Clave de Laboratorio: TAB 4	
CONTEXTO	Proyecto	Proyecto de Salvamento Arqueológico, Tabuco APITUX	
	Sitio	Tabuco (Veracruz)	
	Clasificación cerámica		
	Ubicación en excavación	Entierro 34-Adulto, cuadrante 36-R	
FORMA	Parte de la pieza	Borde y cuello	
	Descripción	Borde evertido (50°) con labio adelgazado (3.5mm) y redondeado	
	Tipo de pieza	Cajete de cuerpo subglobular con diámetro de boca de 20 cm	
	Dimensiones del fragmento	43 mm x 35 mm	
PASTA	PARTÍCULAS MINERALES	Cantidad	50%
		Tamaño	Medias, finas y muy finas (entre 1.0 y 0.3 mm)
		Angulosidad	Angulares y subangulares
	NÚCLEO DE COCCIÓN	Composición	Minerales oscuros (40%) y claros (60%)
		Color (Munsell)	7.5YR7/1 (Light Gray)
		Posición	Centro (grosso 4.5 mm)
PASTA	Grosor	6.5 mm	
	Color (Munsell)	7.5YR 7/3 (Pink)	
	Matriz	Fina granular dura	
	Dureza (Escala Mohs)	>4	
SUPERFICIE	ACABADO	Interior	Alisado burdo
		Exterior	Alisado burdo con nube de cocción 5YR2.5/1 (Black)
		Erosión	5%
	DECORACIÓN	Técnica	Impresión burda con uña y dedo en cuello y cuerpo
		Motivo	Banda transversal en cara externa
			

FICHA DESCRIPTIVA DE LA CERÁMICA			
		Clave del material cerámico:	Clave de Laboratorio: TAB 5
CONTEXTO		Proyecto	Proyecto de Salvamento Arqueológico, Tabuco APITUX
		Sitio	Tabuco (Veracruz)
		Clasificación cerámica	
		Ubicación en excavación	Entierro 34-Adulto, cuadrante 36-R
FORMA		Parte de la pieza	Base
		Descripción	Fragmento irregular de base
		Tipo de pieza	Posiblemente se trata de un plato o bandeja
		Dimensiones del fragmento	62 mm x 56 mm
PASTA	PARTÍCULAS MINERALES	Cantidad	40%
		Tamaño	Muy finas (entre 0.4 y 0.2 mm)
		Angulosidad	Subangulares y subredondeadas
	NÚCLEO DE COCCIÓN	Composición	Minerales oscuros (20%) y claros (80%)
		Color (Munsell)	Sin núcleo de cocción
		Posición	Sin núcleo de cocción
PASTA		Grosor	6.5 mm
		Color (Munsell)	10YR8/2 (Very Pale Brown)
		Matriz	Muy fina friable
		Dureza (Escala Mohs)	>4
SUPERFICIE	ACABADO	Interior	Trazas de engobe
		Exterior	erosionado
		Erosión	98%
	DECORACIÓN	Técnica	Incisión media (1.2mm) en cara interna
		Motivo	Líneas paralelas y convergentes en "v"
			

FICHA DESCRIPTIVA DE LA CERÁMICA				
Clave del material cerámico:			Clave de Laboratorio: TAB 6	
CONTEXTO		Proyecto	Proyecto de Salvamento Arqueológico, Tabuco APITUX	
		Sitio	Tabuco (Veracruz)	
		Clasificación cerámica		
		Ubicación en excavación	Entierro-Infante, Cuadrante 38-Q	
FORMA		Parte de la pieza	Cuerpo	
		Descripción	Se trata de un fragmento irregular de figura o vasija figura (¿?) con enlucido de estuco en su cara externa	
		Tipo de pieza		
		Dimensiones del fragmento	72 mm x 31 mm	
PASTA	PARTÍCULAS MINERALES	Cantidad	40%	
		Tamaño	Muy finas (entre 0.3 y 0.2 mm)	
		Angulosidad	Subangulares y subredondeadas	
	NÚCLEO DE COCCIÓN	Composición	Minerales oscuros (20%) y claros (80%)	
		Color (Munsell)	7.5YR 7/4 (Pink)	
		Posición	Centro	
PASTA		Grosor	17.0 mm	
		Color (Munsell)	7.5YR 7/4 (Pink) y 2.5YR6/6 (Light red)	
		Matriz	Muy fina friable	
		Dureza (Escala Mohs)	>4	
SUPERFICIE	ACABADO	Interior	Alisado	
		Exterior	Enlucido de estuco	
		Erosión	70%	
	DECORACIÓN	Técnica	No se registra	
		Motivo		
				

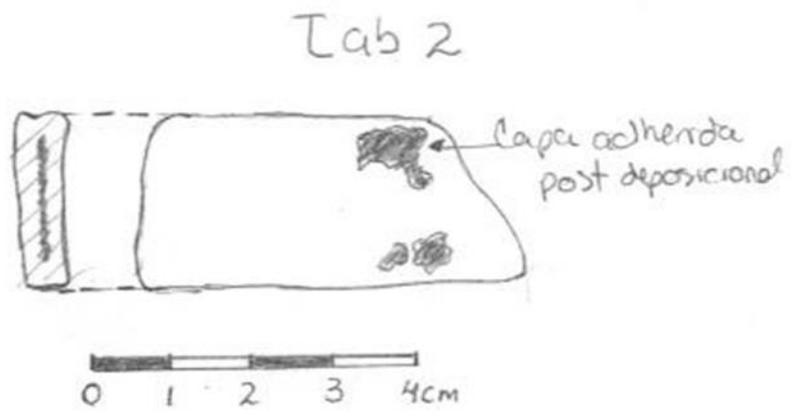
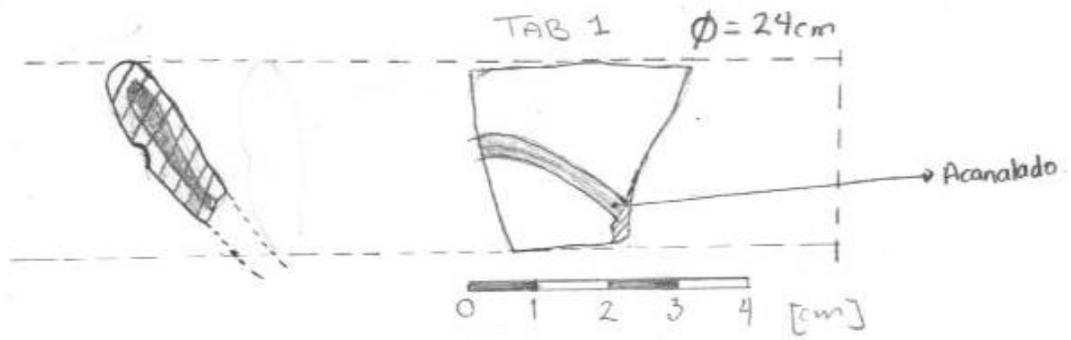
FICHA DESCRIPTIVA DE LA CERÁMICA			
Clave del material cerámico:		Clave de Laboratorio: TAB 7	
CONTEXTO	Proyecto	Proyecto de Salvamento Arqueológico, Tabuco APITUX	
	Sitio	Tabuco (Veracruz)	
	Clasificación cerámica		
	Ubicación en excavación	Entierro-Infante, Cuadrante 38-Q	
FORMA	Parte de la pieza	Borde - cuello y hombro	
	Descripción	Borde evertido (30°) engrosado (9.1mm) con labio redondeado	
	Tipo de pieza	Olla subglobular con diámetro de boca de 26 cm	
	Dimensiones del fragmento	64 mm x 63 mm	
PASTA	PARTÍCULAS MINERALES	Cantidad	50%
		Tamaño	Medias, finas y muy finas (entre 1.0 y 0.3 mm)
		Angulosidad	Angulares y subangulares
	NÚCLEO DE COCCIÓN	Composición	Minerales oscuros (20%) y claros (80%)
		Color (Munsell)	5YR2.5/1 (Black)
		Posición	Total
PASTA	Grosor	6.7 mm	
	Color (Munsell)	7.5YR 6/3 (Light Brown)	
	Matriz	Fina granular dura	
	Dureza (Escala Mohs)	>4	
SUPERFICIE	ACABADO	Interior	Pulido
		Exterior	Alisado burdo con nube de cocción 5YR2.5/1 (Black)
		Erosión	30%
	DECORACIÓN	Técnica	Sin decorado
		Motivo	
			

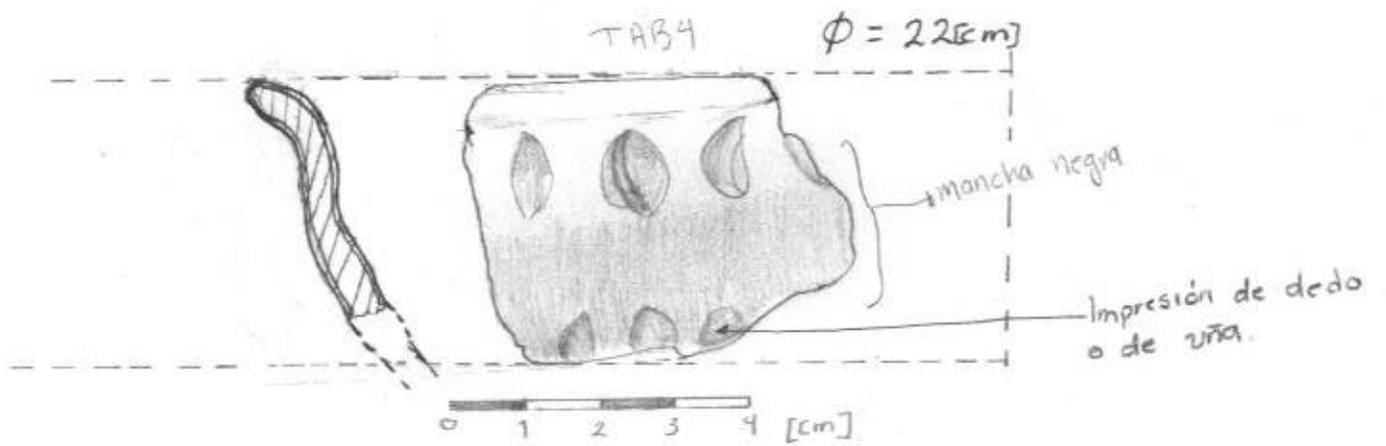
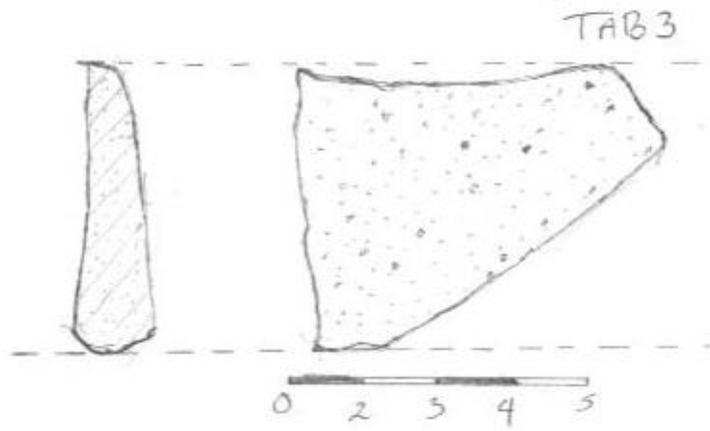
FICHA DESCRIPTIVA DE LA CERÁMICA			
		Clave del material cerámico:	Clave de Laboratorio: TAB 8
CONTEXTO		Proyecto	Proyecto de Salvamento Arqueológico, Tabuco APITUX
		Sitio	Tabuco (Veracruz)
		Clasificación cerámica	
		Ubicación en excavación	Basurero, Cuadrante 48-PRIMA, interior del muro
FORMA		Parte de la pieza	Borde y base
		Descripción	Borde evertido (15°) adelgazado (5.0mm) con labio redondeado
		Tipo de pieza	Plato pintado, pando, de base plana y 30 cm de diámetro
		Dimensiones del fragmento	90 mm x 77 mm
PASTA	PARTÍCULAS MINERALES	Cantidad	30%
		Tamaño	Extremadamente finas (entre 0.3 y 0.1 mm)
		Angulosidad	Angulares y subangulares
	NÚCLEO DE COCCIÓN	Composición	Minerales oscuros (80%) y claros (20%)
		Color (Munsell)	Sin núcleo de cocción
		Posición	
PASTA		Grosor	8.0 mm
		Color (Munsell)	2.5YR2/8 (Light red)
		Matriz	Muy fina friable
		Dureza (Escala Mohs)	>4
SUPERFICIE	ACABADO	Interior	Bruñido y engobe color 2.5YR4/8 (Red)
		Exterior	
		Erosión	10%
	DECORACIÓN	Técnica	Incisión media (2.5mm) en cara interna y pintura color 2.5YR3/2 (Dusky red) en ambas caras
		Motivo	Banda de líneas paralelas por sectores y líneas oblicuas convergentes en "V"
			

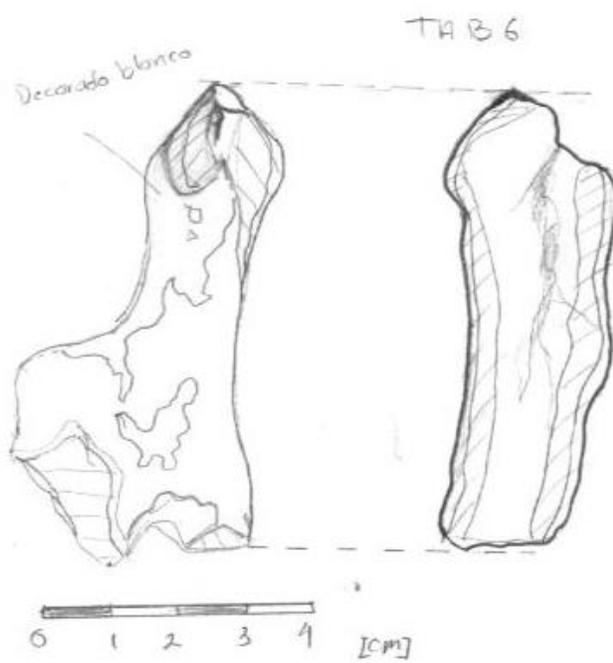
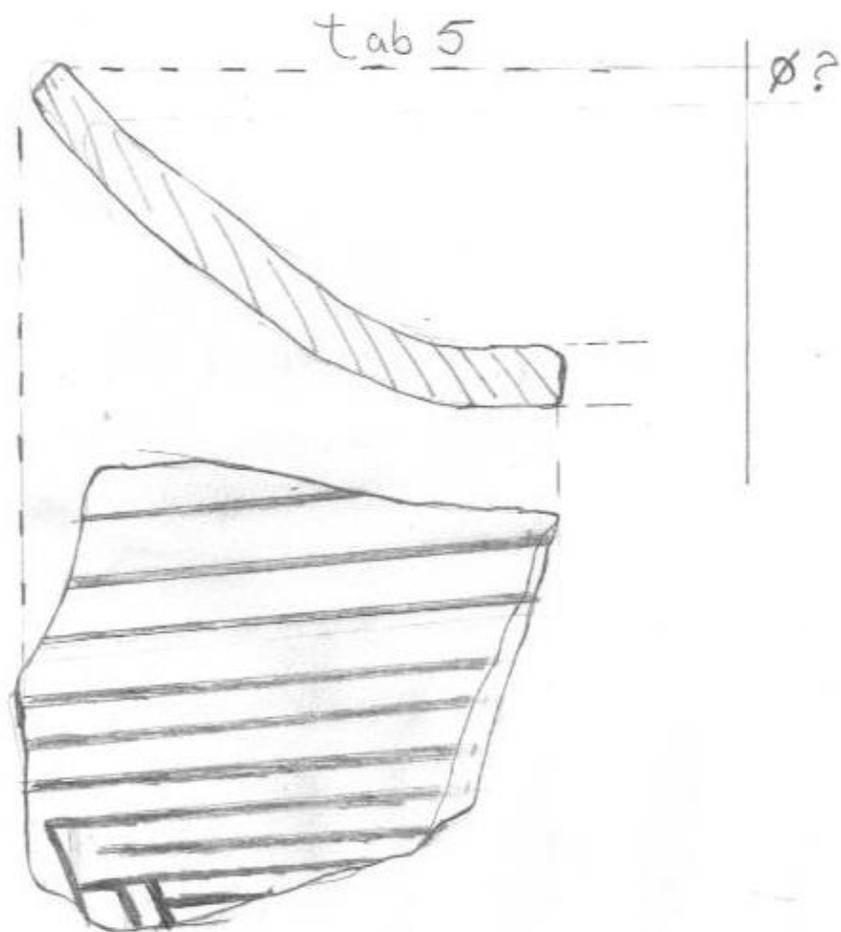
FICHA DESCRIPTIVA DE LA CERÁMICA			
Clave del material cerámico:		Clave de Laboratorio: TAB 9	
CONTEXTO	Proyecto	Proyecto de Salvamento Arqueológico, Tabuco APITUX	
	Sitio	Tabuco (Veracruz)	
	Clasificación cerámica		
	Ubicación en excavación	Basurero, Cuadrante 48-PRIMA, Interior del muro	
FORMA	Parte de la pieza	Borde y cuello	
	Descripción	Borde invertido (65°) adelgazado (3.5mm) con labio redondeado	
	Tipo de pieza	Cajete de cuerpo subglobular con diámetro de boca de 20 cm	
	Dimensiones del fragmento	78 mm x 29 mm	
PASTA	PARTÍCULAS MINERALES	Cantidad	40%
		Tamaño	Extremadamente finas (entre 0.3 y 0.1 mm)
		Angulosidad	Angulares y subangulares
	NÚCLEO DE COCCIÓN	Composición	Minerales oscuros (80%) y claros (20%)
		Color (Munsell)	Sin núcleo de cocción
		Posición	
PASTA	Grosor	7.0 mm	
	Color (Munsell)	7.5YR 7/4 (Pink)	
	Matriz	Muy fina friable	
	Dureza (Escala Mohs)	>4	
SUPERFICIE	ACABADO	Interior	Bruñido y engobe color 5YR3/1 (Very dark gray)
		Exterior	
		Erosión	30%
	DECORACIÓN	Técnica	Pintura color 5YR3/1 (Very dark gray) en cara externa entre labio y hombro
		Motivo	Bada con líneas paralelas verticales y media circunferencia

FICHA DESCRIPTIVA DE LA CERÁMICA			
		Clave del material cerámico:	Clave de Laboratorio: TAB 10
CONTEXTO		Proyecto	Proyecto de Salvamento Arqueológico, Tabuco APITUX
		Sitio	Tabuco (Veracruz)
		Clasificación cerámica	
		Ubicación en excavación	Basurero, Cuadrante 48-PRIMA, Interior del muro
FORMA		Parte de la pieza	Borde - cuerpo y base
		Descripción	Borde evertido (70°) adelgazado (6.0mm) con labio redondeado
		Tipo de pieza	Plato hondo con boca de 28 cm de diámetro
		Dimensiones del fragmento	41 mm x 36 mm
PASTA	PARTÍCULAS MINERALES	Cantidad	50%
		Tamaño	Medias, finas y muy finas (entre 1.0 y 0.3 mm)
		Angulosidad	Angulares y subangulares
	NÚCLEO DE COCCIÓN	Composición	Minerales oscuros (80%) y claros (20%)
		Color (Munsell)	Sin núcleo de cocción
		Posición	
PASTA		Grosor	7.5 mm
		Color (Munsell)	10YR8/3 (Very Pale Brown)
		Matriz	Fina friable
		Dureza (Escala Mohs)	>4
SUPERFICIE	ACABADO	Interior	Bruñido y engobe color 7.5YR5/6 (Strong Brown)
		Exterior	
		Erosión	50%
	DECORACIÓN	Técnica	Incisión acanalada (2.4mm) en cara externa
		Motivo	Línea curva
			

DIBUJO ARQUEOLÓGICO

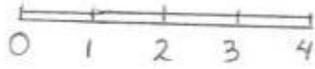
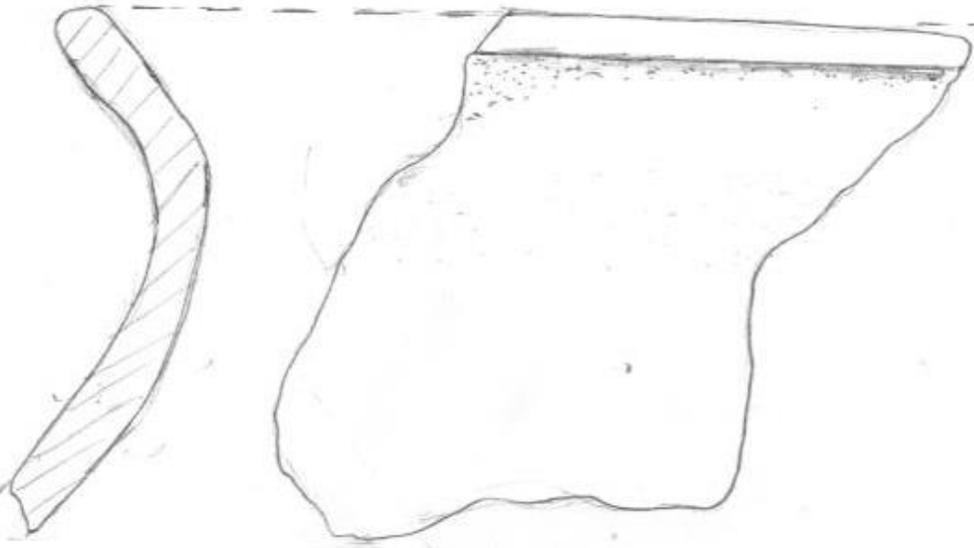


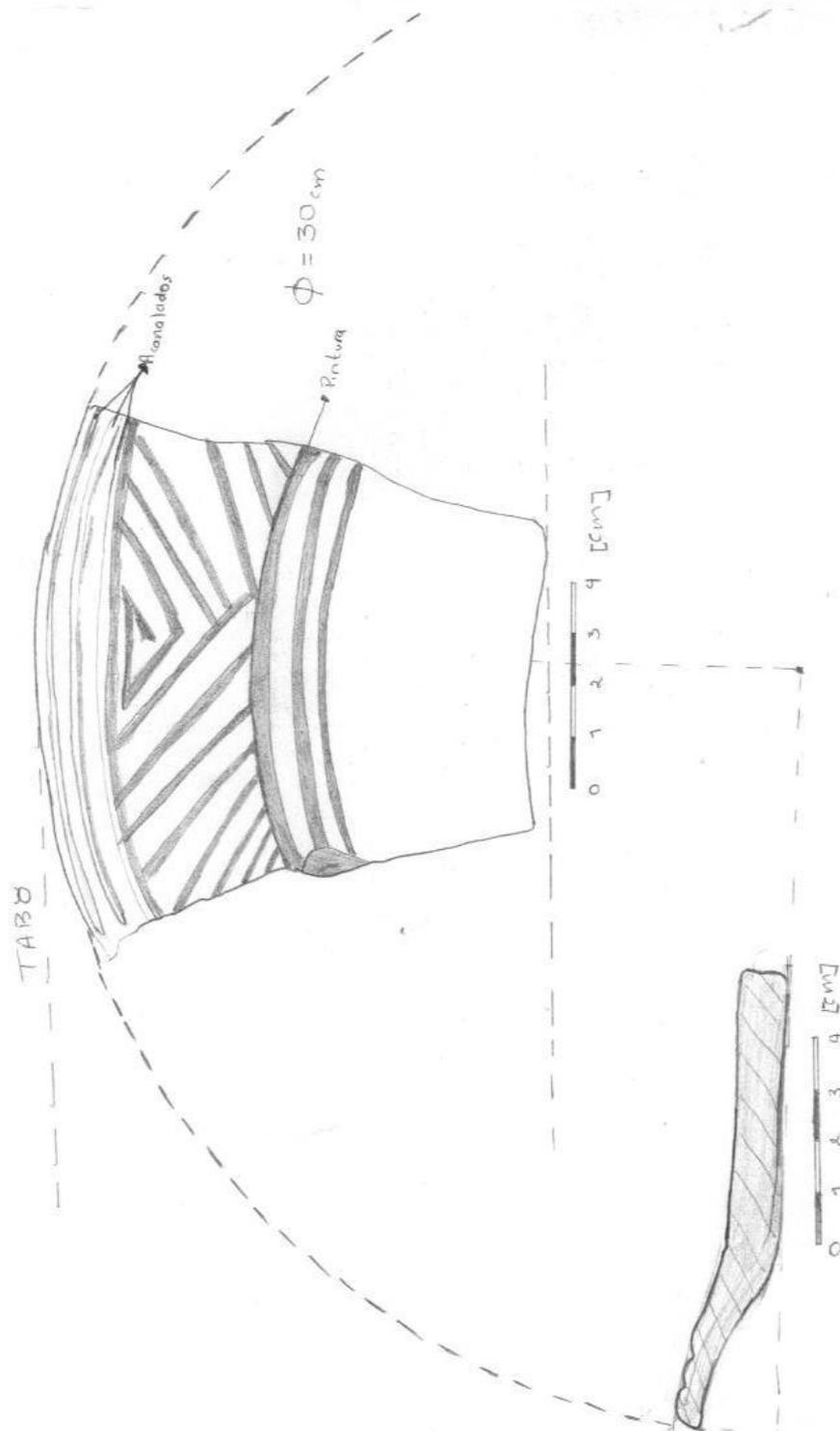




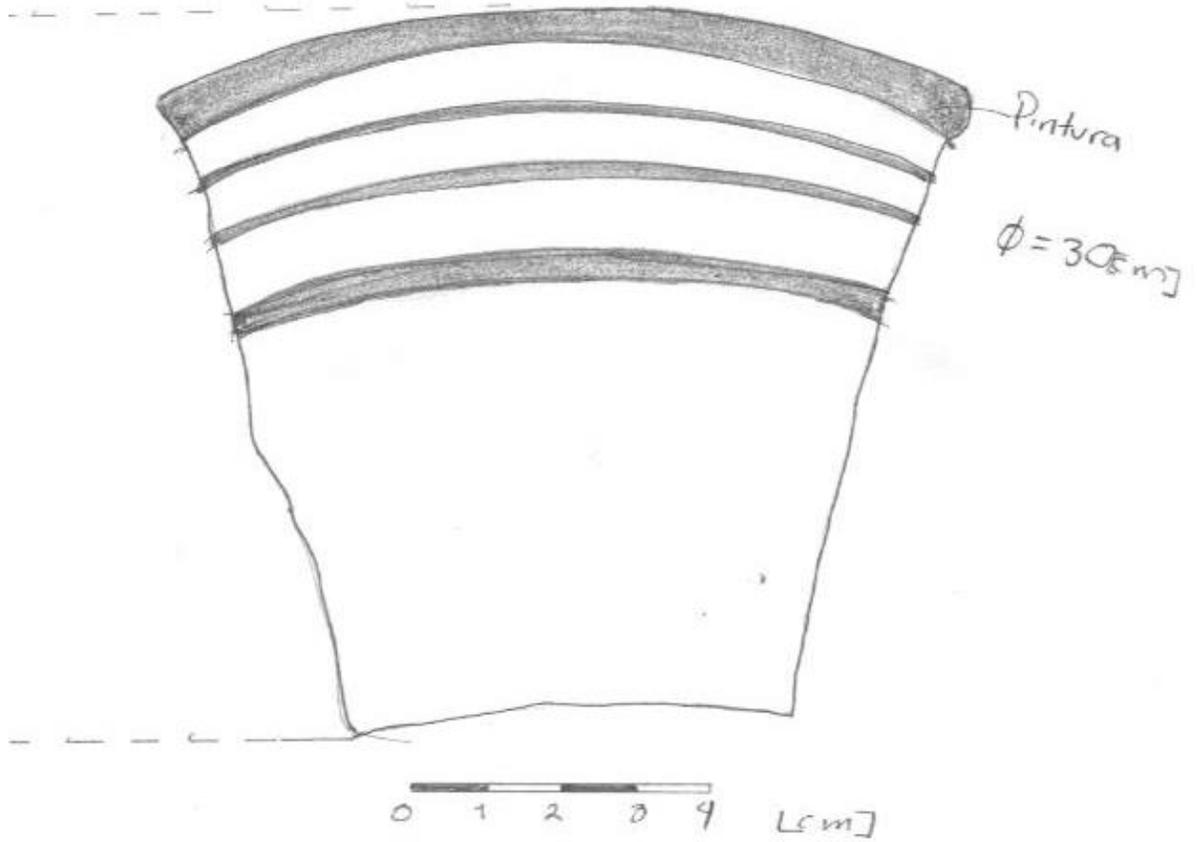
tab 7

∅ 26

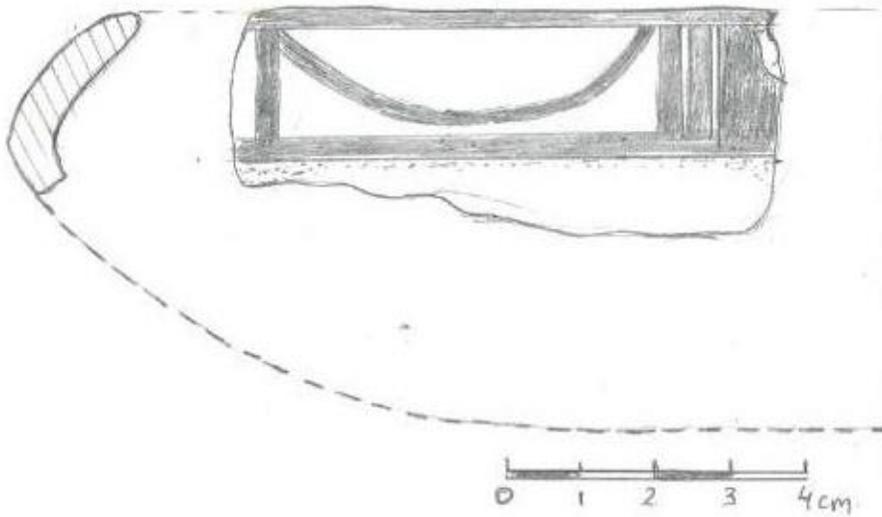




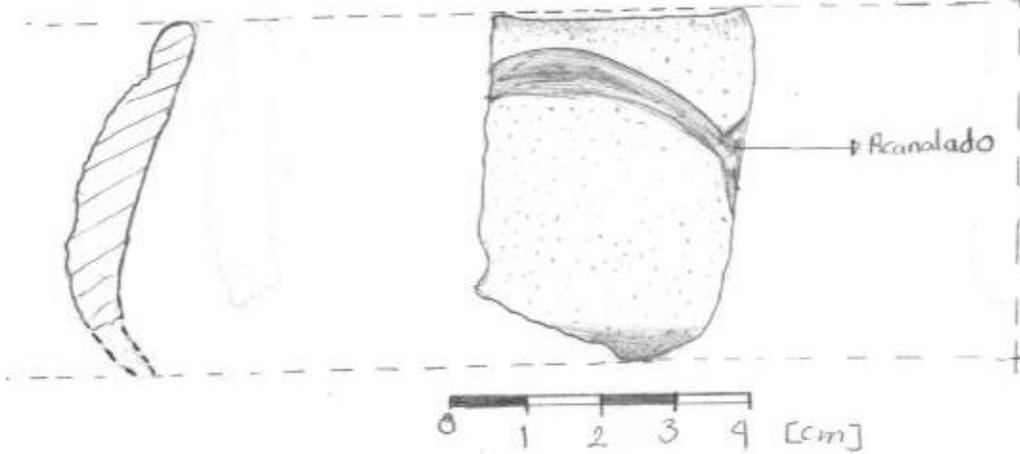
TAB 8 parte trasera.



Tab 9

 $\varnothing 20 \text{ cm}$ 

TAB 10

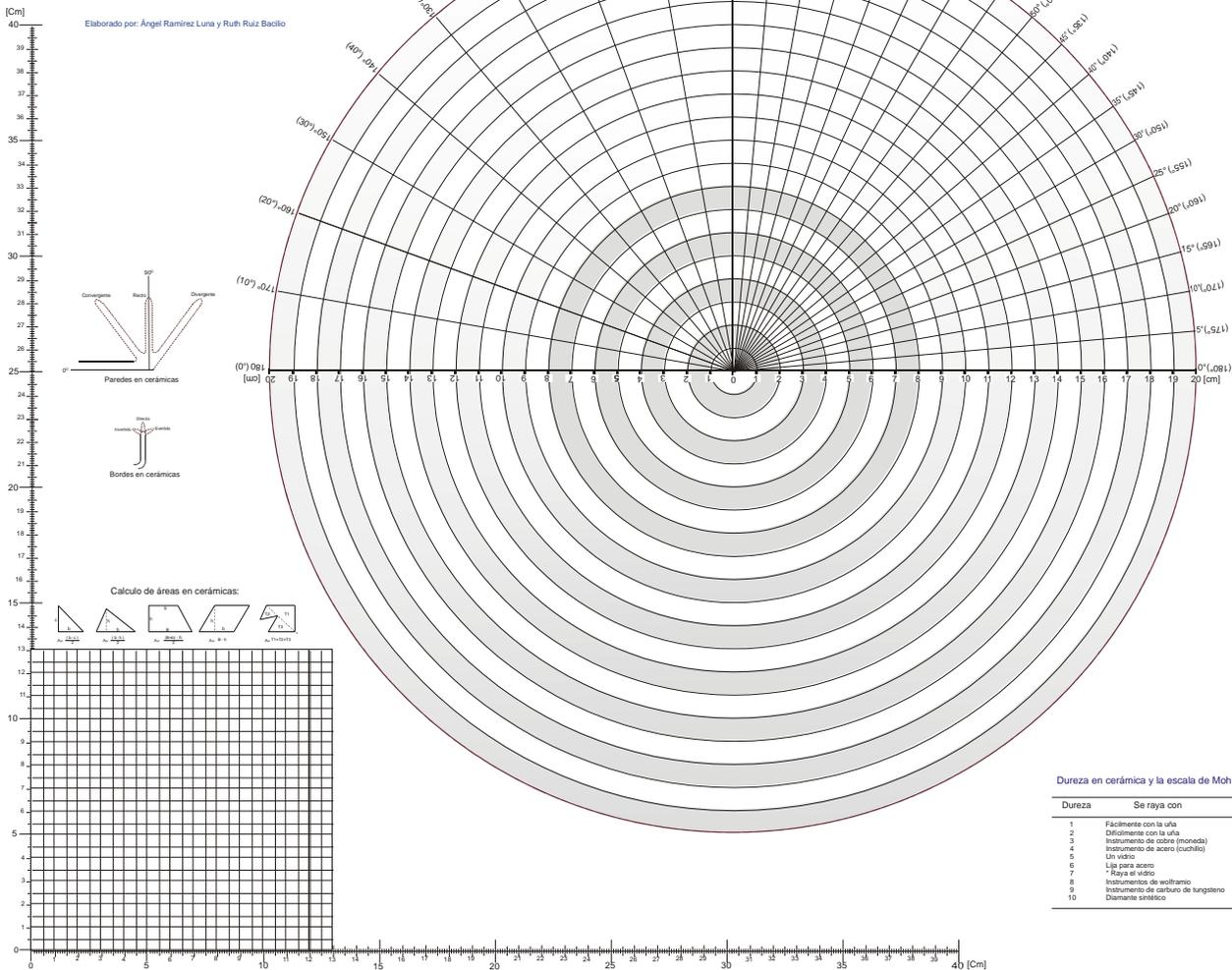
 $\varnothing = 24 \text{ [cm]}$ 

9. ANEXO B.



Laboratorio de Termoluminiscencia (TL)
 Datación Arqueológica y Geológica
 Instituto de Geofísica
 Universidad Nacional Autónoma de México
 Ciudad Universitaria, México, D.F.
 Teléfono: 56 22 42 19
 Email: rangoel@geofisica.unam.mx

Diagrama para Calcular Diámetros y Ángulos en Cerámicas



10. ANEXO C.

Imágenes composicionales y espectros de las muestras cerámicas del sitio de Tabuco V

Este anexo presenta imágenes composicionales y espectros de algunas de las muestras cerámicas analizadas por microscopía electrónica de barrido y descritas en la sección 5.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS POR MEB.

Figura C-1. Imagen composicional TAB1

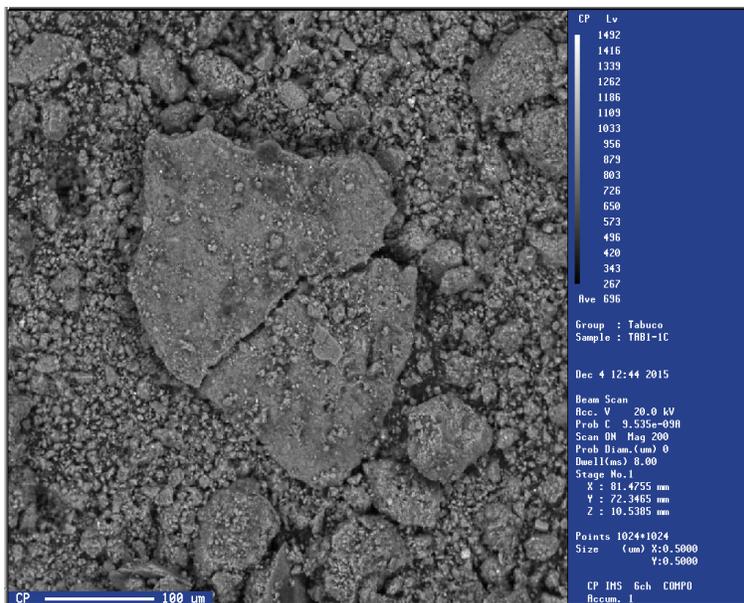


Figura C-2. Imagen composicional TAB2

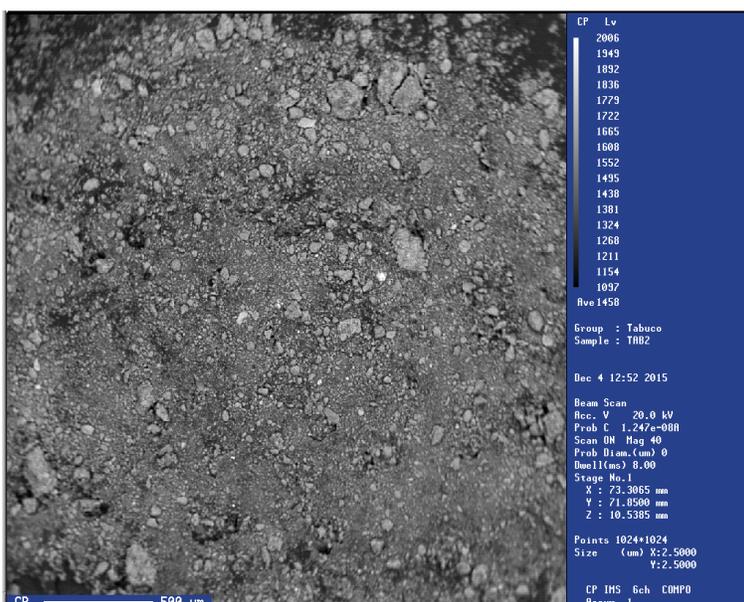


Figura C-3. Imagen composicional TAB3

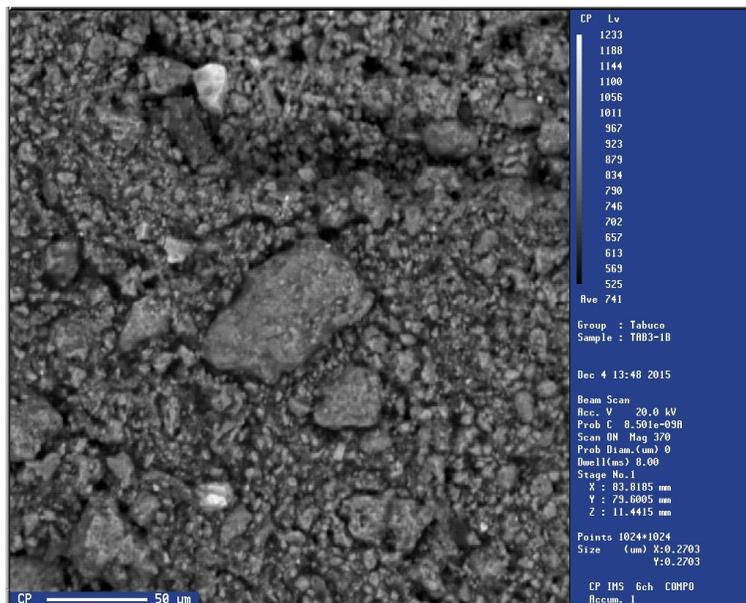


Figura C-4. Imagen composicional TAB4

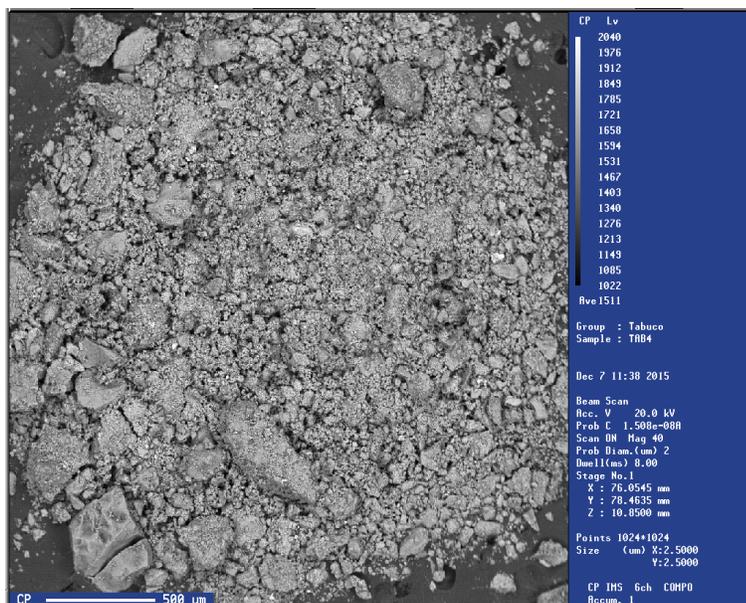


Figura C-5. Imagen composicional TAB5

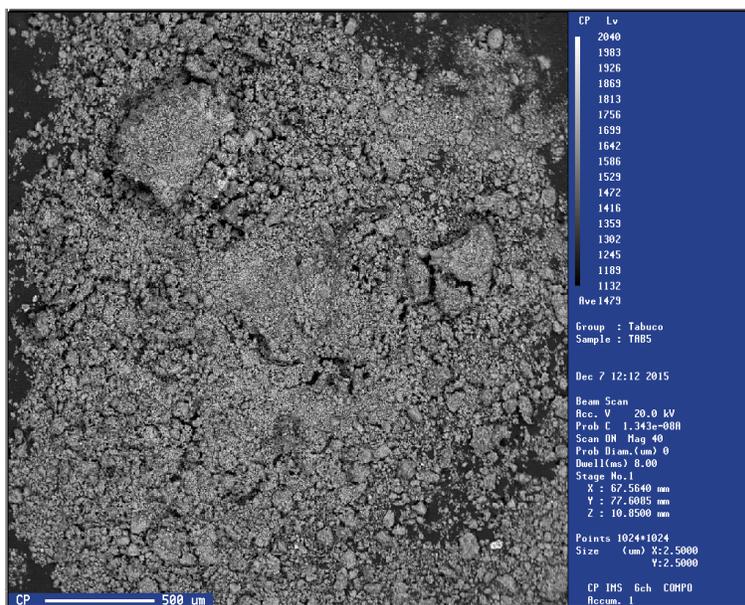


Figura C-6. Imagen composicional TAB6

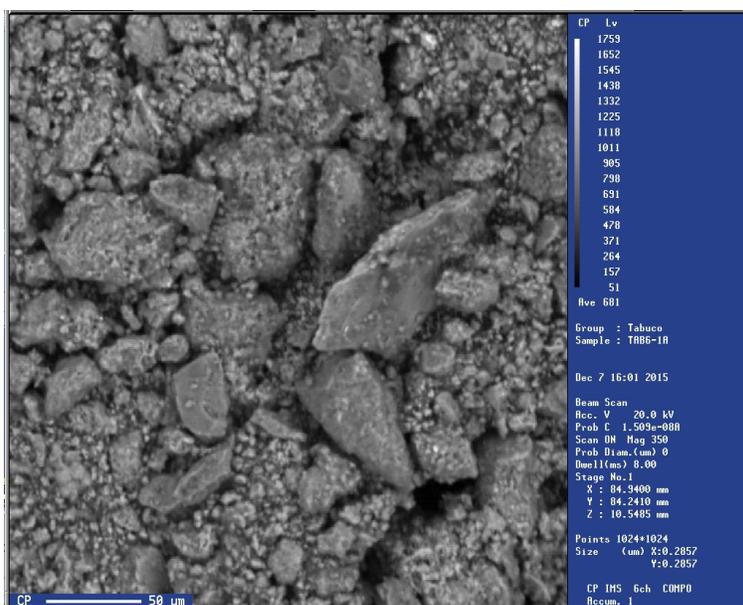
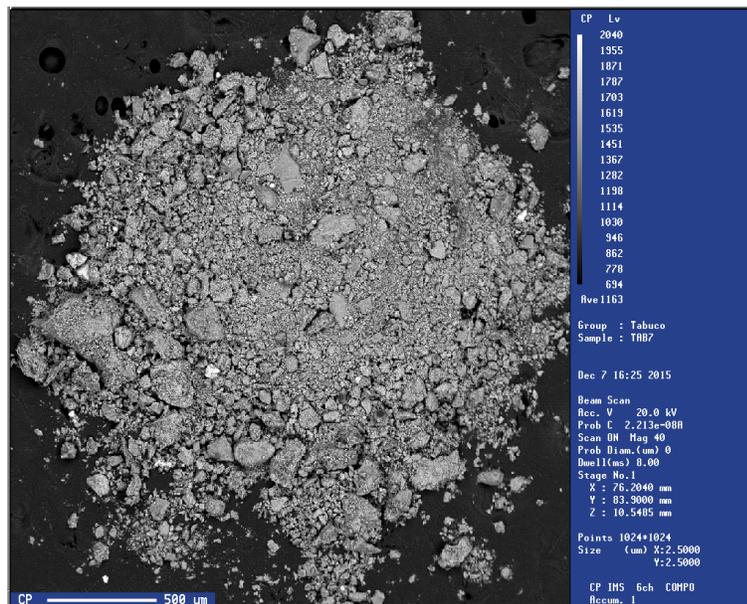


Figura C-7. Imagen composicional TAB7

Durante el análisis de la microscopía electrónica, seleccionamos algunos puntos en la muestra a criterio del especialista en minerales, mismos que se tomaron como referencia para la determinación de minerales, aquí se presentan algunos de los espectros obtenidos:

Figura C-8. FELDESPATO (TAB1-ESP1)

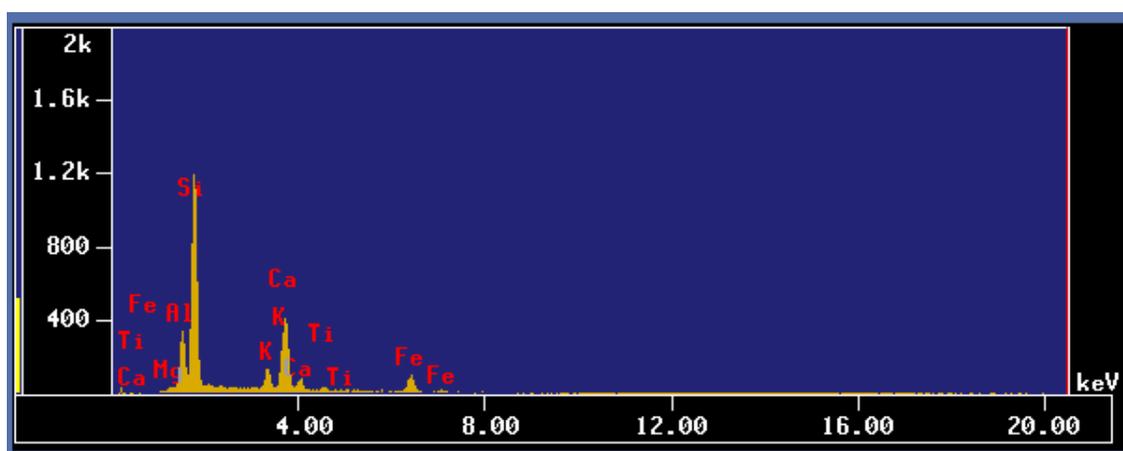


Figura C-9. CLINOPIROXENO (TAB1-ESP2)

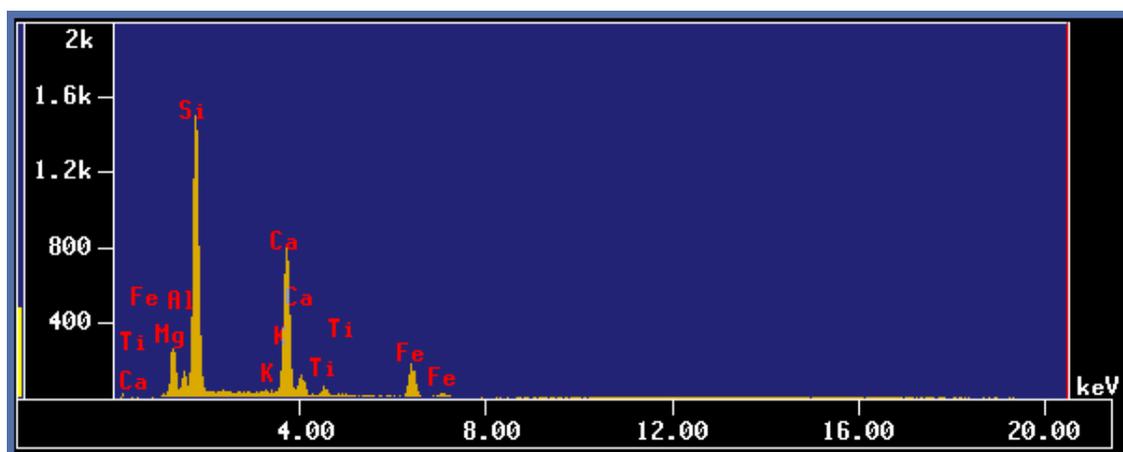


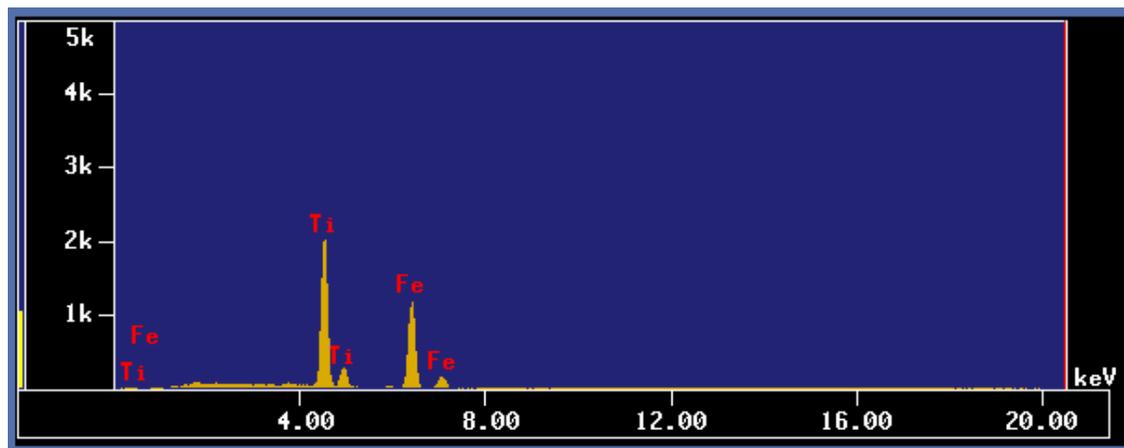
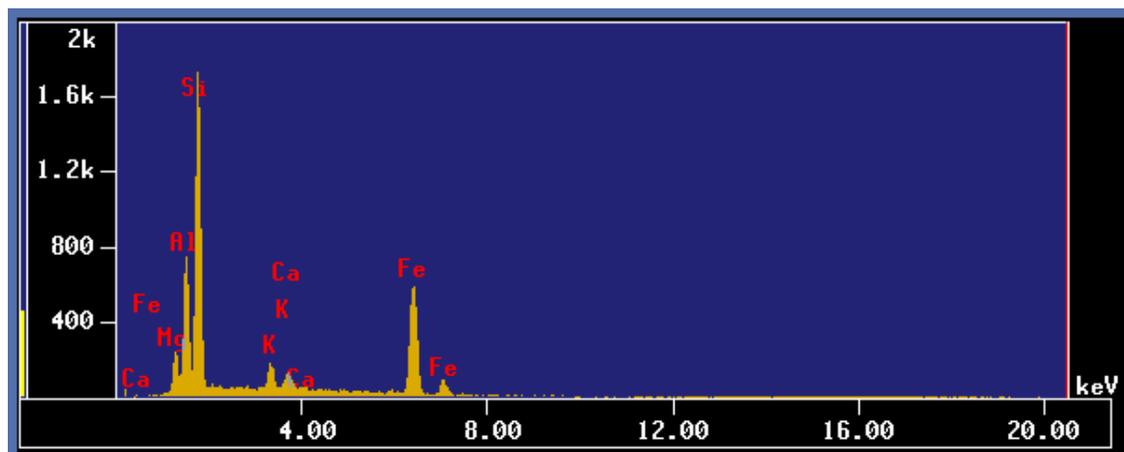
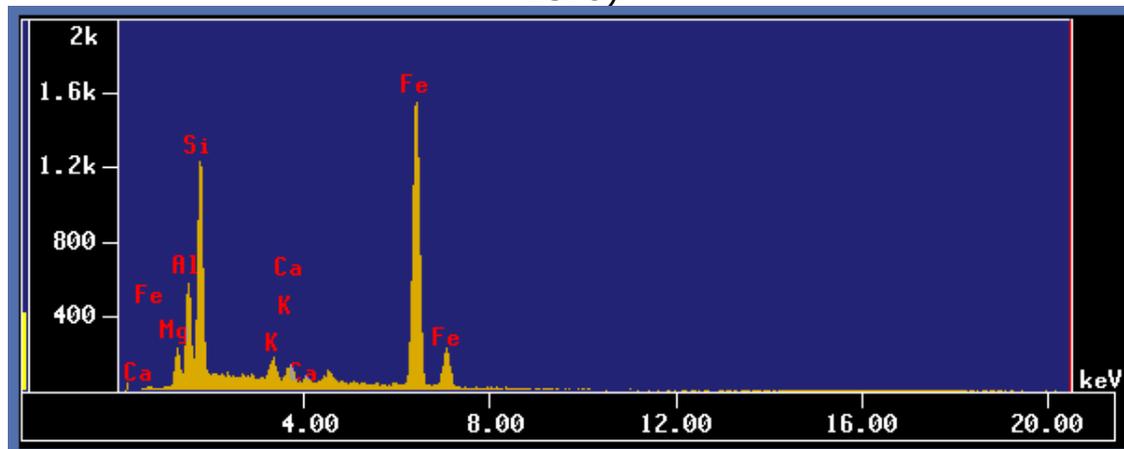
Figura C-10. ILMENITA (TAB1-ESP3)**Figura C-11. FELDESPATO (TAB2-ESP2)****Figura C-12. CLORITA CON EXCEDENTE ANÓMALO DE HIERRO (TAB2-ESP3)**

Figura C-13. CUARZO (TAB2-ESP4)

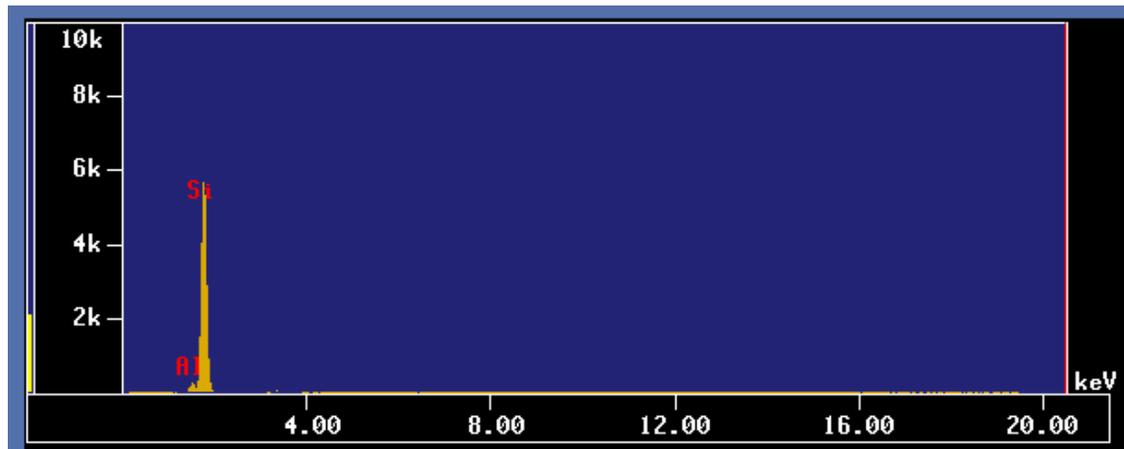


Figura C-14. CLINOPIROXENO (TAB3-ESP1)

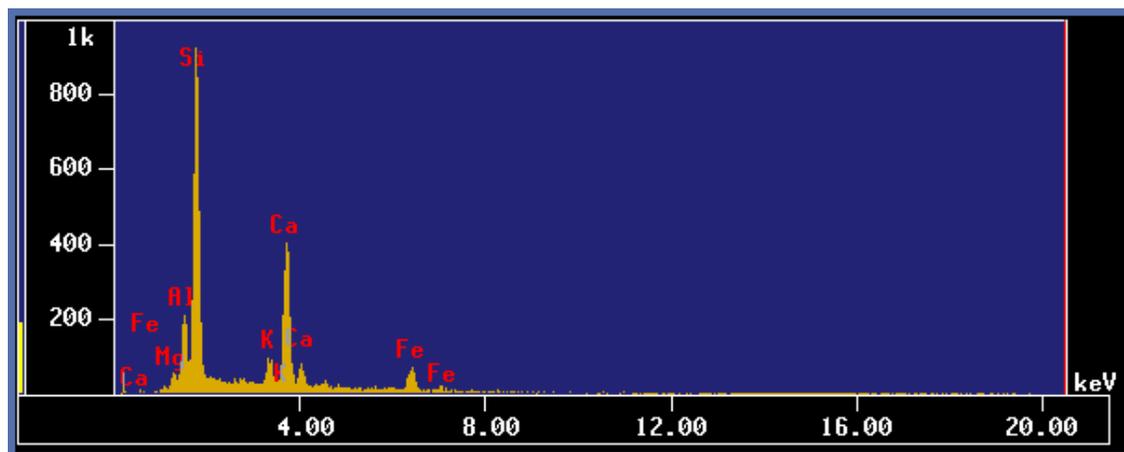


Figura C-15. MONACITA EN COMBINACIÓN CON SILICOALUMINATO DE CALCIO Y POTASIO (TAB3-ESP2)

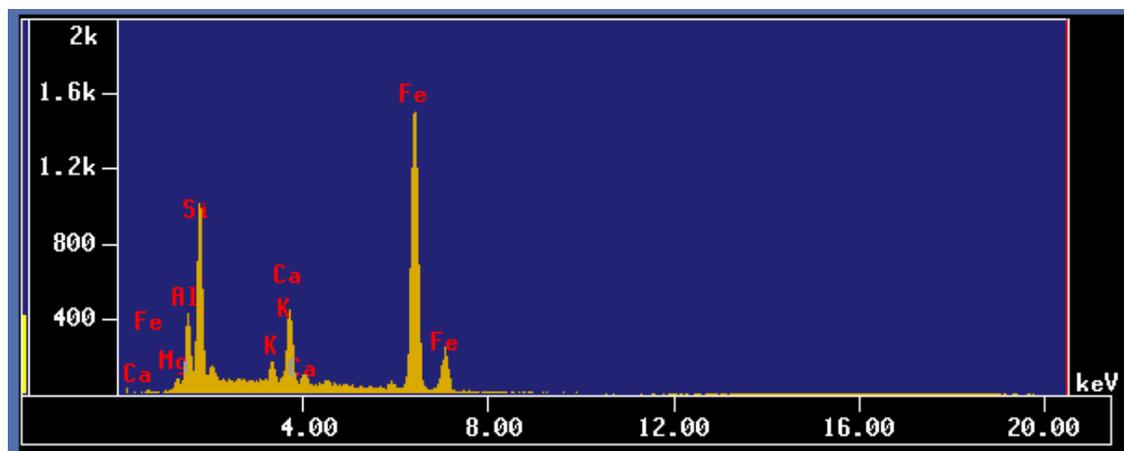


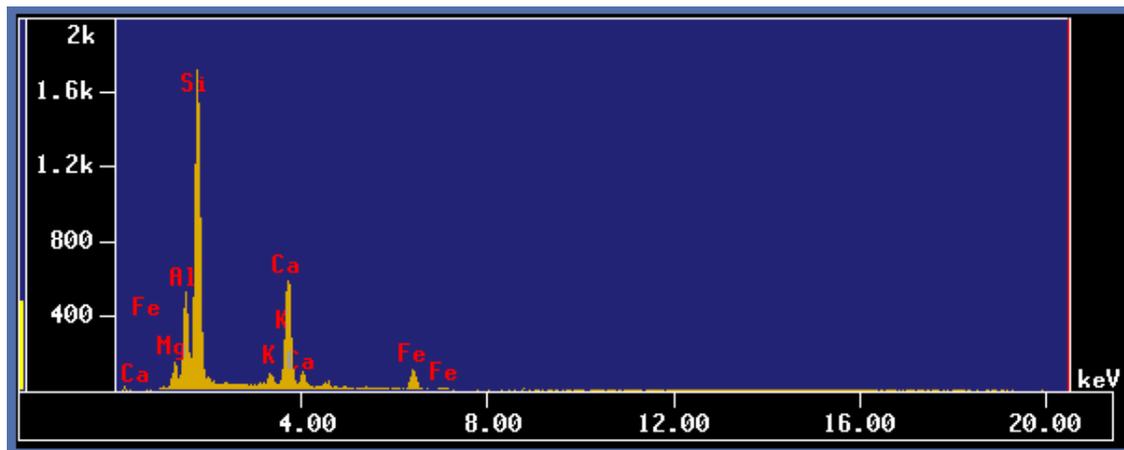
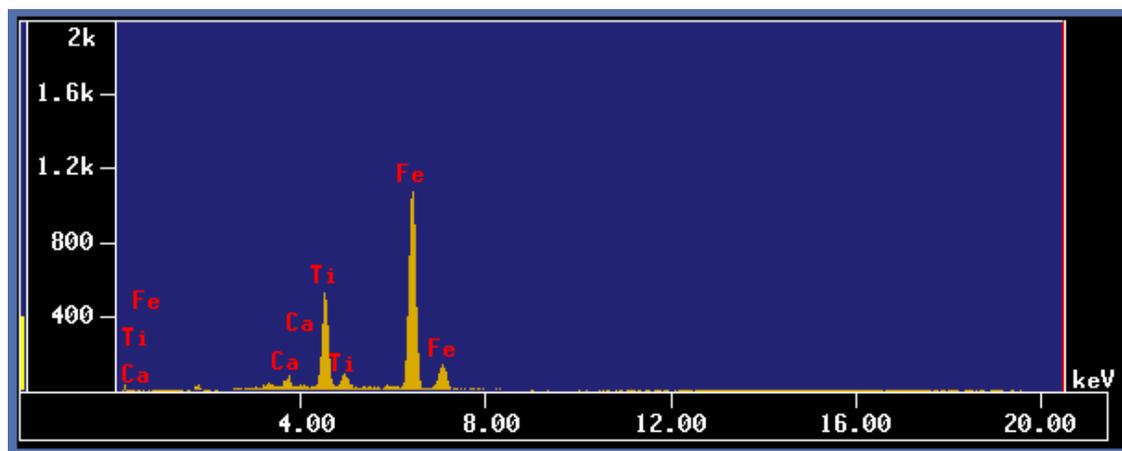
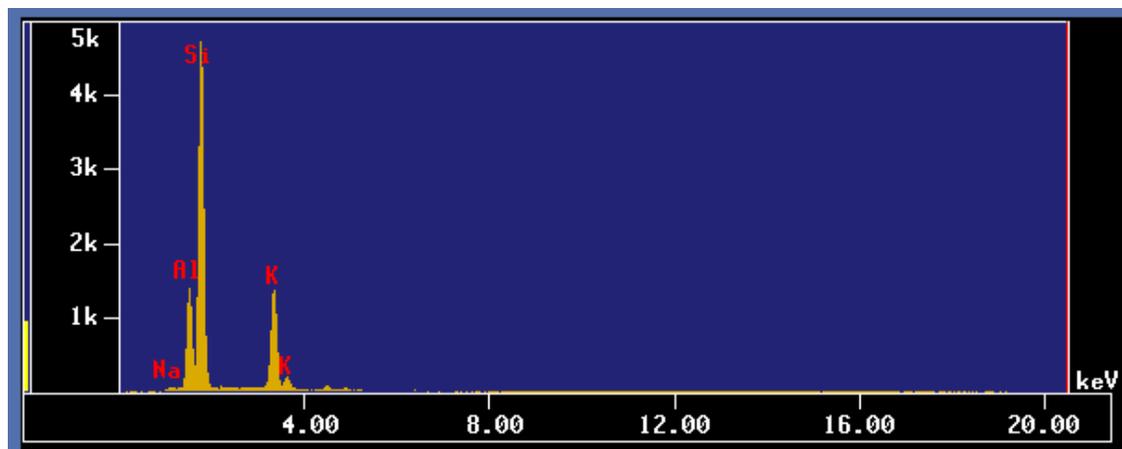
Figura C-16. CLINOPIROXENO (TAB3-ESP3)**Figura C-17.** TITANOMAGNETITA (TAB3-ESP4)**Figura C-18.** FELDESPATO POTÁSICO (TAB4-ESP1)

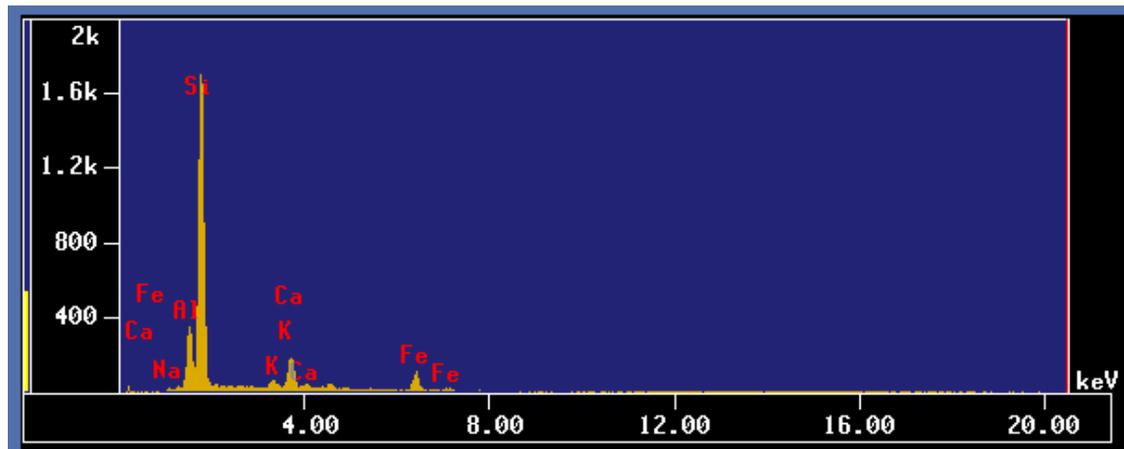
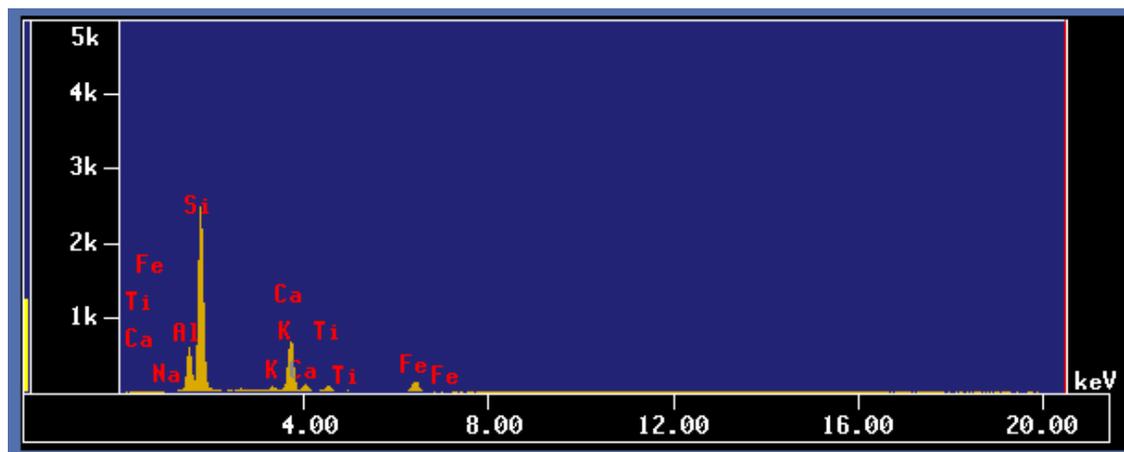
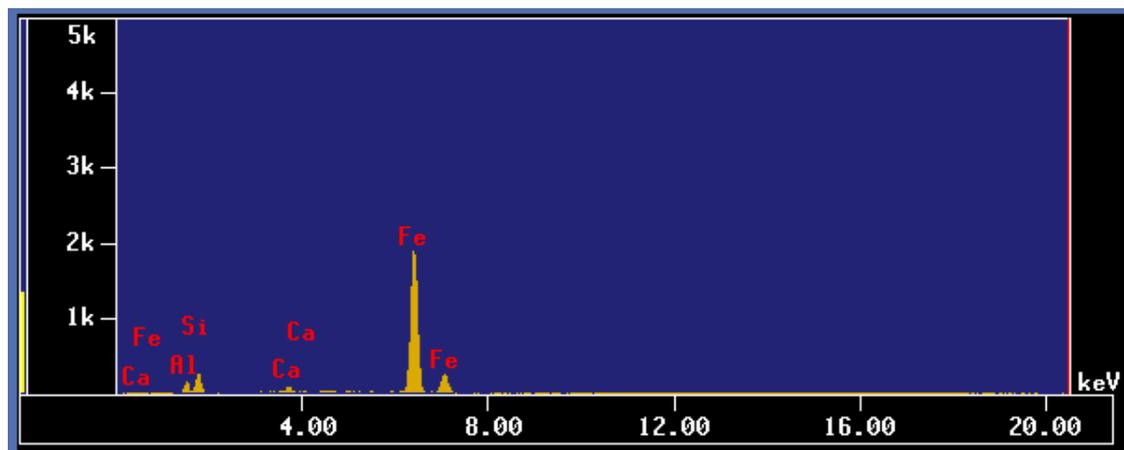
Figura C-19. VIDRIO (TAB4-ESP2)**Figura C-20.** PLAGIOCLASA (TAB4-ESP3)**Figura C-21.** MAGNETITA (TAB4-ESP4)

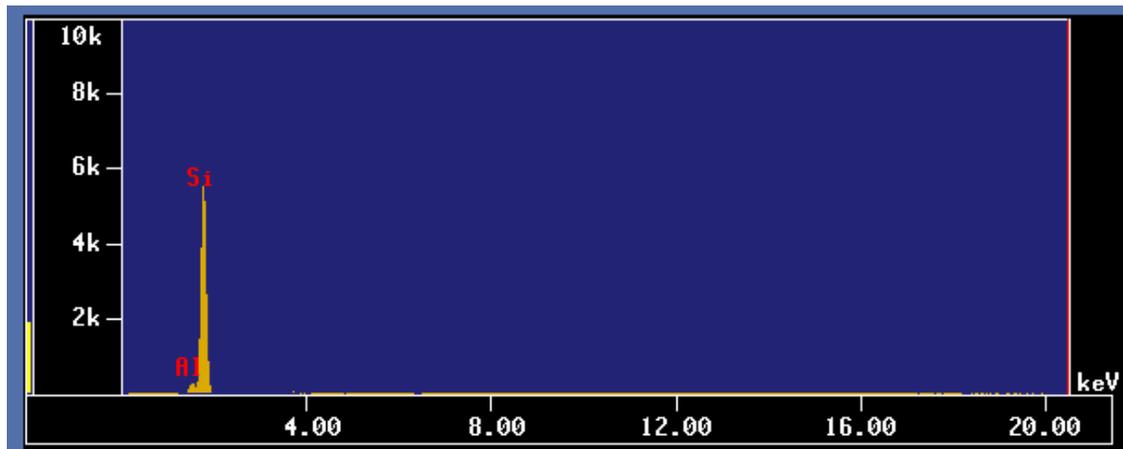
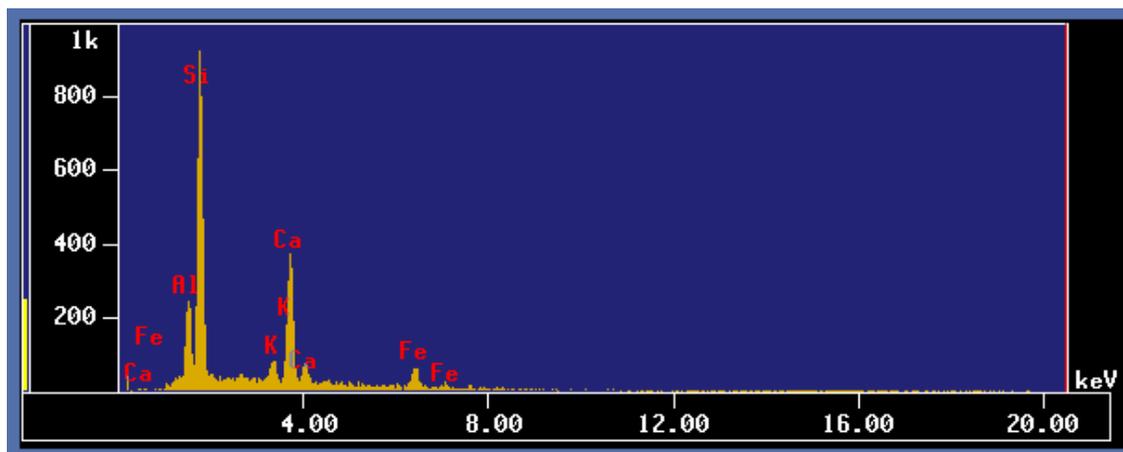
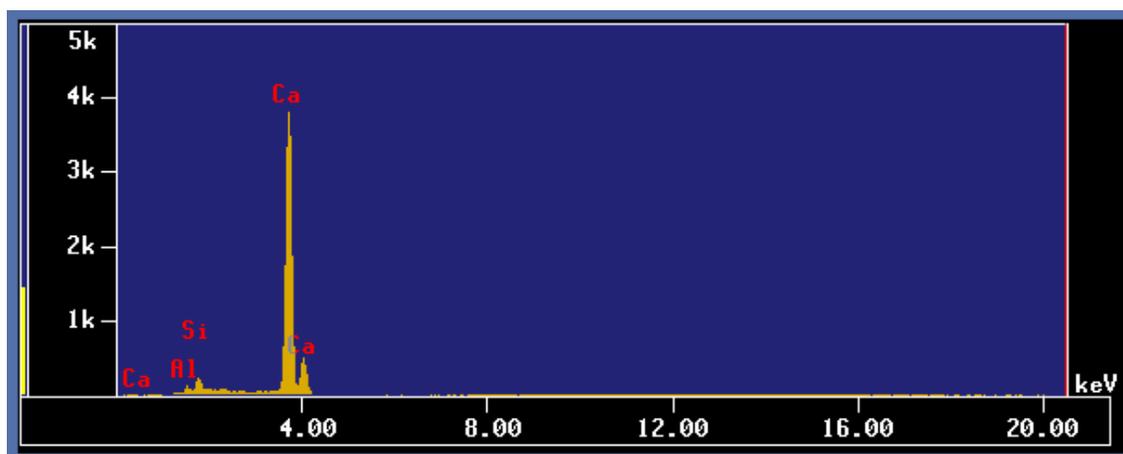
Figura C-22. CUARZO (TAB4-ESP5)**Figura C-23. CLINOPIROXENO (TAB5-ESP1)****Figura C-24. CARBONATO DE CALCIO Ó CALCITA (TAB5-ESP2)**

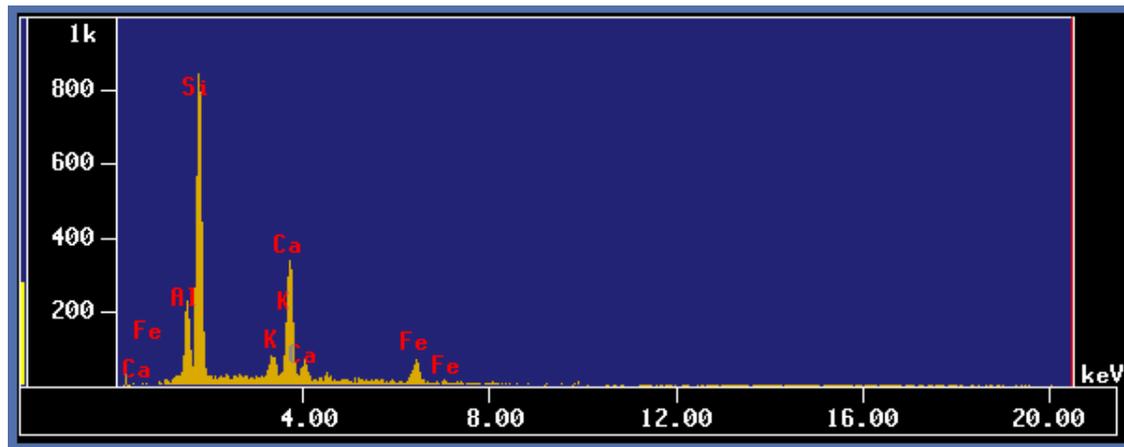
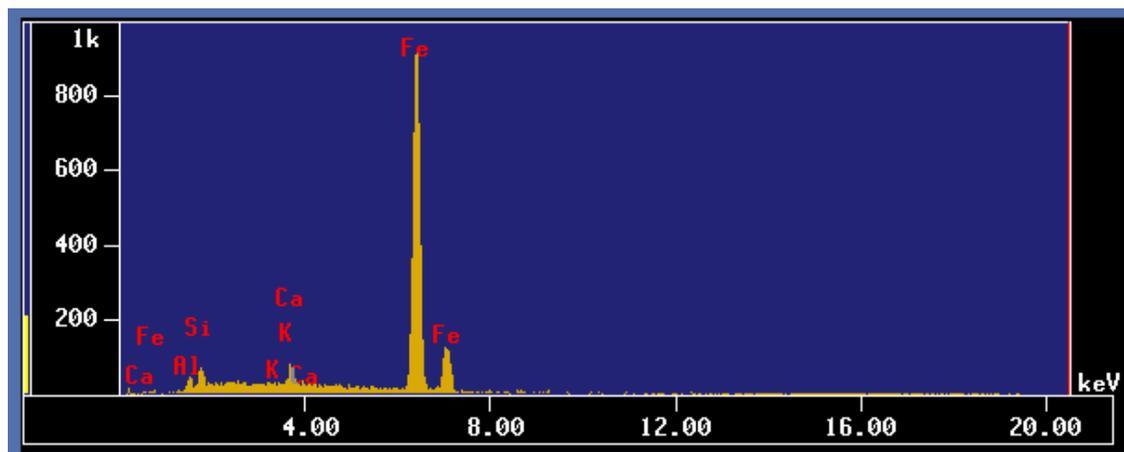
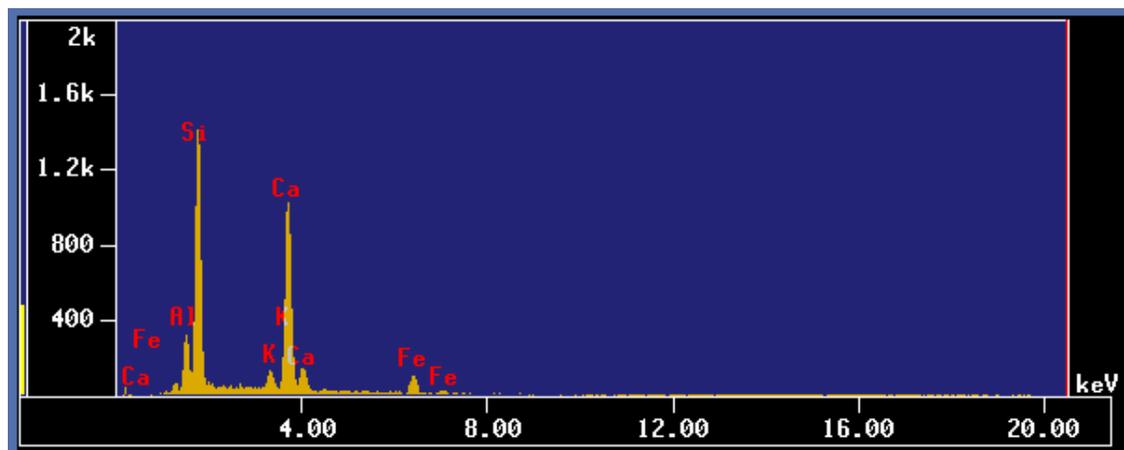
Figura C-25. CLINOPIROXENO (TAB5-ESP4)**Figura C-26. MAGNETITA (TAB5-ESP5)****Figura C-27. CLINOPIROXENO (TAB6-ESP1)**

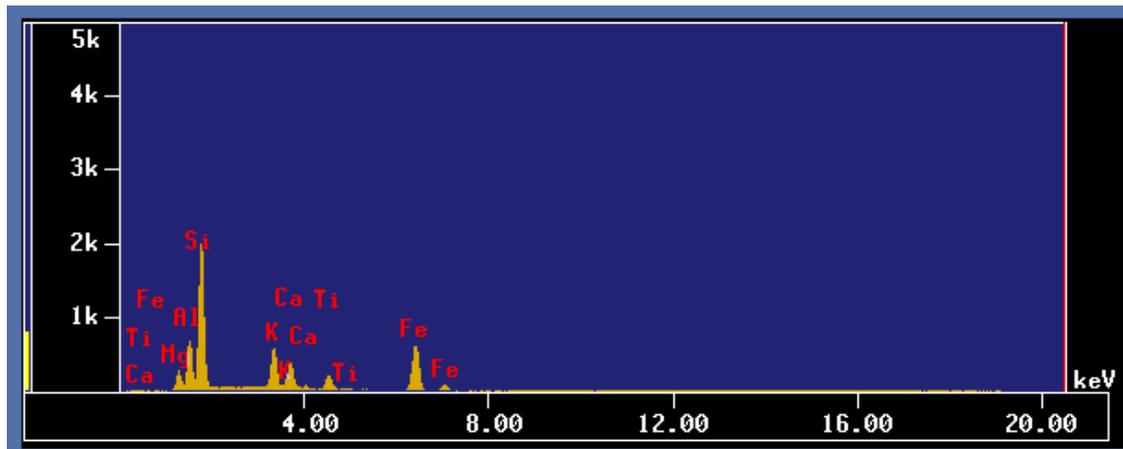
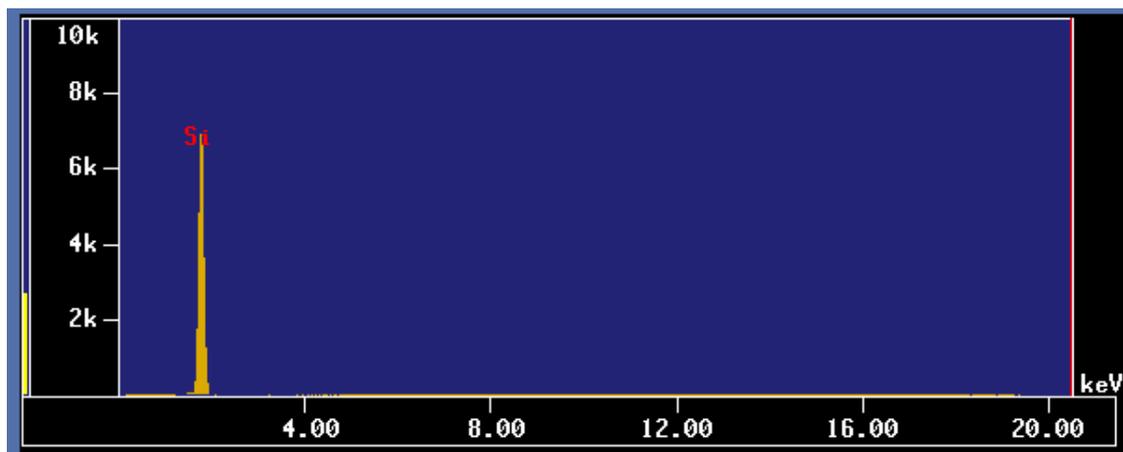
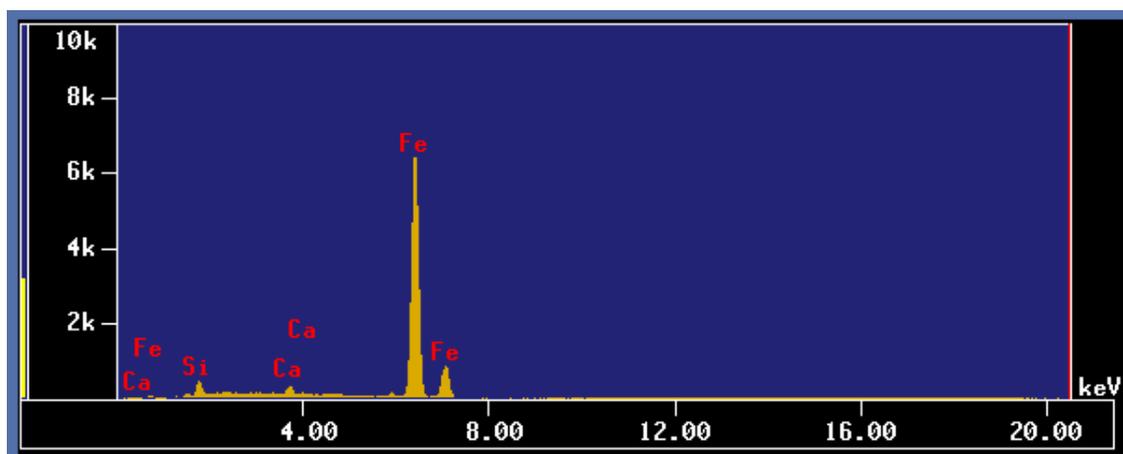
Figura C-28. FELDESPATO (TAB6-ESP3)**Figura C-29. CUARZO (TAB6-ESP4)****Figura C-30. MAGNETITA (TAB6-ESP5)**

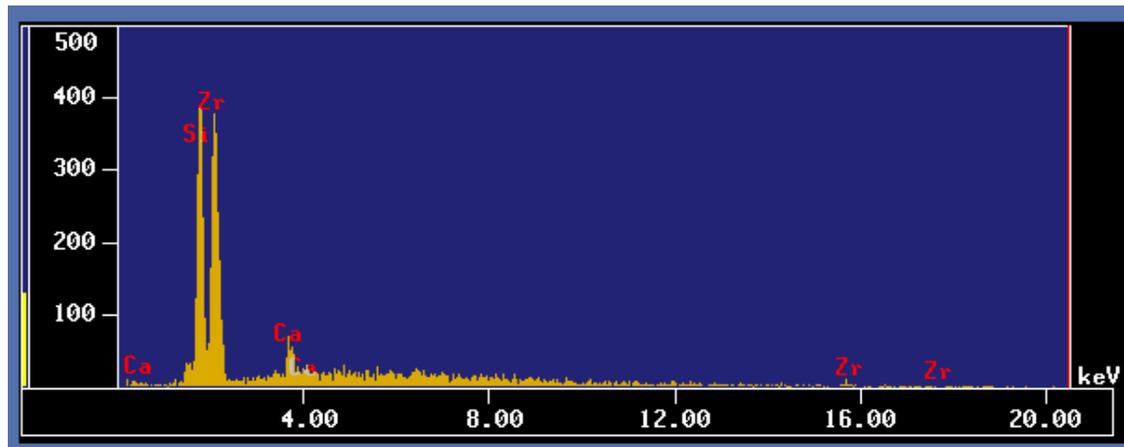
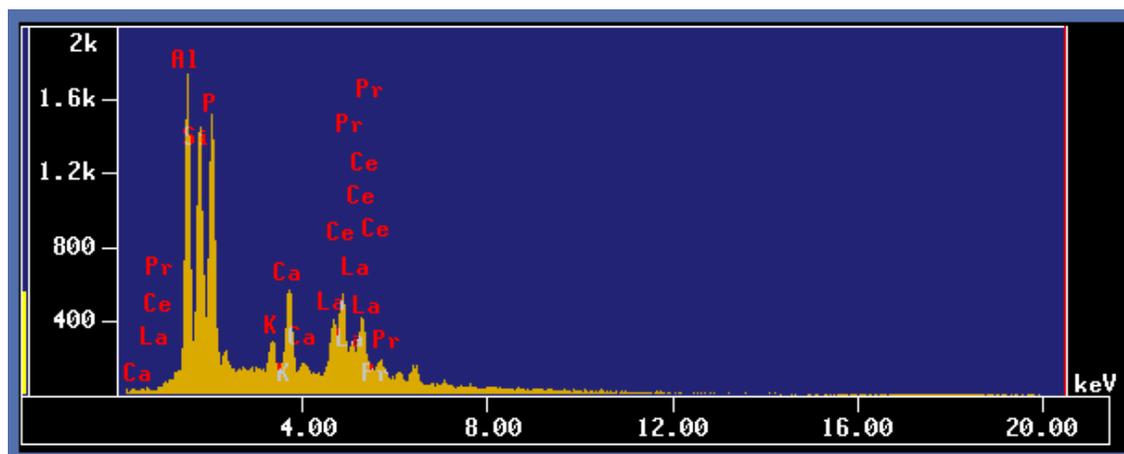
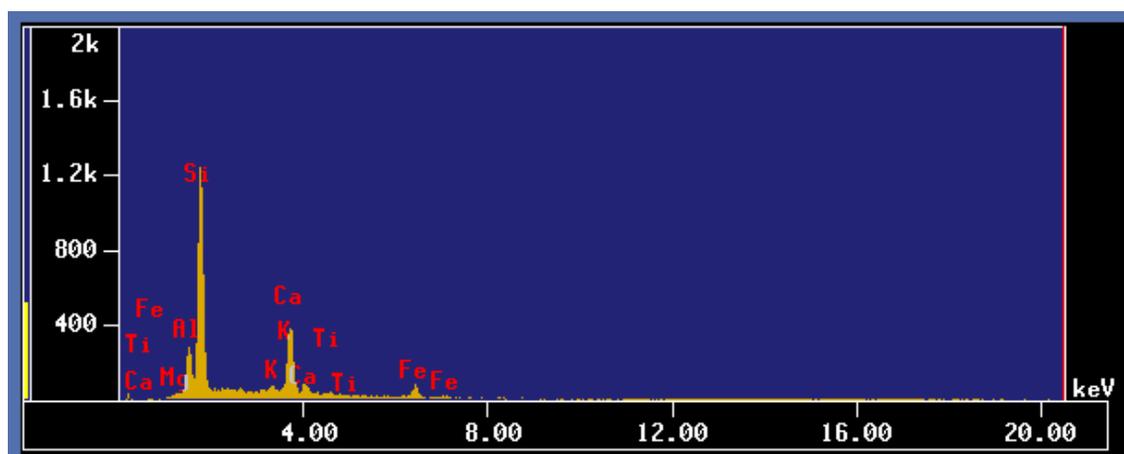
Figura C-31. ZIRCONIA (TAB6-ESP6)**Figura C-32.** FOSFATO DE TIERRAS RRARAS/MONAZITA (TAB6-ESP7)**Figura C-33.** PLAGIOCLASA (TAB7-ESP1)

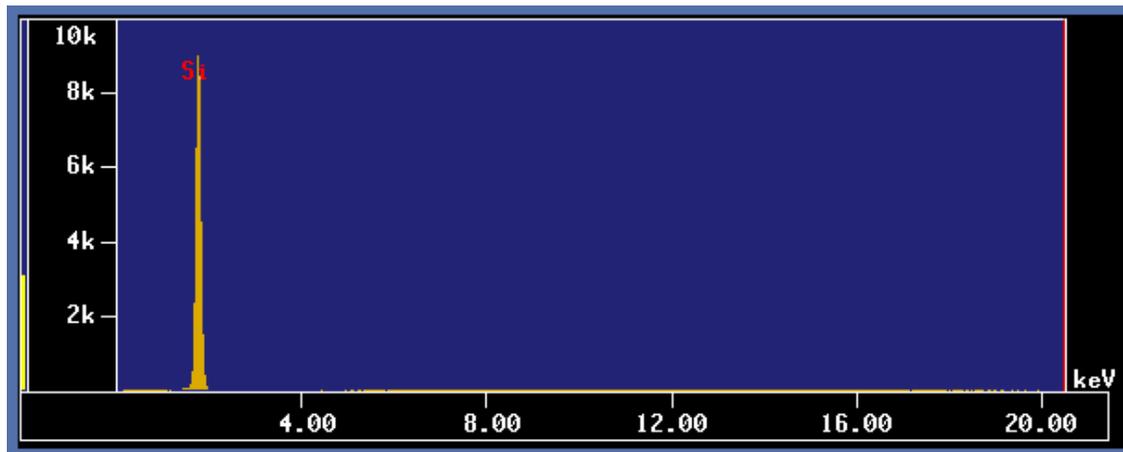
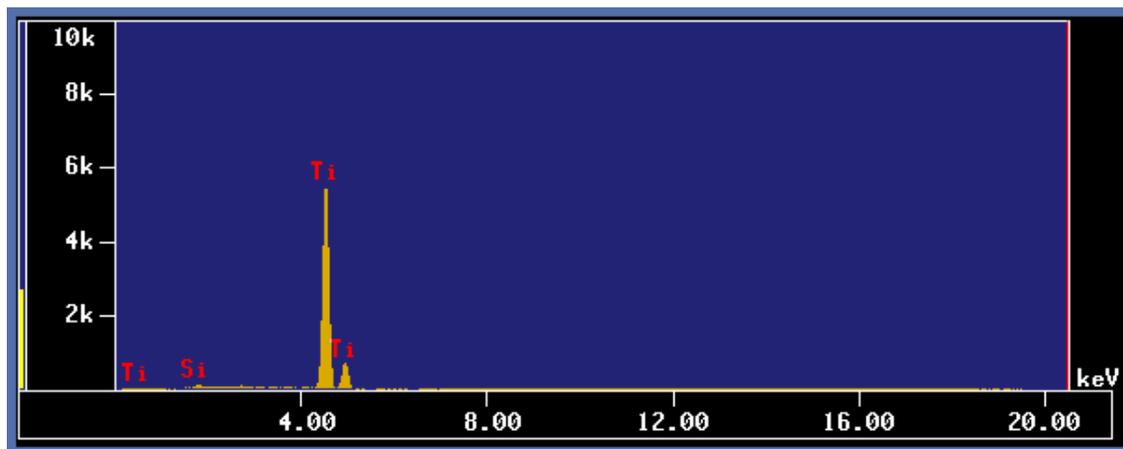
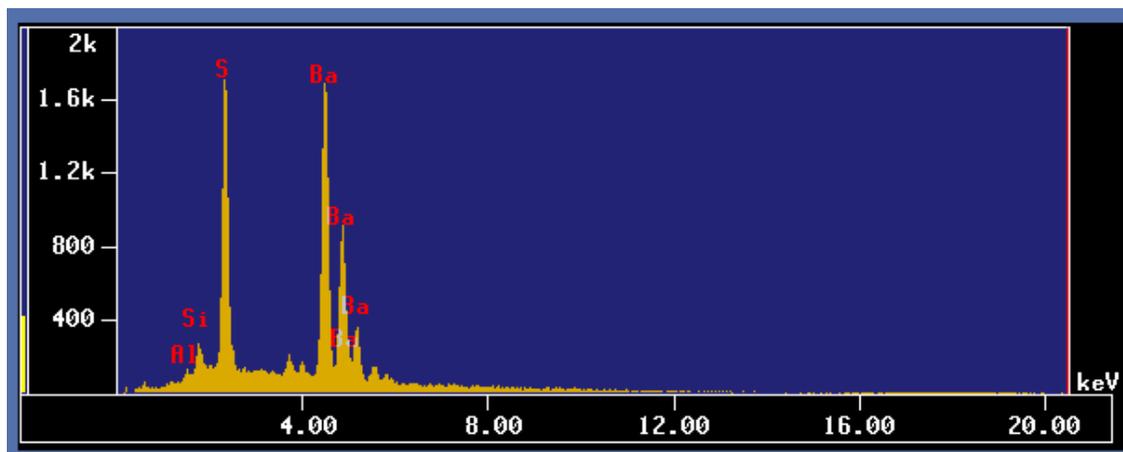
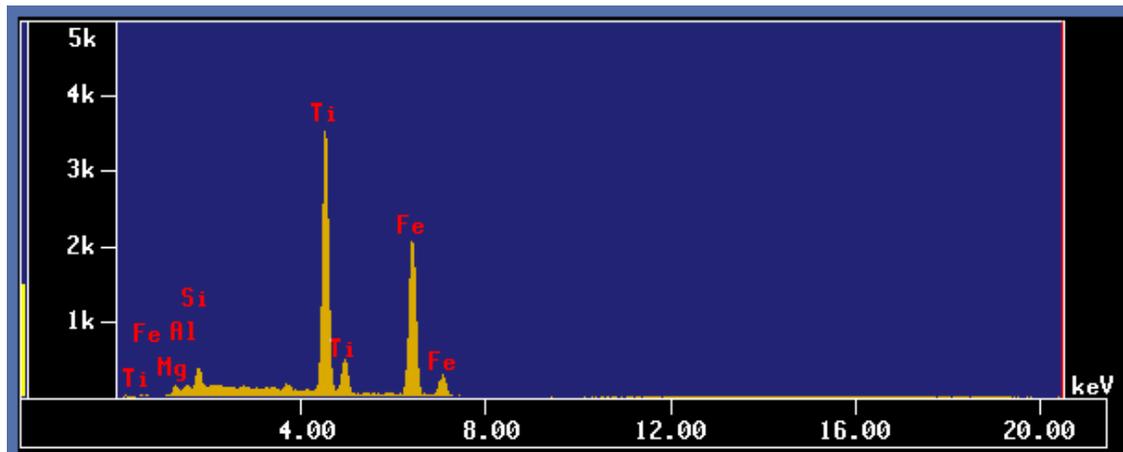
Figura C-34. CUARZO (TAB7-ESP2)**Figura C-35. RUTILO (TAB7-ESP3)****Figura C-36. BARITA (TAB7-ESP4)**

Figura C-37. ILMENITA (TAB7-ESP5)**Figura C- 38. TIERRAS RARAS DE Ce (TAB7-ESP6)**