

ESTUDIO MICROSCÓPICO DE ESTUCOS PREHISPÁNICOS DE LA CIUDAD MAYA DE EDZNÁ, CAMPECHE, MÉXICO

Y. Espinosa-Morales^a, J. Reyes^{a*}, D. Arano^b, R. Domínguez^c, J. L. Ruvalcaba^d, P. Bartolo-Pérez^e

^a Centro de Investigación en Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche

^b Sección de Restauración, Centro INAH-Campeche

^c Centro de Investigaciones Históricas y Sociales, Universidad Autónoma de Campeche

^d Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México

^e Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Mérida, Departamento de Física Aplicada

*Corresponding author. javreyes@uacam.mx, +52 9818119800 ext 62806.

Recibido: Enero 2013. Aprobado: Junio 2013.

Publicado: Noviembre 2013.

RESUMEN

En esta contribución se presenta el uso de las técnicas de Microscopía Óptica (MO) y Microscopía Electrónica de Barrido acoplada a Emisión de Rayos X secundarios (MEB/EDX) para estudiar la paleta de colores y el soporte de cuatro mascarones de estuco policromado del Edificio de los Cinco Pisos y la Estructura 414, de la emblemática ciudad Maya de Edzná, Campeche, México. Los resultados indican que a pesar de su diferente temporalidad, los mascarones fueron fabricados con materiales de naturaleza calcárea como la piedra caliza y el *sascab*, siguiendo similares procedimientos de preparación. El estudio de los pigmentos demuestra la presencia sistematizada de elementos como Fe en colores amarillo, ocre y rojo, y C en negro, lo que hace suponer el empleo de óxidos de hierro y carbón vegetal como pigmentos respectivamente. Por otra parte, los pigmentos azul y verde no pudieron ser asociados a colorantes de origen mineral.

Palabras clave. Mascarones de estuco, pigmentos mayas, microscopía óptica, MEB/EDX, Edzná.

MICROSCOPIC STUDY OF PRE-HISPANIC STUCCOS FROM THE MAYAN CITY OF EDZNÁ, CAMPECHE, MEXICO

ABSTRACT

In this paper Optical and Scanning Electron Microscopy coupled to Secondary X-ray Emission techniques, was applied to study stucco supports and pigments from huge four Mayan masks located at the five floor building and the 414 structure into the pre-Hispanic site of Edzná, Campeche, México. Results indicate that in spite of their chronologic differences, they were fabricated by using calcareous materials like limestone and *sascab* following similar construction techniques. The analysis of pigments indicated the systematic presence of Fe in ochre, red and yellow colors. Black color was characterized by high proportion of vegetal carbon. By the other hand, the blue and green colors couldn't be associated to any mineral dye sources.

Keywords: Stucco masks, Mayan pigment, optical microscopy, SEM/EDX, Edzná.

INTRODUCCIÓN

En la arquitectura prehispánica, la materia prima de construcción la constituían los bancos de materiales disponibles en las zonas donde se erigían ciudades y centros ceremoniales. La naturaleza sedimentaria de la Península de Yucatán, proporcionó a la población maya gran disponibilidad de materiales calizos que fueron empleados como material de construcción. Entre ellos

destacaban la roca caliza que era calentada a altas temperaturas para obtener la cal, la cual se mezclaba con una arena calcárea conocida como *sascab* [1] y pequeños fragmentos de roca caliza usados como agregados durante la fabricación del estuco maya, de gran resistencia ante la acción ambiental, soluciones ácidas y agentes microbianos [2,3]. El estuco se empleaba para

unir bloques y mampostería de roca caliza, como aplanado de muros o para moldear elementos arquitectónicos y representaciones de deidades y gobernantes [4,5].

Ejemplos de estos estucos pueden ser observados en la antigua ciudad maya de Edzná, localizado a 60 km al este de la ciudad de San Francisco de Campeche, en el Estado de Campeche (México) (Figura 1a y b).

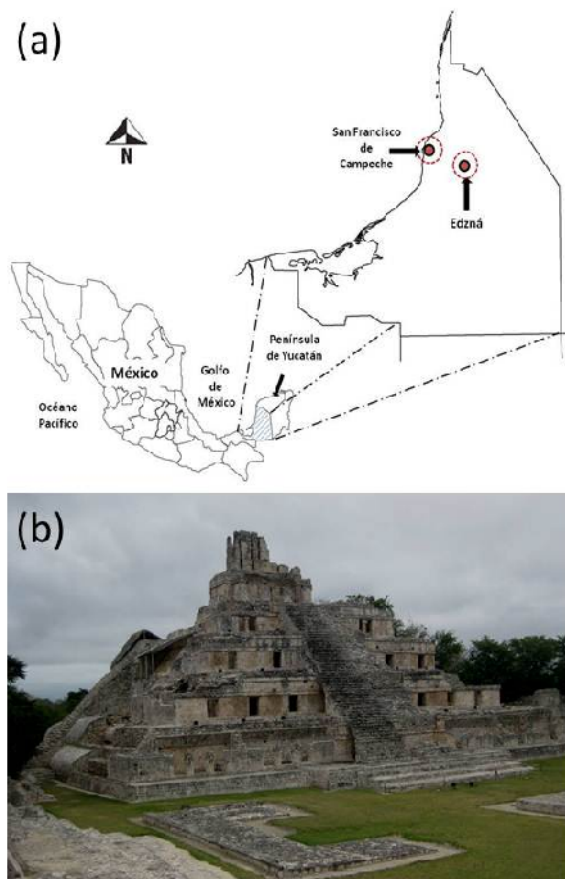


Fig. 1. (a) Ubicación de la Zona Arqueológica de Edzná, Campeche, México. (b) Edificio de los 5 pisos.

Este sitio, que fue ocupado por el grupo Maya Itzáe, floreció entre los años 600 a. C. y 1500 d. C. En ella se encuentran las estructuras 414 y el Edificio de los Cinco Pisos, que cuentan con mascarones de estuco policromado datados del periodo clásico temprano (200-600 d. C.) que son representaciones asociadas a deidades de la cosmogonía maya (Figura 2 a y b) [6, 7, 8].

En este trabajo, se presentan los resultados de una caracterización morfológica y química de los materiales constituyentes de estos estucos y sus capas pictóricas.

Para ello se emplearon técnicas como las microscopías óptica y electrónica (esta última acoplada a un sistema de emisión de rayos X), con el fin de evaluar los materiales empleados y sus técnicas de manufactura.

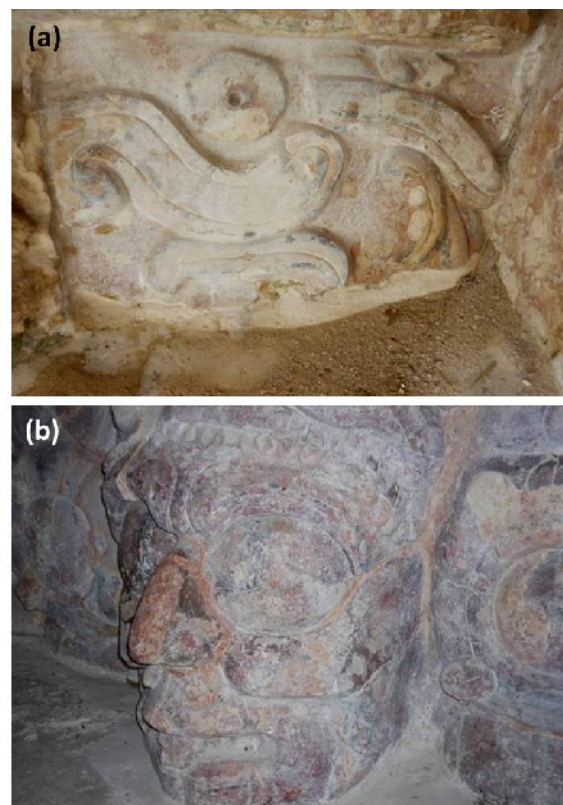


Fig. 2. (a) Mascarón Este, Edificio de los Cinco Pisos. (b) Mascarón Oeste, Estructura 414.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se retiraron quince fragmentos con aproximadamente 5 mm² de superficie, conteniendo pintura y soporte, representativos de la paleta de colores de los mascarones de estuco policromado del Edificio de los Cinco Pisos (12 muestras) y de la estructura 414 (3 muestras) empleando microespátula y bisturí. Las muestras de color retiradas fueron azul, amarillo, negro, ocre, rojo y verde. Se prepararon secciones transversales de cada muestra montándolas en resina poliéster, las cuales fueron desbastadas sucesivamente empleando lijas 800, 1200, 1500 y 2000, y pulidas en una pulidora METASERV 250 (Buehler). Las secciones transversales obtenidas fueron observadas a 5x en un microscopio petrográfico Axioscop Pool 40 (Carl Zeiss).

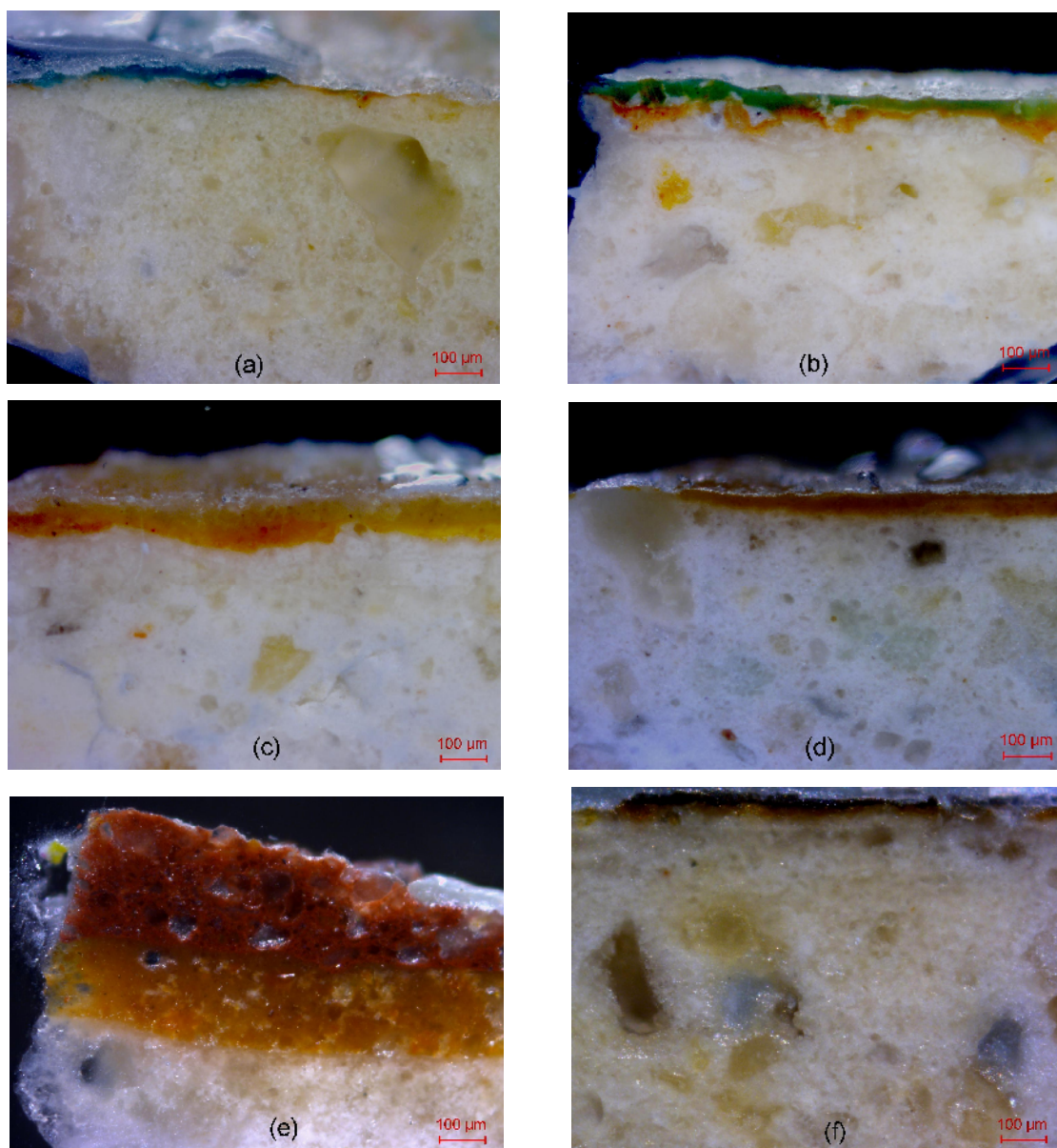


Fig. 3. Secciones transversales representativas de la paleta de colores de los mascarones de estuco policromado de la Zona Arqueológica de Edzná (5x). (a) Azul, (b) Verde, (c) Amarillo, (d) Ocre, (e) Rojo y (f) Negro.

Las características microestructurales de las muestras fueron observadas en un microscopio electrónico de barrido de bajo vacío (Jeol JSM 5600-LV), bajo condiciones estándares de operación (20-25 keV). Por otra parte, su composición elemental fue analizada en un sistema MEB/EDX (Philips XL30 ESEM) que operaba bajo las siguientes condiciones: 15 a 25 keV, distancia de trabajo de 10 mm y un ángulo de incidencia de 0°. El equipo constaba de un sistema de detección SUTW-

Saphire con una resolución de 131 eV a una energía de 25 keV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tecnología de construcción y el uso de los materiales calizos fueron transferidos a través de generaciones y en algunos casos perfeccionado a lo largo del tiempo [8].

La Figura 3a-f, representa las secciones transversales de muestras selectas de los estucos policromados de los

mascarones provenientes de El Edificio de los Cinco Pisos y la Estructura 414.

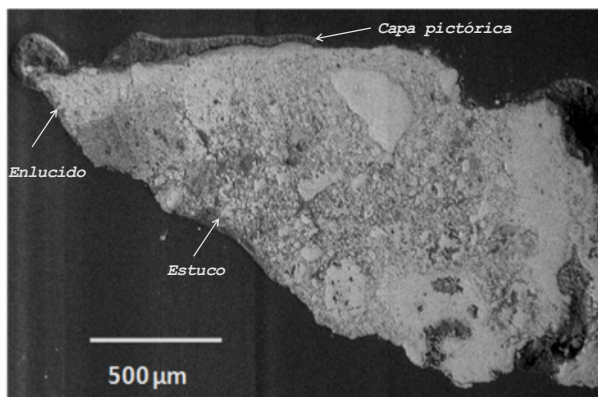


Fig. 4. Imagen MEB de los sustratos presentes en los estucos policromados de la Zona Arqueológica de Edzná.

En todos los casos, la base de preparación está constituida por un sustrato de estuco modelado a base de cal y arenas, en su mayoría de naturaleza calcárea empleadas como cargas distribuidas en una matriz cementante bien integrada, que le proporcionó una textura fina y homogénea. Sobre él se colocó un acabado de enlucido, que actuaba como soporte de la capa pictórica (Figura 4).

Las cargas que varían en tamaño y coloración están formadas principalmente por arenas de *sascab*, compuestas por un agregado fino de cristales de calcita criptocristalina y micrita distinguibles por su transparencia al microscopio [5], arenas de caliza espática constituidas por fragmentos de roca caliza con tonalidades blanquecina, rojiza o café dependiendo de sus impurezas, y en algunas ocasiones arenas de sílice y arcillas de característico color ambarino (Figura 5a) [5].

En algunas muestras, el estuco presentó microfracturas, cuyo origen pudo ser consecuencia de factores como: distribución heterogénea de cargas, avance del frente de secado durante la manufactura del estuco o a la presión de cristalización de aquellas sales que eventualmente colmataban los poros, durante su migración hacia la superficie del estuco durante ciclos humectación/secado.

Estas sales por lo general forman una capa superficial de aspecto homogéneo y espesor variable sobre la película de pigmento, aunque en algunas ocasiones se depositan por

debajo, agrietándolo y facilitando su deterioro (Figura 6a). Al ser sales recrystalizadas, su composición se relaciona con los materiales calizos, de los cuales proviene, y con depósitos atmosféricos, como en el caso del cloro (Cl) de origen marino (Figura 5b).

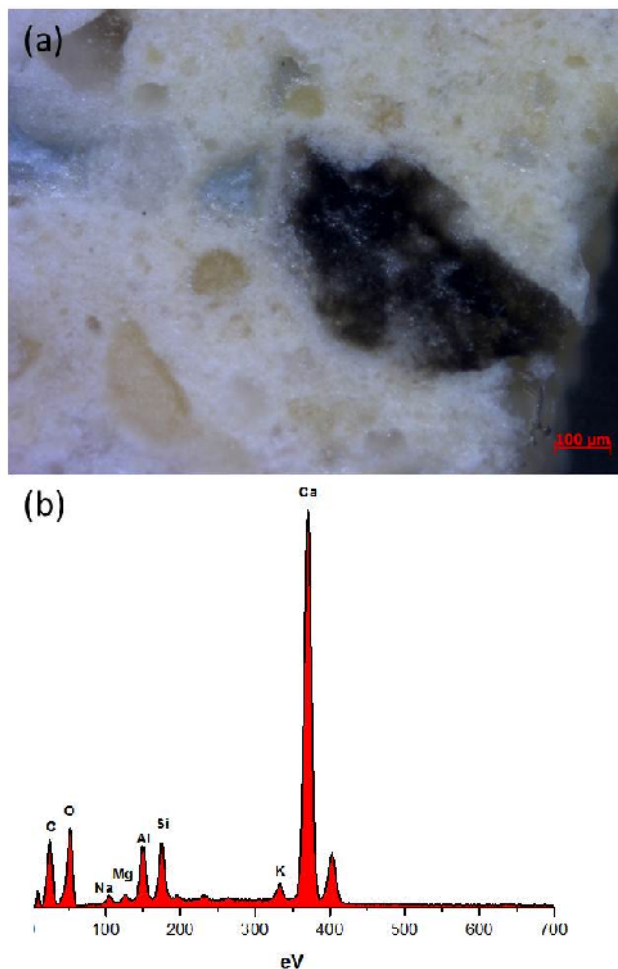


Fig. 5. (a) Imagen obtenida mediante microscopía óptica del soporte de estuco, donde se pueden observar diferentes tipos de cargas (5X). (b) Espectro EDX correspondiente.

El enlucido, que es característico de la pintura mural realizada al fresco [9], se aplicó sobre el estuco como un acabado fino y bruñido. Su morfología, textura y compactación difiere de este, debido al empleo de cargas de menor tamaño, seguramente obtenidas mediante tamizado del *sascab*. A pesar de ello, ambos tienen una misma composición de naturaleza calcárea: piedra caliza y *sascab*, tal y como fue descrito en estudios realizados en otros sitios del área maya [5,10].

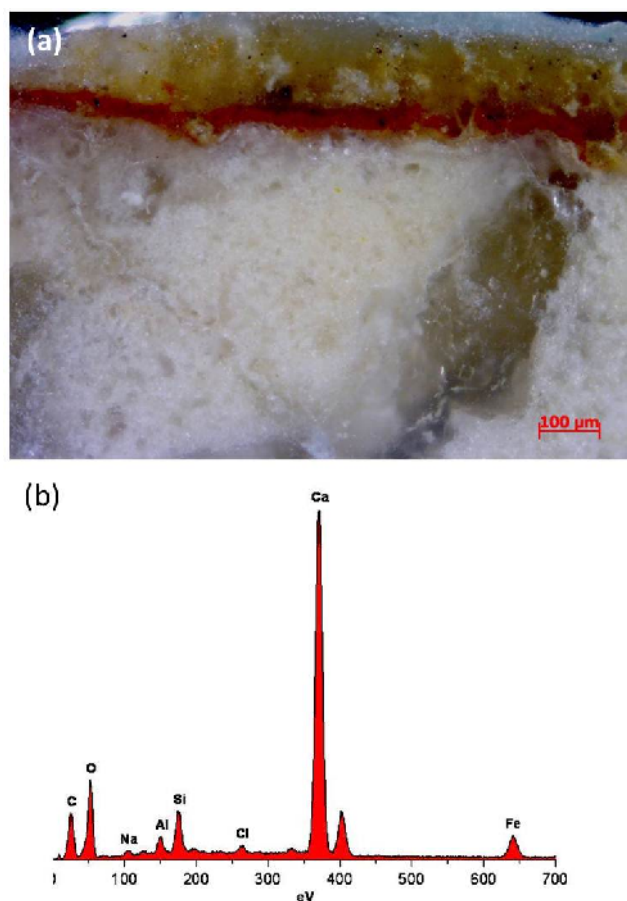


Fig. 6. (a) Daño estructural originado por la cristalización de sales. (b) Espectro EDX correspondiente.

La Tabla 1 muestra la composición química obtenida mediante EDX correspondiente al soporte de estuco. La Figura 5a y b, muestra una imagen característica del soporte de estuco obtenida mediante microscopía óptica y su espectro EDX correspondiente.

Los resultados señalan al calcio (Ca) como el elemento más abundante en la matriz cementante y agregados de estuco y enlucido de todas las muestras, junto con carbono (C) y oxígeno (O).

Lo anterior denota la naturaleza calcárea de los materiales empleados en la elaboración del estuco. Se detectaron también, cantidades minoritarias de aluminio (Al), magnesio (Mg), sodio (Na), silicio (Si), y en algunas muestras azufre (S), hierro (Fe) y cloro (Cl).

El Al, Mg, Na y Si son constituyentes de la corteza terrestre y se encuentran presentes en suelos arcillosos, como el *sascab* que es una arena blanca y ligera formada

durante la descomposición de la roca caliza en combinación con arcillas presentes en el suelo [11,12].

Análisis realizados en muestras de *sascab* de las regiones de Pich y Dzilbilnocac, en el estado de Campeche (México), reportan la presencia de sílice (SiO_2) y arcillas como montmorillonita ($\text{Na}_{0.2}(\text{Al}, \text{Mg})_2 \text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y nontronita ($\text{Na}_{0.3}\text{Fe}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) [13]. Estos lugares se encuentran aledaños a la zona arqueológica de Edzná. Por otra parte, la presencia de S, solo fue observado en estucos del Edificio de los Cinco Pisos.

Esto es indicativo del uso de diferentes bancos de materiales para la extracción de los componentes empleados en la elaboración de los estucos. El S es un elemento que se puede encontrar en materiales calizos provenientes de bancos de materiales ricos en yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que son comunes en la región [14].

En el clásico temprano, el artista maya había logrado obtener por combinación más de 30 colores [15]. Se pudo observar una paleta de colores más variada en los mascarones del edificio de los Cinco 5 pisos, con respecto a la estructura 414. En esta última predominaron los tonos rojos más oscuros y negro, que tiene connotaciones de tipo ritual [7,8].

En la Tabla 2 se muestra la composición química de las capas de pigmento amarillo, azul, negro, ocre, rojo y verde. La Figura 8a-f, muestra sus espectros EDX característicos. La preparación de los pigmentos incluye el empleo de cargas cuyo análisis de composición química denotan una naturaleza calcárea, dado el alto contenido de elementos como Ca, C y O; materiales arcillosos y feldespatos cuya composición incluyen Al, K, Mg, Na y Si, así como trazas de elementos como S y Fe que constituyen impurezas contenidas en la roca madre (Figura 6a) [16]. La presencia superficial de Cl en pigmentos de los mascarones del edificio de los Cinco Pisos, se relaciona con el transporte de aerosoles marinos desde zonas costeras.

Tabla 1. Composición química (wt %) del soporte de estuco de las muestras de mascarones de estuco policromado de la zona arqueológica de Edzná, Campeche.

Muestra	Mascarón	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe
1	Cinco pisos Este	29.9	33.9	0.87	-	2.64	1.87	-	-	30.9	-
2	Cinco pisos Este	27.0	36.1	-	-	1.17	3.06	-	-	32.7	-
3	Cinco pisos Este	27.8	35.1	4.95	-	2.54	2.69	2.29	-	24.6	-
4	Cinco pisos Este	23.1	37.3	-	-	0.66	1.59	-	-	37.4	-
5	Cinco pisos Este	24.4	36.8	0.47	-	-	0.92	-	-	37.4	-
6	Cinco pisos Este	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Cinco pisos Este	22.1	38.2	-	-	2.84	2.35	-	-	31.8	-
8	Cinco pisos Oeste	18.5	39.4	7.01	-	3.37	6.6	1.82	1.55	21.4	-
9	Cinco pisos Oeste	25.4	34.0	1.12	0.79	4.02	3.65	0.32	1.1	29.6	-
10	Cinco pisos Oeste	21.3	39.2	-	-	5.35	1.84	-	-	32.3	-
11	Cinco pisos Oeste	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Cinco pisos Oeste	21.2	38.8	-	-	1.48	1.99	-	0.61	36.2	-
13	Estructura 414	27.4	37.4	-	-	5.72	5.69	-	-	22.5	1.32
14	Estructura 414	19.2	39.0	-	1.11	2.39	3.27	-	-	35.1	-
15	Estructura 414	20.8	39.3	-	-	2.11	4.9	-	-	32.9	-

Cabe mencionar que estos mascarones se ubican en la cara norte del edificio, a una altura de 15 metros, directamente expuestos a la acción del viento. La interacción del medio ambiente sobre los pigmentos puede ser observada en la Figura 5a, en ella se puede apreciar una serie de fracturas perimetrales en el estuco y la cristalización superficial de sales, que migran atravesando el pigmento para

depositarse sobre su superficie. El desprendimiento de estas sales es causa principal de la pérdida de pigmentos. Los colores de la pintura en las Tierras Bajas Mayas se obtenían mediante el empleo pigmentos minerales, que eran mezclados con materiales calizos y arcillas para obtener sus diferentes tonalidades [5,15].

Tabla 2. Composición química (wt%) de los pigmentos de las muestras de mascarones de estuco policromado la zona arqueológica de Edzná, Campeche.

Muestra(color)	Mascarón	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe
1 (Azul)	Cinco pisos Este	15.3	40.7	5.54	1.08	1.18	3.09	-	2.47	-	30.8	-
2 (Rojo)	Cinco pisos Este	22.3	36.2	-	-	0.94	1.73	-	-	-	36.3	2.57
3 (Negro)	Cinco pisos Este	77.2	20.7	-	-	0.36	-	-	-	-	1.74	-
4 (Ocre)	Cinco pisos Este	36.0	30.3	0.64	0.35	0.59	1.93	0.37	0.27	-	25.2	4.76
5 (Ocre)	Cinco pisos Este	28.8	33.6	1.25	-	0.95	2.51	0.44	0.31	-	27.2	4.96
6 (Rojo)	Cinco pisos Este	25.6	35.7	-	-	2.04	3.98	-	-	-	29.6	3.04
7 (Rojo)	Cinco pisos Este	22.3	37.7	-	0.97	1.67	3.89	-	-	0.68	-	1.04
8 (Azul)	Cinco pisos Oeste	22.7	36.6	1.66	1.53	2.92	4.94	0.22	-	1.06	28.5	-
9 (Verde)	Cinco pisos Oeste	26.2	34.0	-	-	1.82	4.17	-	-	1.50	29.2	3.04
10(Amarillo)	Cinco pisos Oeste	19.0	40.0	-	-	0.75	1.44	-	-	-	37.1	1.83
11 (Negro)	Cinco pisos Oeste	28.6	38.4	0.97	0.63	0.71	1.72	0.27	0.31	0.43	28.2	-
12(Amarillo)	Cinco pisos Oeste	25.6	35.7	-	-	1.48	1.99	-	-	0.61	36.2	-
13 (Rojo)	Estructura 414	21.3	43.0	-	0.97	6.36	21.83	-	-	0.53	4.3	2.84
14 (Rojo)	Estructura 414	28.8	26.1	-	1.05	28.78	6.3	-	-	0.67	5.1	3.25
15 (Rojo)	Estructura 414	17.0	42.4	-	2.02	6.96	14.18	-	-	0.65	13.6	3.2

El análisis microscópico de las muestras indica la presencia de una capa de enlucido de poco espesor (20 a 200 μm), lo que hace suponer la aplicación de la pintura mediante la técnica al fresco.

En algunas ocasiones, esta capa pictórica se conformó por aplicación sucesiva de diferentes colores, lo que les proporcionaba variabilidad de tonos.

Un caso especial lo constituye el azul (Figura 3a) proveniente del Edificio de los Cinco Pisos (muestras 1 y 8), que ante la ausencia de fuentes de color de origen mineral, como la azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) empleada en el Templo Mayor (Ciudad de México) y Bonampak (Chiapas) [6], en las zonas bajas maya era preparado con extractos de origen vegetal como el índigo ($\text{C}_{16}\text{H}_{10}\text{N}_2\text{O}_2$) mezclado con arcillas como la paligorskita ($\text{Si}_8\text{O}_{20}\text{Al}_2\text{Mg}_2(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) [15,17,18], cuya estructura de forma acicular (Figura 7) se relaciona con elementos como Mg y Si, presentes en las muestras de azul de Edzná (Figuras 8a), tal y como fue observado en la pintura mural de otros sitios como Ek-Balam (Quintana Roo) y Cacaxtla (Tlaxcala) [17,19]. Por otra parte, las imágenes al microscopio óptico muestran el empleo de una delgada base de preparación amarillo ocre que permitió obtener un azul más oscuro en el mascarón Este, mientras que, el tono azul claro observado en el mascarón Oeste fue directamente aplicado sobre el enlucido. En ambos casos se observó un espesor de la película de pigmento de alrededor de 40 μm .

Una variación obtenida por combinación de azul con amarillo es el color verde observado en la muestra 9 (Figura 2 b). Presenta una capa pictórica de dos estratos, el primero, una base amarilla de aproximadamente 35 μm , sobre la cual se aplicó la capa de pigmento verde de aproximadamente 55 μm de espesor.

La composición química resulta similar a la del azul, destacando la presencia de elementos de origen arcilloso como el Mg, Al y Si. K y Fe (Figura 8a y b). Se sabe que los pintores mayas utilizaban el azul maya mezclando con atapulgita $\text{Mg}(\text{Al}_{0.5-1} \text{Fe}_{0.0-0.5})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y sepiolita

($\text{Mg}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ricos en Fe para fabricar el verde [18]. Otros autores destacan el uso de saponita ($\text{Ca}_{0.25}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_2(\text{Si}, \text{Al})_{4-10} \cdot \text{H}_2\text{O}$), mezclado con amarillo u ocre para formar el verde olivo que aún hoy día, se puede apreciar en pinturas murales de Mayapán, en Yucatán, (México) [20].

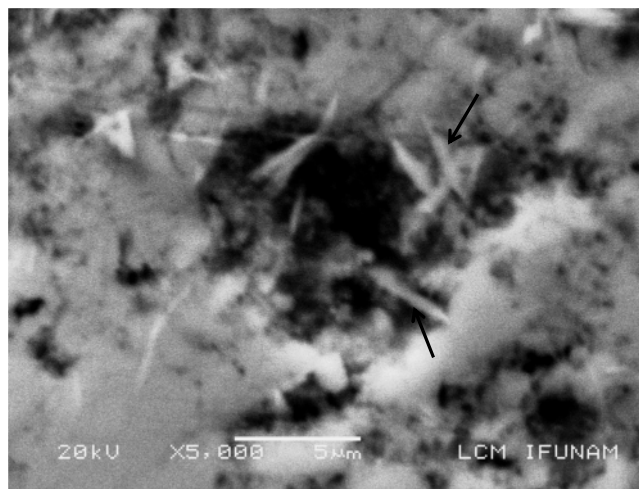


Fig. 7. Estructuras de forma acicular características de la arcilla paligorskita, observadas en muestras de pigmento azul.

Los colores amarillo, ocre y rojo (Figura 3 c-e), se caracterizaron por la presencia de Fe, que es un elemento constitutivo de diversas fases minerales de óxidos de hierro como la hematita (Figura 8c-e). El empleo de este mineral como fuente de diversas tonalidades de rojo tuvo uso generalizado en América prehispánica, empleándose para colorear pintura mural, elementos estucados y diversos tipos de cerámicas, extendiéndose su uso hasta regiones sudamericanas del noreste de Argentina [21]. Se sabe también, que los pigmentos eran mezclados con materiales arcillosos para obtener tonalidades diferentes [8,21].

En la cultura maya el color rojo tenía un fuerte simbolismo funerario, estético y ritual [7,8]. En este sentido resulta interesante resaltar la similar composición química en muestras de color rojo provenientes del Edificio de los Cinco Pisos y de la Estructura 414 (Tabla

2), a pesar de corresponder a diferentes edificios, lo que habla de similares bases de preparación.

En este caso también resulta común la presencia de cargas de origen calizo que le proporcionaban mejor soporte estructural. En ambos edificios, el rojo más oscuro fue

observado en muestras que contenían partículas de carbón vegetal. En algunas muestras superpusieron el rojo sobre una película amarilla aplicada previamente a la base de preparación, que les permitió obtener diferentes tonalidades del color.

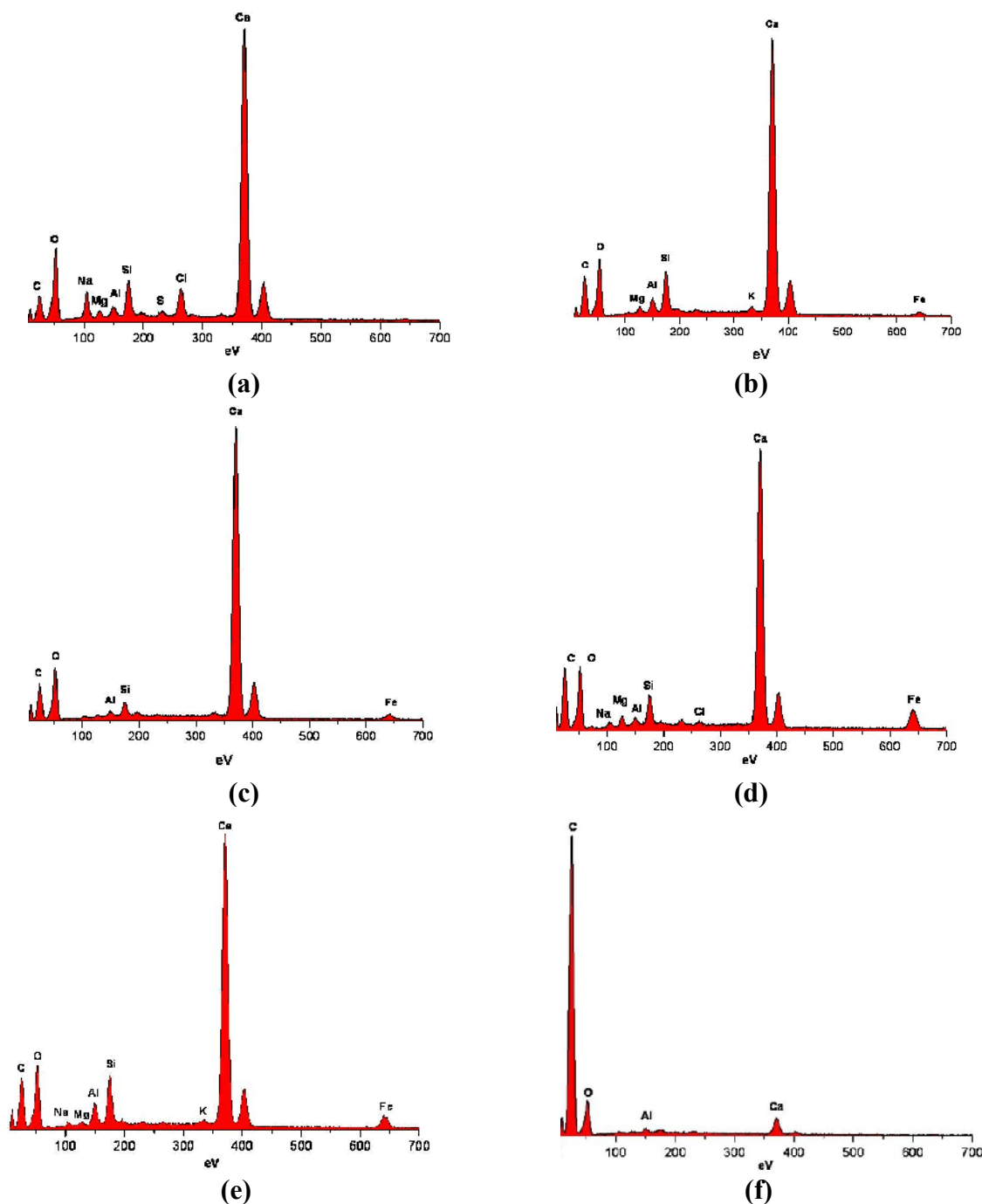


Fig. 8. Composición química de los colores: (a) azul, (b) verde, (c) amarillo, (d) ocre, (e) rojo, (f) negro.

Las muestras de color ocre (muestras 4 y 5), presentaban una película de pigmento con espesor de entre 30 y 50

μm. Ambas muestras fueron retiradas de secciones diferentes del mascarón este del Edificio de los Cinco

Pisos. Sin embargo el análisis EDX muestra similar proporción de elementos como Fe, Ca, Al y S. Se observaron además, concentraciones variables de Cl, Mg, Si y Na. A excepción del Cl (de origen eminentemente ambiental) y de una porción de Na, estos elementos están contenidos en minerales primarios usados durante su elaboración. La base de preparación de este color es un pigmento amarillo dentro del cual se observaron partículas de intenso color rojo con alto contenido de hierro.

La Figura 3e, muestra la sección transversal de un fragmento de estuco con pigmentación amarilla (muestra 10). En ella se observó una capa pictórica con espesor aproximado de 75 μm , que al igual que en el caso del amarillo empleado como base de preparación del ocre presenta partículas con alto contenido de hierro. Su análisis de composición elemental indica la presencia de C, O y Ca, con menores proporciones de Al, Fe, Si y K. De lo anterior se deduce el empleo de silicatos y feldespatos que en diferentes proporciones eran mezclados con hematita para darle soporte al pigmento, tal y como fue observado en estudios realizados en pintura mural de otras regiones mayas [1].

Diversos autores destacan el empleo sistemático de carbón vegetal, obtenido de la quema de maderas tropicales, como materia prima para la preparación de pigmentos de color negro en las tierras bajas mayas [1,15,19]. Las imágenes al microscopio de las muestras de Edzná (Figura 3f) muestran una base de preparación de color amarillo, sobre la cual se superpone la capa pictórica negra, ambas de poco espesor (aproximadamente 20 μm). Lo anterior coincide con lo observado en otras regiones mayas, en las cuales el negro se combinaba con hematita o amarillo ocre, para darle un matiz más cálido [11]. El análisis EDX, muestra un enriquecimiento de C con respecto a Ca y O, consecuencia de la incorporación de partículas de carbón vegetal durante la preparación del pigmento. Cantidades minoritarias de Al, Cl, Fe, K, Mg, Na, S y Si, también fueron observadas.

CONCLUSIONES

Los mascarones de estuco policromado de la ciudad maya de Edzná fueron fabricados empleando materiales de origen calizo característicos de la región. El análisis estratigráfico, así como el morfológico y químico obtenido mediante MEB/EDX, demuestra la existencia de un soporte de estuco modelado a base de cal que incluía cargas de *sascab* y fragmentos de roca caliza. La base de preparación incluía un enlucido, sobre el cual se colocaba la capa de pigmento. Aunado a esto, el empleo de una capa primaria de color amarillo para variar los tonos de los colores, así como similar composición química en las muestras provenientes del Edificio de los Cinco Pisos y la Estructura 414, parece indicar que sus mascarones fueron elaborados empleando los mismos materiales y técnicas de fabricación. El análisis de la composición química demuestran también que, mientras la base de preparación de los colores amarillo, ocre y rojo incluía fuentes minerales de hierro (probablemente hematita), el negro se elaboraba empleando carbón vegetal, de ahí su alto contenido de carbono. En el caso de los colores azul y verde, la ausencia de información química asociada a colorantes de origen mineral, hace suponer el empleo de colorantes de origen orgánico, tal y como se ha observado en otros sitios Mesoamericanos.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo, que se desarrolló en el marco de la Red Temática PROMEP para la Conservación de Materiales de Interés Histórico y Artístico, fue financiado por el Proyecto Análisis del deterioro de los materiales constitutivos de los mascarones de estuco de la Zona Arqueológica de Edzná. Los autores desean agradecer el apoyo prestado por el Centro INAH-Campeche y por el Arqueólogo Antonio Benavides, responsable del Proyecto Arqueológico Edzná, así como el apoyo técnico de Jaqueline Cañetas y Mario Monroy en el uso del microscopio electrónico de barrido del Laboratorio Central de Microscopía del Instituto de Física de la

UNAM así como al técnico Wilian Cauich, del Departamento de Física Aplicada del CINVESTAV, Unidad Mérida, por su apoyo durante los análisis EDX.

REFERENCIAS

- [1] Vázquez de Agredos, M.L. (2010) “La pintura mural maya. Materiales y técnicas artísticas”. Mérida, Yucatán. México, Centro Peninsular en Humanidades y Ciencias Sociales (UNAM), pp. 21-129.
- [2] Jose-Yacaman, M., Rendon, L., Arenas, J., Puche, M. C. S. (1996) “Maya blue paint: an ancient nanostructured material” *Science* 273:223-225.
- [3] Polette-Niewold, L. A., Mancíu, F. S., Torres, B., Alvarado, M., Chianelli, R. R. (2007) “Organic/inorganic complex pigments: Ancient colors Maya Blue” *J. Inorg. Biochem.* 101:1958-1973.
- [4] Riquelme, F., Alvarado-Ortega, J., Cuevas-García, M., Ruvalcaba-Sil, J. L., Linares-López, C. (2012) “Calcareous fossil inclusions and rock-source of Maya lime plaster from the temple of the inscriptions, Palenque, México” *J. Archeol. Sci.* 39: 624-639.
- [5] Zetina, S. (2007) “*Análisis de la Técnica de manufactura de los mascarones de estuco del Edificio A-1 y B-4 de Kohunlich, Quintana Roo*”. Proyecto de grado. México. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, INAH.
- [6] Benavides, A. (1997) *Edzná: una ciudad prehispánica de Campeche*. Serie Arqueología de México, México, Editorial Committe, pp. 18-88.
- [7] Arano-Recio, D. (2011) “*Proyecto integral de conservación de los bienes culturales muebles e inmuebles por destino de Edzná, Campeche*”, Informe Técnico, Campeche, México. Instituto Nacional de Antropología e Historia. pp. 12-30.
- [8] Domínguez-Carrasco, M. R., Villegas P., Espinosa, M. E., Follan, W. (2011) “*Las técnicas pictóricas en las fuentes etnohistóricas y su corroboración entre los mayas prehispánicos*”. Proceedings 3er. Congreso Internacional de Cultura Maya. Mérida, Yucatán, México. Instituto Nacional de Antropología e Historia. pp. 1-11.
- [9] Magaloni-Kerpel, D. (1999) “*El arte en el hacer: técnica pictórica y color en las pinturas de Bonampak*”. La pintura mural en México. Área Maya. Bonampak, Tomo II, México. Instituto de Investigaciones Estéticas (UNAM), pp. 50-80.
- [10] Goodall, R. A., Hall, J., Viel, R., Agurcia, R., Edwards, H. G. M., Fredericks, P. M. (2006) “Raman microscopic investigation of paint samples from the Rosalila building, Copan, Honduras”. *J. Raman Spec.* 37:1072-1077.
- [11] Reyes, J., Torres, F., Ché, I., Corvo, F., Pérez, T., Bravo, H., Sánchez, P., Aguilar, D., Quintana, P. (2010) “*Dissolution of traditional mortars under artificial rain conditions: a laboratory*”, 2nd Latin-American Symposium on physical and Chemical Methods in Archeology, Art and Cultural Heritage Conservation. Universidad Nacional Autónoma de México/Universidad Autónoma de Campeche, pp. 195-200.
- [12] García, C., Quintana, P., Bautista-Zuñiga, F. (2006) “*La identificación de materiales arcillosos y pétreos utilizados en la manufactura del friso modelado en estuco de la SUBII-C1 de Calakmul, a través de análisis de rayos X*”, La ciencia de Materiales y su Impacto en la Arqueología Vol. III, D. Mendoza, J. Arenas, V. Rodríguez, J. L. Ruvalcaba Eds. Innovación Editorial Lagares. pp. 237-252.
- [13] Torres, F. (2009) “*Efecto de la lluvia en materiales pétreos del patrimonio histórico del estado de Campeche*”, Proyecto de grado, San Francisco de Campeche, México, Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Campeche.
- [14] Castro-Mora, J. (2002) “*Monografía Geológica Minera del Estado de Campeche*”, Consejo de Recursos Mineros, Secretaría de Economía. México. pp. 104-120.

- [15] Magaloni. Kerpel, D. (2001) “*Materiales y Técnicas de la Pintura Mural Maya*”. La Pintura Mural Prehispánica en México. Área Maya II (volumen III), México, Instituto de Investigaciones Estéticas (UNAM), pp. 155-198.
- [16] Reyes, J. Bartolo, P. Cauich, W. Huerta, D. Hermosin, B. Perez, T. (2009) “Análisis morfológico y químico de costras de deterioro de edificios históricos mediante SEM/ED” *Acta Microscopica* 18 (2):185-194.
- [17] Ortega-Avilés, M., San-Germán, C. M., Mendoza-Anaya, D., Morales, D., José-Yacaman, M. (2001) “Characterization of mural paintings from Cacaxtla” *J. Mat. Sci.* 36:2227-22236.
- [18] Manciu, F. S., Rez, L., Polette, L. A., Torres, B., Chianelli, R. R. (2007) “Raman and infrared studies of synthetic Maya pigments as a function of heating and dye concentration” *J. Raman Spec.* 38:1193-1198.
- [19] Vandenabeele, P., Bodé, S., Alonso, A., Moens, L. (2005) “Raman spectroscopic analysis of the maya wall paintings in Ek-Balam, México” *Spectrochimica Acta (A)* 61:2349-2356.
- [20] Velásquez, S. Y., Perera-Lope, C. A., Mosqueira-Bautista, P. J., Alatorre-Arenas J. (2006) “*Caracterización Fisicoquímica de pigmento y Soportes en Pinturas Murales: Caso Mayapán, Yucatán*”. La Ciencia de Materiales y su Impacto en la Arqueología, Volumen III, D. Mendoza, J. Arenas, V. Rodríguez, J.L. Ruvalcaba Eds., México, Innovación Editorial Lagares. pp. 21-42.
- [21] Centeno, S. A., Williams, V. I., Little, N. C., Speakman, R. J. (2012) “Characterization of surface decorations in Prehispanic archaeological ceramics by Raman spectroscopy”, FTIR, XRD and XRF” *Vib. Spec.* 58:119-124.