28.
Análisis EDX y SEM en morteros y estucos del sitio arqueológico Witzinah, Yucatán, México

Víctor J. Ley Paredes, Rolando Ríos Soberanis y Agustín Peña Castillo

XXVII Simposio de Investigaciones
Arqueológicas en Guatemala

Museo Nacional de Arqueología y Etnología
22 al 26 de julio de 2013

Editores
Bárbara Arroyo
Luis Méndez Salinas
Andrea Rojas

Referencia:

Ley Paredes, Víctor J.; Rolando Ríos Soberanis y Agustín Peña Castillo
2014 Análisis EDX y SEM en morteros y estucos del sitio arqueológico Witzinah, Yucatán, México. En *XXVII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2013* (editado por B. Arroyo, L. Méndez Salinas y A. Rojas), pp. 335-346. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.

Análisis EDX y SEM en morteros y estucos del sitio arqueológico Witzinah, Yucatán, México

Víctor J. Ley Paredes
Rolando Ríos Soberanis
Agustín Peña Castillo

Palabras clave
Witzinah, Yucatán, caracterización, estucos, morteros.

Abstract
This work focuses on the study and characterization of stucco and mortar archeological stony materials taken from the main structure (UO-1, Room 3) on Witzinah archeological site located south of Yucatan, Mexico, in order to determine its constituted elements and chemical components. Such materials were observed under SEM to establish, in accord to its micro-structural patterns, the porosity, and EDX to determine the chemical compounds. Preliminary results indicated that mortars contain saturated fat (esters) that were originated by degradation of a natural polymer (elastomeric rubber) known as a polyisoprene as well as a nano-clay material named Palygorskita (Sak lu'um), and that both had a direct influence on the properties of the evaluated mortars used for the construction of the site Principal Building.

Introducción

Los materiales constructivos mayormente utilizados por los Mayas prehispánicos han sido las piedras, argamasa (estucos, morteros, enlucidos) y elementos orgánicos como paja, huano y madera. De éstos, el material por excelencia para la construcción de edificios Mayas prehispánicos es el mortero con su aglomerante, el cual confiere parte de las propiedades mecánicas y de adherencia de los materiales pétreos. Durante el año de 1999 se llevaron a cabo investigaciones relativas a los morteros dentro de las zonas arqueológicas de Palenque, Yaxchilán, Tonina, Comalcalco, Uxmal y Kabah determinando ciertas zonas y caracterizándolas por sus componentes regionales brindando información genérica de los morteros, estucos y concretos Mayas (Ramírez *et al*. 1999:276), deduciendo que estos últimos no presentan diferencias químicas relevantes en sus cementantes.

Esta aproximación en la caracterización de los morteros, estucos y concretos Mayas de dichas zonas, aunque limitada, permite la correlación de los datos obtenidos con los resultados adquiridos de los materiales pétreos de la Zona Arqueológica de Witzinah y, de esta manera, generar información que en conjunto establezcan variables regionales con respecto a los materiales estudiados. Por otro lado, permitirá innovar en el conocimiento sobre los morteros y sus componentes de una región para poder aplicarlos en la restauración de edificios prehispánicos. Para García (*et al*. 2001:219), es importante remarcar que durante la restauración de un edificio arqueológico son necesarias metodologías que incluyan una serie de ensayos que permitan determinar el mortero más idóneo en cada caso, ya que en diversas situaciones, la falta de un estudio exhaustivo ha llevado a la toma de decisiones erróneas, produciendo muchas veces un efecto negativo que empeora el estado de la edificación aún más después de la intervención.

El presente trabajo pone en relieve la importancia de realizar estudios de análisis de Dispersión de Energía de rayos X (EDX) y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) sobre materiales arqueológicos de

los Mayas prehispánicos (morteros y estucos) que están íntimamente vinculados con la tecnología y sistema constructivo de los edificios monumentales y en particular, en este caso, que corresponde a la Estructura UO-1, cuarto 3 del sitio arqueológico Witzinah, localizada en el interior del Estado de Yucatán, México. Estos métodos y sistemas de análisis fueron utilizados para la interpretación y comprensión de datos, además del grado de conocimiento que aportan con respecto a sus características y componentes químicos. Dichos estudios de caracterización sobre los morteros fortalecen y definen la importancia sobre la conservación y restauración del patrimonio arqueológico-arquitectónico de la Civilización Maya Prehispánica en la zona Yucateca, en especial el Cono Sur, evidenciando sus partes constitutivas.

El sitio arqueológico

Witzinah pertenece al Municipio de Peto, Yucatán, y se encuentra comprendido entre los kilómetros 11+500 y 11+700 del tramo Catmis a Tigre Grande ubicado al sur del Estado, conocido como el "Cono Sur"; ubicado a unos 164 km aproximadamente tomando como referencia la Ciudad de Mérida, Yucatán (Ley 2011:103). Witzinah presenta un total de 50 estructuras prehispánicas distribuidas en una superficie de 77, 243 m2 y está integrada por un conjunto de plazas con una orientación general de 10° NE, en tanto que el resto de los vestigios presentan ligeras desviaciones (349° NO) (Sierra *et al.* 2008; Ley 2011:106). La estructura principal (UO-1) es un basamento piramidal en talud de 14 m de altura, su planta arquitectónica es de 35 m por lado sobre la cual se asienta un edificio en forma de "C", que estuvo conformado por cinco cuartos con cubiertas en saledizo, tres en la parte principal del edificio y una en cada parte lateral (Ley 2011:107).

Metodología experimental

Aunque en arqueología no existen técnicas de caracterización propias para realizar estudios referentes a los componentes y constituyentes de los materiales, es necesario adoptar otras técnicas que permitan analizar, cuantificar y cualificar los materiales, y tener mejor comprensión de su comportamiento. Entre estas técnicas se encuentran la Dispersión de Energía de rayos X (EDX) y Microscopia Electrónica de Barrido (SEM), los cuales inducen la observación de imágenes a altas magnificaciones con el objeto de determinar fractografía, medición de partículas, análisis cuantitativos, cualitativos y análisis químico elemental de las áreas seleccionadas para el estudio.

Las muestras estudiadas fueron dividas en dos partes, la primera corresponde a los morteros y la segunda a los estucos. De los cuales, cuatro corresponden a los primeros y dos a los segundos. A continuación se describen en relación al orden de obtención y de acuerdo a las necesidades específicas de la investigación. La muestra 1(M-1) corresponde al mortero del relleno constructivo de la cubierta en saledizo, la muestra 2 (M-2) incumbe al mortero del muro de carga posterior, la muestra 3 (M-3), pertenece al estuco de enrase del muro de carga posterior o trasero, la muestra 4 (M-4), corresponde al estuco de recubrimiento del muro de cerramiento del lado norte, la muestra 5 (M-5) atañe al mortero del muro de carga frontal y finalmente, la muestra 6 (M-6) al mortero de juntas de las piedras de la cubierta en saledizo.

El estudio experimental consistió básicamente en cinco técnicas de caracterización: SEM, EDX, TGA, FTIR, Resonancia Magnética Nuclear de Protón (1H RMN).

Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) con sistema EDX

El análisis de los materiales (estuco y morteros) se llevó a cabo a través del SEM (*Scanning Electron Microscope*) ó MEB (Microscopia Electrónica de Barrido) Modelo JEOL JSM-6360LV. Dicho estudio permitió observar la morfología y porosidad de los materiales examinados. La segunda consistió en el análisis de imágenes a diferentes resoluciones a través del método observacional. El MEB provee imágenes con mayores amplificaciones con alta resolución y elevadísimo grado de definición en la superficie de un objeto (Yacamán 1995:34 citado en Jáidar 2006:158). De las seis muestras principales obtenidas del sitio arqueológico se realizó una subdivisión de ejemplares por cada muestra tipo, obteniéndose un total de12 especímenes (seis de partículas de polvo y seis de gránulos) para realizarles la prueba de morfología granulométrica y dimensiones de partícula de polvo. La preparación de la muestra consistió en aplicar una pequeña porción del material de mortero sobre los porta-muestra dispuestas aleatoriamente, asegurando una distribución homogénea sobre la placa de oro del porta-muestra. Con relación a las muestras aplicadas en forma granulométrica se consideró una medida "estándar" que no sobrepasara los límites de la muestra y que tuviera su-

perficies "lisas" para su colocación en los especímenes. Debido a que los gránulos no presentaban una fijación adecuada se procedió aplicarles una solución líquida plata coloidal para proporcionarles una mayor adherencia con el objeto de facilitar su observación en el SEM. Por cada muestra analizada se capturaron de cuatro a cinco micrografías con un potencial y resolución de15 kV a X15, 15 kV a X50, 10kV a X20,000 y X30,000; 10kV a 5,000; 10kV a 1,000 y 1,500; 10 kV a 10,000; 10 kV a 500; con el fin de obtener diversas imágenes que indiquen el aspecto, morfología y distribución de las partículas, así como para determinar patrones representativos en los materiales pétreos. Este equipo cuenta con un sistema de espectroscopia de Dispersión de Energía de Rayos X (EDX) que es una técnica utilizada para el análisis elemental o caracterización química.

Análisis Termogravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico (TGA) mide cambios del peso en un material en función de temperatura (o de tiempo) debajo de una atmósfera controlada y permite evaluar la pérdida de masa. Sus aplicaciones principales incluyen la medida de la estabilidad térmica y de la composición de un material.

Aproximadamente de 5 a 10 mg del material pétreo fueron colocados sobre la charola del analizador gravimétrico para ser analizada bajo un ambiente inerte en atmósfera de nitrógeno en un intervalo de temperatura de entre 50 a 650 °C a una velocidad de calentamiento de 10°/min.

Extracción Soxhlet

Tres muestras fueron elegidas para ser sometidas a un sistema de extracción Soxhlet, el cual es uno de los procedimientos más realizados en los laboratorios para la extracción selectiva. La función primordial de esta técnica es realizar un sinfín de extracciones de manera automática y continua, con el mismo solvente que se evapora y condensa llegando de manera pura al material en cuestión (Núñez 2008:1). Se colocaron 30 gr de los materiales (gránulos y polvos) de los morteros para analizar en un recipiente de papel filtro el cual se coloca a su vez dentro de la cámara principal del Soxhlet. Como solvente se utilizó Tolueno en el matraz balón y se calentó a una temperatura fija de 55°C para iniciar los ciclos. Al término de 6 horas, el solvente contenido en el matraz balón se llevó a evaporación hasta obtener los residuos finales (sólidos de aspecto aceitoso) para proceder a su análisis por Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) y Resonancia Magnética Nuclear de Protón (1H RMN).

Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR)

El espectro de FTIR fue obtenido en un equipo Nicolet 460 depositando el extracto obtenido sobre una pastilla de KBr grado espectro; las condiciones de prueba fueron las siguientes: 100 barridos en un intervalo espectral de 4000 a 400 cm-1, con una resolución de 4 cm-1.

Resonancia Magnética Nuclear de Protón (1H RMN)

El espectro de 1H RMN fue obtenido en un equipo Varian de 600 MHz, disolviendo el extracto obtenido con cloroformo deuterado.

Resultados

Los análisis EDX efectuados en los morteros y estucos revelan la existencia de elementos químicos constituidos por C al 100%; O al 100%, Ca al 100%, Na al 45.83%, Mg al 95.84%, Si al 100%, P al 12.5%, S al 8.33%, Cl al 79.16%, K al 37.5%, Fe al 95.83 % de las muestras (Tabla 1). Estos resultados concuerdan con análisis efectuados por Jaídar (2006:162-166) sobre cortezas de árboles endémicos de la Península Yucateca tales como el Pixoy, Chucúm, Chacá y Jolol, donde concuerdan 9 de 11 elementos químicos, los cuales sugieren la utilización de dichas extracciones de los árboles para la adhesión de las partículas de polvo de los morteros analizados. Con base a los datos cotejados el Pixoy presenta 10 de 11 elementos lo que indica que posiblemente se esté utilizando con mayor énfasis este árbol.

Se identificó, de forma general, la existencia y recurrencia de altos valores de los elementos carbono (C) y oxigeno (O), que indican la presencia de material orgánico constituyente de las muestras, así como otros elementos que componen las resinas de árboles

Por otra parte, las micrografías SEM realizadas a las muestras determinaron la presencia de materiales arcillosos nanométricos posiblemente Palygorskita en su forma de fibra (alargada y tubular). Estas arcillas son diagnósticas debido a que han sido reportadas en la zona suroeste de la Península de Yucatán y asociados a materiales terciarios calcáreos los cuales se presentan como finos lentejones de Palygorskita. Esta suele estar

acompañada de Sepiolita que en ocasiones son mayores en cantidad. Su formación se debe directamente por precipitación de aguas marinas (Isphording:1984 citado en Baltuille 2002: 62). En las zonas cercanas a la costa, con Aluminio disponible la fase estable sería la Montmorillonita, mientras que en zonas tierra adentro, con menor Aluminio, domina la Palygorskita y se precipita Sepiolita donde no hay aluminio (Al) (Baltuille 2002: 62)(Fig.3).

Asimismo, Sánchez del Río (2006:437), determinó que existe Palygorskita en las comunidades de Maxcanú, Sacalum, Chapab, Ticul, Tepakan, Santa Elena, Oxkutzcab que abarcan un área aproximada de 40 km de diámetro. Por otro lado, previas investigaciones indican que la formación de la Palygorskita proviene de una cristalización directa en lagunas de elevada salinidad y sobre el lecho del mar poco profundo de la península (Besoain 1985:505). El análisis de SEM/EDX permitió observar y corroborar que dentro de los morteros analizados existe un material adicional conocido como Palygorskita. Este material arcilloso presenta como identidad química constitutiva C, O, Mg y Si, la cual ha sido reportada como arcilla Sak lu'um (Gordillo 2010).

Los morteros estudiados contienen un grupo de elementos químicos que indican la presencia de un material orgánico inmerso, mezclado e inducido como aglutinante para la formulación de dicho material utilizado para la adhesión de las partículas de polvo que conformarán los gránulos. Esta mezcla, como producto, se empleó como la base adhesiva de los materiales constructivos en las construcciones Mayas prehispánicas de la zona sur del Estado de Yucatán. En las micrografías (Fig.3) es posible observar las distribuciones de los elementos que componen la muestra, así como los mismos elementos identificados que se caracterizan por su estructura química. Por otro lado, el evidenciar carbono y oxigeno sugiere como característica de adición, un elemento orgánico, como resina para sujeción de las partículas de polvo y su grado de adhesión con los morteros.

A través del análisis de las micrografías de los materiales fue posible obtener la configuración morfológica, porosidad y patrones distribución. Morfológicamente las partículas de polvo son ovoides mayormente, aunque también se observaron fragmentos alargados de forma trapezoidal y burda. Lo cual sugiere una homogeneidad en su configuración como partículas que muy probablemente fue producido con cierta molienda que en tiempos modernos correspondería al tamizado o cribado. Asimismo, se observó que en algunas secciones existen láminas apiladas a manera de capas que conformarían un gránulo. Sin embargo, en los gránulos se evidencia cierta homogeneidad en su constitución, formando capas (Fig.4).

En la mayoría de las muestras se encontraron arcillas en forma de fibras a escala nanométrica dispuestas y adheridas a su constitución granulométrica. La relación de aspecto (largo/diámetro) de éstas arcillas van del orden de longitud de 0.1µm a 35.09 µm con un diámetro de 0.02 µm a 0.99 µm con un promedio de 4.96 µm longitudinalmente y 31.59 µm diametralmente. También se observó en una de las muestras (M11-4) la existencia de "enlaces" o "uniones" que permiten la adhesión de las partículas entre ellas formando los gránulos, éstos tienen los mismos componentes de Calcio (Fig.5).

Debido a la porosidad que evidencian los gránulos, la distribución de las placas y la forma de adhesión de las partículas se crean intersticios que presentan dimensiones que van del orden de longitud de 1.19 µm a 5.54 µm con un ancho que oscila entre 0.93 µm a 3.84 µm. Este conjunto de factores indican la constitución estructural, así como las dimensiones que presentan las partículas al aglomerarse para conformar los gránulos, los cuales están en el orden de longitud de 0.84 µm a 10.30 µm, con un ancho que oscila entre 0.61 µm a 9.69 µm. Evidentemente, la dispersión, al igual que la toma de muestras de las partículas de polvo fue arbitraria debido al mecanismo de deposición de las muestras. Sin embargo, lo observable es el arreglo de la superficie en relación a su porosidad (Fig.6).

La búsqueda de patrones con base a la distribución aleatoria y errática de las partículas no proporciona información para realizar un estudio pertinente sobre dichos patrones, puesto que las partículas fueron dispuestas al azar. Lo que sí es posible derivar de la observación es que al aglomerarse presenta una forma constructiva y constitutiva en su arreglo debido al material que los enlaza.

Tomando en consideración la probable inclusión de elementos orgánicos como constituyentes en los materiales pétreos se realizó un análisis termogravimétrico el cual evalúa la pérdida de masa total con respecto al incremento de la temperatura. Los resultados exhibidos en el termograma de la Fig.7 identificaron una pérdida de entre 3 y 5% en tres diferentes muestras indicando una eliminación de humedad a temperaturas iniciales (700C), después la masa se estabiliza hasta los 3000C para continuar con una pérdida de masa orgánica relativamente mayor a temperaturas cercanas a los 6000C. El

material que permanece es residuo sólido mineralizado (96%). Nuevamente es identificable una fase orgánica entre los elementos que componen los morteros.

Tres muestras de morteros fueron sometidas a extracciones con el objeto de separar y recuperar el componente orgánico del material. Una vez obtenido el residuo sólido de aspecto amarillento y aceitoso, se procedió a analizarlo cualitativamente por FTIR y 1H RMN.

Como se puede observar, el espectro de FTIR (Fig.8) exhibe bandas a 2950, 2920 y 2850 cm-1, las cuales son típicamente asociadas al estiramiento C-H de grupos metilos y metilenos. La presencia de estos grupos fue confirmada por la aparición de bandas a 1460 y 1380 cm-1 las cuales están relacionadas con las vibraciones de flexión de este tipo de enlace. Una banda en la zona de carbonilos a 1730 cm-1 sugiere la presencia de grupos ésteres en el compuesto, lo cual se confirma con la aparición del estiramiento C-O a 1280 cm-1.

Por otra parte, el espectro de resonancia del extracto (Fig.9) presenta señales intensas a 1.5, 1.18 y 0.8 ppm, aunque una señal pequeña a 3.57 ppm también fue detectada. La señal a 0.8 ppm generalmente es asociada a los protones de grupos metilo terminales en cadenas hidrocarbonadas. Las señales a 1.18 y 1.5 ppm pueden estar relacionadas con protones de grupos metilenos sometidos a diferentes medios ambientes; capta la atención que aunque las señales parecen singletes, éstas son anchas, lo cual es común en cadenas hidrocarbonadas. La señal a 3.57 ppm también podría ser debido a los protones de un grupo metileno (o metilo), pero unido a un oxígeno (por ejemplo de un grupo éster, ver resultados de FTIR), lo cual promueve que la señal aparezca a campo más bajo debido a la electronegatividad de este último átomo.

Con base en los resultados obtenidos es posible sugerir que la muestra está constituida por una mezcla de ésteres de ácidos grasos saturados ya que los resultados obtenidos por FTIR y 1H RMN identifican la presencia de cadenas hidrocarbonadas saturadas y compuestos carbonilos. No existe evidencia vinculante entre el extracto analizado y el hule natural, ya que en este último prevalecen dobles enlaces pertenecientes a las unidades del isopreno. Estos grupos (los dobles enlaces) no fueron detectados por ninguna de las técnicas utilizadas, ya sea mediante bandas de estiramiento C=C que absorben cerca de 1664 cm-1, o bien a través de los protones metilo insaturados (HC=C) del cis-1,4-isopreno localizados a 5.1 ppm (Chaikumpollert *et al.* 2011). Si bien es cierto que existen reportes en la literatura (Rose y Steinbuchel 2005) en donde se señala que es posible la aparición de compuestos carbonílicos como las cetonas, los ácidos carboxílicos o ésteres durante la biodegradación del hule natural, en todos los mecanismos reportados permanecen invariablemente los dobles enlaces de las unidades isoprenoides. Por lo tanto, es probable que la muestra analizada esté constituida por una mezcla de ésteres de ácidos grasos provenientes de una degradación del hule natural el cual se encuentre reducido a cadenas elementales (oligómeros) que dificulten la identificación del enlace C=C. Se ha demostrado que la degradación por microorganismos origina un significativo decremento en los dobles enlaces de la cadena polimérica y que sus constituyentes finales son ricos en acido grasos carboxílicos (Linos *et al.* 2000; Sakdapipanich y Rojruthai 2012). Es necesario el empleo de técnicas de caracterización adicional tales como la cromatografía para determinar el peso molecular, y estudiar el proceso de biodegradación del hule natural.

Conclusiones

El análisis de los morteros y estucos por medio de técnicas de caracterización como el SEM/EDX permitió determinar los componentes físico-químicos de las muestras y tener en claro cuáles son los procesos y metodologías a seguir para implementar mejores materiales y aplicarlos en la restauración arqueológica-arquitectónica. Al analizar las partículas de polvo, se observó que también contenían otro material adhesivo de naturaleza orgánica la cual podría ser el poli-isopreno o resina natural, que en conjunto forman parte de los morteros y estucos utilizados para la construcción de los edificios Mayas del sitio Witzinah. Esto indica el grado de conocimiento adquirido que tenían los constructores Mayas prehispánicos sobre los elementos naturales y sus aplicaciones en las distintas áreas constructivas. Asimismo, esta forma de controlar el conocimiento sobre ciertas resinas de plantas y árboles que presentan características especificas o de cierta región geográfica permite considerarlas como elementos directos para la fabricación de los morteros y específico su propia interrelación y su especialización.

En el campo de la restauración, con la identificación de este elemento como producto conocido y aplicado a las construcciones actuales brindará nuevas oportunidades en el ámbito arqueológico y arquitectónico utilizando dichos materiales como elementos de materia prima, así como su adecuación al campo actual sobre las edificaciones Mayas.

Finalmente, es imperante el empleo de técnicas de caracterización adicionales para definir la naturaleza degradable del polímero natural el cual se ha establecido por diversos autores (Linos *et al*. 2000; Rose y Steinbuchel 2005) que los morteros contenían un polímero natural que muy probablemente fuera el poli-isopreno (hevea o caucho natural) como elemento aglutinante o adhesivo de las partículas de polvo que conforman el mortero utilizado para las edificaciones Mayas monumentales de la zona conocida como "Cono Sur" del estado de Yucatán, aportando conocimiento nuevo sobre sus características de conformación.

Parte de las aportaciones máximas de este mortero como elemento de estudio y constructivo fue sin lugar a duda el identificar sus componentes como el sulfato magnésico (magnesio, azufre y oxigeno) el yeso (calcio, azufre y oxigeno) como se ha expuesto en trabajos previos (Ramírez 2005) y la inclusión del uso de arcilla Palygorskita que determinaron de alguna forma la importancia de utilizar dichos materiales y elementos como parte de su consolidación como material constructivo, asimismo, la clara dosificación, la adecuada mezcla, el tiempo de amasado de los materiales, la sobria ejecución y aplicación de estos morteros apuntaló una de las épocas constructivas (Clásico Tardío/terminal 800 DC) más desarrolladas de la cultura Maya en la Península Yucateca, especialmente el Cono Sur.

Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Antropología e Historia de Yucatán (CINAHY) a través del proyecto arqueológico "Levantamiento planimétrico del Sitio Witzinah" por facilitar los materiales arqueológicos producto del presente trabajo y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo al proyecto 60204/CM0042. Así mismo, los autores agradecen al IQ. Santiago Duarte por la obtención de las micrografías SEM, al MC. José Rodríguez Laviada por el apoyo técnico en la caracterización y al Dr. José Manuel Cervantes por sus valiosas contribuciones al análisis FTIR y Resonancia Magnética Nuclear de Protón (1H RMN).

Referencias

Baltuille Martín, José Manuel
2002 *Inventario Nacional de Arcillas Especiales: Palygorskita, Attapulgita, Sepiolita y Bentonita*. Instituto Geológico y Minero de España, Ed. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid, España.

Chaikumpollert, Oraphin; Kewwarin Sae-Heng, Osamu Wakisaka, Akio Mase, Yoshimasa Yamamoto y Seiichi Kawahara
2011 Low temperature degradation and characterization of natural rubber. *Polymer Degradation and Stability* (96):1989–1995. USA.

García Garmilla, F.; M. Cano, I. Yusta, J. Ibañez, I. Rodríguez, K. Beraza y S. Garín
2001 Resultados de SEM/EDX en morteros de restauración aplicados a areniscas del Eoceno de Gipuzkoa utilizadas en la construcción de edificios. *Geogaceta* (30): 219-222.

Gordillo Rubio, José
2010 *Obtención de nanopartículas de fuentes regionales para uso como refuerzo de materiales compuestos termoplásticos*. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

Jáidar Benavides, Yareli
2006 *Los extractos vegetales usados como aditivos en los morteros de cal con fines de conservación*. Tesis de Licenciatura, Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, INAH-SEP, MÉXICO.

Ley Paredes, Víctor
2011 *La tecnología constructiva de la arquitectura maya del Cono Sur: Witzinah, Yucatán, Un sitio prehispánico del Período Clásico en las Tierras Bajas Mayas*. Tesis de Maestría, FAUADY, Mérida, Yucatán, México.

Linos, Alexandros.; Mahmoud M. Berekaa, Rudolf Reichelt, Ulrike Keller, Jurgen Schmitt, Hans-Curt Flemming, Reiner M. Kroppenstedt, y Alexander Steinbuchel
2000 Biodegradation of cis-1,4-Polyisoprene Rubbers by Distinct Actinomycetes: Microbial Strategies and Detailed Surface Analysis. Applied and Environmental *Microbiology* (66):1639–1645, USA.

Ramírez de Alba, Horacio.; R. Pérez y H. Díaz
1999 El cemento y el concreto de los Mayas. *Revista Científica* 6 (3): 275-284, UAEM, Toluca, México.

Rose, Karsten y Alexander Steinbuchel
2005 Biodegradation of Natural Rubber and Related Compounds: Recent Insights into a Hardly Understood Catabolic Capability of Microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology* (71): 2803–2812. USA.

Sakdapipanich, Jitladda T. y Porntip Rojruthai
2012 Molecular Structure of Natural Rubber and Its Characteristics Based on Recent Evidence. En *Biotechnology - Molecular Studies and Novel Applications for Improved Quality of Human Life*, Cap 13, pp. 213-238, 2012. USA.

Sánchez del Río, M., M. Suárez y E. García
2006 Palygorskita en la Península de Yucatán. Contexto Etno-Histórico y Arqueológico. En *XXVI Reunión SEM/XX Reunión SEA*. Pp.437-440. MACLA 6, México.

Sierra Sosa, Thelma., A. Peña, C. García y V. Ley
2008 Sitios Chenes en el Sur del Estado de Yucatán: Witzinah y San diego Buenavista. En *Los investigadores de la cultura maya*, pp. 283-312, Universidad de Campeche, Campeche.

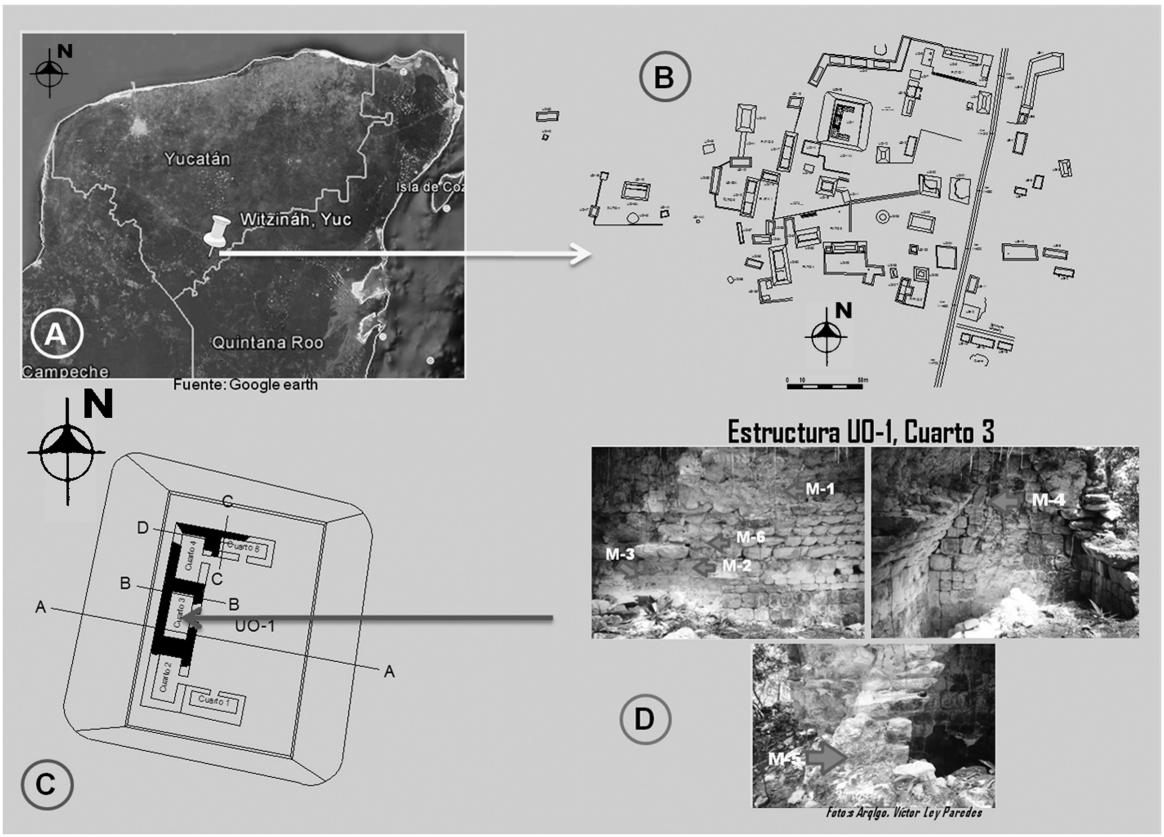

Fig.1: a) Ubicación de Witzinah, Yucatán. b) Plano del sitio arqueológico.
c) Planta de la estructura UO-1. d) Obtención de muestras.

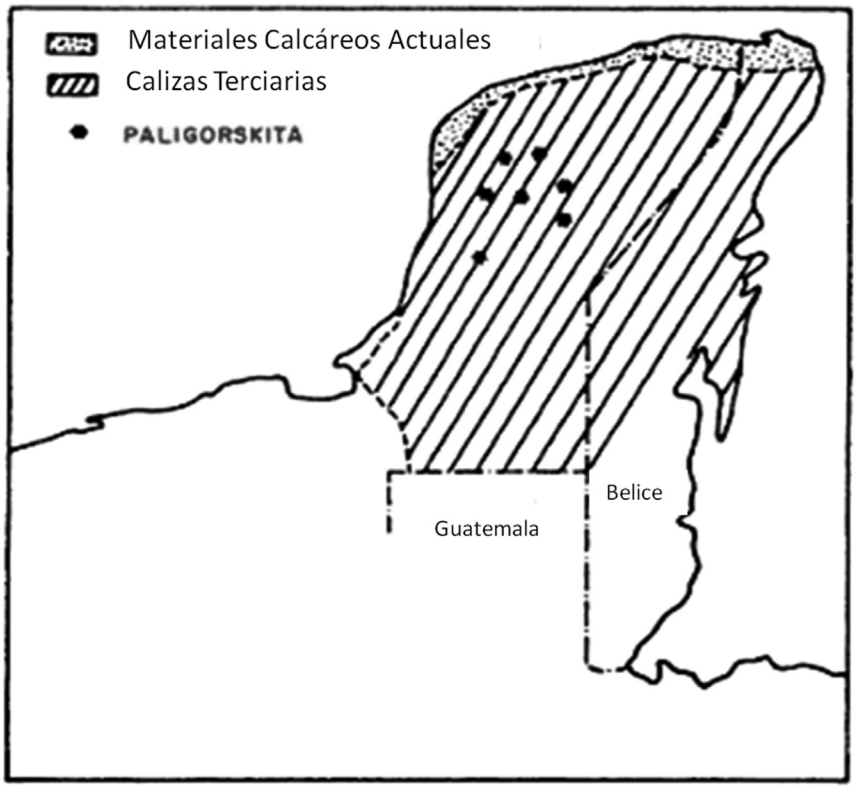

Fig.2: Localización de las áreas donde se han hallado la Palygorskita, Yucatán (Plano tomado de Bautille 2002).

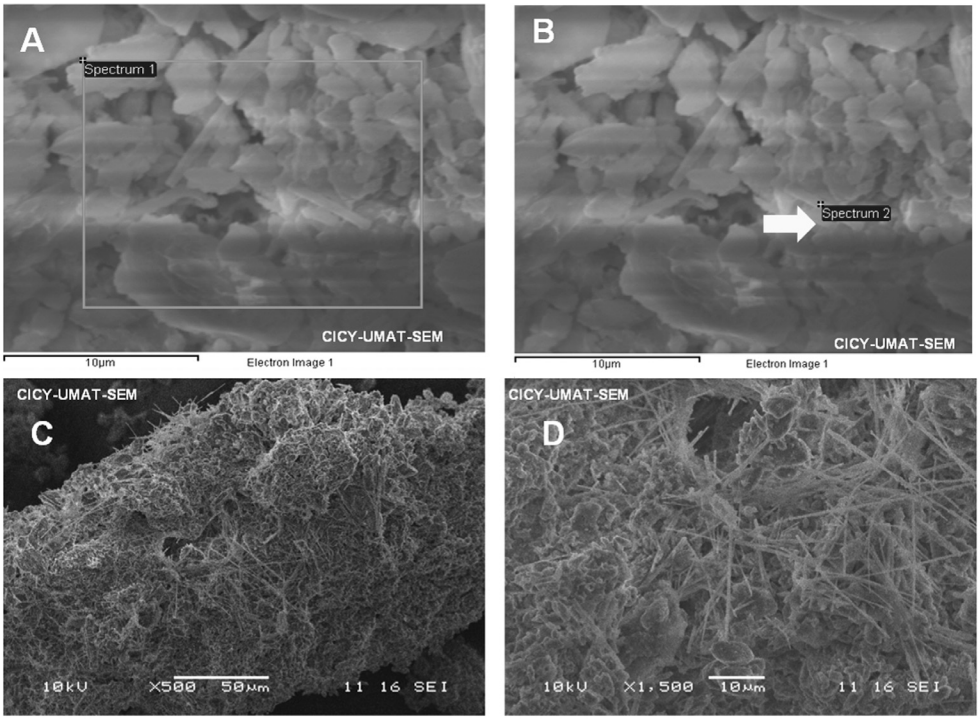

Fig.3: Micrografías de morteros y estuco del sitio Arqueológico de Witzinah, Yucatán, México. La imagen A y B corresponde a la muestra 1 donde se aprecian las arcillas de Palygorskita a escala nanométrica, y la C- D a la aglomeración de dichas fibras adheridas sobre la superficie de las partículas de polvo.

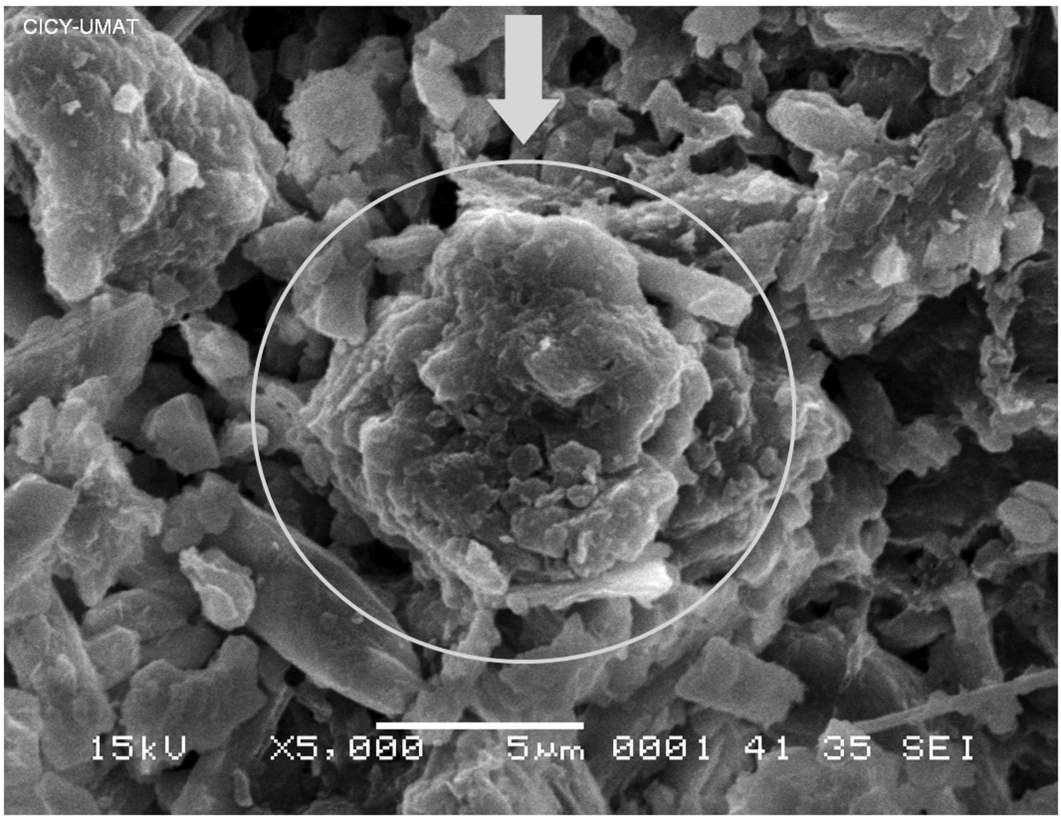

Fig.4: Muestra M1-5. Aglomeración de partículas que conforman Placas apiladas.

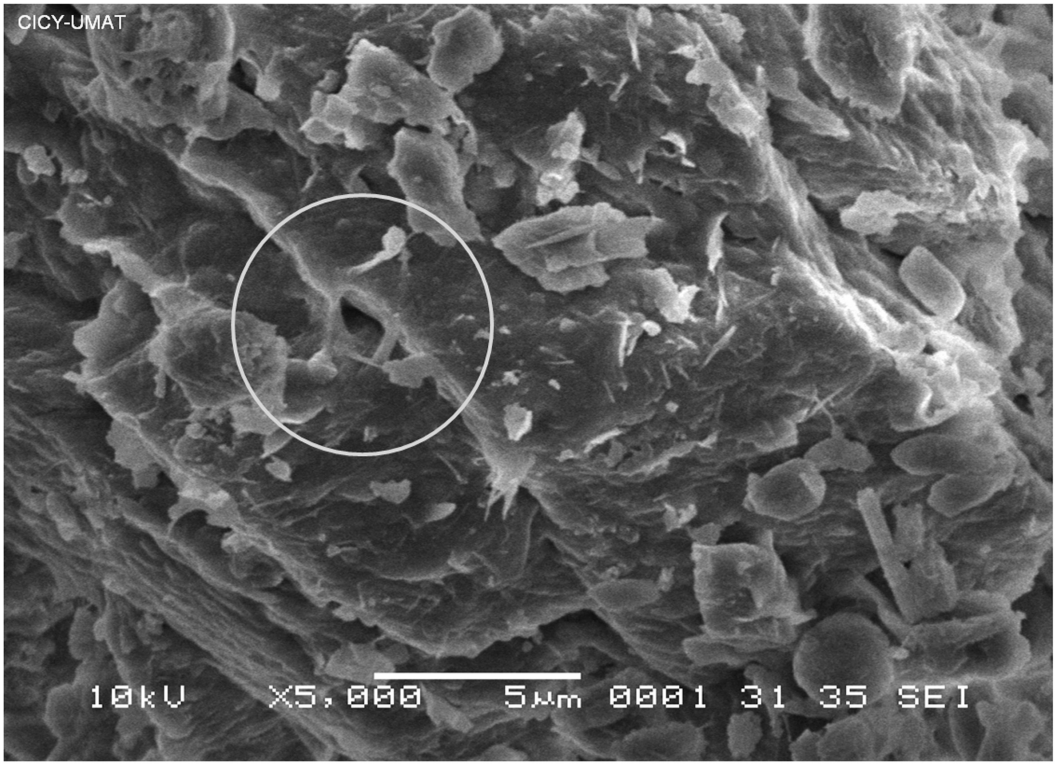

Fig.5: Detalle de los "enlaces" entre gránulos y partículas.

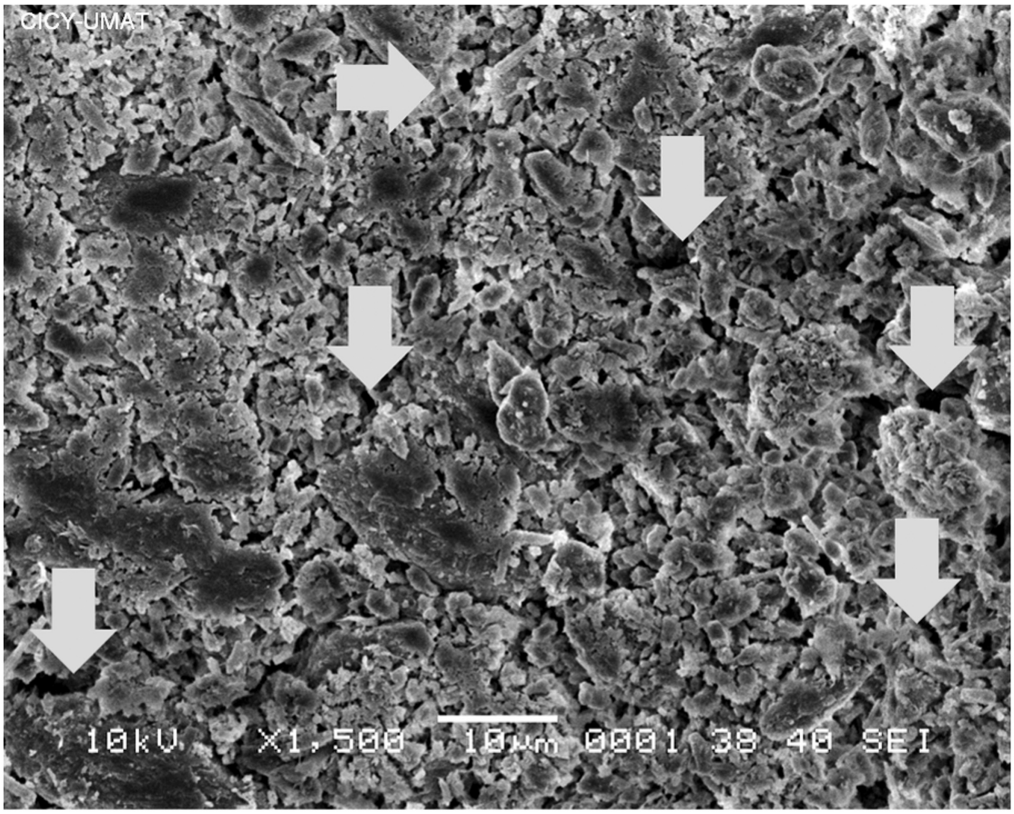

Fig.6: Micrografía donde se aprecia el detalle de la porosidad e intersticios.

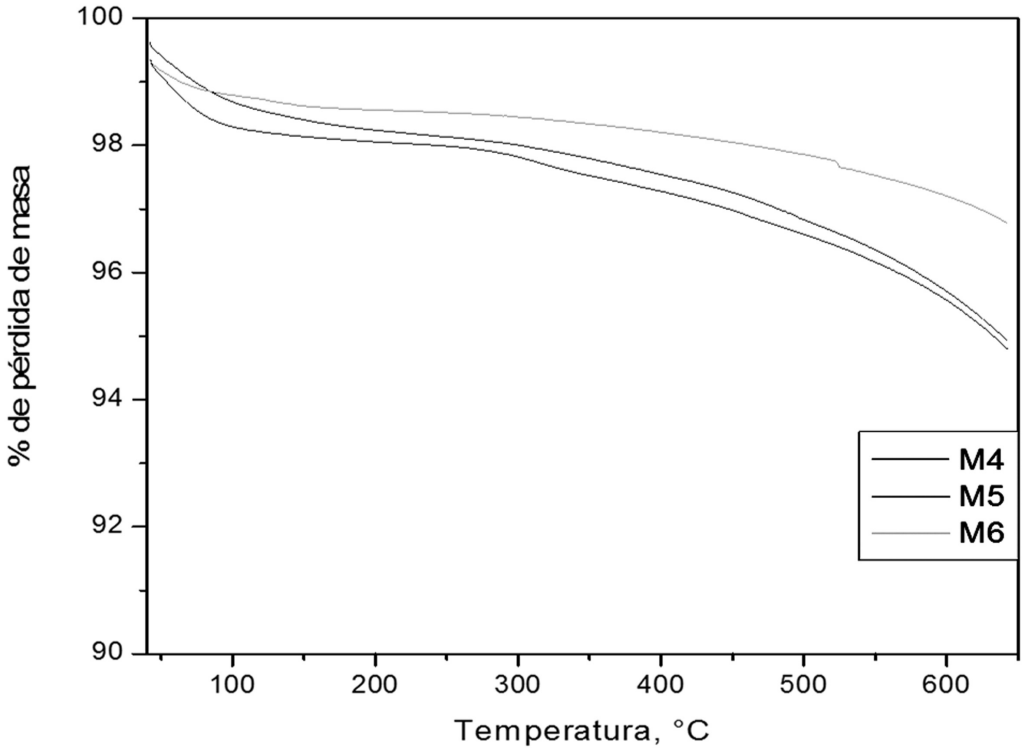

Fig.7: Termograma de las muestras 4, 5 y 6.

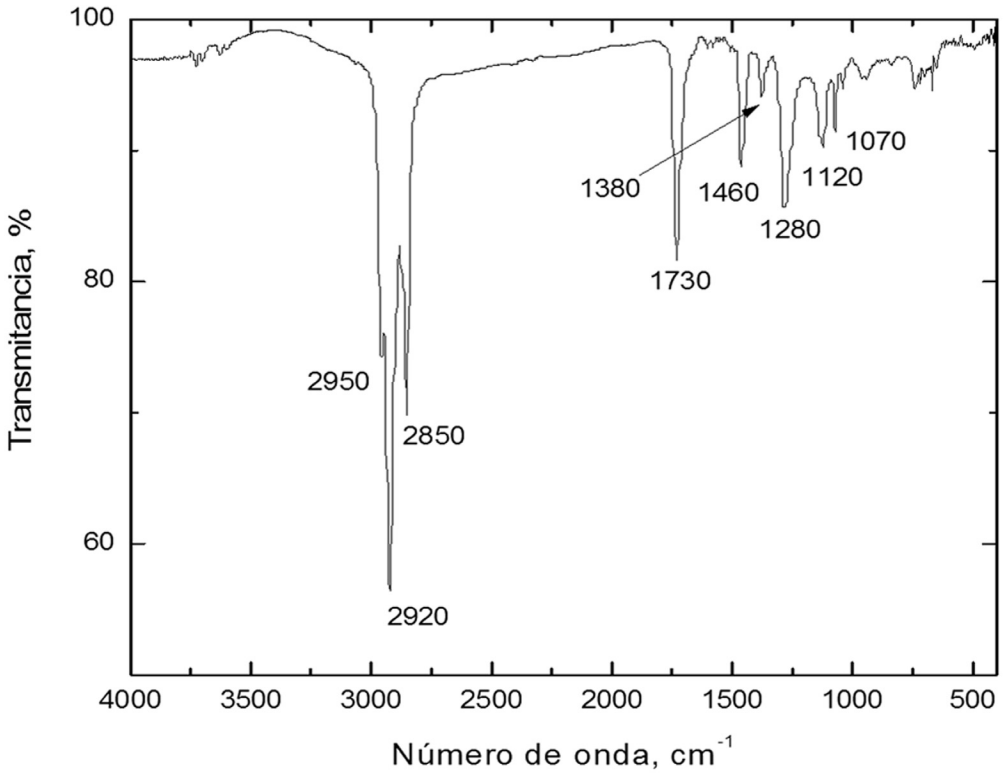

Fig.8: Espectrómetro de FTIR del extracto.

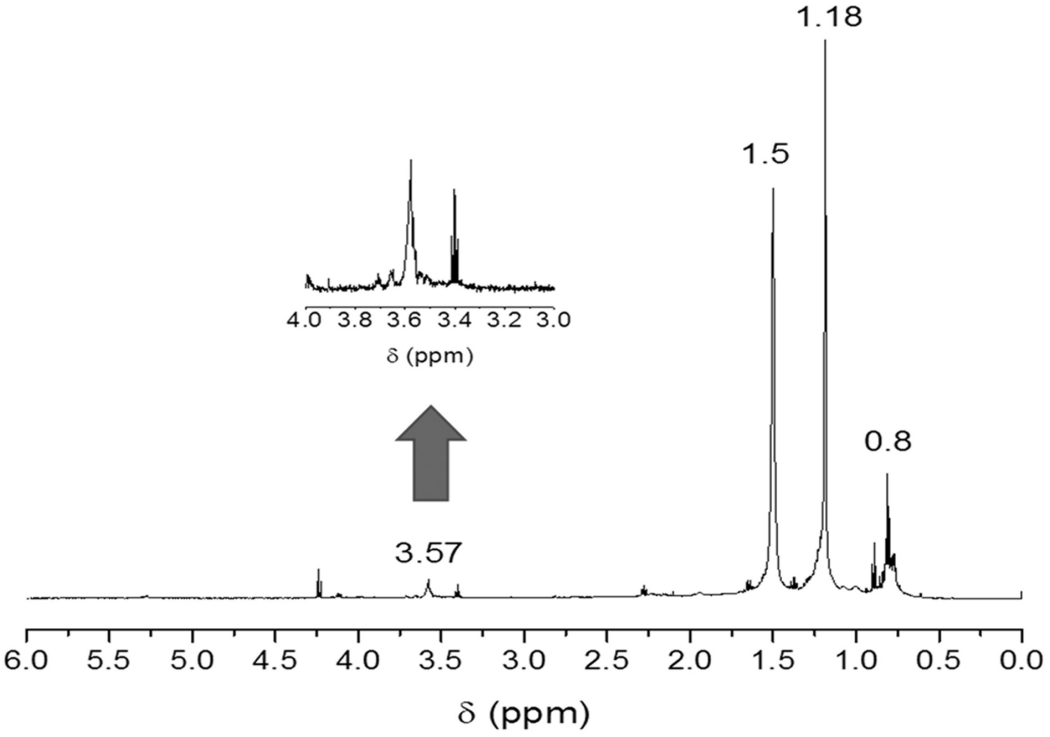

Fig.9: Resonancia Magnética Nuclear (1H RMN) del extracto.

PRUEBAS EDX-CICY. M O R T E R O S Y E S T U C O S DE WITZINÁH, YUCATÁN

MUESTRA	ELEMENTOS QUÍMICOS Y PORCENTAJES																
	C	O	Na	Mg	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Fe	Nb	Ir	W	Sn	TOTAL
M-1	4.58	49.9	X	0.58	5.09	X	X	0.52	0.28	37.49	0.32	1.23	X	X	X	X	99.99
M-1	6.34	31.02	X	0.72	8.28	X	X	0.98	0.5	49.85	X	2.31	X	X	X	X	100
M-1	6.68	46.37	X	0.38	1.88	X	X	0.32	X	43.49	X	0.88	X	X	X	X	100
M-1	4.08	36.02	X	0.29	1.88	X	X	0.31	X	56.09	X	1.33	X	X	X	X	100
M-1	10.5	57.42	0.26	0.7	3.56	X	X	0.36	0.12	26.3	0.15	0.63	X	X	X	X	100.01
M-1	15.3	58.24	0.24	0.51	2.38	X	X	0.27	0.09	22.62	X	0.33	X	X	X	X	99.99
M-2	12.8	55.21	0.29	0.96	3.86	X	X	0.44	0.15	25.84	X	0.5	X	X	X	X	100.01
M-2	9.95	52.67	0.41	1.57	7.14	X	X	0.51	0.2	26.97	X	0.59	X	X	X	X	100.01
M-2	13.1	52.91	0.49	0.87	4.52	X	X	0.69	0.22	26.55	X	0.65	X	X	X	X	100
M-2	11.7	55.7	0.34	0.75	3.19	X	X	0.42	X	27.38	X	0.52	X	X	X	X	100
M-3	8.53	50.47	X	0.36	1.99	X	X	0.24	X	37.99	X	0.42	X	X	X	X	100
M-3	7.63	51.09	X	0.27	2.35	X	X	0.19	X	38.16	X	0.31	X	X	X	X	100
M-3	11.2	55.69	0.46	0.5	3.21	X	X	0.29	X	27.11	X	0.45	0.54	0.56	X	X	100
M-3	12.5	58.34	0.51	0.58	3.15	X	X	0.27	X	24.1	X	0.2	X	X	0.38	X	99.99
M-4	0.62	4.77	X	X	0.83	X	X	X	X	93.19	X	0.59	X	X	X	X	100
M-4	10.9	50.76	X	0.25	1.11	X	X	X	X	36.08	X	0.39	X	X	X	0.53	100
M-4	15	54.65	0.83	0.96	4.57	3.01	1.35	0.64	0.17	18.49	X	0.37	X	X	X	X	100.01
M-4	12.5	41.63	1.15	1.27	6.05	8.47	2.33	1.34	0.23	24.53	X	0.49	X	X	X	X	99.98
M-5	12.1	54.46	X	0.52	2.8	X	X	0.22	X	29.45	X	0.46	X	X	X	X	99.99
M-5	14.7	60.17	X	0.29	1.12	X	X	X	X	23.68	X	X	X	X	X	X	100
M-5	8.42	53.12	0.4	1.52	5.96	X	X	0.59	X	29.5	X	0.49	X	X	X	X	100
M-5	4.63	38.78	X	1	4.13	X	X	0.27	X	50.71	X	0.49	X	X	X	X	100.01
M-6	17.5	57.66	X	0.42	2.64	X	X	0.14	X	21.27	X	0.35	X	X	X	X	100.01
M-6	18.5	61.56	X	0.43	2.5	X	X	0.07	X	16.69	X	0.27	X	X	X	X	100
M-6	5.05	32.99	X	0.35	2.82	0.25	X	X	X	57.63	X	0.91	X	X	X	X	100
M-6	3.27	22.41	X	0.19	3.70	X	X	X	X	69.39	X	1.03	X	X	X	X	99.99

Tabla 1: Valores obtenidos del análisis elemental (EDX) de estucos y morteros.