

Petrografía de la cerámica prehispánica fina (550/600-800 d.C.): Esfera Cerámica Canbalam, costa peninsular de Campeche y Yucatán, México

Petrography of prehispanic fine paste (550/600-800 d.C.): Canbalam Ceramic Sphere, Campeche and
Yucatan Coast, Yucatan Peninsula, Mexico

Luis G. Obando-Acuña^{1*} y Socorro del Pilar Jiménez²

¹Consultor independiente, Colegio de Geólogos de Costa Rica, San José, Costa Rica

²Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), Facultad de Ciencias Antropológicas, Mérida,
Yucatán, México

*Autor para contacto: geol.lobando@gmail.com

(Recibido: 03/10/2021; aceptado: 14/12/2021)

RESUMEN: El concepto de pasta fina está incluido dentro de la “Esfera Cerámica Canbalam”, ha sido interpretada culturalmente, como una corriente pancostera del Golfo de México. Este estudio se realizó con el fin de contribuir al concepto de pasta fina desde el punto de vista petrológico, utilizando la herramienta de la petrografía cerámica. Se analizaron 15 láminas delgadas de cuatro sitios costeros en la península de Yucatán: Isla Piedras, Uaymil, Jaina y Xcambó. La clasificación se realizó con el criterio tipológico seguido de la petrografía microscópica, basado en eso, se define por primera vez “pasta fina” como aquella pasta, que al ser observada al microscopio petrográfico polarizante, está compuesta por una matriz arcillosa y cuyos componentes detríticos promedio son de arena muy fina, y la fracción más gruesa puede ser de hasta un 10 %, la cual oscila entre arena media hasta arena gruesa. Como tecnología de manufactura, se propone el uso de los carbonatos como fundentes.

Palabras clave: geoarqueología; análisis cerámico; pasta fina; Esfera Cerámica Canbalam; Clásico Tardío; petrografía cerámica; Yucatán.

ABSTRACT: The concept of fine paste is included within the “Canbalam Ceramic Sphere”, it has been culturally interpreted, as a coastal trend of the Gulf of Mexico. This study was carried out in order to contribute to the concept of fine paste ware from a petrological point of view, using the ceramic petrography tool. Fifteen thin sections from four coastal sites in the Yucatán Peninsula were analyzed: Isla Piedras, Uaymil, Jaina and Xcambó. The classification was done using the typological criterion followed by microscopic petrography, based on this, “fine pasta” is defined for the first time as that pasta that when observed under a polarizing petrographic microscope, is composed of a clay matrix and in which the average detrital components are of very fine sand and the coarsest fraction can comprise up to 10 %, which ranges from medium sand to coarse sand. The use of carbonates as fluxes is proposed in the manufacturing technology.

Keywords: geoarchaeology; ceramic analysis; ware fine pasta; Canbalam Ceramic Sphere; Late Classic; ceramic petrography; Yucatan.



Introducción

Antecedentes de la investigación de la cerámica de pasta fina

Las cerámicas de pasta de textura fina se desarrollaron en una época temprana en el área Maya. En Uuxactún, un sitio maya localizado en el Petén Central de Guatemala, se denominó la cerámica Mars anaranjada, asignándosele, al complejo cerámico Mamom del periodo Preclásico Medio (ca. 700- 400 a.C.)(Smith, 1955).

En la región del Usumacinta, específicamente en el sitio de Tierra Blanca (Tabasco, México), se propuso que las pastas finas halladas en el sitio, se trataban de alfarerías antecesoras de las pastas finas anaranjadas y grises que caracterizaron al periodo Clásico Tardío/terminal del área Maya (ca. 600–1000 d.C.) (Cassasola, 1987). En la región riverense de Tabasco, y a lo largo de la costa noroccidente peninsular del área Maya se han encontrado, cantidades abundantes de pasta fina con estilos cerámicos propios de cada región investigada (Torres, Jiménez y Gallegos, 2010). Es importante mencionar, que fue durante la época del Periodo Clásico Tardío y el Postclásico (ca. 600–1200 d.C.), cuando las lozas de pasta fina tuvieron una escala mayor de distribución, siendo consideradas utensilios de intercambio de amplia aceptación no sólo en el área Maya, sino en gran parte de Mesoamérica (Bishop, 2003; Smith, 1958).

En las excavaciones arqueológicas de la franja costera peninsular de Yucatán, durante el periodo Clásico Tardío (ca. 550/600–900 d.C.), se hallaron importantes cantidades de cerámicas de textura fina. La costa de Campeche y Yucatán, se caracteriza por la distribución regional de vajillas de pasta fina que fueron decoradas en una gama de colores bayo, anaranjado, marrón, gris o negro. Estos restos materiales al igual que otras cerámicas, son considerados diagnósticos de la unidad analítica llamada Esfera Cerámica Canbalam de la costa maya peninsular de Yucatán (Ball, 1978; Forsyth, 2019; Jiménez, 2002, 2009; Jiménez, Ceballos y Sierra, 2006a; Jiménez et al., 2018). Entre estos componentes cerámicos distintivos de la Esfera Cerámica Canbalam, sobresalen los grupos cerámicos de pasta fina Dzitbalche, Tsicul y Chablekal (Fig. 1).

La Esfera Cerámica Canbalam, ha sido interpretada culturalmente, como una corriente pancostera del Golfo que se caracterizaba por la distribución regional y costera de cerámicas con estilos particulares de la planicie costera de Veracruz, Tabasco, Campeche y Yucatán. Grandes cantidades de pasta fina fueron recuperadas en contextos de superficie; excavaciones de unidades residenciales y en contextos funerarios en sitios como Jaina, Xcambó, Isla Piedras, Uaymil (Fig. 2) así como Canbalam y Champotón (Ball, 1978; Forsyth, 2019; Jiménez, 2002; Jiménez, Belmar, Sierra y Chung, 2006).

A lo largo de los años, estas pastas finas de la Esfera Cerámica Canbalam, han recibido atención notable al ser estudiadas desde dos orientaciones arqueológicas. Primero, se les ha estudiado para conocer sus características físicas y de esta manera determinar su cronología regional; agrupando estos materiales en tipologías y estilos cerámicos (Ancona, 2008; Ball, 1978; Forsyth, 2019; Jiménez, 2002, 2009; Ruz, 1969). Segundo, se han realizado análisis de laboratorio de estas pastas finas para conocer las características físicas o químicas de la arcilla y sus componentes con el fin indagar en la tecnología de manufactura de estos materiales (Bishop, Blackman, Folan, Forsyth y Sears, 2006; Jiménez et. al., 2018).

Siendo lo anterior los objetivos de este trabajo son: 1) Caracterización mineral y textural de las pastas finas, con el fin de contribuir al concepto de pasta fina desde el punto de vista petrológico/geológico para las muestras de los cuatro sitios costeros seleccionados; 2) Contribuir con la inferencia de las potenciales regiones de procedencia de la materia prima de la pasta cerámica con especial énfasis en los microfósiles marinos observados en las muestras analizadas; 3) Plantear hipótesis, sobre las probables tecnologías de manufactura de las pastas finas utilizada en estos bienes culturales; 4) Se aportan datos geoarqueológicos a la discusión de la pasta fina, utilizando la herramienta de la petrología cerámica.

Geología de la Península de Yucatán

Geológicamente hablando, la Península de Yucatán está formada por rocas calizas (SGM, 2007). Las más antiguas se localizan al sur del área de estudio (Fig. 2), son calizas y yesos de edad Paleoceno (TpaCz-Y, Fig. 2). Las calizas y margas (arcillas calcáreas), de edad Eoceno (TeCz-Mg, Fig. 2), se presentan al sur de la península, las ciudades Ticúl y Muna se asientan sobre estas calizas. Las calizas y coquinas son las rocas mas distribuidas en la Península, de edad Mioceno al Plioceno

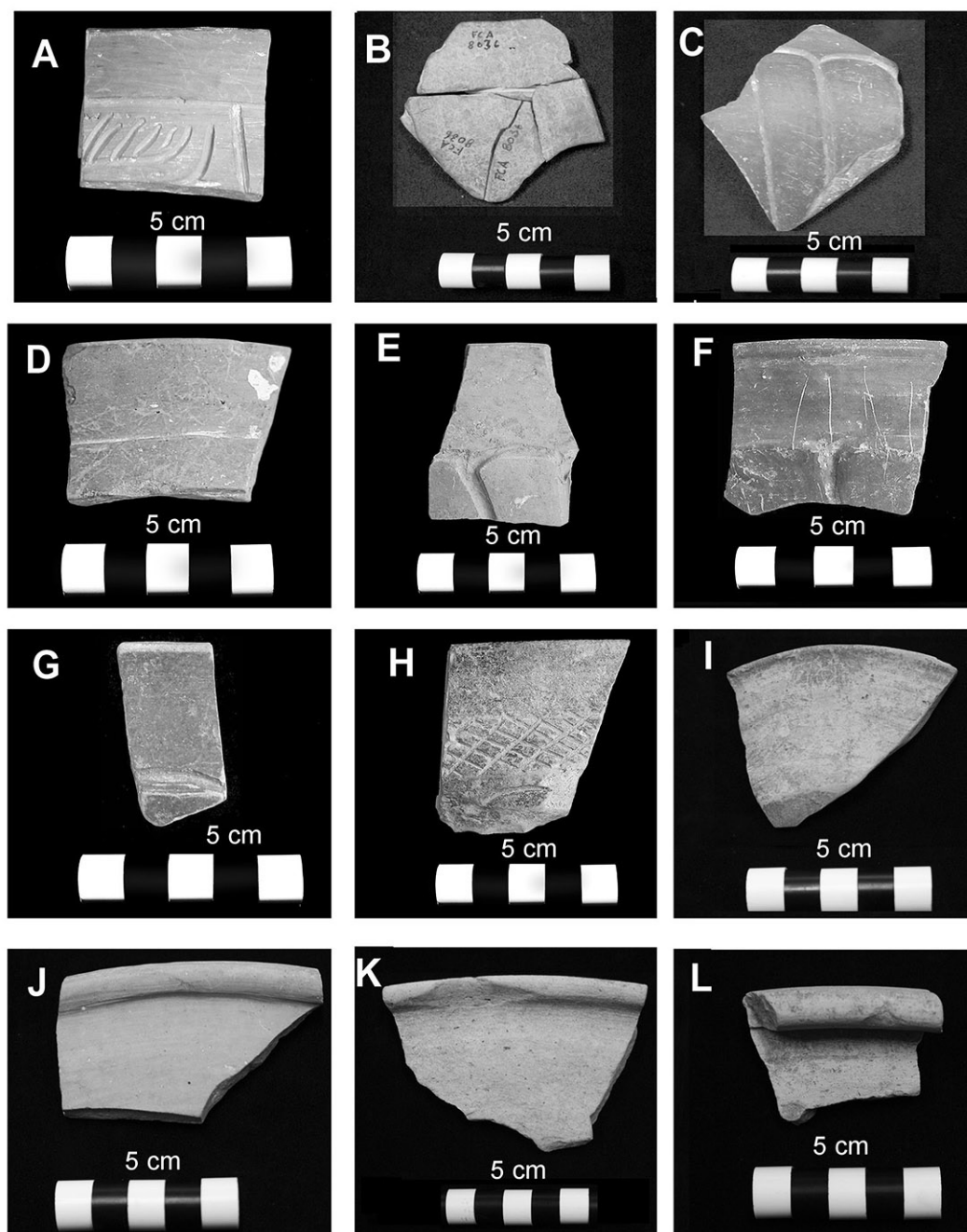


Fig. 1: Muestras de Cerámica Pasta Fina analizadas. A) Chablekal. Muestra. 8035. Sitio Uaymil, acabado de superficie vitrificado. B) Chablekal. Muestra 8036. Sitio Uaymil, composición vidrio. C) Chablekal. Muestra 8039. Sitio Jaina, composición vidrio. D) Chablekal. Muestra 8037. Sitio Isla Piedras. E) Chablekal. Muestra 8015. Sitio Xcambó, F) Chablekal. Muestra 8016. Sitio Xcambó. G) Tsiul. Muestra 8025. Sitio Xcambó. H) Tsiul. Muestra 8024. Sitio Xcambó, I) Dzitbalche. Muestra 8011. Sitio Xcambó. J) Dzitbalche. Muestra 8007. Sitio Jaina, K) Dzitbalche. Muestra 8031. Sitio Isla Piedras, L) Dzitbalche. Muestra 8032. Sitio Isla Piedras.

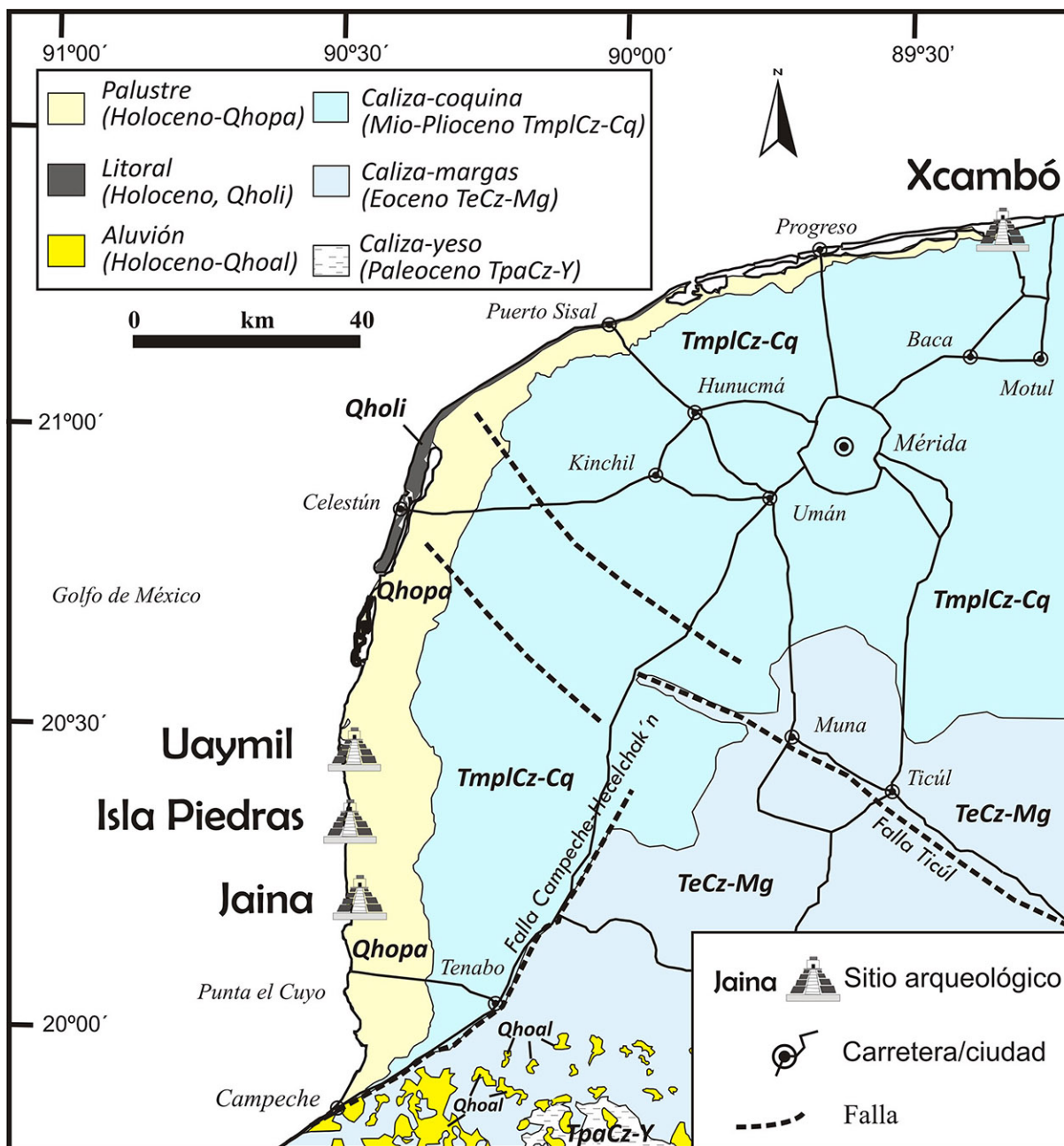


Fig. 2: Mapa geol3gico y localizaci3n de sitios arqueol3gicos del litoral noroccidente de la península de Yucat3n, (base geol3gica modificada de SGM,2007).

(TmplCz-Cq, Fig. 2), la ciudad de Mérida se encuentra sobre estos dep3sitos, los cuales incluyen calizas cristalinas blanquecinas, coquinas, brechas calc3reas y conglomerados, se disponen de manera horizontal. Los dep3sitos recientes del Holoceno son dep3sitos palustres, marismas (SGM, 2007), que se encuentran hacia el 3rea litoral de la península, los sitios Uaymil, Isla Piedras, Jaina, se asientan sobre estos dep3sitos.

Consideraciones sobre el concepto de pasta fina en el Área Maya

Vaillant (1927; en Brainerd, 1941) reportó una vasija de pasta fina en el sitio Yaxchilan y Dieseldorff (1933; en Brainerd, 1941), mencionó una vasija de Palenque manufacturada con una pasta anaranjada fina. Buttler (1935; en Brainerd, 1941) reportó cerámica anaranjada fina en el sitio de Piedras Negras y en 1939, en los depósitos tardíos (ca. San José V) del sitio de San José en Honduras Británicas (hoy Belice) se hallaron dos fragmentos de pasta de textura fina. Algunos de estos materiales, mostraron “desgrasantes” (partículas) que apuntaban que las zonas de producción se relacionaban con la región costera del Golfo de Campeche, la costa de Tabasco y con el sur de Veracruz (Brainerd, 1941).

En lo que se refiere a las pastas finas de las Tierras Bajas Mayas, fue en el sitio de Uaxactún (Guatemala), donde por primera vez se describieron de manera formal y con su nomenclatura correspondiente. En las cerámicas de este lugar, se establecieron cuatro agrupamientos significativos. La vajilla Mars anaranjada (periodo Preclásico Medio), la Pánuco gris (Periodo Pánuco IV por comparación), la Gris Fina (sin Periodo asignado en ese entonces) y la Anaranjada fina (del periodo Clásico Terminal) (Smith, 1955; Smith y Gifford, 1966).

Shepard (1955) realizó un análisis tecnológico de las pastas de Uaxactun, definiendo a la vajilla Mars anaranjada en el rango de textura muy fina a fina. A la cerámica Mars, la describió como una pasta limosa con presencia de tobas volcánicas y con “desgrasantes” dispersos de otros minerales como el circón y la turmalina. También, es preciso mencionar, que se describió que algunas tobas tuvieron una matriz calcárea con granos de cuarzo de “tamaño mediano” (no cuantificándose el tamaño). Así también, Shepard (1955), describió una vajilla gris, que en aquel entonces carecía de una tipología establecida. Como una característica particular y bajo la inspección con un lente de 10 aumentos no mostraba partículas visibles en su pasta. El color de esta cerámica variaba de color gris oscuro (*Deep mouse*) a gris humo (*smoke gray*). Por su parte, a la vajilla anaranjada fina, en aquellos tiempos, al igual que la Gris Fina, tampoco se le había definido tipológicamente, se le describió como una pasta de textura muy fina, de color variado en tonos anaranjado canela, sin “desgrasantes” visibles en la pasta (Smith, 1955).

La pasta fina Pánuco, se menciona, debido a que se ha considerado como evidencia material de la conexión de la Costa del Golfo con el área Maya. Esta pasta fina tiene dos clases de arcilla. Una arcilla calcárea y otra no calcárea. Las pastas finas de Pánuco de arcilla no calcárea tienen dispersos minerales muy finos, de cuarzos, micas blancas y un mineral de color verde (no definido). Los cuarzos de esta pasta midieron hasta 0,5 mm de diámetro. También en esta pasta no calcárea, se observaron algunos pedazos (lumps) de calcita cristalina de gran tamaño. La pasta Pánuco calcárea tiene partículas finas de conchas o probables foraminíferos (Shepard, 1955).

De acuerdo con estos primeros estudios del área Maya, las pastas finas se definieron tanto por su textura como por su fractura; considerándose como rasgos físicos importantes, la textura sin “inclusiones” (o partículas) que se puedan observar a simple vista y la fractura concoidal, característica similar a la porcelana china (Brainerd, 1941). Smith (1958), describió cerámicas con pastas de color anaranjado que compartían ciertas características homogéneas como lo son una pasta “densa” con “ausencia de desgrasantes”; pastas anaranjadas finas que únicamente variaban con relación con las formas, y estilo de los diseños.

Shepard (1956) propuso que desde el punto de vista del tamaño de grano, las “pastas limosas” puedan ser atribuibles a pastas de textura fina. En este rango de textura se definieron cerámicas de pasta fina como aquellas que tienen partículas que por su tamaño, son difíciles de observar a simple vista y por lo consiguiente no pueden ser medibles. En las cerámicas de textura limosa, la uniformidad del tamaño de las partículas es de suma importancia analítica y cultural debido a que estos limos, pudieron ser “desgrasantes” o constituyentes naturales de las arcillas.

En la arqueología del área Maya, el concepto de vajilla, tiene diferente terminología y es un concepto relacionado con la pasta cerámica. La definición que aquí consideramos apropiada, es la propuesta de Sabloff y Smith (1970) quienes pensaron que los atributos de una vajilla (*ware*) se referían a la composición de la pasta y al acabado de superficie. En la composición de la pasta se incluye la textura, “desgrasante”, dureza, espesor y color. El acabado de superficie considera si tiene engobe, o es alisado (baño arcilloso coloidal) o presenta lustre (por bruñido, pulido) y color. La forma y decoración (y sus configuraciones) no son criterios de separación en una vajilla, teniendo en consideración que cada rasgo o atributo establecido y sus combinaciones aunque no representen procesos de manufactura, si son atributos individuales inmersos en la tecnología de manufactura de las colecciones del área Maya.

También, es requerido decir que gran parte de los ceramistas, refieren en sus descripciones visuales la textura de la pasta (principalmente basada en porosidad, tamaño y distribución de partículas) en tres categorías de pastas: de textura fina, mediana o burda.

Para Gifford (1976) el concepto de vajilla es de trascendencia cultural, ya que al enfocarse en los atributos de la materia prima y en rasgos de la tecnología, provee información sobre centros de manufactura o sobre la importancia de la distribución geográfica o regional de cerámicas especializadas en el área Maya. Dos vajillas de pasta fina llaman la atención a nuestro análisis petrográfico: a) La cerámica Chablekal, Gris Fina, a la que Brainerd (1958) y Smith y Gifford (1965) pusieron atención a una serie de vasijas de pasta Gris Fina del periodo Regional (ca. 623-682 d.C.). b) De la cerámica Dzitbalche, Piña (1968) la describió en el sitio de Jaina como “del tipo anaranjada fina”; años después, Ball (1978) en su análisis de la Costa de Campeche y Yucatán, la estableció como vajilla “Anaranjada Isla fina”.

De la cerámica Tsicul, únicamente se le ha diferenciado arqueológicamente como grupo y tipo cerámico en el sitio de Xcambó (Jiménez 2002, 2009).

La cerámica arqueológica Dzitbalche

La cerámica Dzitbalche o también conocida como tipo o vajilla Anaranjada Isla Fina (Ball, 1978; Piña, 1968) de amplia distribución en sitios arqueológicos de la costa de Campeche y Yucatán, se manufacturó con una pasta de textura fina, de color bayo. La combinación de colores en blanco-crema y rojo en hematita brillante decoran la superficie de color bayo es una ornamentación peculiar en el área Maya. Además las formas, distinguibles en la cerámica Dzitbalche, son platos trípodes con soportes en forma de patitas de felinos, cabezas de felinos añadidas a las paredes de estos platos; así como tazas con soporte de pedestal y algunas veces diseños geométricos hechos al negativo con la técnica de “cera perdida” los cuales fueron plasmados en el fondo de estos platos (Jiménez 2002, 2009; Jiménez et al., 2006).

En las investigaciones iniciales de Ruz (1969) en la Costa de Campeche y de Piña (1968) en el sitio de Jaina, se pensaba que esta vajilla se manufacturó en la misma costa de Campeche, incluso Piña (1968) pensaba que esta cerámica se pudo haber manufacturado en la misma Isla de Jaina en Campeche (Jiménez et al., 2018).

Posteriormente, otros autores, propusieron que su origen de elaboración se relacionaba con las culturas veracruzanas de la Costa del Golfo. Por su parte, Bishop et al. (2006) con sus estudios de activación neutrónica en las cerámicas de Champotón, llegó a la conclusión que el origen del barro empleado para la elaboración de esta pasta fina guarda relación química con el noroeste de Tabasco y el Sur de Veracruz.

En los primeros estudios de composición mineral de la pasta Dzitbalche, se mostró la abundancia de cuarzos, plagioclasas, feldspatos, micas alteradas (meteorizadas) y presencia de vidrio volcánico diseminado en la matriz. Una característica distinguible de esta cerámica fue la presencia de bioclastos así como restos de carbón fosilizado. Como dato interesante, Dzitbalche es la cerámica de pasta fina que guarda el estilo decorativo y de forma más semejante a la cerámica de textura mediana o gruesa Nimun y Baca (Jiménez et al., 2018).

La cerámica arqueológica Chablekal y Tsicul

Las cerámica Chablekal se distingue por la tonalidad de su superficie de gris claro mate a gris-marrón pulido o metálico y aunque estas características fueron consideradas como atributos principales de un grupo cerámico por Smith y Gifford (1965). Berlín (1956) fue quien llamó la atención al tratar de separar la pasta Negra Fina de la Gris Fina. La cerámica Chablekal se caracteriza por las formas de cajetes ápodos o trípodes de silueta compuesta, de cuencos ápodos o trípodes con soportes pequeños así como de ollas de cuello bajo. Las decoraciones se particularizan por diseños a modo de líneas incisas, anchas y profundas (decoración ranurada) y motivos geométricos en plano relieve que fueron hechos cuando el barro aún no se había secado. Líneas rectas, ondulantes, puntos, figuras en forma de diamantes, grecas, cartuchos de pseudoglifos, diseños en forma de zetas y arcos. De manera general, se puede decir, que la ejecución de los diseños no es refinada, sino más bien algo rústica o esbozada.

Por su parte, la cerámica Tsicul ha sido clasificada en un grupo cerámico diferente debido a que su superficie tiene un acabado pulido de tonalidad negra y se caracteriza por su sensación “polvosa” al tacto con una mayor fragilidad por rompimiento (Jiménez, 2002); y aún bajo estas tres características, separar grises finos de negros finos, únicamente por su color es una labor tipológica complicada.

Las cerámicas Gris Fina (Chablekal) y Negra Fina (Tsicul) de los sitios costeros de Yucatán y Campeche son de importancia para la definición de la esfera Canbalam, siendo que su distribución general y abundante en la costa centro-norte campechana ha permitido proponer que fueron manufacturadas precisamente en la costa peninsular de Yucatán o en la región de Tabasco (Ball, 1978; Jiménez, 2002; Piña, 1968; Rands, Bishop y Sabloff, 1982; Ruz, 1969). Su cronología es temprana tal como se evidencia en el Pozo 2 del complejo arquitectónico Playa Poniente de Jaina (Ancona, 2008) en donde se les halló asociada en los mismos niveles estratigráficos con fragmentos de figurillas de rasgos estilísticos similares a los de la región de Veracruz, así como de componentes Nimun y Baca, que también son cerámicas representativas de la esfera cerámica Canbalam.

Los primeros análisis petrográficos (Jiménez, Belmar, Sierra y Chung, 2006b; Jiménez et al., 2018) de Chablekal y Tsicul de sitios costeros, apuntan a una textura según el tamaño de grano, de limo fino a arena gruesa, con constituyentes minerales de cuarzos, plagioclasas, mica, vidrio, anfíboles y piroxenos, así como de materia orgánica: bioclastos, restos de carbón y fitolitos. Como característica particular de Chablekal y Tsicul, se observó que en la zona relacionada con la superficie de los fragmentos, se presentan finas capas superpuestas, de coloración más clara en comparación al núcleo del tiesto; capas con pigmentaciones marrones o rojizas, quizá debido a la presencia de carbón o de hierro (Jiménez et al., 2018).

Jiménez (2002) y Jiménez (2009) fundamentándose en la condición de la materia prima, ha propuesto que las vasijas tipo Chablekal gris fino fueron importadas a la costa peninsular de Yucatán. Al igual que en el caso de la pasta fina Dzitbalche, a estas pastas finas se les ha relacionado con el estilo particular expresado en ornamentaciones y formas cerámicas (silueta compuesta) de un área de influencia de la corriente pancostera de la Costa del Golfo de México, la cual abarcaba comunidades antiguas desde el sur de Veracruz hasta el norte de la península de Yucatán. Los materiales grises y negros finos pulidos de la costa de Yucatán y Campeche por su estilo particular de decoración y formas, se les ha asociado de manera concreta con las cerámicas de la fase tardía Villa Alta del sitio de San Lorenzo, en Veracruz (Jiménez, 2002; Jiménez, et al., 2006b).

Método de trabajo

Selección de las muestras cerámicas

El análisis petrográfico en este estudio, se compone de 15 láminas delgadas de cuatro sitios costeros: Isla Piedras (2 láminas delgadas), Uaymil (2 láminas delgadas), Jaina (3 láminas delgadas) y Xcambó (8 láminas delgadas), (Fig. 1). El análisis involucró, el estudio tipológico cerámico y petrografía microscópica. La clasificación inicial se realizó con el criterio tipológico seguido de la petrografía microscópica, se debe dejar claro que ambas metodologías son diferentes y no comparables entre sí, pero si son complementarias. Utilizando el microscopio óptico polarizante de luz transmitida (MLT) y de luz reflejada (MLR), se describieron todos los componentes minerales, se calcularon los porcentajes semicuantitativos por volumen, la textura (tamaño, forma, selección) de los componentes detríticos cerámicos así como las observaciones de los aspectos de manufactura y diagenéticos en los tiestos cerámicos.

Componentes detríticos (calcáreos, silicoclásticos y bioclásticos): se clasificaron de acuerdo con la escala de Wentworth (1922), para identificar el tamaño de los clastos no arcillosos. Se amplía la descripción con los criterios de selección granulométrica, forma y tipo de contactos de los detritus. Se aclara que en este trabajo, los términos “inclusión” y “desgrasante”, popularizados por Shepard (1971) y Rye (1979) entre otros, no son utilizados por estar mal definidos, siendo inexactos y con diferentes connotaciones arqueológicas.

Matriz arcillosa: En el caso de la cerámica, el término matriz se refiere a los minerales de arcilla como medio soporte de los granos, expresado en porcentaje por volumen de muestra y no a la granulometría arcilla. Petrográficamente es posible observar el grado de filomorfismo, esto es, el contenido de minerales filosilicatados. Esto hace que la matriz adquiera

birrefringencia bajo luz polarizada con un grado de filomorfismo nulo (no brillante), bajo (poco brillante) y alto (muy brillante), no fue posible medir cuantitativamente el grado de birrefringencia.

Siendo la cerámica un evento pirometamórfico antropogénico con procesos de sinterización, en la medida de lo posible se hacen algunas inferencias sobre ese tema.

Definición petrográfica de pasta fina: como punto de partida, en este trabajo, se define por primera vez, pasta cerámica fina como aquella pasta, que al ser observada al microscopio petrográfico polarizante, está compuesta por una matriz arcillosa y cuyos componentes detríticos promedio son de arena muy fina (0,066 mm) de acuerdo con la escala granulométrica de Wentworth (1922). Sin embargo, se considera que hasta un 10 % puede ser la fracción más gruesa, la cual oscila entre arena media (0,5 mm) hasta arena gruesa (1 mm). Este porcentaje de gruesos, puede ser estimado por inspección visual, utilizando tan solo una lupa de 10 aumentos (10X).

La cerámica de pasta fina representada por las 15 muestras seleccionadas, fue descrita de acuerdo con las siguientes características petrográficas: A) componentes detríticos cerámicos (silicoclásticos, carbonatados, bioclasticos), B) matriz arcillosa, C) aspectos texturales, D) aspectos diagenéticos.

Análisis petrográfico de las tipologías Dzitbalche, Chablekal y Tsicul, de la Esfera Cerámica Canbalam

Cerámica Chablekal

Componentes detríticos silicoclásticos

Los componentes silicoclásticos (Cuadros 1 y 2) son: cuarzo, plagioclasas, micas, óxidos de hierro como subordinados están fragmentos de roca, feldespatos de K, piroxenos, anfíboles, epidotas, cloritas y esquirlas de vidrio.

Las esquirlas de vidrio solo se han encontrado en dos preparados 8036-CH(Uaymil) y 8039-CH(Jaina) (Fig. 3, Cuadro 1), tienen una abundancia de 3 % a 9 %, es vidrio volcánico, no recristalizado, no meteorizado, muy transparente y de variadas formas, típicamente son angulares, con formas de yunques, tripoides, vesiculares finas a muy finas, usualmente con microfracturas. En la muestra 8036-CH(Uaymil), el tamaño máximo observado osciló entre 0,288 x 0,072 mm (arena media a muy fina) hasta 0,252x 0,084 mm (arena muy fina a media). Mientras que el preparado 8039-CH(Jaina), tiene esquirlas más finas de 0,06 x 0,006 mm (limo fino a grueso) hasta 0,18 x 0,072 mm (arena fina a muy fina).

Cuadro 1

Secciones delgadas Chablekal. Análisis petrográfico semicuantitativo. Porcentaje de componentes detríticos y matriz.

Muestra	Qz	Qz-P	Pl	Hem	Mag	Cal	Micr-sec	Bt	Ms	Biocls	E-Vid	Mat
8037-CH	12	1	3	3	1	12	7	0,5	8	-	-	52,00
8036-CH	14	3	4	0,5	0,5	9	2	3	7	-	9	48,00
8035-CH	10	3	3	3	0,5	1	1	3	5	0,5	-	70,00
8015-CH	11	5	3	2,5	2	5	2	1	3	3	-	62,50
8016-CH	15	2	1	2	-	5	3	0,5	4	3	-	65,00
8018-CH	15	3	0,5	3	-	5	1	0,5	0,5	1	-	72,00
8039-CH	10	4	4	1	2,5	8	4	2	4	-	3	56,50
Promedio	12,43	3,00	2,64	2,14	0,93	6,43	2,86	1,50	4,50	1,07	1,71	60,86

Qz=cuarzo, Qz-P=cuarzo policristalino, Pl=plagioclasa, Hem=hematita, Mag=magnetita, Cal=calcita, Micr-sec= micrita (calcita) secundaria, Bt=biotita, Ms=muscovita, Biocls=bioclastos, E-Vid=esquirlas de vidrio, Mat=matriz

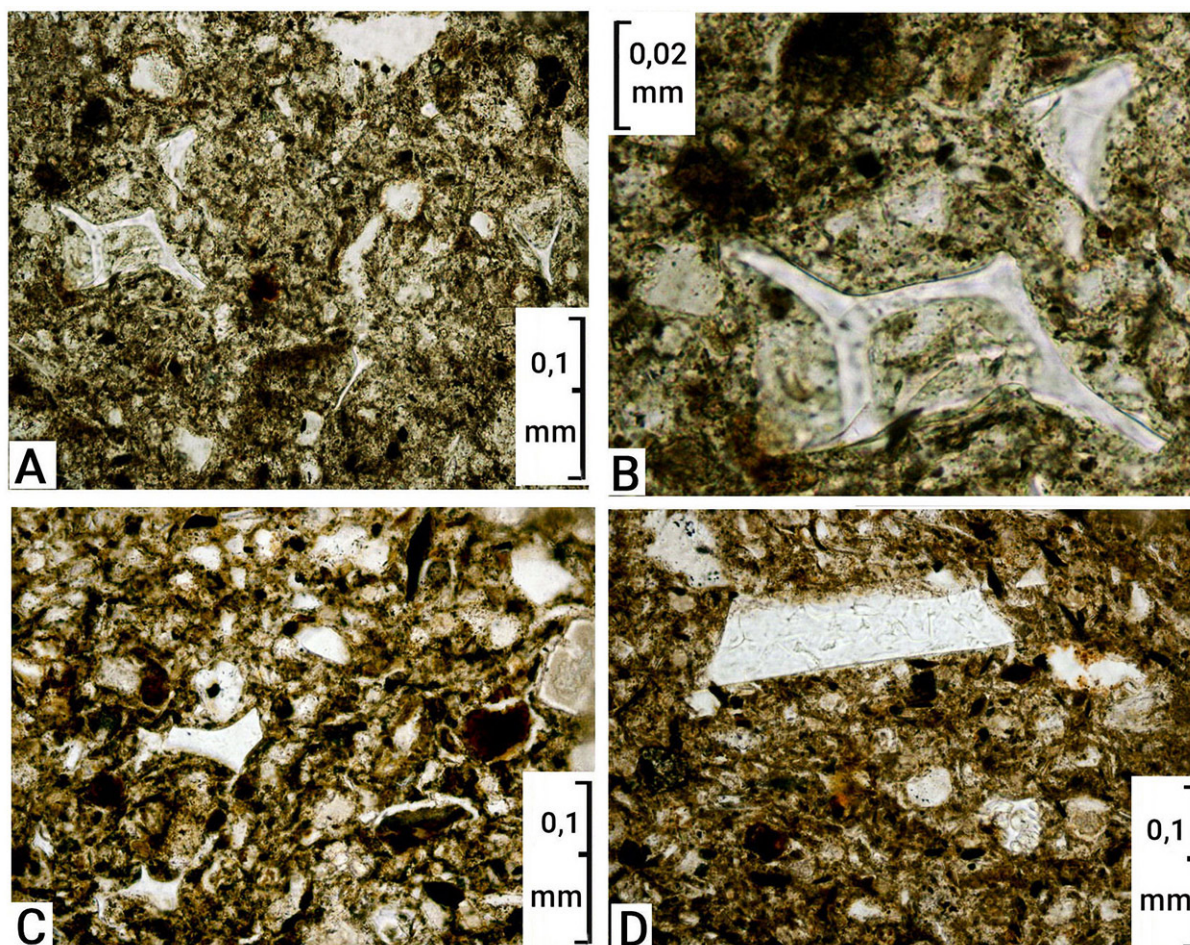


Fig. 3: Vidrio de Chablekal. Preparado 8036-CH y 8039-CH. A) Esquirlas de vidrio sin meteorizar y su detalle (B) con formas rectangulares, tripoidales y en agujas, fragmento que representa la pared compartida de al menos cuatro burbujas de vidrio. C) Aspecto general de las esquirlas de vidrio. D) Vidrio rectangular, sin meteorizar y sin recristalización, obsérvese su transparencia. Todas las fotos en nicóles paralelos.

Cuadro 2

Secciones delgadas Chablekal. Análisis petrográfico semicuantitativo. Porcentaje de componentes detríticos subordinados.

Muestra	Frag-Roca	Ox-hbl	Ep	Aug	Hbl-V	Clor	Or-P	Mc
8037-CH	1	-	0,5	0,5	0,5	-	-	-
8036-CH	-	1	-	0,5	-	-	-	-
8035-CH	-	1	-	-	0,5	-	-	-
8015-CH	-	-	0,5	-	-	0,5	-	0,5
8016-CH	-	-	-	-	-	-	0,5	0,5
8018-CH	-	-	0,5	-	-	-	-	-
8039-CH	1	-	0,5	0,5	0,5	-	-	-
Promedio	0,29	0,29	0,29	0,21	0,21	0,07	0,07	0,14

Frag-Roca=fragmentos roca, Ox-hbl=oxihornblenda, Ep=epidota, Aug=augita, Hbl-V=hornblenda verde, Clor=clorita, Or-P=ortosa pertítita, Mc=microclina.

Los fragmentos de roca son de dos tipos: a) de origen volcánico (clastos posiblemente andesíticos?) con una matriz oxidada rojiza, con microlitos de plagioclasa, augitas, usualmente son fragmentos muy meteorizados; b) de origen probable metamórficos, contienen epidota y cuarzo policristalino (posiblemente clastos de esquistos?).

El cuarzo tiene una abundancia que oscila entre 10 % y 15 %, usualmente angular, con extinción ondulante, algunos detritos son poikilíticos con inclusiones de sericita. Se han observado clastos con cemento sintaxial, indicando su origen sedimentario (muestras 8016-CH-Xcambó y 8018-CH-Xcambó), así como un cuarzo reabsorbido de tipo volcánico riolítico (muestra 8018-CH-Xcambó).

El cuarzo policristalino tiene una abundancia entre 1 % al 5 %, con una textura interna fina a gruesa, presenta inclusiones de sericita e impregnaciones de arcilla, en la muestra 8016-CH(Xcambó) se observa una calcedonia con un tamaño extraordinario de 0,672x0,40 mm (arena gruesa, Cuadro 3) y solamente en el preparado 8015-CH(Xcambó) se presentó una calcedonia con microestructura en abanico.

Entre los feldespatos, los más abundantes son las plagioclasas, sin embargo, hay dos preparados que mostraron feldespatos potásicos tipo microclina y ortosa perfitica. La plagioclasa, presenta por lo general un maclado fino polisintético cuyo porcentaje de abundancia oscila entre <1 % a 4 %, con zonación, usualmente sericitizadas y arcillitizadas, aunque las hay sin alteración.

Los feldespatos potásicos (microclina y ortosa) son subordinados con una abundancia que no sobrepasa el 1 %, la microclina está maclada con alteración leve a arcilla, mientras que la ortosa presenta la típica textura perfitica.

Las micas son biotita y muscovita. La biotita tiene una abundancia entre <1 % al 3 %, usualmente meteorizadas, color marrón y pleocroicas, curvadas por compresión.

La muscovita usualmente se observa como granos alargados, incolora, fina, alineada paralelamente, doblada posiblemente por compresión, con una abundancia entre <1 % a 8 %.

Se indica que las muestras 8015-CH(Xcambó), 8016-CH(Xcambó) y 8018-CH(Xcambó), no presentaron augitas ni hornblendas. De las otras muestras, las augitas tienen una abundancia <1 %, son incoloras y se observan sin meteorización, localmente se presenta con un tamaño fuera de lo común 0,3x0,2 mm (arena media, muestra 8037-CH-Isla Piedras, Cuadro 3).

Los anfíboles pueden ser de dos tipos oxihornblendas y hornblendas verdes. Las oxihornblendas son pleocroicas en marrón, no sobrepasan el 1 %. Mientras que la hornblenda verde está subordinada (<1 %) con pleocroismo en verde.

Los óxidos de hierro son comunes, la hematita tiene una abundancia entre <1 % a 3 %, en algunas muestras se observa como impregnaciones y acumulaciones así como posibles fragmentos de roca muy meteorizados. Al igual que en Dzitbalche,

Cuadro 3

Secciones delgadas Chablekal. Textura y selección de los granos.

Muestra	Selección	Granulometría promedio (mm)	Tamaño del grano		
			Promedio (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)
8037-CH	Bien seleccionada	Arena muy fina	0,0750x0,0300	0,3000x0,200	0,0125x0,0100
8036-CH	Moderadamente seleccionada	Limo medio a grueso	0,0550x0,0200	0,2160x0,204	0,0225x0,0150
8035-CH	Moderadamente bien seleccionada	Limo medio	0,0200x0,0125	0,3200x0,235	0,0125x0,0075
8015-CH	Moderadamente bien seleccionada	Arena fina a Limo grueso	0,1200x0,0480	0,4100x0,230	0,0175x0,0150
8016-CH	Moderadamente bien seleccionada	Arena muy fina	0,0650x0,0400	0,6720x0,400	0,0100x0,0175
8018-CH	Pobrementemente seleccionada	Arena muy fina a Limo grueso	0,0700x0,0300	0,3600x0,132	0,0275x0,0100
8039-CH	Moderadamente bien seleccionada	Arena muy fina a Limo grueso	0,0600x0,0360	0,4200x0,132	0,0150x0,0100
Promedio	-	Arena muy fina a Limo grueso	0,0664x0,0309	0,3854x0,219	0,0168x0,0121

la hematita puede observarse como pequeñas esferas dentro de bioclastos (muestras 8015-CH-Xcambó, 8016-CH-Xcambó, 8018-CH-Xcambó). La magnetita no sobrepasa el 2,5 %, y siempre es un opaco omnipresente.

Las epidotas son detritos accesorios que no llegan al 1 %, son de alto relieve, de pleocroismo y birrefringencia fuertes.

La clorita es un mineral muy subordinado <1 %, se presenta meteorizada (8015-CH-Xcambó), su origen no es claro.

Componentes detríticos carbonatados

Los componentes carbonatados son de tres tipos: calcita primaria, calcita secundaria y bioclastos calcáreos. La calcita primaria se presenta con una abundancia de 1 % a 12 %, usualmente recristalizada, con formas de tabletas que tienen bordes y centros oscuros (micrita). La calcita secundaria aparece en poros usualmente, su abundancia es de difícil definición, oscila entre 1-7 %. En algunas ocasiones se pudo observar geodas de calcita secundaria que rellenaron los poros de los bioclastos con tamaños de hasta 0,708x0,228 mm. En el preparado 8036-CH(Uaymil) y 8037-CH(Isla Piedras), se observaron bandas paralelas discontinuas de calcitas; en la muestra 8036-CH(Uaymil) estas bandas presentan un ancho aproximado de 0,9 mm, posiblemente de recristalización.

Los bioclastos son de conchillas calcáreas, solo se presentaron en cuatro muestras 8015-CH(Xcambó), 8016-CH(Xcambó), 8018-CH(Xcambó) y 8035-CH(Uaymil), su abundancia oscila entre 1 % a 3 %, y el tamaño máximo observado es de 0,41x0,23 mm (arena media), se observan fracturados y completos, recristalizados a microesparita y esparita, la asociación bioclástica son bivalvos, gasterópodos, briozoos, algas y microforaminíferos (plantónicos y bentónicos) entre otros, es una mezcla de diferentes organismos, similar al resto de tipologías.

Matriz arcillosa

En dependencia de la muestra, la matriz tiene una abundancia entre 48 % a 72 % sin cristalizar a finamente cristalizada, a nícoles paralelos su color varía entre pardo rojiza oscuro a muy oscuro a pardo rojiza clara. La birrefringencia tiene un color que varía entre pardo muy oscuro, pardo oscura levemente rojiza, pardo rojiza levemente amarillenta a pardo amarillenta, de filomorfo nulo, muy bajo a bajo hasta localmente alto. La fábrica es homogénea, con alineamiento paralelo de micas y bioclastos, en general cualquier detrito alargado es susceptible de disponerse paralelamente; es posible observar un alineamiento paralelo discontinuo ondulado en la muestra 8018-CH(Xcambó). El preparado 8037-CH(Isla Piedras), presenta un grumo de arcilla irregularmente distribuido y alargado, localmente bien redondeado con un tamaño de 2,5x1,75 mm.

Asimismo en la muestra 8036-CH(Uaymil), los grumos y los lentes arcillosos son comunes, a veces con tamaños fuera de lo común, por ejemplo, se observa localmente un grumo de arcilla marrón oscuro, con un tamaño de 1,2x0,384 mm (arena muy gruesa), con bordes de contracción.

Aspectos texturales

El estudio de los datos demuestra que esta tipología es característica por presentar una alta variabilidad (Cuadro 3, Fig. 4). El tamaño máximo del grano es arena media (0,672x0,40 mm). El tamaño mínimo de grano es arcilla media a limo medio (0,0075x0,0125 mm) y el tamaño de grano promedio va de limo medio a arena muy fina (0,0309x0,0664 mm).

La selección de los detritos oscila entre pobremente seleccionado, moderadamente seleccionada hasta bien seleccionada, los datos muestran que en general la selección es buena.

Se observaron muy variadas formas, prismoidales, subprismoidales, subdiscoidales, elipsoidales, cilíndricos, discoidales, esféricos. La redondez de los granos con alta esfericidad, baja esfericidad, muy angulosos, subangulosos, anguloso, subredondeado, redondeado, bien redondeado. Los tipo de contactos oscilan entre flotantes 93 % a 99 %, de punto de 1 % a 5 % y largos de 1 % a 2 %.

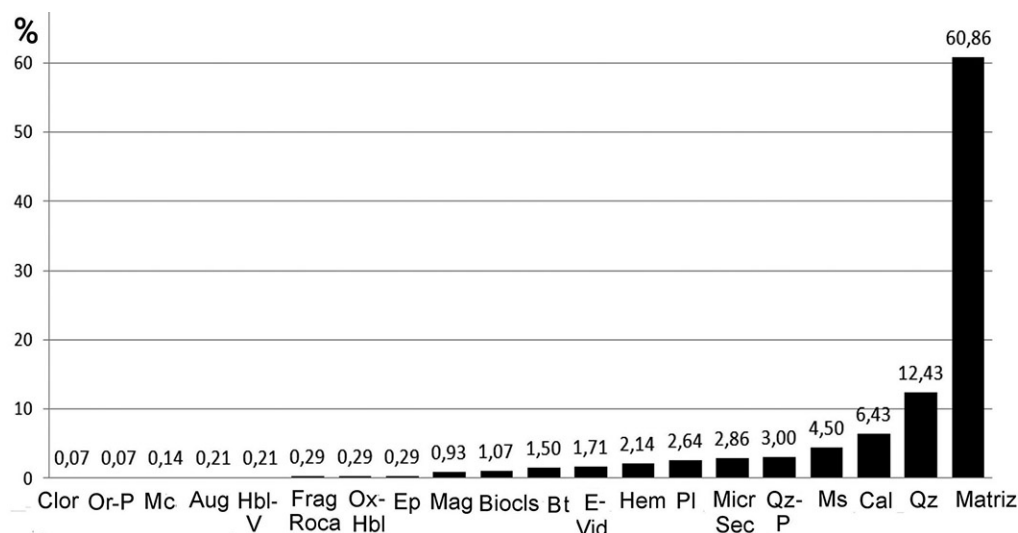


Fig. 4: Gráfico Chablekal, se muestra la variación en la mineralogía y su abundancia relativa. Matriz y componentes detríticos promedio: Silicoclásticos y Carbonatados (véanse Cuadros 1 y 2).

Aspectos destacables

La posible fuente de los componentes silicoclásticos, pueden ser rocas de origen ígneo plutónico, metamórfico, sedimentario o bien de alteración hidrotermal y sedimentos bioclásticos.

En la muestra 8018-CH(Xcambó), se observan grupos oscuros (opacos ópticamente), disectados, con bordes de contracción, el mayor de ellos es de aproximadamente 4 mm de largo, al MLR se observa hematita, por tanto, se interpreta que los óxidos de hierro reemplazaron lo que pareciera fue materia orgánica.

Aspectos de manufactura

Del hecho de la heterogeneidad de los clastos, tanto de textura como en composición, se infiere que:

- La materia prima de por sí, era diferente desde el punto mineralógico y de diverso origen geológico.
- Durante la etapa de preparación de la arcilla, a parte de los remantes de la meteorización, se mezclaron diferentes componentes detríticos de orígenes geológicos diferentes (como ígneos volcánico y plutónico, metamórfico y sedimentos bioclásticos).

Cerámica Dzitbalche

Componentes detríticos silicoclásticos

Los componentes detríticos de las muestras Dzitbalche son cuarzos, feldespatos (ortosa y plagioclasas), fragmentos de roca (esquistos), muscovita, biotita, hematita, oxihornblenda, magnetita y epidota. Se resalta que la muestra 8031-DZ (Isla Piedras) es una cerámica poco común dentro de toda la muestra (Cuadro 4), debido a su contenido de feldespato potásico y los fragmentos de roca.

Cuadro 4

Análisis petrográfico semicuantitativo. Secciones delgadas Dzitbalche. Porcentaje de componentes detríticos subordinados.

Muestra	Frag-Roca	Qz	Qz-P	Pl	Aug	Oxi-hor	Hem	Mag	Ep	Micr-sec	Bt	Ms	Biocls	Or-P	Mc	Mat
8031-DZ	2	8	3	2	-	1	10	-	-	3	12	7	1	4	1	46
8011-DZ	-	10	1	12	0,5	0,5	6	-	-	10	18	1	10	-	-	32
8013-DZ	-	15	2	3	0,5	-	12	1	-	5	3	7	12	-	-	40
8007-DZ	-	15	1	10	-	-	5	-	-	10	2	1	8	-	-	48
8042-DZ	2	7	4	2	-	-	5	-	1	3	1	4	12	-	-	59
Promedio	0,8	11,0	2,2	5,8	0,2	0,3	7,6	0,2	0,2	6,2	7,2	4,0	8,6	0,8	0,2	45

Frag-Roca=fragmentos roca, Qz=cuarzo, Qz-P=cuarzo policristalino, Pl=plagioclasa, Aug=augita, Oxi-hor=oxihornblenda, Hem=hematita, Mag=magnetita, Ep=epidota, Micr-sec= micrita (calcita) secundaria, Bt=biotita, Ms=muscovita, Biocls=bioclastos, Or-P=ortosa pertítica, Mc=microclina, Mat=matriz

Los fragmentos de roca (2 %) pueden ser totalmente ausentes, solo se presentan en dos preparados y son posiblemente de composición metamórfica (esquistos) conteniendo sericita, biotita y cuarzo; levemente meteorizados.

Entre los clastos de cuarzosos se incluyen cuarzo y cuarzo policristalino. El cuarzo es ondulante, su abundancia va entre 7 % y 15 %, en la muestra 8013-DZ (Xcambó), se observan xenomórficos reabsorbidos, indicando su origen volcánico, localmente son poikiliticos con inclusiones de sericita, estos últimos probablemente de origen metamórfico.

En cuarzo policristalino, la textura interna varía de fina a gruesa, subredondeados a redondeados con un abundancia entre 1 % y 4 % (procedencia variada, ígneo, metamórfico o sedimentario).

La plagioclasa, presenta maclas polisintéticas con zonación y usualmente sin alteración meteórica o hidrotermal, cuando se presentan alteradas el producto es sericita y arcilla, como por ejemplo las muestras 8042-DZ (Jaina) y 8031-DZ (Isla Piedras). Su abundancia oscila entre 2 % y 12 %.

Cabe destacar que solo la muestra 8031-DZ (Isla Piedras), contiene feldespatos potásicos (5 % máximo) observándose ortosa con textura pertítica marcada y arcillitizada, microclina que no presenta alteración alguna y con su característico maclado.

Entre las micas se observan biotitas, muscovitas y sericita. La biotita, cuya abundancia oscila entre 1 % a 18 %, pleocroica, visiblemente laminadas finas y alargadas, usualmente meteorizadas y deformadas. La muscovita con abundancia entre 1 % y 7 %, se presenta como una mica incolora, fina y ligeramente deformada. Usualmente las micas presentan el mismo aspecto que en las demás muestras de la serie y como rasgo destacado es la deformación.

Los cristales de hematita tienen una abundancia entre 5 % y 12 %, se presentan como impregnaciones, en formas botroidales (con formas esféricas), así como precipitados en los poros y dentro de la conchilla de los bioclastos. En el preparado 8031-DZ (Isla Piedras), es común observar las impregnaciones de óxidos de hierro rodeando los bioclastos (Fig. 5: H, K).

Oxihornblenda, su abundancia oscila entre <1 % al 1 %, siempre pleocroica parda rojizo, solamente se observó en los preparados 8031-DZ (Isla Piedras) y 8011-DZ (Xcambó), de origen volcánico.

La magnetita es un mineral subordinado, aparece solamente en la muestra 8013-DZ (Xcambó), como relleno de poro en los bioclastos.

Augita, xenomórfica, mineral accesorio apareciendo en traza solamente en los preparados 8011-DZ (Xcambó) y 8031-DZ (Isla Piedras)

Los granos de epidota (1 %) solo aparecen en el preparado 8042-DZ (Jaina), con pleocroismo marcado.

Componentes detríticos carbonatados

Los componentes carbonatados comprenden la calcita y los bioclastos:

a) La calcita solo se presenta como micrita y microesparita secundaria. Su abundancia oscila entre 3 % a 10 %. Se presentan como impregnaciones y microgeodas. Un aspecto destacable, es que no hay calcita primaria en ningún preparado.

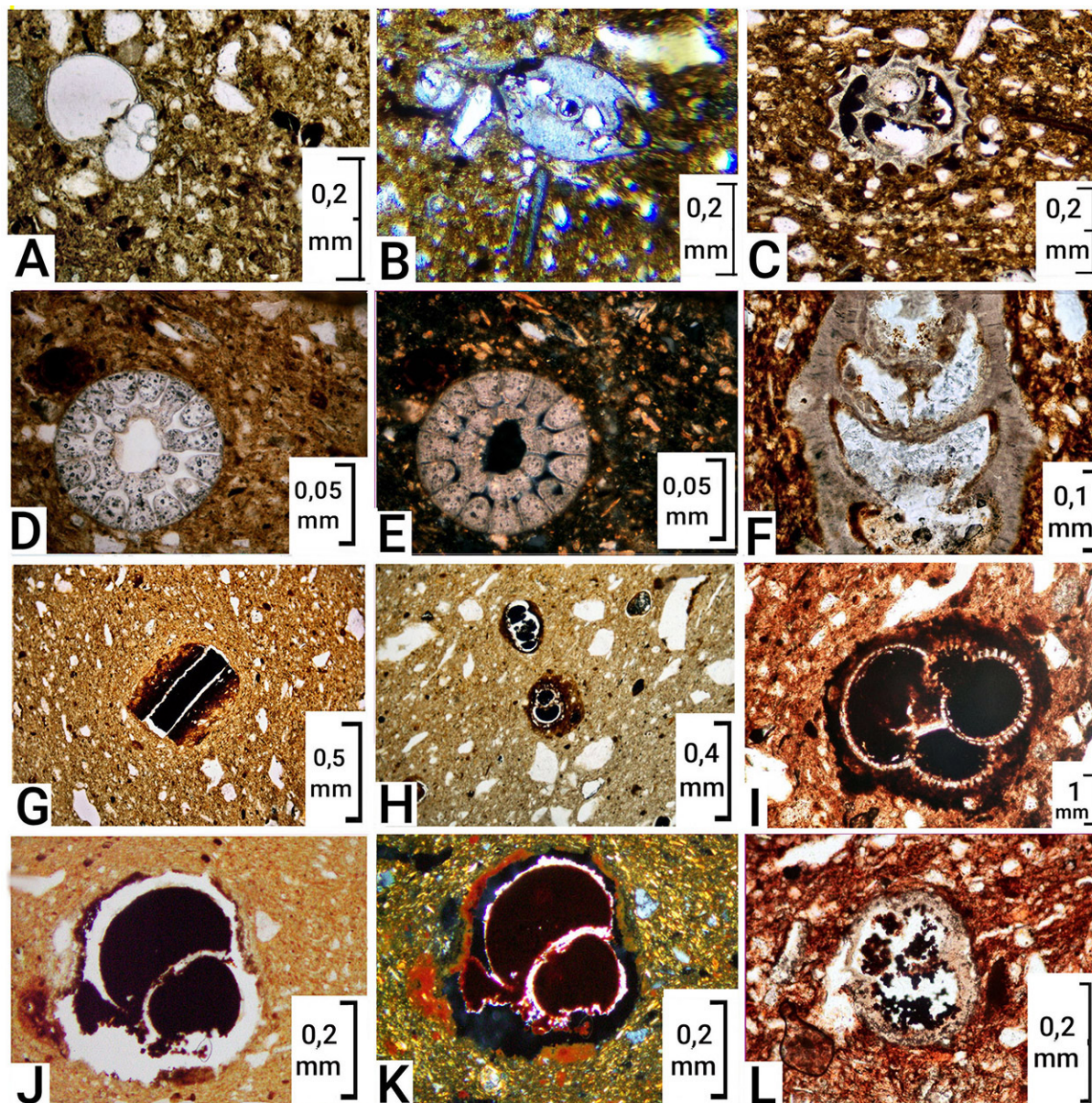


Fig. 5: Bioclastos. A) Globigerinoide, bien preservado, sin recristalización, nótese la delgada y delicada conchilla y las cámaras vacías (muestra 8025-TS). B) Macroforaminífero recristalizado y fragmentado (muestra 8042-DZ, en nicoles paralelos). C) Gastrópodo recristalizado con relleno de arcilla, su conchilla se muestra bien definida y completa (muestra 8025-TS). D-E) Alga verde (dasi cladácea), recristalizada a microesparita equigranular, en nicoles paralelos (muestra 8025-TS), en E) a nicoles cruzados. F) Detalle de un gastrópodo con la concha micrítica parcialmente recristalizada a microesparita equigranular, las cámaras internas están parcialmente rellenas de arcilla (manchas marrón rojizo, muestra 8011-DZ). G) Óxidos de hierro sustituyendo lo que pudo haber sido un fragmento orgánico, el espacio vacío siguiendo el perímetro, se debe a la contracción durante la calcinación (muestra 8031-DZ), obsérvese el halo alrededor del objeto, el cual es un rasgo común durante el proceso pirometamórfico. H) Globigerinoides, en preservación móldica, las conchillas calcáreas desaparecieron y el molde se observa a causa del relleno de sus cámaras por hematita y el halo que los rodea (muestra 8031-DZ). I) Globigerinoide mostrando los detalles claros de los forámenes, sus cámaras y la conchilla. La concha, está rodeada por un halo y rellena por hematita (8024-TS). J-K) Globigerinoides, en preservación móldica, la conchilla calcárea ha desaparecido y el molde se observa por el relleno hematítico de sus cámaras y el halo que lo rodea, nicoles paralelos, en K) imagen anterior en nicoles cruzados, mostrando el color rojo intenso de la hematita (muestra 8031-DZ). L) Globigerinoide mostrando restos de la concha calcárea recristalizada a microesparita fina, dentro de sus cámaras se observan partículas botroidales finas de hematita (muestra 8011-DZ).

b) Los bioclastos con una abundancia entre 1 % al 12 %, todos se presentan recristalizados y en preservación móldica, la asociación bioclástica son bivalvos, gasterópodos, macroforaminíferos, globigerinoides (microforaminífero) con precipitación de calcita secundaria y hematita en sus poros, así como fragmentos de bioclastos. El origen de los bioclastos es marino.

Matriz arcillosa

La matriz es de tipo arcillosa, con un promedio de 45 % con un mínimo de 32 % a un máximo de 59 % de arcilla. Los colores a nícoles paralelos son pardo rojiza anaranjada, pardo oscura, pardo amarilla clara. En nícoles cruzados se observa de color roja oscura, roja anaranjada con impregnaciones de calcita secundaria. De filomorfismo nulo, bajo a moderado. La matriz puede tener un aspecto granular fina debido, entre otras cosas, a la presencia de micas muy finas laminadas paralelamente y una fábrica (arreglo mineral) que presenta una orientación paralela de micas y poros. La deformación de micas es común.

Cabe destacar que en ocasiones la matriz está bien mezclada con calcita muy fina (microesparita o micrita), por ejemplo en 8007-DZ (Jaina).

Aspectos texturales.

Los aspectos texturales se asocian a las granulometrías (Cuadro 5 y Fig. 6) de este modo el tamaño máximo de grano va desde arena gruesa a muy gruesa (1,1200x0,7500 mm), el tamaño mínimo de grano oscila entre arcilla gruesa a limo muy fino (0,0050x0,0025 mm), el tamaño promedio de grano: limo grueso a arena muy fina (0,0480x0,0834 mm). Sin embargo, en una misma tipología, el tamaño puede ser seriado hasta llegar a arena muy fina (muestra 8011-DZ, Xcambó). La selección de los granos va desde pobremente seleccionado a moderadamente bien seleccionada, esto último tiende a dominar en los preparados.

La forma de los granos puede ser prismáticos, subdiscoidales, discoidales hasta esféricos, con una redondez de alta esfericidad a baja esfericidad y desde muy angulosos hasta bien redondeados. Siendo que el tipo de contactos en su mayoría son flotantes 97 % hasta un 99 % y de tipo punto 1 % hasta 3 %.

Cuadro 5

Secciones delgadas Dzitbalche. Textura y selección de los granos.

Muestra	Selección	Granulometría promedio (mm)	Tamaño del grano		
			Promedio (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)
8031-DZ	Pobremente seleccionada	Arena muy fina a fina	0,1300x0,070	0,80x0,750	0,0100x0,0050
8011-DZ	Moderadamente seleccionada	Arena muy fina (seriada)	0,0720x0,040	0,76x0,500	0,0175x0,0075
8013-DZ	Moderadamente bien seleccionada	Arena muy fina	0,0900x0,060	0,35x0,200	0,0050x0,0025
8007-DZ	Pobremente seleccionado a moderadamente bien seleccionada	Limo medio a grueso	0,0450x0,020	0,32x0,260	0,0050x0,0025
8042-DZ	Moderadamente bien seleccionada	Arena muy fina	0,0800x0,050	1,12x0,750	0,0075x0,0100
Promedio	-	Arena muy fina a Limo grueso	0,0834x0,048	0,67x0,492	0,0090x0,0055

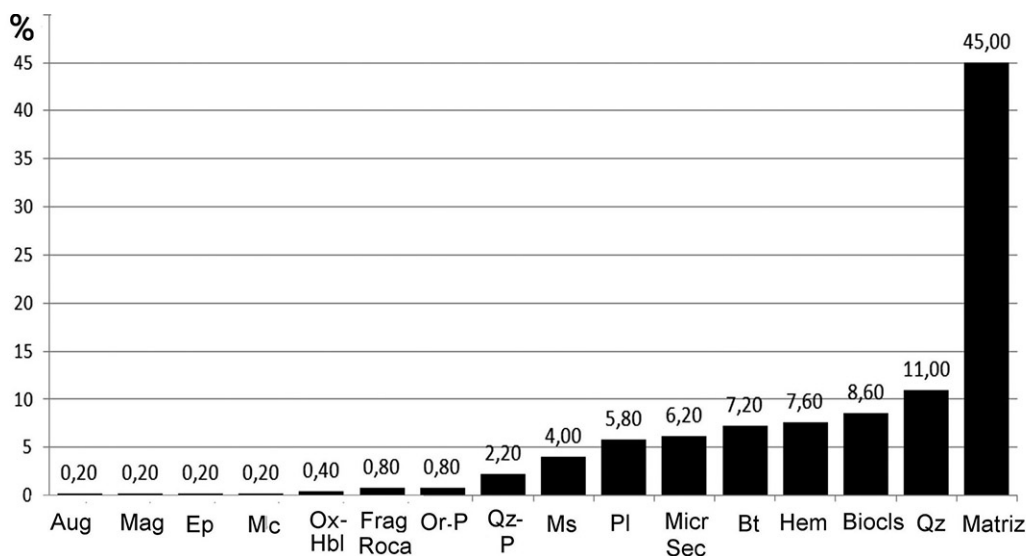


Fig. 6: Gráfico Dzitbalche, se muestra la variación en la mineralogía y su abundancia relativa. Matriz y componentes detríticos promedio: Silicoclásticos y Carbonatados (véase Cuadro 4).

Aspectos de manufactura

Se indican a continuación algunas inferencias sobre las observaciones llevadas respecto a la textura y la matriz.

a) Los contactos flotantes indican que los granos están rodeados casi completamente por la matriz arcillosa, lo cual puede ser indicativo de una buena homogenización de la pasta y componentes detríticos. Sin embargo, en ocasiones la mezcla de la pasta no fue lo suficiente ya que aparecen zonas con orillas pardas amarillentas y sectores aplastados de arcilla (por ejemplo 8011-DZ, Xcambó).

b) Con respecto a las micas, la deformación, el aplastamiento y alineamiento paralelo de las micas, se interpreta como deformación por compactación de la pasta, esto durante su homogenización.

c) Se infiere que la temperatura de calcinación no ascendió a más de 800°C, esto debido a la preservación de las paredes de las conchillas y su recristalización a microesparita equigranular. Así mismo, la presencia de hematita, que por calcinación invade y rellena las cavidades internas de los bioclastos así como la aparición de coronas alrededor de los mismos.

Cerámica Tsicul

Componentes detríticos silicoclásticos.

Los componentes silicoclásticos (Cuadro 6 y Fig. 7) son fragmentos de roca, cuarzo, plagioclasas, micas, óxidos de hierro y epidotas. Como subordinados están piroxenos, anfíboles, ortosas perfiticas y circón.

Fragmentos de roca: son volcánicos (riolíticos?, con determinación dudosa), usualmente con cuarzo y calcita, muy hematitizados y arcillitizados, su abundancia es subordinada, máximo 1 %.

Cuarzo: su abundancia oscila entre 12 % a 28 % con extinción ondulante, poikilitico algunos fragmentos con inclusiones microfibrosas de apatito(? con determinación dudosa), muscovitas y augitas, localmente son muy angulares hasta muy redondeados.

El cuarzo policristalino: entre un 7 % a 9 %, de textura interna fina a gruesa algunos clastos presentan inclusiones de muscovita.

Cuadro 6

Secciones delgadas Tsicul. Análisis petrográfico semicuantitativo. Porcentaje de componentes detríticos subordinados.

Muestra	Frag-Roca	Qz	Qz-P	Pl	Aug	Ox-hbl	Hem	Ep	Zrn	Cal	Micr-sec	Bt	Ms	Biocls	Or-P	Mat
8024-TS	1	12	9	2	1	-	7	1	-	10	2	1	15	8	-	31
8025-TS	0,5	14	9	3	0,5	-	8	2	-	10	2	1	6	10	-	35
8026-TS	1	28	7	3	0,5	0,5	10	-	0,5	7	1	0,5	6	5	0,5	32
Promedio	0,83	18,00	8,33	2,67	0,67	0,17	8,33	1,00	0,17	9,0	1,67	0,83	9,00	7,67	0,17	32,66

Frag-Roca=fragmentos roca, Qz=cuarzo, Qz-P=cuarzo policristalino, Pl=plagioclasa, Aug=augita, Oxi-hor=oxihornblenda, Hem=hematita, Ep=epidota, Zrn=circón, Cal=calcita, Micr-sec= micrita (calcita) secundaria, Bt=biotita, Ms=muscovita, Biocls=bioclastos, Or-P=ortosa pertítica, Mat=matriz

Los feldespatos son plagioclasa y ortosa. La plagioclasa abunda entre un 2 % a 3 % con maclas polisintéticas, con zonación continua y en ocasiones arcillitizada y sericitizada. La ortosa (<1 %) solo se presentan en el preparado 8026-TS (Xcambó), se caracteriza por presentar arcillitización y textura pertítica.

Las augitas, máximo 1 %, se presentan de color verdoso, sin alteración visible y angulares.

La oxihornblenda (<1 %) se presenta sin alteración y con pleocroismo en café, preparación 8026-TS (Xcambó).

Las micas observadas son la biotita y muscovita. La biotita, no sobrepasa el 1%, y siempre es parda y pleocroica, mientras que la muscovita tiene una abundancia significativa entre 6 a 15 %, usualmente es alargada y localmente meteorizada.

La epidota abunda en un 2 %, color verde claro.

El circón solamente en la muestra 8026-TS (Xcambó), se ha observado y no sobrepasa el <1 %.

Mientras que la hematita abunda entre 7 % a 10 %, tiende a ser botroidal (con formas esféricas) como relleno de poros y cámaras en los bioclastos. Con luz polarizada (MLT) es opaco (color negro), fácil de confundir con materia orgánica, pero con luz reflejada polarizante (MLR) posee un brillo gris metálico o bien rojizo ocre.

Componentes detríticos carbonatados

Los componentes carbonatados son de tres tipos: calcita primaria, calcita secundaria y bioclastos calcáreos. La calcita primaria, se presenta con una abundancia de 7 % al 10 % son granos recristalizados a microesparita. La calcita secundaria es escasa no más del 2 %, se presenta usualmente en poros y bioclastos. Los bioclastos abundan entre 5 % al 10 %, son biotritus muy recristalizados; la asociación bioclástica son bivalvos, gasterópodos, globigerinoides (plantónicos, bentónicos), equinodermos, briozoos y algas (dasicladáceas), a parte de sus fragmentos, muchos tienen la conchilla completa. Similar a todas las tipologías anteriores.

Matriz arcillosa

La matriz arcillosa oscila entre 31 % al 35 %, su color a nícoles paralelos es parda a gris oscuro, parda amarillenta, parda amarillentos muy clara, de filomorfismo bajo a muy alto. A nícoles cruzados el color es pardo oscuro a pardo muy clara amarillenta. En el caso de la muestra 8024-TS, se observa una abundante muscovita en la matriz.

La fábrica de la matriz presenta una laminación paralela hasta una laminación paralela ondulada discontinua, de aspecto granular a granular fino, muy cristalizada. Mientras que la fábrica de los granos presenta componentes alineados rodeados por matriz, los alineamientos son más patentes en los componentes planares, localmente es más evidente la alineación hacia el borde del preparado (parte oxidada) que en el centro (muestra 8024-TS, Xcambó) curiosamente en la muestra 8026-TS (Xcambó), el soporte tiende a ser por grano.

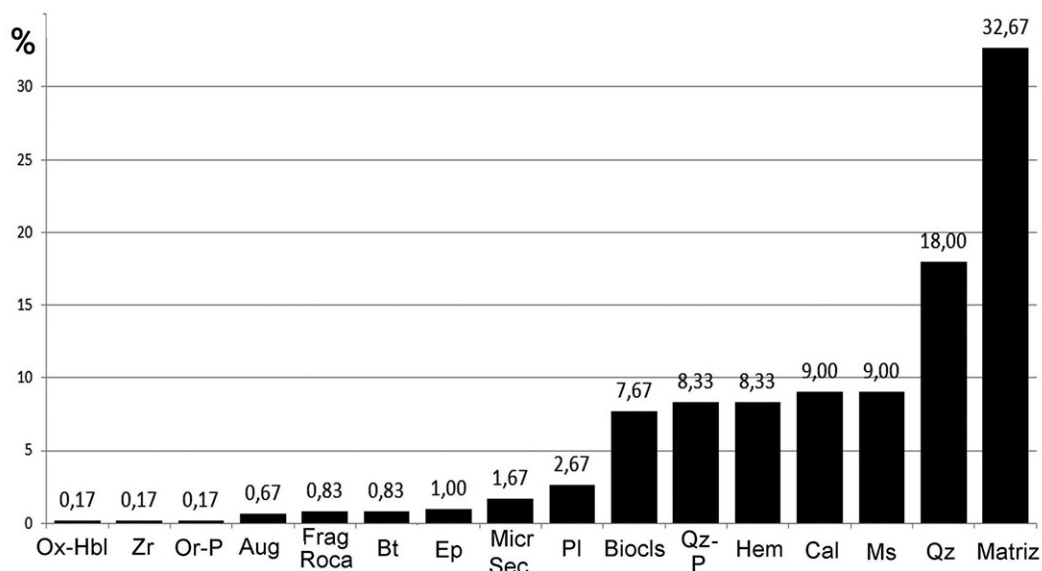


Fig. 7: Gráfico Tsicul, se muestra la variación en la mineralogía y su abundancia relativa. Matriz y componentes detríticos promedio: Silicoclásticos y Carbonatados (véase Cuadro 6).

Aspectos texturales

Las granulometrías son las siguientes (Cuadro 7): tamaño máximo del grano: arena muy gruesa a arena media (1,1x0,32 mm), tamaño mínimo del grano: arcilla gruesa (0,0025x0,002 mm), el tamaño promedio del grano es arena muy fina (0,07x0,046 mm). La selección está entre pobremente seleccionada, moderadamente a bien seleccionada, con formas prismáticas, esféricas y elipsoidales. La redondez de los granos varía de alta esfericidad, baja esfericidad, angulosos, subredondeados a bien redondeados y por último, los tipos de contactos oscilan entre flotantes: 80 % a 99 %, punto: 1 % a 18 %, largos: 2 %.

Aspectos de manufactura

Del hecho de la heterogeneidad de los clastos, tanto de textura como en composición, se infiere que:

a) Los contactos flotantes indican que los granos están rodeados casi completamente por la matriz arcillosa, lo cual puede ser indicativo de una buena homogenización de la pasta y componentes detríticos así como una buena compactación.

b) El preparado 8025-TS (Xcambó) muestra vetillas arcillosas rojas con 0,025 mm de ancho, con laminación ondulada continua, tales ondulaciones posiblemente indican deformación por presión durante la homogenización y a su vez poca disolución de grumos arcillosos..

Cuadro 7

Secciones delgadas Tsicul. Textura y selección de los granos.

Muestra	Selección	Granulometría promedio (mm)	Tamaño del grano		
			Promedio (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)
8024-TS	Moderadamente bien seleccionada	Arena muy fina	0,06x0,0400	1,10x0,3200	0,0025x0,0030
8025-TS	Pobremente seleccionada	Arena muy fina	0,08x0,0600	1,07x0,3500	0,0075x0,0037
8026-TS	Pobremente seleccionada a moderadamente bien seleccionada	Arena muy fina	0,07x0,0400	0,92x0,5100	0,0025x0,0020
Promedio	-	Arena muy fina a Limo grueso	0,07x0,0467	1,03x0,3933	0,0042x0,0029

c) Si comparamos las muestras de Tsicul con las de Dzitbalche y Chablekal (Cuadros 1, 4, 6), en la pasta de Tsicul el soporte es más por grano que por arcilla, lo cual en términos de dureza, le atribuye una mayor fragilidad a la pieza cerámica una vez calcinada. Por ejemplo, la muestra 8024-TS (Xcambó) tiende a presentar un soporte por grano (69 %) y la matriz con apenas 31 %. El porcentaje por volumen de los granos en Tsicul, es incluso hasta mayor que en Baca y Nimun (Obando y Jiménez, 2016) que son consideradas cerámicas en un rango de textura fina a gruesa. Para estas muestras se infiere que 1) se utilizó una arcilla con una proporción diferente de componentes detríticos, 2) posiblemente se aplicaron proporciones de componentes diferentes atendiendo necesidades particulares.

Aspectos destacables

Entre los aspectos destacables se encuentran a) cuarzo policristalino con inclusiones de muscovita y cuarzo poikilitico con inclusiones de augita y muscovita, b) calcita recristalizada en los poros de los fósiles, c) poros alargados con bordes irregulares.

Discusión

A partir del análisis de los gráficos triaxiales (Fig. 8), se puede indicar lo siguiente:

a) De acuerdo a Zanelli, Raimondo, Guarini y Dondi (2011), estas tipologías pueden clasificarse como cercanas a “ladrillos/tejas”, esto es, son altas en arcilla, bajas en feldespatos y en general tienden a ser bajas en cuarzo (Fig. 8A), por otra parte, nótese que Tsicul presenta las proporciones más bajas de feldespatos potásicos ya que la ortosa es <1 % y no presenta microclina (Cuadro 6).

b) En términos generales, de las tres tipologías Dzitbalche, es la que presenta mayores cantidades de micas+feldespatos (Fig. 8B, Cuadro 4), nótese que la mayoría de las tipologías se muestran agrupadas cercanas a los mayores porcentajes de cuarzo.

c) Se destaca que los carbonatos (calcita primaria+bioclastos) están subordinados, se hace notar que la tipología Dzitbalche no presenta calcita primaria, de ahí el sesgo hacia los feldespatos (Fig. 8C).

d) Al comparar los carbonatos (calcita primaria+bioclastos) con los feldespatos y micas, la dispersión de las muestras es mayor (Fig. 8D), esto debido a que los feldespatos potásicos están subordinados, por ejemplo Tsicul no presenta del todo microclina y la ortosa peritética no sobrepasa el 0,5 %.

Como resultado de las observaciones en las muestras analizadas, para este trabajo se propone por primera vez que las cerámicas Chablekal, Tsicul y Dzitbalche, pueden estar formadas por dos grandes grupos petrográficos mayoritarios (Fig. 9), esto es, a) las pastas finas bioclásticas sin vidrio y b) las pastas finas no bioclásticas con vidrios. Por otra parte se propone dos subgrupos a-1) las pastas bioclásticas con feldespatos K y b-1) las pastas no bioclásticas sin vidrio y sin feldespatos, pero con calcita. Comparado con la pasta Nimun-Baca (Cuadro 8) la gran diferencia radica en la mineralogía y la textura. Si bien es cierto que las muestras de la textura fina con vidrio volcánico son insuficientes, requerirá de un muestreo más intenso para afinar esta agrupación propuesta.

Los bioclastos y su posible procedencia.

Desde el punto de vista geológico ambiental, el análisis de bioclastos cuando existen, siempre es un tema de mucha importancia. En lo que respecta a las cerámicas, el estudio de los bioclastos y la determinación de su contexto es requerido ya que estos organismos, pueden dar pistas de la proveniencia de la materia prima de la pasta y aportan datos sobre la tecnología cerámica, así como temperatura de calcinación, hechos ya indicados por Flügel (2010), Quinn y Day (2007), Privitera (2015), entre otros.

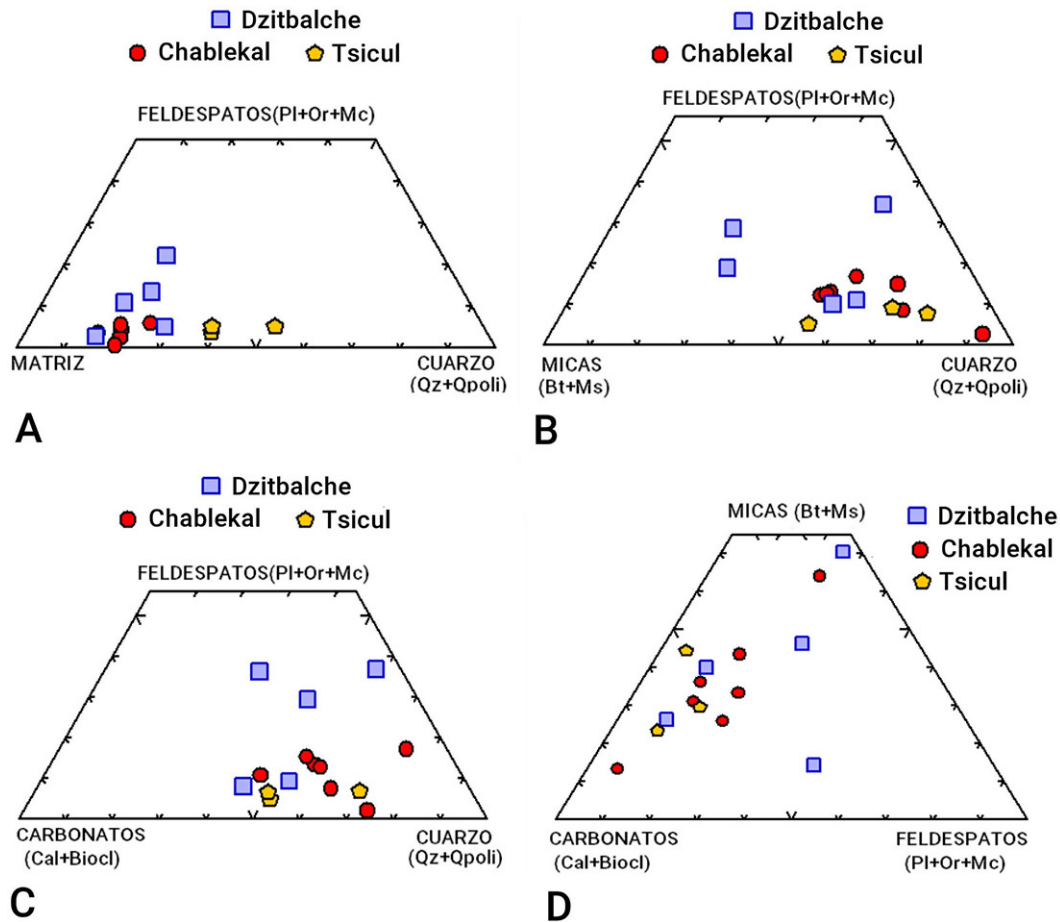


Fig. 8: Análisis mineralógico por tipologías. Tsicul y Chablekal son pastas similares, mientras que Dzitbalche presenta una ligera dispersión de su composición mineralógica, con respecto a las otras tipologías, tanto hacia las micas como a los feldespatos.

Los bioclastos observados en este estudio, se componen de conchillas calcáreas y sus fragmentos. Las tipologías que contienen bioclastos o sus fragmentos son: Dzitbalche (máximo 12 %, Cuadro 4) y Tsicul (máximo 10 %, Cuadro 6), mientras que en Chablekal solo en cuatro muestras se han observado bioclastos (máximo 3 %, Cuadro 1).

La asociación bioclástica en términos generales es similar y, se compone de: bivalvos, gasterópodos, macroforaminíferos, microforaminíferos bentónicos y planctónicos (globigerinoides) así como sus fragmentos, poco comunes son algunos bioclastos como briozoos, algas verdes (dasicladáceas), fragmentos de equinodermos entre otros. Se observa una mezcla de organismos de diferentes comunidades de ambientes marinos. Pese a que dominan biodetritos muy fragmentos, es común observar organismos con la conchilla completa (Fig. 5).

Sin embargo, la omnipresente recristalización (microesparítica y esparítica), debido a las temperaturas de calcinación, han hecho que se pierdan los rasgos identificadores de la especie, sin embargo algunos preservan bien su morfología (Fig. 5). Cabe destacar que en ningún preparado se observaron fragmentos de roca carbonatada, como calizas bioclásticas o areniscas ó lutitas fosilíferas, rocas que se identifiquen como posibles fuentes de bioclastos. Como se desprende de lo anterior la asociación bioclástica es netamente marina (Aguilar, 2000; Flügel, 2010; Meléndez, 1977; Wray, 1977). Por ejemplo, en términos generales, los foraminíferos, en su mayoría marinos, son protozoarios, unicelulares, con un caparazón calcáreo multicámara con pseudópodos, de formas y características muy variadas, pueden ser bentónicos y planctónicos, microforaminíferos o macroforaminíferos (de hasta 1 cm de largo); las globigerinas (microforaminíferos) son de caparazón formado por multicámaras

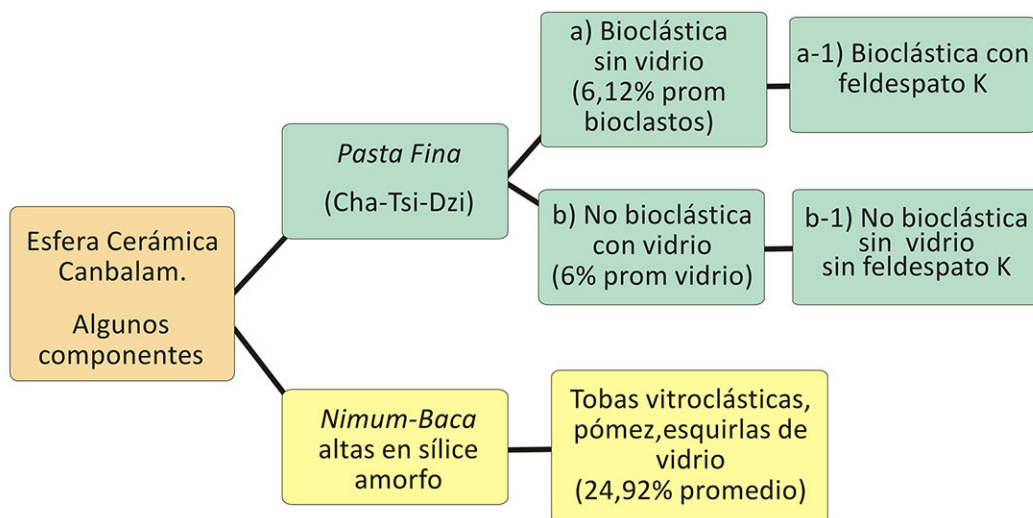


Fig. 9: Clasificación por componente detrítico de algunos elementos de la Esfera Cerámica Canbalam, (cerámica Nimum-Baca basado en Obando y Jiménez,2016).

Cuadro 8

Comparación entre la cerámica Pasta Fina y Nimum-Baca, rasgos dominantes.

Rasgo	Pasta fina (Tsicul,Dzitbalche,Chablekal)	Nimum-Baca Obando y Jiménez (2016)
Granulometría	Arena muy fina.	Nimum: Arena fina hasta gruesa. Baca: Arena fina a media.
Selección	Pobrementemente seleccionadas hasta bien seleccionadas.	Muy pobrementemente seleccionada hasta pobrementemente seleccionada.
Esquirlas de Vidrio	Escasas esquirlas de vidrio.	Abundantes esquirlas de vidrio pómez y tobas vitroclásticas.
Componentes minerales silicoclásticos	Altas en arcilla, altas en cuarzo y alto en plagioclasas. Subordinado el sílice amorfo y feldespato K. Máximo 54,34 %	Altas en sílice amorfo: esquirlas de vidrio, pómez, tobas vitroclásticas. Bajas en cuarzo. Máximo 61%
Bioclásticas	Mayormente bioclásticas.	No existen
Componente carbonatado máximo	Calcita primaria+bioclastos: Calcita 20 % Bioclastos 43 %	Calcita primaria+calcita secundaria: Nimum 13 %, Baca 25 %. No existen bioclastos.
Textura macroscópica arqueológica	Clasificadas como pasta de textura fina.	Clasificadas como pastas de textura media.
Textura superficial arqueológica	Tsicul y Chablekal: engobe gris, negro, pulido sin restos de partículas visibles en la pasta. Dzitbalche: engobe bayo pulido o baño blanco no pulido, sin restos de partículas visibles en la superficie.	Engobe de color marrón o crema de apariencia poco pulida a casi mate, con restos de partículas visibles en la superficie.
Características tipológicas del engobe	Delgado bien adherido a las paredes externas o internas.	Delgado, agrietado, bien adherido a las paredes externas o internas.

esféricas de gruesos poros (forámenes Fig. 5A y I), mientras que los macroforaminíferos (Fig. 5B) crecen en forma elongada, con una serie de cámaras sólidas de calcita, son de aguas marinas someras fóticas (Aguilar, 2000; Boudagher-Fadel, 2008; Flügel, 2010; Jones, 2014; Melendez, 1977).

Por otra parte, las algas verdes son calcáreas forman un grupo muy heterogéneo de algas marinas bentónicas unicelulares, con la característica común que todas ellas tienen la capacidad de secretar revestimientos calcáreos alrededor del citoplasma, viven desde la zona fótica hasta más de 120 m de profundidad (Granier, 2012). Las algas verdes como las dasicladáceas (Fig. 5D y E), viven bajo el nivel de mareas bajas sobre los 30 m, pero prefieren profundidades someras (5 m o menos). El substrato requerido para fijarse son arenas y barros calcáreos en sitios de baja energía, bajo la intensa agitación de las olas o bien zonas protegidas de la plataforma somera (*lagoon*) (Wray, 1977).

De acuerdo a las biofacies anteriores, morfología de la concha, su habitat, granulometría y a la ausencia de fragmentos de rocas sedimentarias en las secciones delgadas, se puede inferir lo siguiente:

a) Se infiere que los bioclastos son actuales, los bioclastos no proceden de rocas fosilíferas preexistentes, esto debido a que éstas no fueron observadas en las láminas delgadas.

b) La presencia de los bioclastos heterogéneos marinos, su fragilidad, su preservación, así como su granulometría, sugiere depósitos de sedimentos marinos costeros no consolidados, tales como arenas muy finas a limos calcáreos depositados en ambientes someros y tranquilos (poco o nada de oleaje), tales como marismas y pantanos calcáreos costeros. Por tanto, los componentes biodetríticos calcáreos posiblemente procedan de los barros calcáreos recientes y sin transporte. Las mezclas heterogéneas de biofacies puede ser explicado por la ocurrencia de eventos de alta energía esporádicos y de corta duración, tales como marejadas de fuerte oleaje, huracanes, o bien eventos geológico-climáticos de larga duración como las últimas glaciaciones que causaron la progradación de la costa yucateca, etc.

c) Posiblemente los antiguos alfareros tomaron la materia prima calcárea de los manglares, pantanos costeros ó depósitos finos de traplaya, muy cercanos a la costa del Golfo de México en sitios antiguos de fácil recolecta de detritus y los mezclaron con los componentes silicoclásticos a fin de lograr la mezcla requerida. Así, se infiere que la pasta fina, tal como se ha sugerido arqueológicamente (Bishop et al., 2006; Brainerd, 1941; Jiménez et al., 2006a; Jiménez et al., 2018 Piña, 1968; Ruz, 1969) fue realizada por artesanos que tuvieron acceso a materias primas marinas procedentes de la costa del Golfo de México. Probablemente, desde varios centros productores especializados cercanos a esta extensa costa, elaboraron series de vasijas grises, negras y de color bayo.

Tecnología de manufactura

Engobe o baño

Debido a que la técnica petrográfica involucra el desbaste de la muestra con pulidores, esto hace que sea una técnica destructiva. Así, los engobes debido a su naturaleza fina, difícilmente se preservan. Sin embargo, en la muestra 8013-DZ (Xcambó) el engobe o baño se ha preservado ya que una microlamina de microesparita diagenética lo ha protegido. En este caso, el engobe puede llegar a medir hasta 0,2 mm (Fig. 10, Muestra 8013-DZ) y la zona más delgada aproximadamente mide 0,04 mm. La composición de este engobe es básicamente arcillosa, con cuarzo y feldespatos subordinados muy finos. De lo anterior se infiere que debido a razones culturales de su tecnología, es decir, a la finura de la pasta y a la baja porosidad, los alfareros posiblemente pudieron aplicar esta delgada capa en la superficie las vasijas. Sin embargo, no es posible deducir cuanto engobe inicial se perdió por erosión del fragmento. La petrografía de otras muestras de pasta fina, permitirá explorar este tema que es importante en términos de conocimientos de la tecnología prehispánica en el área Maya.

Detritus carbonatados primarios

El análisis de los datos, indican que la calcita primaria no sobrepasa el 12 % en todas las muestras (Cuadros 1, 4 y 6), en algunos preparados, la calcita se encuentra como impregnación y está mezclada con la matriz, mientras que en otros preparados la calcita primaria está ausente y solo prevalecen los bioclastos calcáreos recristalizados y la calcita secundaria, tal es

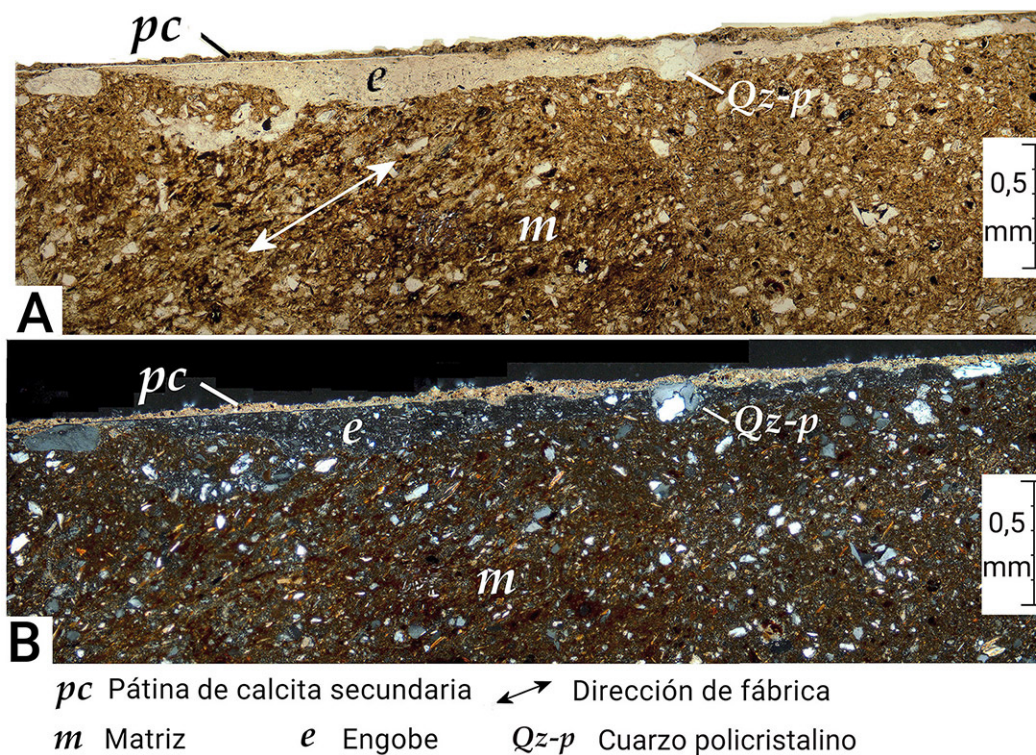


Fig. 10: Preparado 8013-DZ, se muestra el cemento calcáreo secundario por diagénesis (*pc*), el engobe (*e*) ha rellenado irregularidades de la matriz (*m*), la cual presenta un ligero alineamiento paralelo de sus componentes (doble flecha blanca) Nótese algunos clastos de cuarzo policristalino en el engobe (*Qz-p*). A) en nicoles paralelo, B) en nicoles cruzados.

el caso de Dzitbalche. En general, el total del promedio de la calcita primaria más los bioclastos tiene un máximo de 20 %, mientras que los detritos silicoclásticos son siempre más abundantes y oscilan entre 21 % a 55 %. Dado lo anterior, parece razonable pensar que los antiguos alfareros tenían suficientes detritus silicoclásticos para hacer sus mezclas y no requerían carbonatos; siendo así, la razón por la cual usaran carbonatos, no es clara. Por lo tanto, para explicar esa observación se infiere lo siguiente:

a) Una posibilidad tecnológica, es que los alfareros en determinado momento durante la confección de las vajillas, ellos carecían de suficiente material silicoclástico, en especial feldespatos de potasio y debido a ello agregaron detritus calcáreos a fin de completar las proporciones requeridas para su pasta ó bien, era requerimiento en la formulación de la pasta.

b) Otra posibilidad tecnológica, es que a falta del potasio de los feldespatos (Fig. 8), los alfareros aprendieron a utilizar la calcita como fundente adicionando carbonato logrando así la vitrificación de la loza a más bajas temperaturas, que según Tite y Maniatis (1975) y Grapes (2006), la vitrificación puede iniciarse a más baja temperatura cerca de los 850 °C., ya es conocido que a nivel industrial actual los carbonatos se utilizan como fundentes, estos carbonatos deben ser en pequeñas cantidades (menos del 20 %) y de granulometría fina (arena muy fina hasta arena fina). Cuando hay carbonatos presentes, la fusión empieza a ocurrir alrededor de los 800°C y el Ca y el Mg de los carbonatos actúan como agentes fundentes (Betancourt, Díaz, y Martirena, 2013; Cultrone, Rodríguez-Navarro, Sebastian, Cazalla, De La Torre, 2001; Dagounaki, Sikalidis, Kassoli-Fournaraki y Tsirambides, 2008; Díaz, Betancourt y Martirena, 2011; Kłosek-Wawrzyn, Małolepszy y Murzyn, 2013; Loras y Pérez, 2011; Santacreu, 2014; Serra et al., 2012; Simão et al., 2014; Trindade, Dias, Coroado y Rocha, 2008).

Aspectos de la temperatura de sinterización

Hematita y calcita primaria

La hematita se dispone en coronas alrededor de algunos bioclastos y contenida en las cámaras de las globigerinas (Fig. 5H, I, K, L), se infiere que estos óxidos de hierro son secundarios formados a partir del proceso pirometamórfico y se considera que una atmósfera oxidante precipitó los óxidos de hierro. De acuerdo con Maniatis, Simopoulos y Kostikas (1981), Grape, (2006), Trindade et al. (2009), la formación de hematita inicia a los 400-500°C y se intensifica a los 800°C.

Por otra parte, al usar sedimentos carbonatados marinos de manera inherente se agrega agua salada, esto en cantidades no determinadas, tal adición acelera las fases minerales que son capaces de incorporar hierro y que dan como resultado la coloración de la pasta y evita así, el fracturamiento por desprendimiento del dióxido de carbono para formar cal (Dufournier, 1982; Eramo, 2020; Molera, Pradell y Vendrell-Saz, 1998; Rye, 1976). Por lo tanto, dado lo anterior, no es dable pensar que los óxidos de hierro son únicamente primarios (contenidos en las arcillas y otros minerales), ya que por los procesos de calcinación se ha precipitado óxidos de hierro, no siendo claro cuánto óxido de hierro es secundario.

La calcita primaria es un mineral remanente y representa la fusión parcial, esto es, si el tiempo de calcinación fue corto ó si la temperatura de sinterización no fue lo suficientemente alta (<800°C), el carbonato tiende a no fundirse completamente (Gliozzo, 2020; Grapes, 2006; Trindade et al., 2008), o sea, en estas muestras, se está observando el carbonato remanente añadido por los alfareros. Si la calcinación es menor a 700°C no hay cambios texturales visibles, esto incluye a los bioclastos (Grapes, 2006; Loras y Pérez, 2011; Quinn, 1999; Trindale et al., 2008). Por otra parte, la preservación móldica de los bioclastos (Fig. 5J y K), puede indicar una temperatura de sinterización de alrededor de 830-870°C, debido a la descomposición de la calcita de las conchillas (Cultrone et al., 2001; Grapes, 2006; Trindale et al., 2008).

En algunas muestras solo se observan bioclastos (Dzitbalche), esto puede indicar que los efectos de la calcinación hayan reducido significativamente el contenido de la calcita primaria muy fina (micrita) y solo prevalecieron los bioclastos (Cuadro 4, nótese que no hay contenido de calcita primaria), estos últimos soportaron la cocción debido a su estructura cristalina compacta y a que las conchas completas se convierten en sistemas cerrados (Privitera, Guido, Mastandrea, Rao y Russo, 2015; Quinn y Day, 2007), por ejemplo, los gasterópodos y los globigerinoides que tienen un crecimiento de cámaras a partir de un prolóculo solamente tienen una apertura. En general el pirometamorfismo, ha recrystalizado las conchillas micríticas a microesparita equigranular y aunque en algunas conchillas las estructuras primarias se perdieron se conservó bien su morfología (Fig. 5).

La calcita y los procesos de diagénesis

Diagénesis son todos aquellos cambios físicos, químicos y biológicos que cambian el sedimento donde fueron depositados, sean sedimentos silicoclásticos, carbonatados u orgánicos. Estos procesos se inician inmediatamente después del depósito y se acrecientan durante el enterramiento del sedimento, las causas principales son el progresivo incremento de presión (por carga litostática) y temperatura (grado geotérmico). Las características del sedimento, como empaquetamiento del grano, porosidad, permeabilidad y mineralogía, pueden cambiar significativamente ya sea por procesos físicos como compactación y químicos como cementaciones y alteraciones, esto ocurre aproximadamente en los primeros 2 m de profundidad (Bathurst, 1975; Bissell y Chilingar, 1967; Boggs, 2012; Brookfield, 2004; Larsen y Chilingar, 1979; Moore, 1997; Vera, 1994).

La mineralogía de los carbonatos es más susceptible a la disolución, recrystalización y reemplazo que la mayoría de los minerales silicatados. Según Flügel (2010), los cambios principales que ocurren en carbonatos son micritización, disolución, cementación, compactación, neomorfismo, dolomitización y reemplazo de los granos carbonatados y la matriz por minerales no carbonatados (por ejemplo, calcedonia y cuarzo). Tales cambios pueden destruir o modificar las texturas primarias del depósito, tales como granos carbonatados y micritas. La porosidad de los sedimentos carbonatados puede ser o reducida por compactación y cementación o aumentada por disolución (Boggs, 2012). En el ámbito de las aguas meteóricas, éstas están cargadas de dióxido de carbono pudiendo ser un ácido agresivo disolviendo los carbonatos. Las aguas meteóricas al percolar desde la superficie de la roca o del suelo, pueden llegar a saturar las aguas en carbonato de calcio causando una precipitación de calcita (calcificación), esta calcita puede precipitar como cemento en espacios abiertos (Ahr, 2008; Boggs, 2012; Einsele,

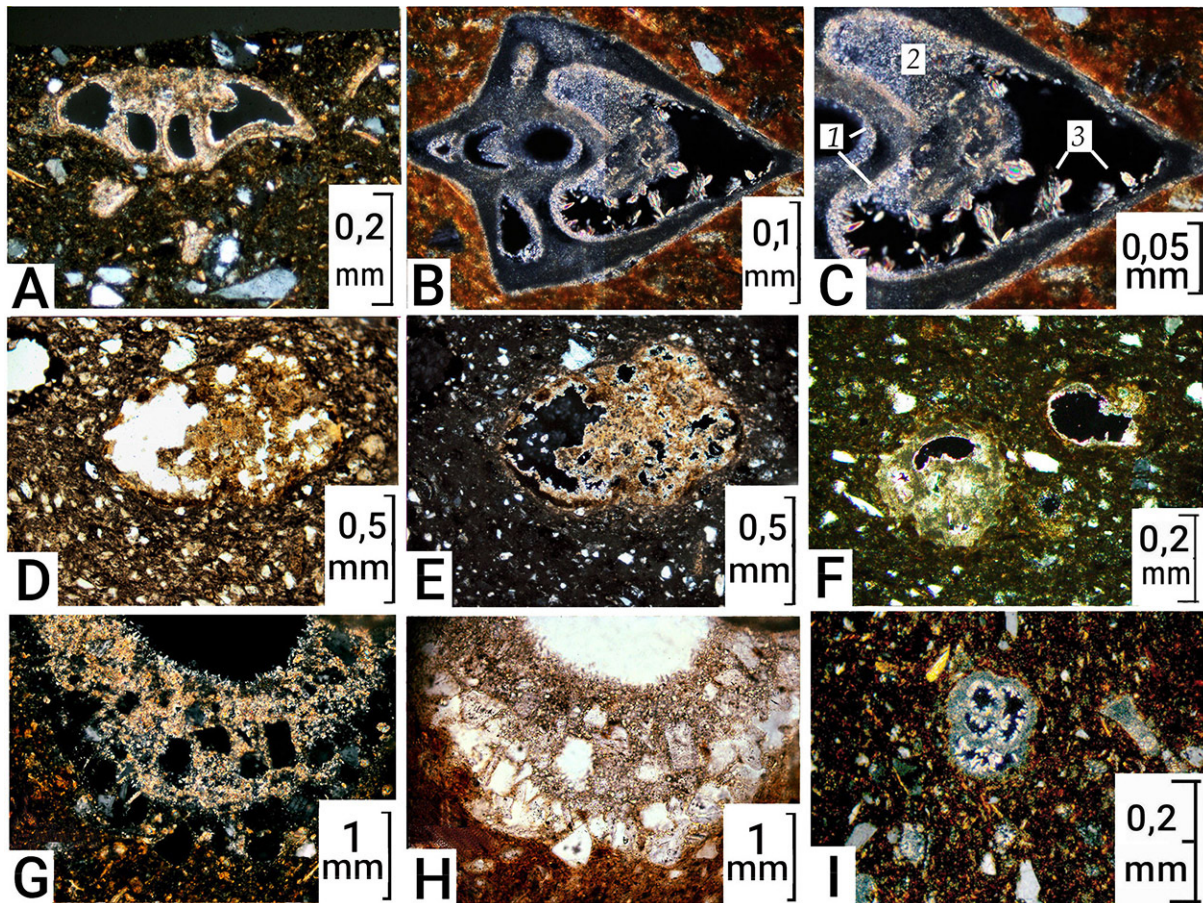


Fig. 11: Diagénesis, recrystalización A) Gastrópodo recrystalizado mostrando la concha con parches grises y amarillentos claros. B y C) Gastrópodo: nótese la recrystalización de la concha a microesparita equigranular. En el relleno parcial de los poros y cámaras de la concha, se notan tres fases de recrystalización de calcita (C detalle dentro de la cámara), una película muy fina micrítica adherida inmediatamente a la concha (1), la segunda fase de crystalización se compone de una microesparita equigranular masiva continua (2) relleno parcialmente la cámara; por último, una fase de crystalización fibrosa acicular fina (3), (muestra 8011-DZ). D) y E) Microgeoda: Poros de la cerámica rellenos de micrita y calcita microacicular alrededor del espacio vacío, ésta representa el último estadio de la recrystalización (muestra 8018-CH: D) nicoles paralelos, E) nicoles cruzados). F) Gastrópodo recrystalizado, nótese el aspecto aparchonado de la concha y la película de aspecto brillante muy fina de micrita secundaria, depositada en el borde interior el poro (en negro). G y H) Relleno de poro, microgeoda con películas de microesparita que cementan fragmentos detríticos (cuarzo, feldspatos, en nicoles cruzados), observándose un reemplazo parcial de la matriz por microesparita, el avance del reemplazo ocurrió del agujero hacia la matriz, se observa una micropelícula de calcita acicular rodeando el perímetro del poro. H) fotografía anterior en nicoles paralelos (muestra 8015-CH). I) Bioclasto recrystalizado con relleno de poro por películas de micrita y el estadio final con calcita acicular (tonos más brillantes, nicoles cruzados).

2000). La precipitación del carbonato se manifiesta en formas de cristales diversos, por ejemplo, cristales en tipo drusas, hojuelas, agujas radiales o fibrosas y en geodas variadas, entre otros, fenómenos similares ya fueron descritos por Obando y Jiménez (2016), para la vajilla Celestúm Roja (Nimun-Baca),

Para el caso de la pasta fina, La precipitación del carbonato por diagénesis, es carbonato secundario y se manifiesta de varias formas (Fig. 11).

a) Como pátina de calcita secundaria formada por micrita-esparita, Por ejemplo, el preparado 8013-DZ, el cual presenta un mantillo continuo carbonatado que se extiende sobre el engobe a modo de cemento (Fig. 10), esto último endureció el fragmento cerámico. Por otra parte, las superficies de los fragmentos presentaran colores blanquecinos amarillentos de aspecto aparchonado por efecto del precipitado calcáreo.

- b) Carbonatos precipitados (geodas) en las cámaras de los bioclastos, sea en forma masiva, o en agujas finas (Fig. 11A, B, C, D, F, I).
- c) Carbonatos precipitados en los poros, calcita secundaria como costras micríticas y la subsecuente eliminación de la porosidad primaria (Fig. 11C, D, F),
- d) Neoformación de carbonatos, como microesparita granular, calcita acicular y de reemplazamiento (Fig. 11F, G, H, I).

Aspectos arqueológicos

En las cerámicas “Grisés Finos” (Chablekal), se percibe una mayor variación si se observa con detalle los parámetros de la composición y textura, algunas variaciones son sutiles. Lo anterior parece señalar diferencias tecnológicas en el proceso de manipulación de la arcilla, aunado quizá a probables diferencias en conocimientos manufactureros regionales y en algunos casos, incluso de índole cronológica. Por razones de metodología arqueológica, se han unificado cerámicas en agrupamientos estilísticamente homogéneos o en vajillas, cerámicas que quizá fueron manufacturadas por grupos o centros productores diferentes, pero que al mismo tiempo compartían conocimientos en sus estilos de tecnología.

Por ejemplo Dzitbalche, por todas sus características petrológicas y arqueológicas, se puede decir que es la cerámica más diferenciable del resto de las pastas finas de la costa peninsular, ya Ball (1978) la había diferenciado como pasta Isla Fina con sus particularidades modales y estilísticas. Por su parte Chablekal, aún considerando su estilo cerámico es una terminología arqueológica confusa, si queremos integrar a los “Grisés Finos”, tal como se ha demostrado en términos de su composición la cual refleja una variedad notoria, ya que se observan pastas finas grises con bioclastos, sin bioclastos, con esquiras de vidrio o con calcita primaria (Fig. 8D y Cuadros 1 y 2).

En términos petrográficos, Tsicul, es una cerámica similar a algunas muestras de Chablekal (Fig. 8); cabe la posibilidad de que los alfareros que hicieron cerámicas Tsicul también hicieron Chablekal, pero a diferencia de la cerámica “Gris Fina”, la cerámica Tsicul se caracteriza ya sea por una preparación diferente en la arcilla o bien usaron materia prima de una fuente natural de arcilla que poseía en sí misma, altos contenidos de componentes detríticos residuales (en caso de que la arcilla no haya sido modificada). De lo anterior queda claro que hacen falta más análisis arqueológicos y petrográficos de la tipología de la pasta fina de la región al sur del Golfo de México.

Se puede decir que Chablekal es un concepto arqueológico que en su momento sirvió como la herramienta descriptiva adecuada para diferenciar a la cerámica de textura fina de color gris del resto de las pastas finas de otros colores y características modales y estilísticas que en aquel entonces habían sido reportadas en el área Maya (Smith y Gifford, 1965). Con los estudios arqueológicos y arqueométricos actuales, es notorio que el concepto definido en aquel entonces, no puede seguirse utilizando como concepto de análisis para responder a preguntas específicas sobre las prácticas de la tecnología cerámica fina en el área Maya, la misma problemática clasificatoria se considera para Tsicul. Ahora, para el caso específico de Dzitbalche, ésta es la pasta fina mejor definida en términos tecnológicos y estilísticos; así mismo en este trabajo, la pasta de la tipología queda definida petrográficamente.

Se plantea como hipótesis de trabajo, que es posible que a inicios del periodo Clásico Tardío (550/600 d.C.), el esmero en la textura de las pastas finas, distribuidas al sur del Golfo de México no haya sido tan cuidadosa como en tiempos posteriores, señalando la posibilidad de explorar cambios tenues de la tecnología entre estos grupos alfareros, tanto en tiempo como en espacio. El estilo decorativo iconográfico y formas de vasijas variadas entre el Chablekal “temprano” (550/750 d.C.) y Chablekal “tardío” (a partir de 750 d.C.) de la costa noroccidental de la península de Yucatán (Jiménez et al., 2006b), podría ser considerada como una evidencia relacionada con esta hipótesis planteada.

Siendo así, en este artículo se consideran dos puntos importantes a señalar: 1) es claro que el concepto de pasta fina tiene diferentes connotaciones, por tanto, es necesario observar atentamente las metodologías que se han utilizado para su descripción, en las que es requerido hacer explícito el criterio descriptivo utilizado, ya sean descripciones macroscópicas o microscópicas, arqueológicas, geológicas o ambas, 2) si se les define de manera microscópica, hay que aclarar cuáles son los atributos físicos que se están considerando y describiendo en el análisis; así como la cantidad de muestras estudiadas e incluso, es requerido señalar, cuales fueron los parámetros importantes que se utilizaron para tales descripciones y definiciones. El concepto petrográfico de pasta fina propuesto, es una herramienta diferente que ayuda al arqueólogo a clasificar la pasta, al definirse la textura, sus tamaños máximos y su porcentaje máximo, no importando su composición mineral.

Conclusiones

- 1) Se define por primera vez, el concepto petrográfico de pasta fina, la cual se propone como una herramienta de análisis textural y composicional.
- 2) Como tecnología de manufactura, a parte del sílice amorfo y feldespatos, se propone el uso de los carbonatos como fundentes, esto como alternativa ante la escases de potasio (K) y sílice amorfo, en los materiales utilizados de la pasta.
- 3) Las evidencias indican que la temperaturas de sinterización oscilaron entre 750°C y 870°C.
- 4) En los preparados, se observó una variada asociación bioclástica, estos microorganismos de origen marino son principalmente: bivalvos, gasterópodos, equinodermos, briozoos, algas, microforaminíferos (plantónicos y bentónicos) y macroforaminíferos, así como sus fragmentos. Mientras que los componentes silicoclásticos provienen del continente (entre ellos los fragmentos de rocas metamórficas).
- 5) De acuerdo con el análisis petrográfico y arqueológico, así como con base en las inferencias geológicas y arqueológicas, las cerámicas de pasta fina fueron realizadas por antiguos alfareros que tenían acceso a depósitos con materias primas calcáreas las cuales contenían microorganismos de aguas someras; depósitos similares se observan actualmente a lo largo de la costa del Golfo de México. Siendo así, cabe la posibilidad de acotar estos límites entre el sur de Veracruz hasta el norte de la Península de Yucatán
- 6) Los alfareros tomaron la materia prima silicoclástica posiblemente de tierra adentro, pero los bioclastos carbonatados los tomaron directamente de la costa, corroborándose así las hipótesis previas que proponen que el origen de manufactura de estas cerámicas procedía de la costa del Golfo o del interior. Aquí lo relevante, es la combinación de diferentes componentes detríticos utilizados, procedentes de ambientes geológicos bien diferenciados, en donde algunos silicoclásticos no son propios de la Península de Yucatán.
- 7) Posiblemente existían centros de producción de diferentes tipos de pastas (al menos cuatro tipos en las muestras analizadas) los cuales coexistieron con otros centros que manufacturaron la pasta Nimun-Baca representativa de la esfera cerámica Canbalam.
- 8) Hay que considerar que las razones de estas diferencias o similitudes petrográficas entre las pastas finas Dzitbalche, Tsicul y Chablekal podrían ser tanto de índole geológica como de conocimiento tecnológico en las opciones culturales, como por ejemplo formulación de la pasta.
- 9) La tipología Dzitbalche, es la pasta fina mejor definida en términos tecnológicos y estilísticos; así mismo en este trabajo, la pasta de la tipología queda definida petrográficamente como elemento complementario a la definición.
- 10) Es claro que se plantean más preguntas que respuestas pero también es claro que la petrografía debe ir acompañada de un análisis estilístico contextual arqueológico previo, tratando de considerar el orientar la exploración geo-arqueológica no solo a nivel de sitio sino a nivel macroregional.

Agradecimientos

Extendemos nuestro agradecimiento al Laboratorio de Cerámica de la Facultad de Ciencias Antropológicas (FCA-UADY) por el uso de su banco de datos petrográfico. A la Universidad de Costa Rica (UCR), Escuela Centroamericana de Geología (E.C.G). Agradecimientos a las paleontólogas y geólogas M.Sc. Teresita Aguilar, M.Sc. Julliette Betancour, M.Sc. Stephanie Murillo, Dra. María Sandoval, por los comentarios y discusión. Asimismo a M.Sc. Ileana Boschini (Directora Dirección Geología Minas, DGM) a M.Sc. Sofía Guapaya (Jefa de Investigación, DGM), por la colaboración prestada. Nuestro agradecimiento a la arqueóloga Lic. Priscilla Molina Muñoz, Curadora, Museos del Banco Central de Costa Rica, por la revisión del manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, T. (2000). Paleontología. En P. Denyer y S. Kussmaul (eds.), *Geología de Costa Rica* (pp. 87-100). Cartago, Costa Rica: Ed. Tecnológica de Costa Rica.
- Ahr, W. M. (2008). *Geology Of Carbonate Reservoirs*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
- Ancona, I. (2008). *La cerámica de pasta fina gris y negra de Jaina y Uaymil, Campeche, como marcador de interacción social* (Tesis de licenciatura inédita). Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.
- Ball, J. (1978). Archaeological pottery of the Yucatan-Campeche coast. En D. Eaton y J. Ball (eds), *Studies in the archaeology of coastal Yucatan and Campeche, México* (Publication 46, pp 69-146). New Orleans, USA: Middle American Research Institute. Tulane University.
- Bathurst, R. G. (1975). *Carbonate sediments and their diagenesis*. Amsterdam, Holanda: Elsevier .
- Berlín, H. (1956). Late pottery horizons of Tabasco, Mexico. *Contributions to American Anthropology and History*, 606(59), 95-153.
- Betancourt, D., Díaz, Y., y Martirena, F. (2013). Influencia de la adición de un 2% de carbonato de calcio en el proceso de fabricación de los ladrillos de cerámica roja: etapas de secado y cocción. *Revista Ingeniería de Construcción*, 28(2),113-124. doi: 10.4067/S0718-50732013000200001
- Bishop, R. L. (2003). Five Decades of Maya Fine Orange Ceramic Investigation by INAA. En L. Van Zelst (ed.), *Patterns and Process* (pp. 81-92). Maryland, USA: Smithsonian.
- Bishop, R. L., Blackman, J., Folan, W., Forsyth, D., y Sears, E.(2006). Observaciones iniciales sobre el consumo de Champotón. *Los Investigadores de la Cultura Maya*, 24(1),134-146.
- Bissell, H. J., y Chilingar, G. V. (1967). Classification Of Sedimentary Carbonate Rocks. En G. V. Chilingar, H. J. Bissell y R. W. Fairbridge (eds.), *Developments In Sedimentology 9a, Carbonate Rocks, Origin, Occurrence And Classification* (pp. 87-168). Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Boggs, S. (2012). *Principles of sedimentology and stratigraphy* (4th edition). New Jersey, USA: Pearson Prentice Hall.
- Boudagher-Fadel, M. K. (2008). *Evolution and geological significance of larger benthic foraminifera*. Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Brainerd, G. (1941). Fine Orange Pottery in Yucatán. *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos*, 5(2-3),163-183.
- Brainerd, G. (1958). The Archaeological Ceramics of Yucatán. *Anthropological Records*, 19, 106. Recuperado de <https://digitalassets.lib.berkeley.edu/anthpubs/ucb/text/ucar019-001.pdf>
- Brookfield, M. E. (2004). *Principles of stratigraphy*. Oxford,United Kingdom: Blackwell Publishing.
- Cassasola, L. (1987). El colapso maya y la zona del Usumacinta medio. *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos*, 2, 303-306.
- Cultrone, G., Rodriguez-Navarro, C., Sebastian, E., Cazalla, O., y De La Torre, M. J.(2001).Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. *European Journal of Mineralogy*, 13(3),621-634. doi: 10.1127/0935-1221/2001/0013-0621
- Díaz, Y., Betancourt, D., y Martirena, F. (2011). Influencia de la finura de molido del carbonato de calcio en las propiedades físico mecánicas y de durabilidad de los ladrillos de cerámica roja. *Revista Ingeniería de Construcción*, 26(3),269-283. doi: 10.4067/S0718-50732011000300002
- Dagounaki, C., Sikalidis, C., Kassoli-Fournaraki, A., y Tsirambides, A. (2008). The influence of carbonates on the technological properties of an industrial red clay. *Industrial Ceramics*, 28(3), 181-188.
- Dufournier, D. (1982). L'utilisation de l'eau de mer dans la préparation des pâtes céramiques calcaires, premières observations sur les conséquences d'un tel traitement. *Revue d'Archéométrie*, 6, 87-100. doi:10.3406/arsci.1982.1195
- Einsele, G. (2000). *Sedimentary Basins, Evolution, Facies, and Sediment Budget* (2nd ed.). Berlín, Alemania: Springer-Verlag.
- Eramo, G. (2020). Ceramic technology: how to recognize clay processing. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12 (164), 2-24. doi: 10.1007/s12520-020-01132-z
- Forsyth, D. (2019). The Ceramics of Champoton, Campeche, México. *Papers of New World Archaeological Foundation*, 84, 238.
- Flügel, E. (2010). *Microfacies of carbonate rocks: Analysis, interpretation and application* (2da ed.). Berlín, Alemania: Springer.

- Gifford, J. (1960). The Type-variety Method of Ceramic Classification as an indicator of Cultural Phenomena. *American Antiquity*, 3, 341-347
- Gifford, J. (1976). Prehistoric pottery Analysis and the Ceramics of Barton Ramie in the Belize Valley. *Memoirs of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology Harvard University*, 18,359
- Gliozzo, E. (2020). Ceramic technology: How to reconstruct the firing process. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 12(260), 35. doi: 10.1007/s12520-020-01133-y
- Granier, B. (2012). The contribution of calcareous green algae to the production of limestones: a review. *Geodiversitas*, 34(1), 35-60. doi:10.5252/g2012n1a3
- Grapes, R. (2006). *Pyrometamorphism*. Berlín, Alemania:Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-3-642-15588-8_1
- Jiménez, S. (2002). *La cronología cerámica del puerto maya de Xcambó, costa norte de Yucatán: complejos cerámicos Xcambó y complejo Cerámico Cayalac* (Tesis profesional inédita). Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.
- Jiménez, S., Ceballos T., y Sierra T. (2006a). Las Insólitas Cerámicas del Litoral Noroeste de la Península de Yucatán, en el Clásico Tardío. La Esfera Cerámica Canbalam. En B. L. Merino y Á. García (eds.), *La producción alfarera del México antiguo* (III, pp.345-371). México D.F., México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, Colección Científica.
- Jiménez, S., Belmar R., Sierra, T., y Chung, H. (2006b). El estudio tecnológico de la pasta fina “Chablekal Temprano e Isla Fina” del sitio costero de Xcambo, Yucatán. *Los Investigadores de la Cultura Maya*, 14(2),501-516
- Jiménez, S. (2009). La esfera Cerámica Canbalam. En A. Daneels (ed.), *5º Coloquio Pedro Bosch Gimpera: Cronología y periodización en Mesoamérica y el Norte de México* (pp. 365-388). México D.F., México: Instituto de Investigaciones Antropológicas/ Universidad Autónoma de México.
- Jiménez, S., Soldevila, C., Cobos R., Cabadas, H., Sierra T., y Castillo, A. (2018). Cerámica prehispánica en México. Estudios petrográficos de la “Esfera Canbalam” en la costa noroccidente de la península de Yucatán. En A. Daneels y C. Pomedio (eds.), *Cerámica en México. El Universo técnico, social y cognitivo del alfarero prehispánico* (pp. 279-304). México D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto de Investigaciones Antropológicas.
- Jones, R. W. (2014). *Foraminifera And Their Applications*. New York, USA: Cambridge University Press.
- Kłosek-Wawrzyn, E., Małolepszy, J., y Murzyn, P. (2013). Sintering Behavior of Kaolin with Calcite. *Procedia Engineering*, 57, 572-582. doi: 10.1016/j.proeng.2013.04.073
- Larsen, G., y Chilingar, G. V. (1979). Introduction-Diagenesis of Sediments and Rocks. En G. Larsen y G.V. Chilingar (Eds.), *Developments In Sedimentology 25a. Diagenesis in Sediments and Sedimentary Rocks* (pp.1-29). Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Loras, J., y Pérez, F. (2011). Consecuencias de la incorporación de carbonato cálcico en el material cerámico. *Estrat Crític: Revista d'Arqueologia*, 5(3),61-68.
- Maniatis, Y., Simopoulos, A., y Kostikas, A. (1981). Moessbauer Study of the Effect of Calcium Content on Iron Oxide Transformations in Fired Clays. *Journal of the American Ceramic Society*, 64, 263-269. doi: 10.1111/j.1151-2916.1981.tb09599.x
- Melendez, B. (1977). *Paleontología. Tomo 1. Parte General e Invertebrados* (2da ed.). Madrid, España:Páramo.
- Molera, J., Pradell, T., y Vendrell-Saz, M. (1998). The colours of Ca-rich ceramic pastes: origin and characterization. *Applied Clay Science*, 13(3),187-202. doi: 10.1016/S0169-1317(98)00024-6
- Moore, C. H. (1997). *Carbonate Diagenesis and Porosity* (2da ed.). Amsterdam, Holanda: Elsevier.
- Piña, R. (1968). *Jaina: la casa en el agua*. México D.F., México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Privitera, A., Guido, A., Mastandrea, A., Rao, A., y Russo, F. (2015). Morphological and mineralogical evolution of microfossils during the heating process: a contribution to the archaeometric study of ceramics. *Rendiconti Lincei*, 26, 499-512. doi: 10.1007/s12210-015-0443-0
- Quinn, P. (1999). *Ceramic Micropalaeontology: The analysis of microfossils in archaeological ceramics with special reference to its application in the southern Aegean* (Tesis de doctorado inédita). University of Sheffield, Sheffield, Inglaterra. Recuperado de <http://etheses.whiterose.ac.uk/14869/>
- Quinn, P., y Day, P. D. (2007). Ceramic micropalaeontology: The analysis of microfossils in ancient ceramics. *Journal of Micropalaeontology*, 26, 159-168. doi: 10.1144/jm.26.2.159

- Obando, L. G., y Jiménez, S. (2016). Petrografía de la Cerámica Nimun y Baca (Vajilla Celestún Roja): Esfera Cerámica Canbalam de la Península de Yucatán, México. *Revista Geológica de América Central*, 54, 85-108. doi: 10.15517/rgac.v54i0.21150
- Rands, R. L., Bishop, R., y Sabloff, J. (1982). Maya Fine Paste Ceramics: An Archaeological Perspective. En J. A. Sabloff (ed.), *Excavations at Seibal* (15(2), pp. 315-338). Cambridge Massachusetts, USA: Harvard University.
- Rye, O. S. (1976). Keeping your temper under control. *Archaeology and Physical Anthropology in Oceania*, 11, 106-7. doi: 10.1002/j.1834-4453.1976.tb00245.x
- Ruz, A. (1969). *La costa de Campeche en los tiempos Prehispánicos*. Serie de Investigaciones 18. México D.F., México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Sabloff, J., y Smith, R. (1970). Ceramic Wares in the Maya Area: a Clarification of an Aspect of the Type-variety System and Presentation of a Formal Modal for Comparative Use. *Estudios de Cultura Maya*, 8, 97-115. doi: 10.19130/iifl.ecm.1972.8.330
- Santacreu, D. A. (2014). *Materiality, Techniques and Society in Pottery Production. The Technological Study of Archaeological Ceramics through Paste Analysis*. Berlín: De Gruyter Open Poland. doi: 10.2478/9783110410204
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (2007). *Carta Geológica-Minera. Estados de Campeche Quintana Roo y Yucatán*. Escala 1:500.000. México D.F., México: Servicio Geológico Mexicano (SGM).
- Serra, M. F., Picicco, M., Moyas, E., Suárez, G., Aglietti, E. F., y Rendtorff, N. M. (2012). Talc, Spodumene And Calcium Carbonate Effect As Secondary Fluxes in Triaxial Ceramic Properties. *Procedia Materials Science*, 1, 397-402, doi: 10.1016/j.mspro.2012.06.053
- Shepard, A. O. (1955). Technological analysis. En R. E. Smith (ed.), *The Ceramic sequence at Uaxactun, Guatemala* (20, 32-36). New Orleans, USA: Middle American Research Institute, Tulane University.
- Shepard, A. O. (1956). *Ceramics for the Archaeologist*. Publication 609. Washington D.C., USA: Carnegie Institution of Washington.
- Simão, L., Montedo, O., Caldato, R., Innocentini, M., Da Silva, P., Angioletto, E, ... Da Silva, L. (2014). Porous Ceramic Structures Obtained from Calcium Carbonate as Pore Generating Agent. *Materials Science Forum*, 775-776, 755-760. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.775-776.755
- Smith, R. (1955). *The Ceramic Sequence at Uaxactun, Guatemala (Vols. 1-2)*. New Orleans, USA: Middle American Research Institute (20), Tulane University.
- Smith, R. (1958). The Place of Fine Orange Pottery in Mesoamerican Archaeology. *American Antiquity*, 24(2), 151-160. doi: 10.2307/277476
- Smith, R., y Gifford, J. (1965). Pottery of the Maya Lowlands. En R. Wauchope y G. Willey (eds.), *Handbook of Middle American Indians, Archaeology of Southern Mesoamerica* (2, pp. 498-534). Austin, USA: University of Texas Press.
- Smith R., y Gifford, J. (1966). Maya ceramic varieties types and wares at Uaxactun: supplement to ceramic sequence at Uaxactun, Guatemala. *Middle American Research Institute*, 28, 125-174).
- Tite, M. S., y Maniatis, Y. (1975). Examination of ancient pottery using the scanning electron microscope. *Nature*, 257, 122-123.
- Torres, R., Jiménez, S., y Gallegos, J. (2010). Las cerámicas de pasta fina de Comalcalco, Tabasco, estilos y relaciones culturales. En A. Benavides y E. Vargas (eds.), *La península de Yucatán investigaciones y cronologías alternativas* (pp. 263-278). Campeche, México: Universidad Autónoma de Campeche.
- Trindade, M., Dias, M., Coroado, J., y Rocha, F. (2008). Mineralogical transformations of calcareous rich clays with firing: A comparative study between calcite and dolomite rich clays from Algarve, Portugal. *Applied Clay Science*, 42, 345-355. doi: 10.1016/j.clay.2008.02.008
- Vera, J. (1994). *Estratigrafía, Principios y Métodos*. Castellón, España: Editorial Rueda.
- Wentworth, C. K. (1922). A Scale Of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *Journal Geology*, 30, 377-392.
- Wray, J. L. (1977). *Calcareous algae*. Amsterdam, Holanda: Elsevier
- Zanelli, C., Raimondo, M., Guarini, G., y Dondi, M. (2011). The vitreous phase of porcelain stoneware: Composition, evolution during sintering and physical properties. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 357, 3251-3260. doi: 10.1016/j.jnoncrsol.2011.05.020