

# Análisis de los morteros de cal: su tecnología y eficacia en diversas actividades de conservación en la zona arqueológica de Ek Balam

Alejandra Alonso Olvera\*, Nora Ariadna Pérez\*, L. Abel Jiménez\*, José Luis Ruvalcaba\*\*, Edgar Casanova\*\* y Jaime Torres\*\*\*

\*Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, Instituto Nacional de Antropología e Historia

\*\*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México

\*\*\*Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía "Manuel del Castillo Negrete"; Instituto Nacional de Antropología e Historia

## Resumen

En este trabajo se analiza la tecnología de los morteros de cal utilizados para revestir la arquitectura de la Acrópolis de la zona arqueológica de Ek Balam, a través de diferentes técnicas, así como la eficacia de los morteros de cal usados con fines de conservación. Con la intención de reconstruir la tecnología empleada por los antiguos mayas en la producción de elementos decorativos de la arquitectura se han realizado análisis y observaciones en diferentes elementos de la Acrópolis de Ek Balam, y se han realizado análisis de laboratorio en muestras de pisos, recubrimientos de muros, y argamasas de la mampostería para determinar las propiedades de estos materiales con tecnología incipiente. Se han caracterizado los materiales decorativos de piedra-estuco y se han evaluado las propiedades físicas con diferentes estudios de laboratorio y con la observación directa. Por otro lado, se analizaron los morteros utilizados con fines de conservación, tratando de imitar las mejores cualidades de los morteros antiguos. Algunas pruebas se realizaron para verificar la eficiencia de los mismos.

## Palabras clave

Morteros, tecnología de producción de cal, elementos decorativos, arquitectura maya.

## Abstract

*This article presents results of the study of both ancient limestone mortar technology used by the archaeological Maya to decorate the Acropolis of Ek Balam, and the modern mortar technology used for conservation purposes. Different laboratory techniques proved useful to determine efficiency of modern mortars for conservation purposes, based on results obtained from studying ancient mortars. In this work we discuss ancient technology employed by the ancient Maya for decorating massive architecture. Floors and wall plasters, and different mortars used in varied construction features have been sampled in order to characterize and determine physical properties. Mortars used in conservation had been studied trying to imitate the best qualities of ancient putties created by archaeological Maya.*

## Keywords

*Mortars, lime technology, decorative elements, Maya architecture.*



## Introducción

El sitio arqueológico de Ek Balam es conocido por sus decoraciones arquitectónicas tales como los relieves de piedra que adornan fachadas y la combinación del binomio esculturas de piedra y estuco que se ubican en frisos, bancas, así como los paneles de piedra tallados y decorados con profusos relieves de estuco en muros exteriores (Figuras 1 a 11).



Figuras 1 a 11. Muestras de los elementos decorativos de piedra, piedra-estuco, escultura exenta de piedra, relieves de estuco localizados en la Acrópolis de Ek Balam. Imagen: Proyecto de conservación de elementos decorativos de la zona arqueológica de Ek Balam, Yucatán, ©CNCPC-INAH.

Para entender y reconstruir la tecnología antigua empleada para la producción de las decoraciones arquitectónicas hemos conducido una serie de observaciones y análisis no destructivos de recubrimientos de pisos y muros, argamasas o morteros usados en la construcción, y en los relieves y paneles de piedra-estuco. Los análisis de laboratorio y las observaciones visuales nos han permitido determinar las propiedades que fueron particularmente logradas por los antiguos mayas en rutinas sistemáticas y estandarizadas de producción.

El objetivo de este estudio fue caracterizar los diferentes materiales decorativos de piedra, estuco, recubrimientos y morteros para evaluar sus propiedades físicas a través de diferentes estudios de laboratorio y también observaciones directas. Los análisis que realizamos para este estudio nos permiten determinar cuáles han sido los materiales seleccionados y las propiedades que intencionalmente se lograron con la combinación de materiales.

Los diferentes estudios incluyen una evaluación de las características micromorfológicas de la piedra caliza y determinar las propiedades de las matrices de conglomerados de cal y agregados. A través del muestreo y los análisis de materiales originales intentamos determinar si algunos de estos conglomerados de cal fueron hidráulicos, no hidráulicos, arcillosos o si tuvieron algunos limitantes que se relacionen con un mal o incompleto quemado de la cal. La evaluación física de los estucos intenta documentar las características de los poros, la presencia de cargas o agregados particulares y las fases amorfas que pueden proveer detalles finos del rendimiento de la cal y la tecnología utilizada.

También realizamos una evaluación de agregados considerando su redondez, esfericidad, selección por tamaño y proporciones en relación con el cementante para entender mejor las implicaciones técnicas del procesamiento de estos materiales siguiendo y modificando los métodos empleados por Villaseñor (2011).

## Métodos

Entre los estudios que tenemos incluidos está el análisis petrográfico, EDS, SEM, difracción de rayos x y fluorescencia de rayos X para determinar los arreglos microcristalinos del carbonato de calcio y la composición y características cristalinas de la cal empleada en la producción de decoraciones arquitectónicas.

La petrografía nos permite detectar la matriz de los agregados, así como aguadas de cal o eventos de mantenimiento. Los minerales identificados por sus propiedades ópticas bajo luz polarizada se observaron en el microscopio petrográfico Carl Zeiss a magnificaciones de 5x y 30x.

Los análisis de SEM EDS documentan las observaciones micromorfológicas para determinar la variación composicional, proveyendo una valoración semicuantitativa elemental de la composición de los estucos y los recubrimientos al bombardear ciertas áreas de interés. Esto permite que los análisis de componentes diferentes en muestras, ayuden a discriminar dentro los agregados y las matrices (Villaseñor, 2011: 77). La microscopía electrónica de barrido fue realizada con un microscopio JEOLJSM-6460LV con espectrometría de energía dispersiva. El voltaje de aceleración fue de 20 Kv, las fotomicrografías fueron capturadas en magnificaciones entre 250x y 1000x.



La difracción fue empleada para identificar fases minerales mayores o menores y complementar los resultados obtenidos de la petrografía y EDS.

Se empleó Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) en modo ATR siguiendo la metodología propuesta por Chu *et al.* (2008: 77) con el propósito de comparar la tecnología de cal utilizada en Ek Balam con los resultados reportados por Ortiz *et al.* (2014) sobre este tema en otros sitios del área maya seguidos en la producción de cal. Para entender las propiedades plásticas y de maniobrabilidad de los agregados en combinación con la cal de acuerdo con la composición y tamaño de partícula se utilizó el test Casa Grande ASTM D4318.

### **Elementos decorativos seleccionados para el análisis y caracterización.**

La evaluación visual preliminar de la condición física de estos elementos sugiere que la preservación tan significativa resulta de la alta calidad de los materiales empleados y de los altos niveles de habilidad de los constructores y artistas mayas. El conocimiento técnico revela un proficiente conocimiento en el manejo para seleccionar los materiales minerales en los alrededores, y su cuidadosa combinación. Los derivados de la piedra, como el sascab y el kut fueron cuidadosamente procesados y curados para la producción de estuco para decorar muros y frisos.

#### ***Paneles de piedra-estuco***

Pequeños sillares de piedra se cortaron y arreglaron en una especie de mosaico o panel para soportar decoraciones volumétricas de estuco. Estos principalmente localizados al exterior en muros, pilares y frisos. Cada sillar fue tallado y ensamblado en el conjunto del mosaico para formar un patrón o *template* base que más tarde se reproduciría por completo con volúmenes de estuco, de forma maleable para crear formas voluminosas de tipo orgánico. La piedra se recubría con el estuco lo cual permitía el uso de una pobre calidad física y suavidad suficiente para ser tallada en relieve de forma sencilla y rápida para servir de modelo para los recubrimientos de estuco más complejos. Estos paneles han perdido la mayor parte de sus recubrimientos con el tiempo y el abandono, mostrando las características piedras que no fueron expresamente colocadas para exponerse directamente. Un deterioro extremo y erosión de estas superficies prueba que su pobre resistencia mecánica fue elegida para ser superficies talladas y colocadas al exterior sobre sillares más resistentes.

Algunas piedras se han seleccionado para ser esculpidas como elementos individuales que requerían únicamente una fina capa de estuco o recubrimiento. Estos elementos fueron tallados tridimensionalmente y cubiertos con una sola capa para mejorar los detalles de su superficie.

#### ***Recubrimientos y relieves de estuco***

Los patrones de estuco y decoraciones construidos sobre piedra tallada son creados en secciones largas y al menos en tres diferentes episodios con diferentes tipos de pastas de cal. Esta manufactura incluye una decoración uniforme sobre una sección extendida, y la utilización de varias capas para alcanzar el grosor de la forma deseada. Los estucos bidimensionales fueron creados con dos y tres capas diferentes de mortero para alcanzar el grosor necesario que permite formar un recubrimiento orgánico y redondeado. Estas capas resultan en una selección de productos de cal y la producción de agregados derivados de la cal de varias texturas, granos y posiblemente de diferentes componentes.



La primera capa tiende a ser la más rugosa de las tres, gruesa y uniforme que se fija directamente al panel de piedra careada y tallada. Su propósito es cubrir y proteger a la piedra. Los materiales reconocidos visualmente indican que la pasta de estuco fue formada dando lugar a al menos dos variedades de agregados, hechos de sascab de textura media y gruesa, algunas veces en combinación con carbón o materia orgánica.

La segunda capa se coloca sobre la primera, antes de que la inferior cristalice por completo. La unión entre las dos es fuerte y no de tipo junta fría. La segunda capa es más delgada que la primera y muestra una combinación de textura fina y media bien integrada en la matriz de cal. Esta integración exitosa de los materiales seleccionados en esta capa provee de dureza adecuada, estabilidad física y resistencia mecánica para modelar formas orgánicas.

La tercera capa es delgada, y muy pulida pues muestra granos de textura muy finos embebidos en una fina matriz de cal. Esta capa esta pulida y lustrosa, de calidad parecida a pisos y aplanados muy pulidos con poca porosidad.

Algunos recubrimientos de muro y piso fueron contruidos únicamente empleando dos capas distintivas, de acuerdo con el grosor requerido.

Esculturas tridimensionales fueron cubiertas con una capa media y fina, para mejorar los detalles de la piedra tallada.

## Resultados

### *Composición mineralógica de estucos, recubrimientos y paneles de piedra-estuco*

La composición elemental de estucos y recubrimientos muestran al carbonato de calcio como el principal componente. En los casos en los que aparece magnesio, el porcentaje es mínimo en algunas muestras. Mínimas trazas de SiO<sub>2</sub> o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> indican que la cal y la piedra utilizada para producirse son bastante puras. Mínimas concentraciones de sílice y ningún resto de cuarzo se detectaron en los estucos o recubrimientos (Figuras 12 y 13).

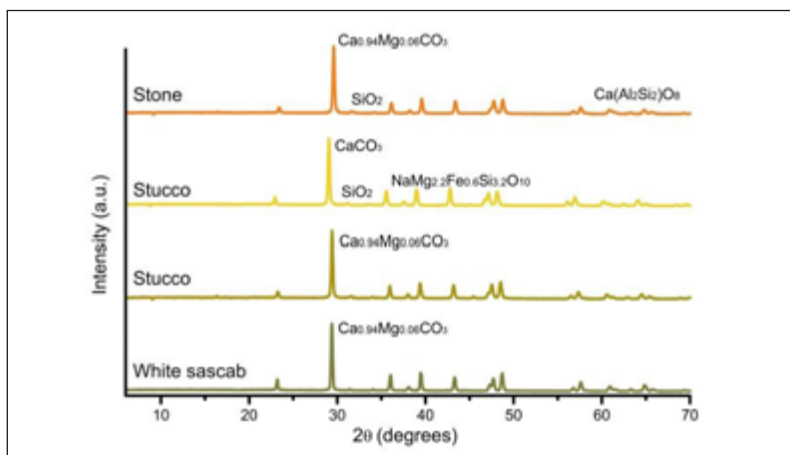


Figura 12. Resultados de DRX de piedra, estuco y sascab para determinar la composición de los materiales constitutivos de los elementos decorativos. Imagen: Proyecto de conservación de elementos decorativos de la zona arqueológica de Ek Balam, Yucatán, ©CNCPC-INAH.



Spectrum Label	C	O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Fe	Total
	4.36	48.21									47.43		100
	6.06	43.63				1.43					48.87		100
	14.22	54.79	0.16	0.5	2.52	4.47	0.16		0.15	0.58	21.56	0.87	100
	9.74	49.37		0.57	0.62	2.95		0.29			35.54	0.93	100
	10.48	52.56		0.28	0.67	1.6					34.4		100
	10.56	52.19		0.32	0.37	1.13		0.61			34.81		100
	16.94	43.82	3.88	0.64	0.77	1.84			6.23	0.3	25.57		100
	15.23	49.74		0.51	0.54	1.3		0.41	0.47	0.26	31.53		100
	14.55	47.87				0.42		0.73			36.43		100
	11.8	47.27	2.78	0.29	0.56	1.2		0.51	3.88	0.18	31.53		100
<b>Piedra</b>	23.01	19.92	17.17	0.3	0.26	0.44		0.28	25.6		13.01		100
	22.94	43.62	6.57	0.29				0.57	5.57	0.14	20.3		100
	18.93	40.67	5.4	0.52		0.3		0.18	6.65		27.36		100
	19.32	41.49	6.43	0.57	0.23	0.55			7.79		23.64		100
	11.26	46.6	2.62		0.7	1.01		0.34	3.75		33.72		100
15.24	47.36	3.52						3.6		30.27		100	

Figura 13. Resultados del análisis composicional de estuco y piedra por análisis elemental. Imagen: Proyecto de conservación de elementos decorativos de la zona arqueológica de Ek Balam, Yucatán, ©CNCPC-INAH.

Las muestras de piedra muestran una composición química similar, están hechas de calcita microcristalina, aunque los paneles tallados de piedra muestran trazas de carbonato de calcio y magnesio, lo cual indica una mezcla de piedra dolomítica y calcita micro cristalina, probablemente seleccionada por su suavidad para ser fácilmente tallada.

La composición consistente de los agregados de cal y de las piedras locales indican que estas fueron seleccionadas del mismo depósito sin la adición de otras piedras sedimentarias. El tamaño de cristal formado naturalmente en la piedra es comparativamente más grande que aquellos cristales producidos por el proceso del hidróxido de calcio carbonatado que son más difíciles de distinguir. Las piedras son mucho más porosas que los estucos y que los recubrimientos de muro y pisos. La porosidad de los estucos está dada por la pérdida de los agregados cuando se deterioran por intemperismo, y la porosidad de la piedra resulta de la composición original y su mineralogía. Algunas de las piedras empleadas en los paneles tallados muestran residuos de hematita y otros residuos de distintos fragmentos de piedra. Los agregados están hechos de carbonato de calcio muy puro, seleccionado cuidadosamente, ningún otro elemento fue detectado: sin conchas o fósiles embebidos en las muestras identificadas.

#### *Mineralogía y naturaleza de la matriz de cal*

En general, todas las muestras exhiben una composición consistente y tamaño de cristal en la matriz también consistente. Las muestras de estuco y de recubrimientos están hechas de carbonatos cristalinos, una matriz regular de carbonato de calcio en forma de calcita microcristalina. Las muestras de estuco no exhiben otros elementos en alta proporción que pudieran indicar una fuente de abastecimiento diferente. Los materiales contaminantes son materiales ferrosos, posiblemente provengan de la fuente original donde el carbonato de calcio ha sido obtenido (materiales asociados a la cantera).



La selección de la cal para la preparación de estuco y las pastas de recubrimiento fueron rigurosas e incluyó materiales limpios y puros, que intuíamos se habían curado en diferentes etapas, probablemente usando diferentes tamices, o sistema de filtrado de partículas con agua para la limpieza y separación de materiales. No se localizaron granos de cuarzo en morteros o argamasas de estuco, este no fue utilizado como un agregado. Tampoco identificamos fósiles o partículas de concha que pudieran indicar que fueron usados como agregados de pastas para hacerlos hidráulicos o más plásticos. Algunos restos de carbón fueron detectados en las argamasas, pero en una concentración muy baja que indican que fueron muy probablemente contaminantes en el proceso de producción de cal.

Los cristales de calcita microcristalina tienen ángulos múltiples indicando que los tamaños de partícula no ocurrieron aleatoriamente sino quizá el uso de un sistema efectivo de curado que discriminaba partículas medianas, grandes o pequeñas de diferentes redondez y forma. De hecho, localizamos micrita, microesparita y esparita, indicando que al menos tres diferentes tipos de calcita con diferente granulometría era accesible y seleccionada intencionalmente para preparar los morteros de cal (Figuras 14, 15, 16 y 17).

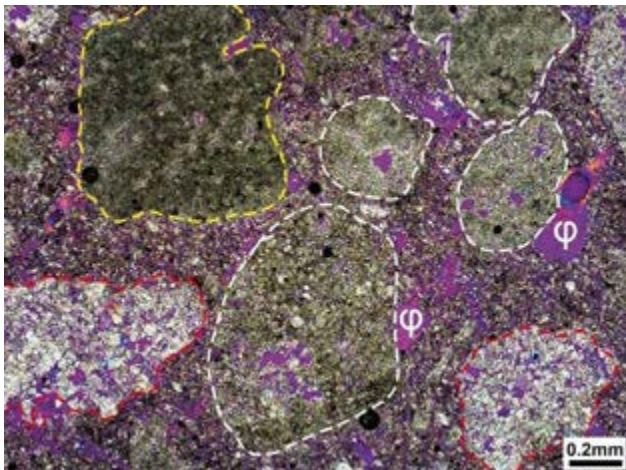


Figura 14. Petrografía de las muestras de piedra caliza y estuco. Línea amarilla representa la micrita, línea blanca microesparita, y línea roja esparita. *Imagen: Proyecto de conservación de elementos decorativos de la zona arqueológica de Ek Balam, Yucatán, ©CNCPC-INAH.*

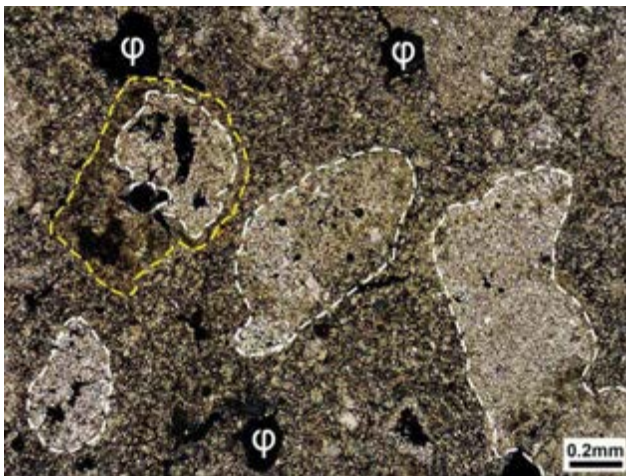


Figura 15. Petrografía de las muestras de piedra caliza y estuco. *Imagen: Proyecto de conservación de elementos decorativos de la zona arqueológica de Ek Balam, Yucatán, ©CNCPC-INAH.*



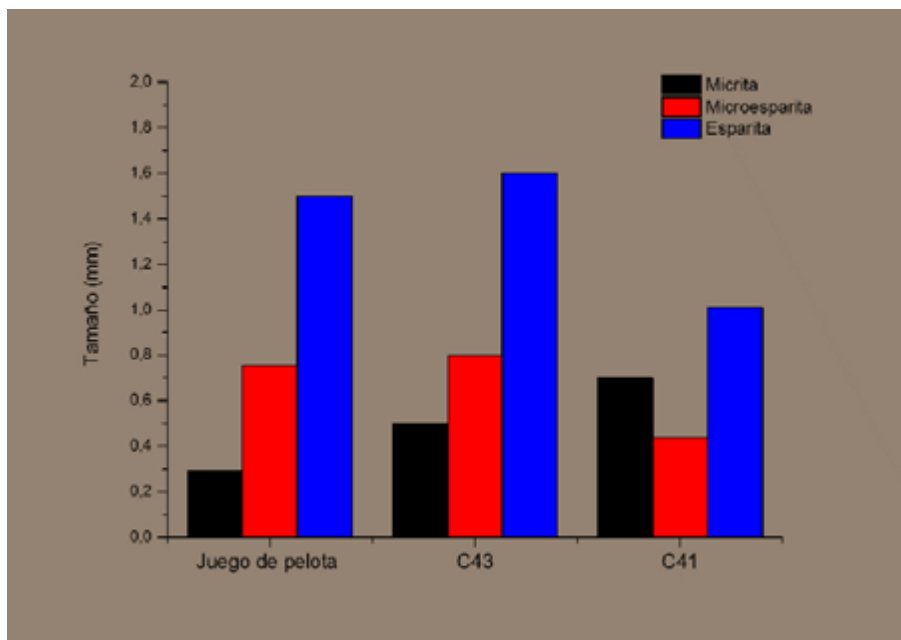


Figura 16. Resultados de los análisis para comparar la tecnología de cal utilizada en Ek Balam con los resultados reportados por Ortiz (2014) sobre este tema en otros sitios del área maya seguidos en la producción de cal. Imagen: Proyecto de conservación de elementos decorativos de la zona arqueológica de Ek Balam, Yucatán, ©CNCPC-INAH.

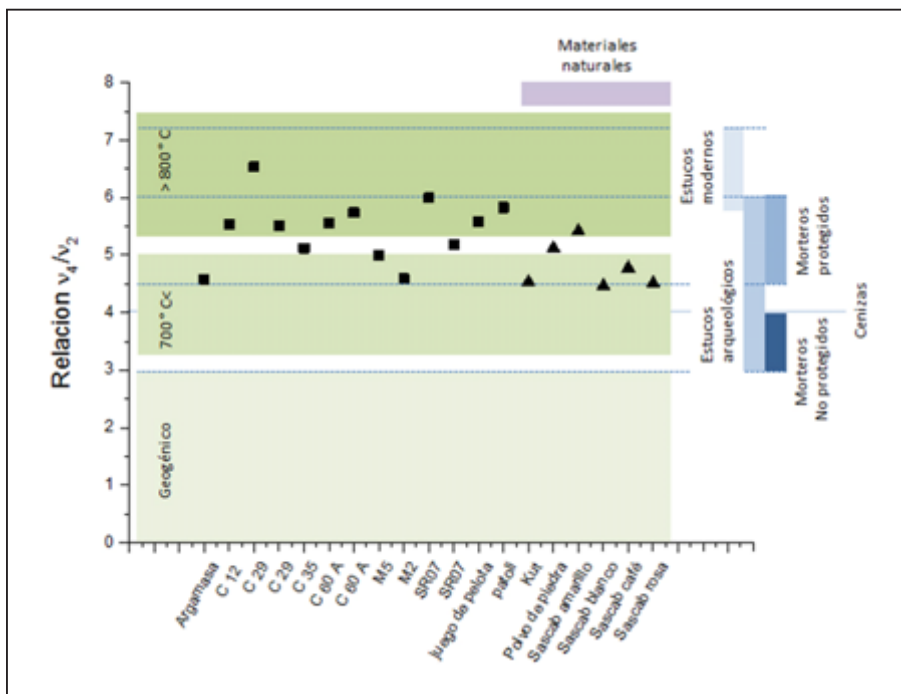


Figura 17. Resultado comparativo de las distribuciones de micrita, microesparita, y esparita en las diferentes muestras analizadas. Imagen: Proyecto de conservación de elementos decorativos de la zona arqueológica de Ek Balam, Yucatán, ©CNCPC-INAH.



No encontramos ningún área hidráulica en las matrices, lo que indica que no se combinaron con materiales de este tipo para favorecer el fraguado rápido, por el contrario los componentes indican un tratamiento de oxidación lento, creando los mejores enlaces y los ligamentos cristalinos más adecuados. No detectamos aglomeraciones de cristales hexagonales en la matriz de cal como se ha reportado para otras zonas en Palenque o Calakmul por Villaseñor (2011).

Las matrices de cal de estuco muestran una matriz de carbonato de calcio microcristalino muy consistente y fluido con una red de bordes angulares que indican trituramiento mecánico. La mayoría de los agregados empleados para preparar los estucos oscilan entre 0.1 mm y 0.5 mm, y agregados hechos de fragmentos de calcita más grandes de 1.5 mm sin que hayamos identificado masas o conglomerados, lo que indica que el procesamiento de la cal tomó largo tiempo y un proceso apropiado de hidratación para crear una mezcla de cal muy homogénea. El análisis de los agregados (sascab y kut) muestran redes cristalinas similares en tamaños y pureza. Esto también coincide con lo reportado por Littman.

Para caracterizar las muestras de materias primas y estucos se aplicó el método de Chu *et al.* (2008) el cual consiste en determinar la relación de las bandas  $n_4$  y 2 del espectro infrarrojo de calcita:  $(n_4/n_2)$ . Se ha mostrado que a partir de este índice es posible diferenciar los materiales geogénicos de los antropogénicos que han sido sometidos a procesos térmicos intencionales para la elaboración de morteros y estucos. En otras regiones y sitios del área maya (Ortiz *et al.*, 2014; Ortiz, 2016) se han observado diferencias significativas entre los materiales geogénicos y antropogénicos. Por lo anterior, el uso de esta metodología sí permite contrastar materias primas y tecnología de producción de estucos y cal.

La gráfica que presentamos muestra que el índice  $(n_4/n_2)$  tiene valores similares para las materias primas geogénicas y para las muestras de materiales antropogénicos, por lo cual no se pueden diferenciar. Este comportamiento se explica si se observan las características de ambos materiales: son muy similares entre sí y tienen una pureza muy alta, prácticamente sin adiciones en el caso de los estucos y materiales antropogénicos. Este resultado implica que se realizó una cuidadosa selección de materias primas para la elaboración de los estucos de diversas granulometrías independientemente de su función. Esta selección se efectuó para los agregados (cargas) y la cal. Los agregados que encontramos en las minas de sascab y kut en los alrededores fueron muestreados para determinar sus características y se observó que se presentan en las mismas bandas que los estucos arqueológicos de áreas protegidas y expuestas. Esto indica que estos materiales comparten las características de pureza de la calcita, así como una temperatura similar a la que se pudo exponer en el proceso de quemado, indicando que la temperatura a la que se formaron naturalmente es similar.

Si se comparan muestras de estuco, enlucido y relieve con pintura en cuanto al tamaño promedio de micrita, microesparita y esparita, se observa que no existe una notable diferencia, sobre todo para morteros o argamasas con los que se presentan en enlucidos. Estos materiales son muy homogéneos con pequeños cristales de calcita interconectados con la matriz. Llama la atención que estos materiales permiten un tratamiento o procesamiento diferencial que indica que el proceso tecnológico continúa en la preparación y aplicación, haciendo de ellos concretos muy duros y resistentes mecánicamente, pero también capaces de formar superficies planas o volumétricas, lustrosas e impermeables.



En cambio, si se compara la porosidad para muestras de estuco, enlucido, relieve con pintura y enlucido fino sí se observa una disminución gradual de manera que el enlucido fino tiene la menor porosidad. Esto no está dado únicamente por sus partículas o el tamaño y forma de sus cristales sino por el proceso de compactación, pulido y lustre que se produce en su aplicación (Figura 19). Esto refleja la refinada técnica de preparación y aplicación de los morteros, sobre todo para preparar los enlucidos finos que en muchos casos se pintaban; lo cual está vinculado a la calidad de la técnica pictórica empleada en Ek Balam.

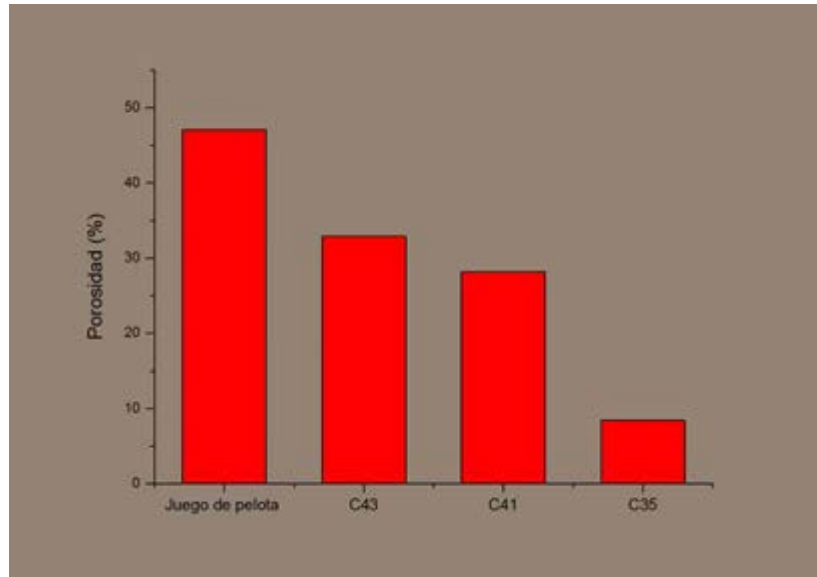


Figura 18. Resultados del análisis de porosidad entre diferentes tipos de muestras recuperados de diferentes elementos decorativos. Imagen: Proyecto de conservación de elementos decorativos de la zona arqueológica de Ek Balam, Yucatán, ©CNCPC-INAH.

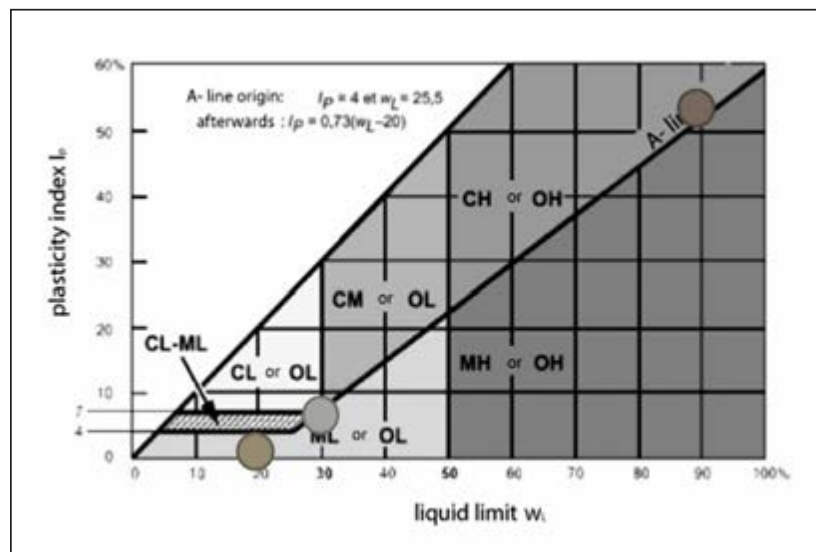


Figura 19. Resultados de los índices de plasticidad de las muestras analizadas. Imagen: Proyecto de conservación de elementos decorativos de la zona arqueológica de Ek Balam, Yucatán, ©CNCPC-INAH.

Otro test que realizamos fue el de Casa Grande, en el que determinamos que el tamaño de grano en el sascab determina la plasticidad del mortero. Los resultados muestran que la proporción de agregado y cementante son sensibles a la calidad de los tamaños de grano, de ahí indicando una posible estandarización obtenida por los artesanos de Ek Balam.

## Discusión

Los resultados preliminares nos permiten hacer algunas comparaciones con otros estudios que han caracterizado materiales similares y reconstruido las tecnologías antiguas de diferentes sitios y periodos del área maya. El trabajo de Villaseñor (2011) contiene gran cantidad de datos que contribuyen a un mejor entendimiento de las complejidades en el uso y procesamiento de la caliza y la producción de cal y su tecnología en las tierras bajas mayas. El análisis realizado por Villaseñor (2011) sobre los estucos de Calakmul, Palenque y Lamanai desde el periodo Preclásico hasta el Clásico Terminal constituye una fuente de datos comparativos que permite identificar el lugar tecnológico que ocupaba Ek´ Balam en una vasta área cultural y antigua tradición técnica.

En contraste con los morteros de Calakmul o Palenque los de Ek Balam muestran una gran calidad de manufactura. Los morteros y estucos de Ek Balam se muestran muy puros y con materiales limpios sin adiciones de arcilla. La extracción de alta calidad de piedra caliza y la producción de cal parece ocurrir en un corto periodo de tiempo, pero con grandes estándares de calidad. Los resultados preliminares indican que había una buena organización del trabajo no solo que se revela por la construcción arquitectónica sino por la conspicua decoración que la cubre. La tecnología de la cal parece haberse desarrollado más intensamente en el Clásico Terminal, y las decoraciones arquitectónicas de otros periodos más tempranos parecen mucho más modestas en comparación con los del Clásico Terminal. Estos resultados también fueron compatibles con los encontrados por Villaseñor en Lamanai para el mismo periodo, en donde los agregados hechos de calcita micro cristalina son muy comunes, sugiriendo el uso de depósitos muy antiguos de piedra caliza, o el uso de estratos más profundos en las minas o canteras. Esta actividad es muy intensa en Ek Balam en este periodo.

En términos de producción los procesos implicados en el procesamiento de estos materiales se pueden dividir en: a. mezcla de cal apagada con los agregados; b. mezcla de aditivos con cal apagada o morteros; c. modelado y aplicado de morteros y recubrimientos; d. procesos de acabado, cristalización por carbonatación y secado; y e. reaplicado de morteros por mantenimiento.

### *Mezcla de cal apagada con los agregados*

Los especialistas de Ek Balam tenían acceso a una variedad de canteras de gran calidad que proveía de recursos para la producción de piedra y derivados de piedra caliza. Nuestros resultados sugieren que la destreza de especialistas es evidente dada la selección cuidadosa de materiales, sobre todo su pureza y de la combinación de diferentes materiales cristalinos que muestran un comportamiento eficiente para la producción de decoraciones modeladas y planas. El proceso de quemado y apagado se producía probablemente en hornos a cielo abierto o bien en chultunes, y por grandes periodos de tiempo. Es necesario localizar estos rasgos donde se realizaba el



quemado y apagado ya que pueden contener importantes restos del proceso productivo, así como orientarnos en los rangos de temperatura y de materiales de desperdicio que pudieron ser usados en la producción de morteros y estucos. También si estos procesos tuvieron lugar cerca de sascaberas y canteras, para la obtención simultánea de agregados y su procesamiento.

#### ***Mezcla de aditivos con cal apagada o morteros***

En este estudio no fuimos capaces de identificar aditivos orgánicos en morteros o estucos, ya que no encontramos materiales no cristalinos que pudieran ser de naturaleza orgánicos y que se hubieran podido adicionar en la formación de pastas de estuco o morteros para mejorar ya sea su secado o su maniobrabilidad.

#### ***Procesos de acabado, cristalización por carbonatación y secado***

El sascab es un agregado que se usa con piedra molida para la fabricación de Ek Balam, mostrando una diversificación en el uso de los productos de caliza y cal y una refinada tecnología que crea materiales estables y durables debido a la combinación de su tamaño y ángulos de sus partículas, particularmente para producir materiales que requieren retener propiedades físicas como pisos y recubrimientos de muros. Algunos de los sascabes tienen un tamaño de partícula y forma típica de las arcillas y estas son las que se llaman kut. Estos materiales son extensamente usados en la producción de morteros y estucos y su textura confiere gran plasticidad a las pastas, como hemos visto en nuestro propio trabajo de conservación, haciendo la mezcla más maniobrable y mejorando la carbonatación y el tiempo de secado. La combinación de materiales con cristales angulares y los redondeados en una matriz de calcita muy homogénea produce a los estucos y morteros más durables.

#### ***Reaplicado de morteros por mantenimiento***

No encontramos capas de mantenimiento en pisos o muros, indicando que existió una muy breve exposición y uso de espacios arquitectónicos ya que no tuvieron un intenso tráfico humano o uso. Algunas de las más importantes áreas fueron expuestas brevemente y después cubiertas o protegidas por superestructuras protegiéndolas de intemperismo ambiental y erosión. Esto confirma una ocupación corta en las áreas más importantes de la Acrópolis y el significado simbólico de estos espacios decorados.

#### ***Reciclado de morteros como agregados en nuevos morteros o estucos***

No encontramos restos de agregados hechos de morteros reciclados, lo cual se espera en conglomerados de gran calidad. Los restos de estuco y morteros como agregados disminuyen las características mecánicas y la durabilidad de la mezcla, produciendo eventualmente una separación entre la matriz y los agregados a medida que el tiempo transcurre.

### **Conclusiones**

Nuestros resultados preliminares indican que la secuencia de producción está bien organizada y hecha con los especialistas más capaces en determinar las propiedades físicas y el mejor rendimiento de los materiales seleccionados y combinados. La tecnología empleada confronta la hipótesis de que en el norte de las tierras bajas los sitios declinaron en su construcción

arquitectónica y en el consumo conspicuo en término de labores, recursos y energía. Ek Balam, se distingue por ser la excepción a la regla o una anomalía, por un breve periodo de tiempo. Las técnicas tan bien elaboradas y la explotación exitosa de productos de alta calidad fueron empleados discrecionalmente en la producción de magníficos trabajos que muestran un estilo y creatividad únicos (Figura 20).

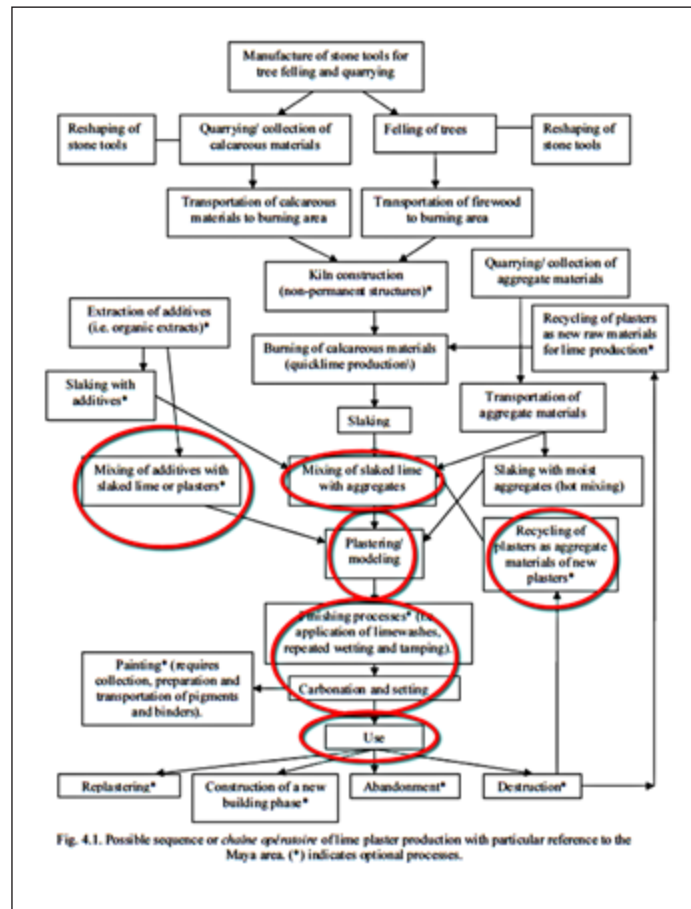


Fig. 4.1. Possible sequence or *chaîne op/rative* of lime plaster production with particular reference to the Maya area. (\*) indicates optional processes.

Figura 20. Diagrama de la cadena operatoria y en rojo las secciones que hemos completado en este estudio. Tomado de Villaseñor (2011).

Aunque los resultados son preliminares, mayores análisis complementará la información ya obtenida y ayudará a obtener una mejor comprensión de las decisiones técnicas que los especialistas hicieron en términos de efectividad en el uso de los materiales minerales. La segunda etapa de este trabajo incluye una prospección de las canteras y sascaberas asociadas al asentamiento principal para ser muestreadas para comparar con los materiales originales, así como para localizar las posibles áreas de hornos o procesamiento de materiales.

Localizar las áreas productivas permitirá una mejor representación de cada parte del proceso que intentamos elucidar y clarificar el volumen de materiales que fueron procesados, así como el factor humano envuelto en el proceso, para realizar la monumental obra constructiva de Ek Balam en el Clásico Terminal.



### Referencias

Chu, Vikki, Lior Regev, Steve Weiner and Elisabetta Boaretto (2008) "Differentiating between anthropogenic calcite in plaster, ash and natural calcite using infrared spectroscopy: implication in archaeology", *Journal of archaeological science* (35): 905-911.

Ortiz, Soledad, Nora Pérez and José Luis Ruvalcaba (2014) "Structural changes of materials related to lime production technology in Maya Area", en: N. Zacharias and E. Palamara (eds.), *4<sup>th</sup> International symposium on archaeometry. ISA 2016. Kalamata, May 15-21, 2016*, pp. 87-88.

Ortiz, Soledad (2016) "Los hornos para cal en el área maya", en: Luis Góngora Salas (ed.), *Los mayas del norte de Yucatán. Memorias del primer simposio de cultura maya Ichkaantijoo*, Mérida, Compañía Tipográfica Yucateca, pp. 41-58.

Villaseñor, Isabel (2011) *Lowland Maya lime plaster technology: a diachronic approach*, PhD Dissertation, London, Institute of Archaeology, University College London.

