



II JORNADAS DE INVESTIGADORES JÚNIOR EN PATRIMONIO

Ge-conservación
Conservação | Conservation

Jornadas JIP - 2, 3 y 4 de abril de 2025

Compuestos orgánicos en plantas yucatecas como base para la identificación de aglutinantes de la pintura mural maya

Jorge Martínez Sales, Claudia A. García Solís, Gloria I. Hernández Bolio

Resumen: El estudio arqueométrico de los acabados arquitectónicos con color mayas cuenta con un largo recorrido. El interés por la caracterización de materiales orgánicos en capas pictóricas ha sido mayor en la identificación del colorante del índigo, empleado en el famoso azul maya, que en el estudio de los aglutinantes usados para aplicar el color. Sobre el tema, los estudios químicos de GC-MS y HPLC-MS realizados hasta el momento se han centrado en comparar los polisacáridos presentes en muestras arqueológicas y exudados de plantas regionales. Estos análisis permitieron confirmar la técnica al temple por el empleo de aglutinantes, pero queda mucho por conocer. Este estudio presenta la metodología utilizada mediante la GC-MS para la identificación de componentes orgánicos de baja y mediana polaridad de plantas reportadas en las fuentes etnográficas y recolectadas de manera directa en el entorno natural del sitio de Chichén Itzá (Yucatán, México). Al comparar los resultados del análisis de una muestra de pintura mural del sitio, ampliamos la información sobre otros compuestos de baja polaridad que no han sido identificados anteriormente.

Palabras clave: cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, compuestos de mediana y baja polaridad, exudados de plantas, plantas tropicales, Chichén Itzá

Organic compounds in Yucatecan plants as a basis for identifying binders in Maya mural painting

Abstract: The archaeometric study of Maya architectural finishes have a long history. Interest in characterising organic materials in paint layers has been greater in identifying the indigo dye used in the famous Maya blue than in studying the binders used to apply the colour. To date, chemical GC-MS and HPLC-MS studies have focused on comparing the polysaccharides present in archaeological samples and exudates of regional plants. These analyses confirmed the tempera technique using binders, but much remains unknown. This study presents the methodology used with GC-MS to identify medium- and low-polarity components of plants reported in ethnographic sources and collected directly from the natural environment of the Chichén Itzá site. By comparing the analytical results of a sample of mural painting from the site, we expand the information on other low-polarity compounds that have not been previously identified.

Keywords: Gas Chromatography-Mass Spectroscopy, medium- and low-polarity compounds, plant exudates, tropical plants, Chichén Itzá

Introducción

A lo largo del tiempo, las ciudades mayas han perdido gran parte de sus características originales, en especial sus acabados arquitectónicos (detalles escultóricos, estucos modelados y pinturas murales) realizados con cal y que permitían suavizar las formas arquitectónicas, generar representaciones en volumen y servían como base para la aplicación del color. La interacción de las formas, líneas, volúmenes y colores dio lugar a un complejo y rico lenguaje visual, lo cual subraya la importancia de estudiar los posibles materiales empleados por los antiguos artistas para aplicar los colores.

La maestría plástica y estética, así como, la riqueza cromática de los revestimientos arquitectónicos mayas asombró a los investigadores de todas las disciplinas e incitaron a un fuerte debate en torno a la técnica pictórica: fresco (Tentori 1961; Villagra 1949; Hanau, Maschelein, Thissen y Tricot 1966), seco (Ruppert, Thompson y Proskouriakoff 1955), o una técnica mixta o mezzo fresco (Breton 1905 y Morley 1925). Las fuentes históricas de la época del contacto y la colonización del territorio mencionaron el uso de gomas y plantas para los morteros de estuco y las capas pictóricas, siendo fundamentales el documento anónimo denominado *Sobre el modo de cómo hacían sus pinturas los indígenas*

citado en Vázquez de Ágredos (2010:35), y la obra *Relación de las cosas de Yucatán de Landa* (1973: 129-130). Sin embargo, estos documentos no definieron plantas o especies específicas.

A nivel etnohistórico, la contribución más importante proviene de la década de 1920 cuando la Carnegie Institution of Washington trabajó en el sitio arqueológico de Chichén Itzá. Los albañiles aportaron información importante referente a los antiguos maestros, refiriéndose a sus antepasados, indicando que utilizaban distintas cortezas para las mezclas de cal dependiendo de dónde iban a ser empleadas (Morris, Charlot y Morris 1931: 224). De nuevo, la información proporcionada por estos albañiles no era específica ya que no mencionaba el uso concreto que se le asignaba a cada planta.

A mediados del siglo XX el desarrollo de las técnicas analíticas provocó el interés en el estudio de las propiedades físicas para comprobar si las mejoras de las cualidades de los morteros mediante aditivos eran auténticas. En este sentido Littman (1958) desarrolló el primer trabajo de arqueología experimental realizando distintas mezclas con extractos naturales procedentes de las cortezas del chukum, chakaj, pucté y ha'bin. A finales del siglo XX, una vez comprobada la importancia que tuvieron estos aditivos, el interés se centró en la identificación de los aditivos orgánicos, como los en los estudios llevados a cabo en la zona arqueológica de Palenque (Chiapas, México) por Vázquez del Mercado y Villegas (1993). Al mismo tiempo, con los avances tecnológicos y el desarrollo de las técnicas analíticas aplicadas al patrimonio empezaron a llegar algunos resultados importantes que identificaban la presencia de materia orgánica en estucos y capas de color en Nakbe (Petén, Guatemala) (Hansen, Hansen y Derik 1995). Poco después, se produjo un intenso esfuerzo por parte de varias investigadoras para comprender el universo de color y su aplicación, especialmente en la pintura mural y relieves policromos, como fueron Magaloni (1996, 1998; 2001; 1995a y b), Vázquez de Ágredos (2006 y 2010) y García *et al.* 2008 y García *et al.* 2016. Entre estas publicaciones, las dos primeras autoras identificaron exitosamente los componentes inorgánicos empleados como pigmentos, así como otros elementos inorgánicos que acompañaban a los pigmentos, como las arcillas.

Las metodologías seguidas en el estudio de los orgánicos han permitido, por un lado, caracterizar el índigo empleado para el azul maya (Gettens 1962; Van Olphen 1966; Magaloni 2001, Vázquez de Ágredos 2007; Dómenech *et al.* 2009), y por otro, señalar el empleo de componentes de origen vegetal en las capas pictóricas y los morteros (Magaloni 1996, 1998; 2001; *et al.* 1995 a y b; y Vázquez de Ágredos 2006 y 2010). La metodología empleada la propuso Magaloni (1996), y se basó en la identificación de los polisacáridos y monosacáridos mediante Cromatografía de Gases acoplada a Espectroscopía de Masas (GC-MS) y la Cromatografía

Líquida de Alta Resolución acoplada a Espectroscopía de Masas (HPLC) comparando las muestras de pintura mural con los exudados (resinas y gomas) de diversos árboles, lo cual fue retomado posteriormente por Vázquez de Ágredos (2006 y 2010). Unos años después, Guasch-Ferré (2016 y *et al.* 2019) realizó un estudio de los compuestos orgánicos más exhaustivos. Más recientemente con la metodología que se expone a actualmente se ha podido identificar compuestos grasos de origen animal en restos de color en el sitio arqueológico de Acanceh (Martínez *et al.* 2025).

Todas estas investigadoras introdujeron la arqueología experimental con plantas regionales del territorio maya [Tabla 1], y de otras partes de México para compararla con muestras arqueológicas. Sus metodologías de análisis se basaron en dos técnicas de gran sensibilidad como son la GC-MS y HPLC-MS, y la identificación de los monosacáridos obtenidos mediante la fragmentación de polisacáridos o hidrólisis. Frente al avance que supuso la identificación de estos componentes en muestras arqueológicas para conocer el empleo de aglutinantes y, por tanto, la técnica pictórica al temple, en relación a su comparativa con muestras de plantas no se ha podido esclarecer una especie o familia taxonómica específica. A esto se añadía que los análisis parecen indicar el empleo de más de un aglutinante lo que dificulta aún más su caracterización e identificación en muestras arqueológicas.

La información proporcionada por las técnicas y el estudio del color se ha utilizado con fines de conservación en el área maya, lo cual se ha integrado en las prácticas del uso de la cal y sus derivados. Esto ha motivado el impulso de estudios de mezclas de cal con aditivos de origen orgánico en el área maya, tal como hicieron García y Valencia (1997), Ruiz (2010) y García y Jaidar (2013), y cuyos análisis se centraron en experimentar con aditivos de diferentes especies de la región para establecer cuáles ofrecían las mejores características y cualidades para tratamientos de consolidación, resane y recubrimientos de sacrificio.

Como se ha dicho, los avances en la técnica pictórica son amplios, pero sigue habiendo diversos retos como es la identificación de una o varias especies vegetales. De esta forma, la principal problemática para identificar los aglutinantes es la diversa naturaleza del origen de los aditivos, así como, poder conseguir una comparativa que permita profundizar en los materiales aglutinantes. El presente trabajo pretende realizar un estudio multidisciplinar de algunas plantas del norte de la Península de Yucatán que pudieron ser empleadas como aditivos o aglutinantes en las pinturas murales mayas y desarrollar una nueva metodología analítica para la identificación de nuevos componentes orgánicos de distinta polaridad mediante Cromatografía de Gases Masas acoplada Espectroscopía de Masas en muestras de exudados en plantas de Yucatán.

NOMBRE MAYA	NOMBRE ESPAÑOL	NOMBRE CIENTÍFICO	Especies usadas como sinónimo	FAMILIA
Chacté	Palo colorado	<i>Caesalpinia platylba</i>	<i>Caesalpinia mollis</i> / <i>Coulteria mollis</i>	<i>Fabaceae (leguminosas)</i>
	Palo de Rosa	<i>Tara vesicaria</i>	-	
Chakaj / Chakáh	Palo mulato	<i>Bursera simaruba</i>	-	<i>Burseraceae</i>
Kuyché	Cedro	<i>Cedrela odorata</i> L.	<i>Cedrela mexicana</i> M. Roem., <i>Cedrela yucatanensis</i> S.F. Blake.	<i>Meliaceae</i>
Chi'Chi'Bej	Chichibe	<i>Sida acuta</i> Burm /	<i>Sida rhombifolia</i> / <i>Corchorus siliquosus</i> L. / <i>Corchorus hirtus</i> L. / <i>Sida spinosa</i>	<i>Malvaceae</i>
Chukum	Chukum	<i>Havardia albicans</i>	<i>Albizia rubiginosa</i> Standl / <i>Albizia lundellii</i> Standl	<i>Fabaceae</i>
Ék / Kikche	Palo de campeche	<i>Haematoxylum campechianum</i>	-	<i>Fabaceae</i>
Ha'bin	Jabín	<i>Piscidia piscipula</i>	<i>Prescidia Communis</i> / <i>Ichthyomethia communis</i> S.F / <i>Piscidia erythrina</i> / <i>Erythrina piscipula</i>	<i>Fabaceae</i>
Holol	Jolol	<i>Beliota Campbelli</i>	<i>Beliota Mexicana</i> / <i>Hibiscus Tiliaceus</i> / <i>Trichospermum Mexicanum</i> / <i>Heliocarpus spp.</i>	<i>Malvaceae</i>
Oox	Ramón	<i>Brosimum alicastrum</i>	<i>Piratinera alicastrum</i>	<i>Moraceae</i>
Pixoy	Guácima	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Guazuma coriacea</i> Rusby / <i>Guazuma tomentosa</i> Kunth	<i>Malvaceae</i>
Xu'ul	Piñón	<i>Jatropha Gaumeri</i>	-	<i>Euphorbiaceae</i>
		<i>Jatropha Curcas</i> L.	-	

Tabla 1.- Especies de plantas identificadas como posibles aglutinantes en la bibliografía referenciada en el texto.

La identificación de los compuestos no polares y polares en los aditivos para la pintura maya

—Revisión documental

La revisión a través de bibliografía especializada (fuentes históricas, recopilaciones etnográficas y estudios físico-químicos) de las especies de árboles reportados que tienen la capacidad de proveer sustancias glutinosas a través de la maceración de sus cortezas fue el punto de partida para conocer las especies y sus cualidades, así como su distribución. Para ello, se recurrieron a distintas bases de datos oficiales disponibles en línea: EncicloVida, de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) de México; el listado de especies forestales oficiales en línea del Instituto Nacional de Bosques de Guatemala, y el Catálogo

de *Flora Ilustrada de la Península de Yucatán* del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY). El estudio incluyó el análisis de la diversidad biológica del territorio y el clima, ya que de ello depende el tipo de especies que podemos encontrar. Esto se complementó con una visita al herbario para conocer las plantas y dónde era más probable encontrar un mayor volumen de especies. Como resultado se decidió que buena parte de las especies identificadas se encontraban en la cercanía del sitio arqueológico de Chichén Itzá.

—Recolección de muestras en Chichén Itzá

La visita al sitio de Chichén Itzá para la recolección de cortezas y exudados se realizó el 10 de junio del 2022 por un grupo de trabajo de personas pertenecientes a la Universitat de València (España), Laboratorio Nacional de

Nano y Biomateriales (LANNBIO) y el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH-Yucatán). Cabe señalar que la declaratoria de protección de Chichén Itzá como Zona de Monumentos Arqueológicos expedida por el gobierno mexicano incluye la conservación de su medio ambiente en un área forestal de aproximadamente 115 Ha. El grupo de trabajo contó con el apoyo de los custodios del sitio con amplia experiencia y conocimientos en la identificación los

recursos y usos de la biodiversidad de la región. Marcelo Tuz May, Juan Fernando Zapata Magaña y Lorenzo Antonio Balam Lozano fueron los guías que llevaron al grupo de trabajo por el sitio para encontrar las plantas y especies que se buscaban. Además de las muestras de cortezas también se tomaron esquejes de las ramas de los árboles para su posterior identificación botánica [Figura 1], realizada por la Dra. Helga Geovannini, que estudia el paisaje de Chichén Itzá.

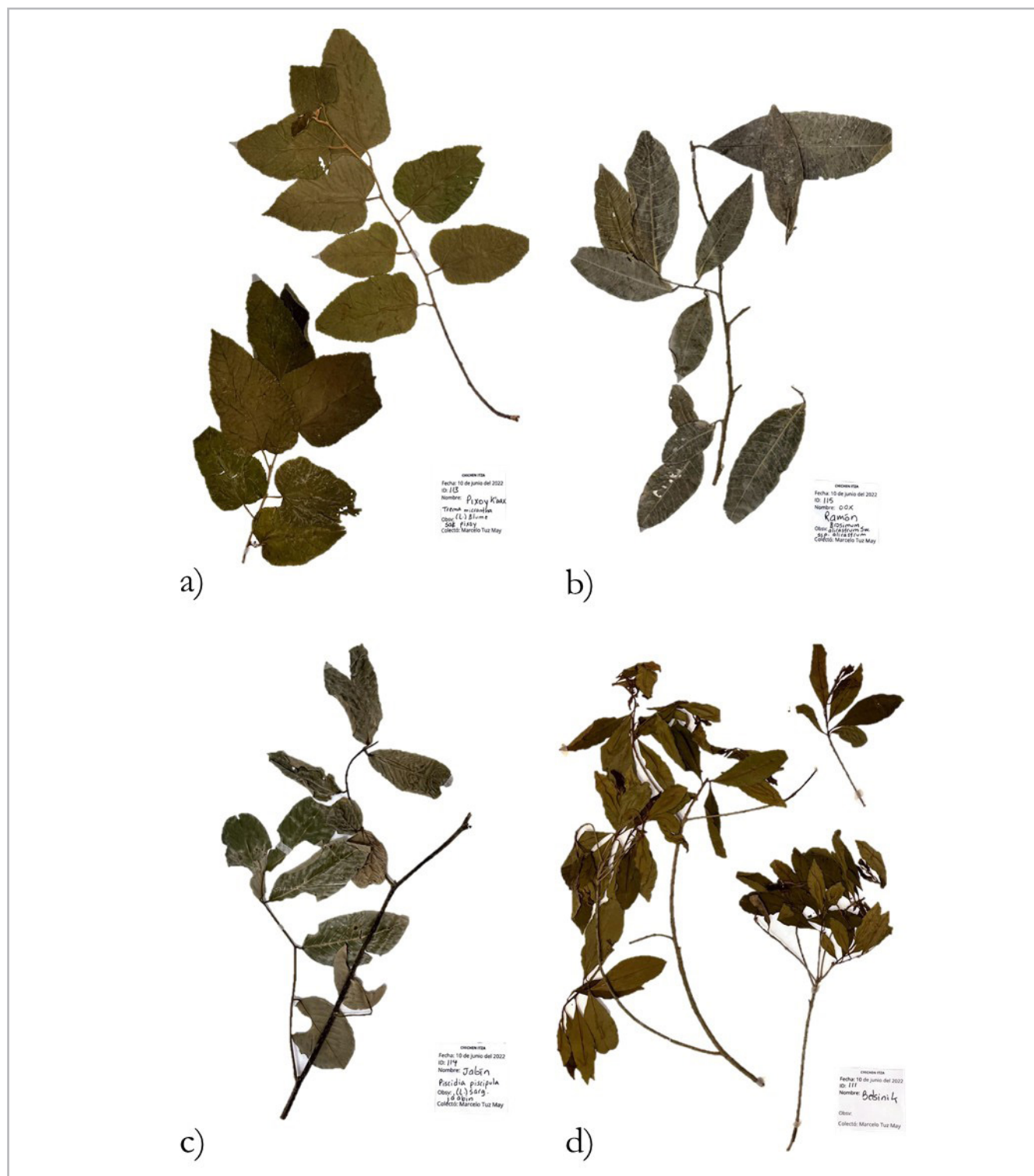


Figura 1.- Ejemplares con identificación realizada en el herbario del CICY. a) Pixoy, b) Ramón. c) Jabín, d) Bel siinik che'. Recurso propio.

— Preparación de muestras

Una vez recolectadas las cortezas, éstas fueron expuestas a un secado en ambiente natural durante 24 horas. Posteriormente, de cada una de ellas se tomaron 10 g y se insertaron en 60 ml de agua rica en cal y se maceraron durante 48 h. Del líquido obtenido se extrajo un poco para realizar pruebas de tinción sobre una base de lechada de cal. El resto del líquido se insertó en tubos de centrifuga y se llevaron a un ultracongelador para su posterior liofilización con un equipo Freezone 6 de la marca Labconco(R). Una vez realizada la liofilización se obtuvo un polvo con el que se realizó la extracción y el análisis por GC-MS. A cada polvo se le asignó una clave de muestra.

— Análisis mediante GC-MS

Tras la obtención del polvo se realizaron dos extracciones orgánicas mediante cloroformo y metanol deuterado. La extracción se realizó en viales de cristales con unas cantidades aproximadas de 10 mg por 700 µL de cada disolvente y se sometió a un baño de ultrasonidos durante 10 min. El extracto se transfirió a viales de cromatografía para su análisis por GC-MS. Los equipos empleados fueron un cromatógrafo de la marca Agilent (CG 7860) acoplado a un espectrómetro de masas /5977B, CG-EM). La columna empleada fue HP-5ms de 30m x 0.25mm x 0.25µm (Agilent, Santa Clara, Ca., USA) y la temperatura de horno se programó directamente a 501°C durante 1 minuto, después se incrementó a razón de 7° C/min hasta alcanzar 300°C y se mantuvo durante 3 minutos. La respuesta del detector de masas en modo de impacto electrónico se generó a 70 Ev y se monitoreó en formato TIC SCAN (total ion current) de 50 a 650 m/z. El gas acarreador utilizado fue helio a razón de 1mL/min. La identificación de los picos o máximos de los cromatogramas se llevó a cabo mediante la base de datos del National Institute of Standards and Technology NIST 2017.

Una vez obtenidos los cromatogramas y los reportes, se procedió a la sistematización e interpretación de los resultados. La sistematización se realizó mediante el análisis de los reportes obtenidos en el software ChemStation con la base NIST 2017. Se seleccionaron los compuestos cuyo patrón de fragmentación resultara con un alto grado de porcentaje de similitud con aquellos en la base de datos, siempre mayor al 80%. Aunque la mayoría de los compuestos tienen una similitud del 90% con la base de datos. Aquellos metabolitos seleccionados se insertaron en una tabla que resumió las identificaciones por muestra. Se descartaron aquellas moléculas de origen sintético, de acuerdo con las bases de datos por considerarse posibles contaminantes del disolvente. Posteriormente, se realizó otra tabla para clasificar por tipos las moléculas encontradas. Una vez realizada la sistematización se procedió a realizar la interpretación y comparativa entre las distintas cortezas y disolventes empleados.

Finalmente, se procedió a realizar el análisis de una muestra arqueológica como estudio preliminar y comparativa con el

fin de conocer si los resultados obtenidos eran comparables a muestras arqueológicas. La muestra proviene de la pintura mural de la Subestructura del Templo de los Guerreros, recolectada del material acumulado en el piso durante la restauración de este contexto en 2019 por parte del Proyecto de Conservación Integral Chichén Itzá del INAH. Para su procesamiento se separó la capa pictórica mediante abrasión con bisturí, obteniéndose una cantidad de muestra de 10 mg. Este polvo se insertó en un vial con 300 µL de cloroformo deuterado y se sometió a un baño de ultrasonido durante 30 min. Finalmente, se dejó precipitar para tomar el sobrenadante, colocándose en un inserto de 200 µL de volumen. Al evaporar el cloroformo, se repitió el proceso con metanol deuterado. Una vez obtenido el líquido se procedió con la misma metodología utilizada en las extracciones de cortezas.

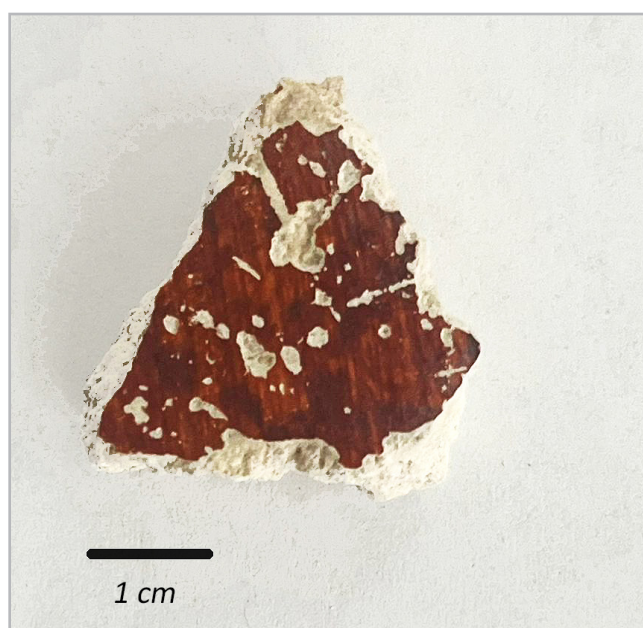


Figura 2.- Muestra 340CPCHI proveniente del sitio arqueológico de Chichén Itzá.

Acercamiento a la diversidad biológica del Territorio Maya

Para conocer sobre la vegetación y las especies de la región de la Península de Yucatán se realizó una revisión de su diversidad biológica. Desde la visión maya, los elementos naturales y los seres humanos formaban parte de un universo en equilibrio, de ahí que las antiguas sociedades mayas procuraran un sistema de explotación múltiple de los recursos naturales de forma optimizada y sustentable que garantizase la supervivencia (Toledo *et al.* 2008: 351). Aunque buscaban este equilibrio, los terrenos más cercanos a las ciudades prehispánicas podían ser manipulados al sembrar algunas especies que les resultase más útiles, tal es el caso del Ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.), el cual es abundante cerca de los sitios arqueológicos, y al *Pet Kot* (espacio para cultivar) (Rico-Gray 1992).

La rica diversidad biológica determinada por los distintos climas del territorio maya, así como por la altitud y latitud y la cercanía del mar, destaca por el enorme volumen de especies endémicas, con gran variedad de subespecies y grupos taxonómicos (Semarnat 2008: 149). Esto implica que muchas especies reciban el mismo nombre común, aunque sean especies o subespecies botánicas distintas. Por tanto, una especie solo puede tener un nombre científico en latín, pero con nombres comunes que se refieren a plantas completamente diferentes (Buckle 2014: 38), lo cual se complica cuando las nombran en español y en maya. Por lo general, los nombres asignados en maya hacen referencia a las cualidades que poseían (Magaloni 2001). Determinadas especies tienen una amplia distribución geográfica, pero también algunas pertenecen a determinados nichos ecológicos con una distribución más localizada.

En el área maya podemos encontrar los siguientes tipos de vegetación (Challenger y Soberón 2008; Flores y Gerez 1994 y Semarnat 2008) [Figura 3].

- La selva alta templada de coníferas y latifoliadas se distribuye por la cordillera Central o Sierra Madre de Chiapas y las zonas altas de Chiapas y Guatemala. En este tipo de bosques es especialmente importante la especie de tipo *Pinus* junto con *Cedrus*, *Juniperus* y *Quercus*. Dentro del territorio maya este tipo de vegetación es la típica de las Tierras Altas Mayas. Esta vegetación comparte territorio y extensión con las selvas mesófilas de montaña. La mayor

diferencia es su posición en altitud, mientras las primeras están en zonas de mucha altitud, entre los 2000 y los 3400 m, la segunda se ubican entre 800 y 1500 m.

- La selva tipo tropical perennifolia se encuentra ampliamente distribuida siendo las más frecuentes las especies de las familias de la *Leguminosae*, *Moraceae*, *Lauraceae*, *Sapotaceae* y *Rubiaceae*. Se subdivide en: selva alta perennifolia por la región lacandona; selva alta subperennifolia y selva mediana perennifolia por la región sur de la Península de Yucatán; selva baja perennifolia por la Península de Yucatán y Chiapas. La selva tropical perennifolia se distribuye por el noreste, centro y sur de las Tierras Bajas Mayas.

- La selva tropical caducifolia se sitúa en las planicies llanuras y otras zonas bajas e inundables de la Península de Yucatán, lo que es la zona noroeste y centro-oeste de las Tierras Bajas Mayas. En esta vegetación son de especial importancia las especies de tipo *Burseraceae*, *Leguminosae*, *Euphorbiaceae*, *Cactaceae*, *Lysiloma* y *Malvaceae*.

- Por último, cerca de las zonas de costa y en algunas zonas inundables del interior de la Península de Yucatán también se puede encontrar los humedales. En las costas cobran especial relevancia los de tipo manglar siendo los más relevantes el mangle rojo, mangle negro y el mangle blanco, así como otras plantas como el botoncillo.

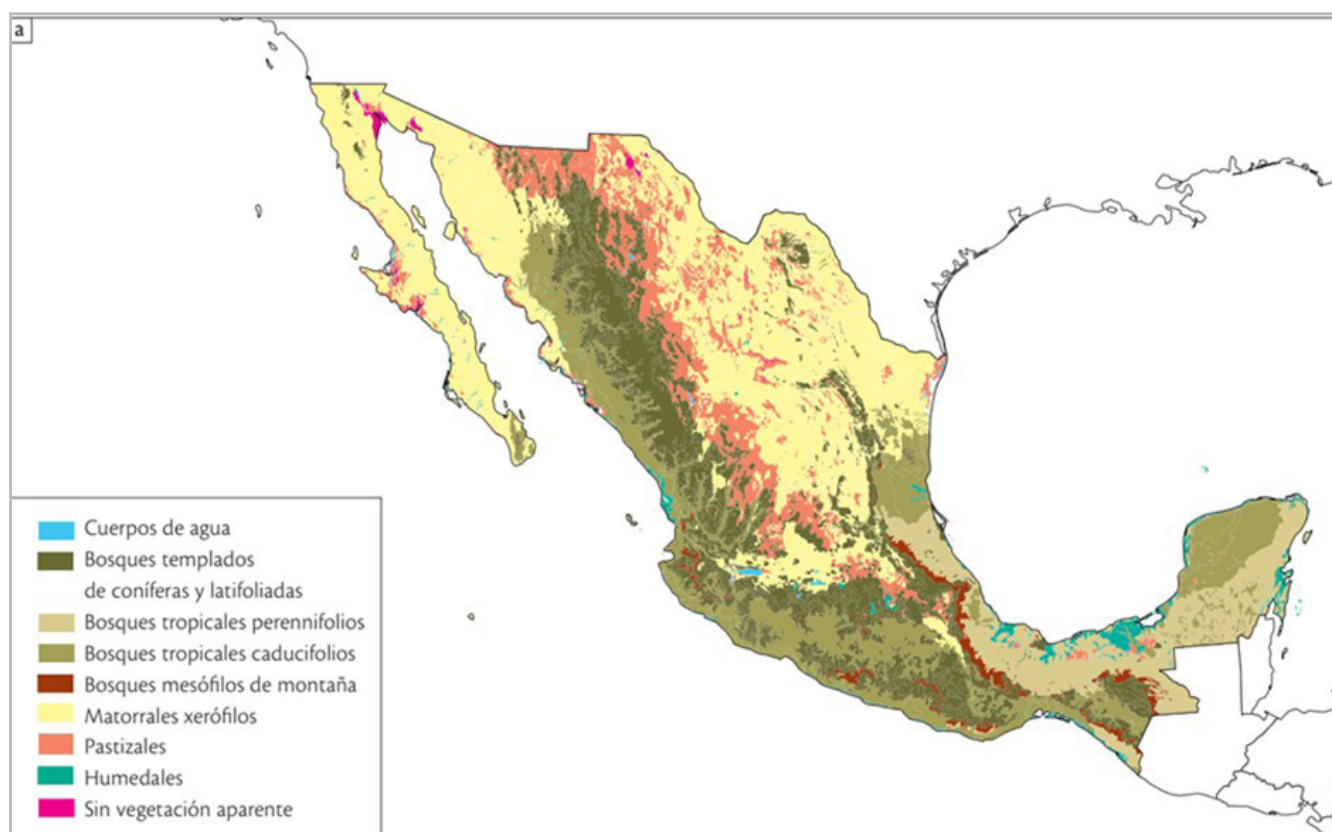


Figura 3.- Mapa de la diversidad biológica en México. Tomado de Challenger y Soberón (2008: 91).

Recolección y arqueología experimental de posibles cortezas y exudados de plantas en el alrededor y dentro del sitio arqueológico de Chichén Itzá

Para nuestro estudio, la recolección se realizó en una zona de selva tropical caducifolia que puede estar combinada con vegetación propia de la selva tropical perennifolia. La visita al herbario tuvo como objetivo identificar un área de gran diversidad de especies cercana a un sitio arqueológico. Así, la selección del sitio arqueológico de Chichén Itzá se debió a la importancia que este ha tenido para recopilar información de tipo etnográfico y al alto registro en el herbario del CICY de especies documentadas.

En la recolección de especies de Chichén Itzá se recogieron 13 muestras de cortezas de diferentes especies y 4 extractos puros exudados por la planta tras haber retirado la corteza. A los cuatro exudados puros extraídos de las plantas se les

indicó con la clave MRR (Muestra Referencia Resina) [Tabla 2] para diferenciarlas de las muestras que se obtendrían con la maceración de las cortezas, llamadas MRGO (Muestra Referencia Gomas) [Tabla 2]. De esta forma se entiende que los exudados son resinas al ser menos solubles en agua y, en cambio, a las sustancias obtenidas mediante la maceración se les denominó gomas ya que éstas son solubles en agua y pudieron ser parte de la materia extraída.

De las especies recolectadas es de especial mención la que Marcelo Tuz May llamó Katsim debido a que comentó que los antiguos maestros obtenían un tinte amarillo de esa planta. Esto es de gran importancia ya que se ha documentado que el amarillo en el área maya es de origen mineral pero que pudo estar mezclado con un compuesto orgánico. La planta podría estar haciendo referencia a sak káatsim (*Mimosa bahamensis*). A esta planta se le etiquetó con la clave MRTI (Muestra referencia tinte) [Tabla 2] y se preparó de dos formas

NOMBRE COMÚN MAYA	NOMBRE COMÚN ESPAÑOL	ESPECIE	TIPO DE MATERIAL RECOPIADO	CLAVE MUESTRA
Bel siinik che'	Ardillo	<i>Alvaradoa amorphoides</i>	Exudado	MRR4
			Corteza	MRGO3
Ch'iin took	Ch'iin took	<i>Enriquebeltrania crenatifolia</i>	Corteza	MRGO7
Jabín o Ha'bin	Cedrillo	<i>Piscidia Piscipula</i>	Corteza	MRGO9
Chi'chi'bej	Malva de Caballo	<i>Buchnera mexicana</i>	Corteza	MRGO1
Chukum	Chukum	<i>Havardia albicans</i> / <i>Pithecellombium Albicans</i>	Corteza: Tipo 1	MRGO11
			Corteza: Tipo 2	MRGO 10
Kikché / Ek	Palo de Campeche	<i>Haematoxylum campechianum</i>	Corteza	MRGO6
Chakaj / Chakáh	Palo mulato	<i>Bursera simaruba</i>	Exudado	MRR3
			Corteza	MRGO5
Pixoy	Pixoy	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Corteza	MRGO4
Oxx	Ramón	<i>Brosimum alicastrum Swarts</i>	Exudado	MRR1
			Corteza	MRGO12
Tzalam	Tzalam	<i>Lysiloma latisiliquum</i>	Corteza	MRGO8
Chacte	Palo colorado	<i>Caesalpinia Platyloba</i> / <i>Caesalpinia violacea</i>	Corteza	MRGO13
Chak oox	Mora	<i>Maclura tinctoria</i>	Exudado	MRR2
			Corteza	MRGO2
Sak káatsim	Katsim	<i>Mimosa bahamensis</i>	Molida	MRTI1
			Sin moler	MRTI2

Tabla 2. -Especies recolectadas en el sitio arqueológico de Chichén Itzá en relación al tipo de material recogido (corteza o exudado) y las claves de muestra asignadas. En la tabla se asignan las claves al producto obtenido: las claves MRR hacen referencia a los exudados pro las plantas; las MRGO hacen referencia a las aguas enriquecidas obtenidas de la maceración de las cortezas; y las MRTI hace referencia al agua enriquecida obtenida mediante moler o sin moler la planta del Katsim Recurso propio.

distintas: MRTI1 con un proceso de molienda y MRTI2 sin ser molida. De la planta del Chukum se recopilaron dos muestras ya que Marcelo Tuz May observó dos tipos de Chukum sin que al momento se pudieran diferenciar las especies. Además, Marcelo Tuz sugirió recoger más cortezas ya que comentó que había otras especies que pudieron ser empleadas con distintos usos: Ardillo, Capuncillo, Malva de Caballo y Tzalam.

La extracción por maceración de las cortezas permitió observar que las distintas cortezas expulsaban ciertos taninos dando distintas coloraciones a las aguas, lo cual sugiere que los mayas eligieron estas cortezas dependiendo del uso que le iban a dar. Por tal motivo, se hicieron pruebas de tinción sobre una capa de cal [Figura 4]. Los resultados evidenciaron cómo algunas tienen más capacidad que las otras para tinter de forma más homogénea e intensa que otras: Tzalam, ChuKum tipo 1, Belsinik, Pixoy y Chintok son las cortezas que más color proporcionaron, hacia un tono rojizo; el Kikché, Jabín y el Chacté dieron tonos hacia el marrón; el Chukum tipo 2 tonó hacia el amarillo claro; mientras que la Mora, el Chakaj y el Ramón fueron los que menos color proporcionaron siendo los más claros. Dos años después se ha reexaminado la capacidad de mantener el color de estas cortezas y se ha observado que todas ellas han sufrido una considerable pérdida de color.

Tabla 2: Especies recolectadas en el sitio arqueológico de Chichén Itzá en relación al tipo de material recogido (corteza o exudado) y las claves de muestra asignadas. En la tabla se asignan las claves al producto obtenido: las claves MRR hacen referencia a los exudados pro las plantas; las MRGO hacen referencia a las aguas enriquecidas obtenidas de la maceración de las cortezas; y las MRTI hace referencia al agua enriquecida obtenida mediante moler o sin moler la planta del Katsim Recurso propio.

Análisis de Cromatografía de Gases acoplada a Espectroscopía de Masas

MUESTRA	EXTRACCIÓN CON CLOROFORMO	EXTRACCIÓN CON METANOL
MRGO1	3	8
MRGO2	0	0
MRGO3	0	1
MRGO4	3	2
MRGO5	1	2
MRGO6	1	1
MRGO7	0	2
MRGO8	1	0
MRGO9	0	3
MRGO10	1	1
MRGO11	4	1
MRGO12	2	4
MRGO13	8	0
MRTI1	1	4
MRTI2	1	0
MRR1	5	14
MRR2	13	12
MRR3	25	15
MRR4	3	1

Tabla 3.- Número de compuestos que se han identificado por muestra y por disolvente. Recurso propio

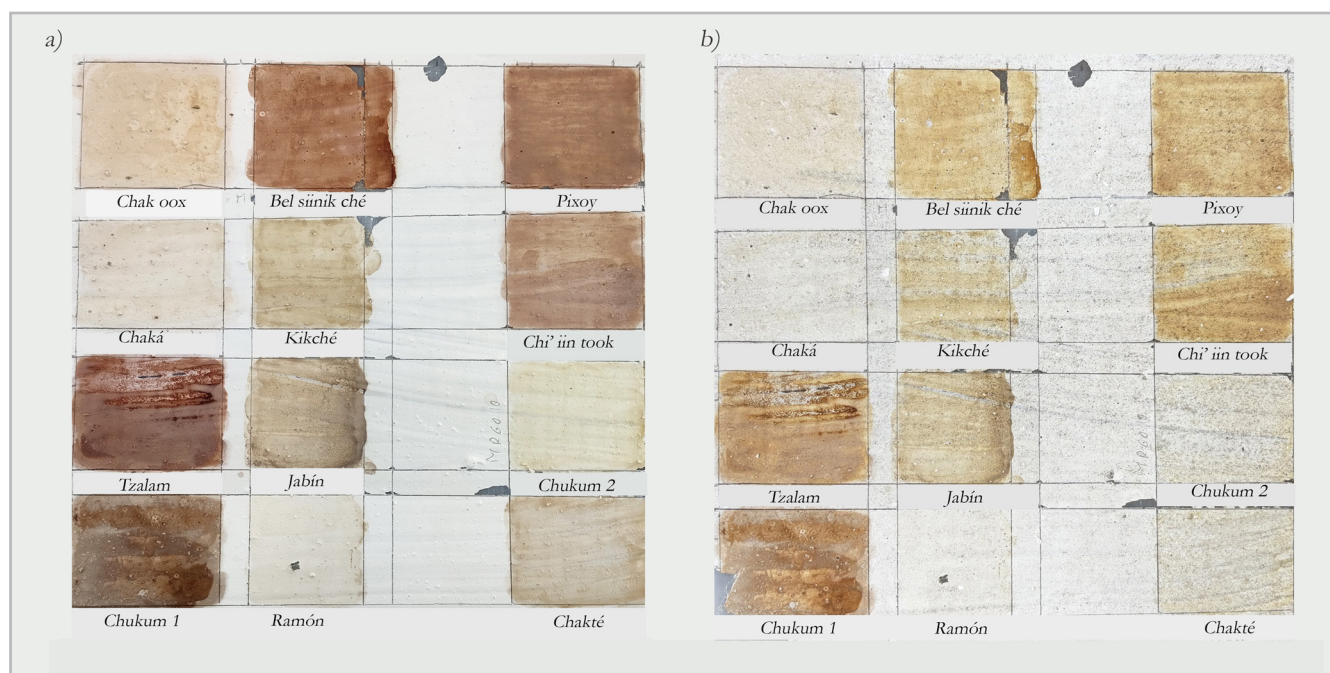


Figura 4.- Pruebas de tinción de las aguas enriquecidas. A la izquierda aparece la fotografía realizada nada más aplicar el agua enriquecida sobre una capa de cal (a). A la izquierda una fotografía tomada 2 años después de la aplicación de las aguas enriquecidas para evaluar si la pérdida de color con el paso del tiempo (b).

Al llevar a cabo las extracciones [Tabla 3, Tabla 4], tanto el metanol como el cloroformo, han permitido una mayor extracción de los compuestos en los exudados (MRR) que en las aguas enriquecidas (MRGO y MRTI). El principal grupo identificado en las aguas enriquecidas son los monoterpenos. El monoterpeno más importante identificado es la molécula del limoneno y sus isómeros (D-Limoneno) que aparece en la mayoría de los extractos acuosos (MRGO3; MRGO4; MRGO5; MRGO6; MRGO8; MRGO10; MRGO11 y MRGO12), en los exudados de las MRR2, MRR3 y MRR4 y es el único compuesto identificado en las MRTI1 y 2. El monoterpeno de α -Himachaleno y

su enantiómero β -Himachaleno aparece exclusivamente en la MRGO 5 y MRR3. El agua enriquecida de la muestra MRGO6 también tiene otro monoterpeno exclusivo, el enantiómero L- α -Terpineol. Las muestras MRGO4, MRGO11 y MRGO13 poseen varios monoterpenos más allá del limoneno que son el cimeno y terpineno. Además, la MRGO13 [Figura 5a] tiene dos compuestos monoterpénicos exclusivos que son el miceno y el estireno. Es destacable que la muestra MRGO2 no presentó ningún compuesto, frente a la MRGO1 que es la muestra que más compuestos tiene identificados, seguida de la MRGO12.

GRUPO FUNCIONAL / TIPO DE MOLÉCULA	MOLÉCULAS EXTRAÍDAS POR CLOROFORMO	MOLÉCULAS EXTRAÍDAS POR METANOL
TERPENOS: MONOTERPENOS	L- α -Terpineol d-limoneno o-cimeno γ -terpineno β -myrceno	D-limoneno limoneno o-cimeno
TERPENOIDES: DITERPENOS	deshidroabietato de metilo	
TERPENOIDES: TRIPERPENOS		lupeol lup-20(29)-en-3-ol, acetato, (3. β)- betulino esqualeno supraeno glutanol
TERPENOIDES: SESQUITERPENOS	(R)- β -himachaleno	aR-Himachalene
ÁCIDOS GRASOS	Ácido hexadecanoico, methyl ester ácido n-Hexadecanoico ácido Octadecanoico hexadecanamida	(Z)-hexadec-9-enoato de metilo ácido hexadecanoico, metilo ester metilo 10-trans,12-cis-octadecadienoato ácido 9-octadecenoico (Z)-, metilo ester ácido heptadecanoico, 16-metilo-, metilo ester
HIDROCARBUROS	styreno heneicosano	
FENOLES		3,4,5-trimetoxifenol fenol, 3,4,5-trimetoxi-
AMONOÁCIDO		ácido 1-metilpirrolidina-2-carboxílico

Tabla 4.- Moléculas identificadas en relación al disolvente empleado y el grupo funcional o tipo de molécula. Recurso propio

Las muestras MRGO1, MRGO11, MRGO13, además de los monoterpenos, presentan compuestos como ácidos grasos y ésteres (Metilo hexadec-9-enoato; Ácido Hexadecanoico, methyl ester; Metilo 10-trans,12-cis-octadecadienoato; Ácido 9-Octadecenoico (Z)-, metilo ester), y las muestras MRGO10 Y MRGO12 también presentan un compuesto fenólico (3,4,5- trimetoxifenol. La muestra MRGO12, además, presenta un compuesto único, el diterpeno Deshidroabietato de metilo.

Las muestras MRGO7 y MRGO9 poseen los compuestos triterpénicos escualeno y supraeno, los cuales no se han identificado en ninguna otra muestra.

Por otro lado, las muestras de exudados (MRR1, 2, 3 y 4) [Figura 5b] presentaron tipos de moléculas adicionales incorporando algunos hidrocarburos naturales, diterpenos, terpenos oxidados, sesquiterpenos y triterpenos. Todos ellos tienen un mayor peso molecular y aparecen con tiempos de retención de los 20 a los 40 min a diferencia de los monoterpenos que aparecen con tiempos de retención de los 5 a los 20. Sin embargo, son las MRR2 y 3 las que mayor número de compuestos han presentado, siendo las MRR 1 y 4 aquellas con mayor similitud en cuanto al perfil químico con los observados para las correspondientes a las aguas enriquecidas.

La muestra CP340 de Chichén [Figura 6] contiene compuestos muy similares a las muestras de aguas enriquecidas y exudados. Aunque en esta muestra destaca el grupo de moléculas de terpenoides, especialmente los monoterpenos como el limoneno, el cimeno y el terpineno, los cuales aparecen en los tiempos de retención de los 5 a los 10, debido a su bajo peso molecular.

Los tipos de compuestos identificados, y mencionados anteriormente son, en su mayoría, componentes de los aceites esenciales (Buckle 2014). En los aceites esenciales los compuestos terpenoides y los hidrocarburos volátiles no terpenoides son los componentes más importantes (Baser y Demerci 2011). Sin embargo, este tipo de aceites esenciales pueden aparecer en distintas partes de las plantas y, a su vez, las distintas partes de la planta pueden producir aceites con perfiles químicos diferentes (Buckle 2014).

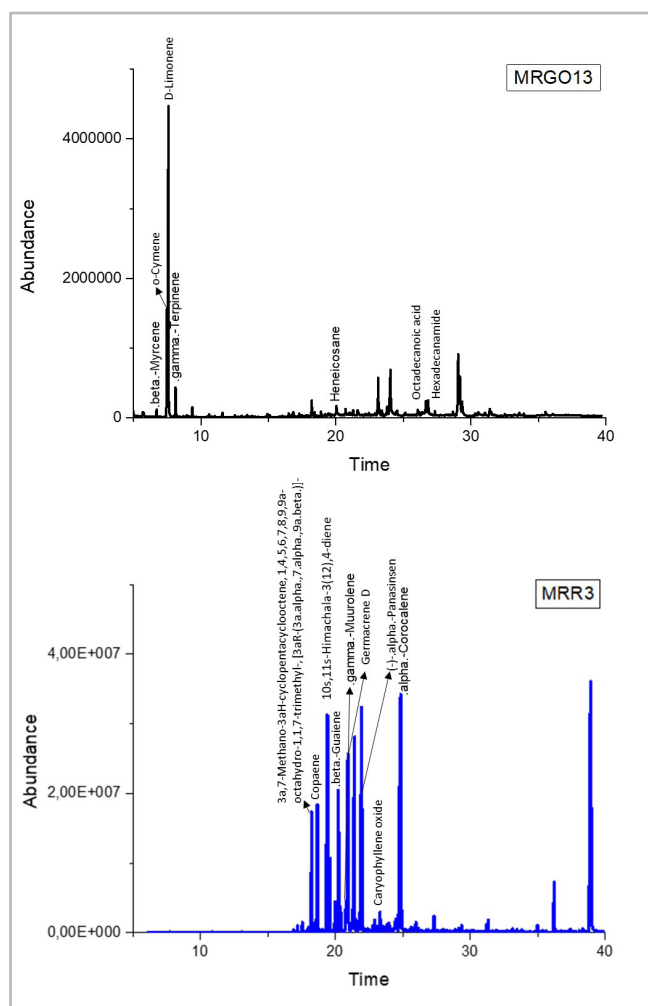


Figura 5.- a) Cromatograma de la extracción por cloroformo de la muestra MRGO13. En este cromatograma se observa cómo la muestra tiene mayor abundancia de los compuestos monoterpénicos, pero también otros metabolitos con mayor peso molecular. b) Cromatograma de la extracción por cloroformo de la muestra MRR3. El cromatograma representativo de aquellos exudados con mayor abundancia de compuestos con mayor peso molecular y menos presencia de los monoterpénicos.

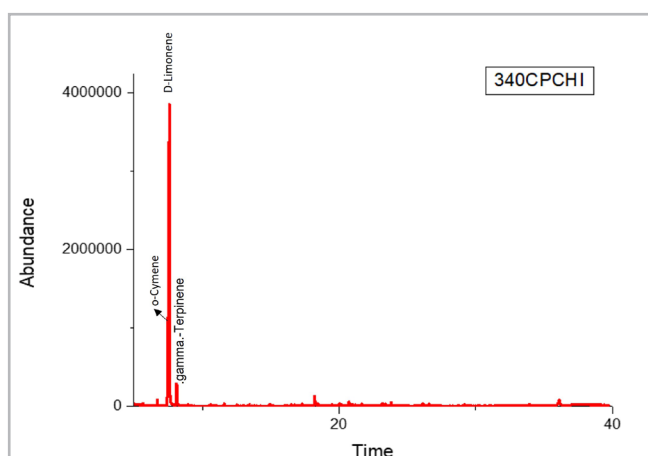


Figura 6.- Cromatograma de la extracción por cloroformo de la muestra 340CPCHI donde se observan con mayor intensidad los picos correspondientes a los monoterpénicos del limoneno, cimeno y terpineno.

Discusión

El estudio etnohistórico, de las fuentes históricas y las referencias bibliográficas, así como, la revisión de la diversidad geográfica de la Península de Yucatán, ha permitido realizar un listado de plantas con posibles propiedades ligantes y que pudieron ser usadas como aditivos, así como la selección de área de recolección. A pesar de este conocimiento, la integración de los saberes locales para la recolección de muestras fue crucial para incorporar nuevas plantas, y una con especial relevancia (*Sak káatsim*), al tener potencial como colorante.

El trabajo de campo también permitió observar que el empleo de resinas o extractos puros es complicado, ya que de todas las plantas de las que se extrajeron cortezas solo cuatro dieron un exudado puro y en poca cantidad. Esto hace que sea poco probable que los antiguos mayas pudieran extraer una gran cantidad de exudado suficiente para pintar sus grandes edificios, ya que implicaría la deforestación de ciertas especies. Esto abre la posibilidad de la existencia de varias fuentes para la obtención de los aditivos. Las resinas no son solubles en agua, en cambio sí lo son las gomas. Una forma de obtener un gran volumen de estas gomas, junto a otros productos, pudo ser la maceración de diversas cortezas dada la gran diversidad vegetal.

Por otro lado, se ha propuesto que los antiguos artistas combinaban estos materiales aglutinantes con pigmentos y distintas arcillas para crear la rica paleta cromática propia de los murales mayas y la base del color en los acabados arquitectónicos (Hansen, Hansen y Derrik 1995; Vázquez de Ágredos 2006; García *et al.* 2016). Las pruebas de tinción realizadas apoyarían esta suposición. Sin embargo, las pruebas realizadas no muestran una gran estabilidad a largo tiempo. La tecnología de combinar un colorante orgánico con cierto tipo de arcillas para crear un pigmento laca fue la base del azul y verde maya después de someter a una serie de procesos alcalinos y de calor (Doménech *et al.* 2019). Esto pudo trasladarse a los otros colores, donde las aguas enriquecidas no sólo sirvieron para aglutinar sino también para intensificar los colores. De esta forma, la unión de un pigmento mineral, junto las arcillas y la capacidad tintorea de las aguas coloreadas empleadas permitiría su aplicación a grandes superficies con poco material. Para corroborar lo anterior, se debe experimentar estas mezclas con los aditivos identificados.

Guasch-Ferré *et al.* 2019: 217, en su análisis de polisacáridos, propuso que junto a los monosacáridos provenientes de las gomas vegetales pudieron extraerse de las cortezas y diversas partes de las plantas cantidades significativas de otros materiales solubles en agua y en un medio alcalino. La presente investigación demuestra que mediante la maceración de las cortezas son extraíbles diferentes compuestos de distinta polaridad y que también forman parte de los exudados de las plantas. Dentro del grupo de los terpenos el limoneno resalta al ser identificado en ocho de las trece muestras de las aguas enriquecidas analizadas. Este compuesto podría ser relevante a la hora de relacionar especies de plantas, ya que está presente en la capa de color de la muestra arqueológica. Junto al limoneno, otros

compuestos parecen ser más característicos de algunas especies que de otras: Himachalene en las muestras pertenecientes a la especie de la MRGO 5 (chakaj); L- α -Terpineol en la MRGO6 (Palo de Campeche); y el cimeno y terpineno de las MRGO4 (Pixoy), MRGO11 (Chukum) y MRGO13 (Palo colorado). La identificación de estos compuestos permite tener un mejor acercamiento al tipo de especies utilizadas para la realización de la pintura en los contextos prehispánicos del área maya.

De igual manera, junto la presencia de los monoterpenos es relevante otros grupos de moléculas como los ácidos grasos, ésteres y triterpenos porque son exclusivos de algunas especies. En cambio, en los exudados, el grupo de monoterpenos tiene menos relevancia frente a los compuestos de mayor peso molecular (hidrocarburos naturales, diterpenos, terpenos oxidados, sesquiterpenos y triterpenos).

El análisis de la muestra arqueológica proveniente de Chichén Itzá demuestra que algunos compuestos obtenidos de menor polaridad fueron extraíbles como parte de la sustancia glutinosa para la aplicación de color. Esto se ve reforzado en un estudio sobre los aglutinantes en capas pictóricas del sitio arqueológico de Acanceh publicado recientemente (Martínez et al. 2025) y donde también se encontraron los compuestos identificados en las muestras de aguas enriquecidas, los exudados y en la muestra arqueológica de Chichén Itzá.

Consideraciones finales

Este estudio es un primer acercamiento a la identificación de compuestos de baja y mediana polaridad en las cortezas de árboles y plantas utilizados en la pintura prehispánica, aunque los resultados todavía no permiten asignar una especie o una familia. En la comparación de los extractos con la muestra arqueológica existe concordancia en la identificación de compuestos de aceites esenciales, como el limoneno, el cimeno y el terpineno. De esta forma, se puede intuir que los aceites esenciales jugaron un papel fundamental a la hora de aplicar las capas pictóricas a los acabados arquitectónicos. En este sentido futuras investigaciones deberían ahondar en la función de los aceites esenciales en las capas pictóricas y los morteros.

Con estos resultados preliminares queda la tarea de afinar esta metodología y crear una base completa del tipo de extractos identificados en muestras arqueológicas y su correspondencia con plantas y árboles de las regiones de territorio maya. El sistema de secreción y almacenamiento de aceites esenciales en plantas puede ser útil para la identificación de plantas (Buckle 2014). Los resultados obtenidos muestran que es posible extraer otros compuestos del proceso de la maceración de cortezas, además de las gomas y los polisacáridos. A nivel de conservación estos hallazgos permiten abrir una nueva línea de trabajo en el patrimonio pictórico prehispánico y, en especial las obras pictóricas mayas. La utilización de compuestos provenientes de aceites esenciales para conservación ya cuenta con algunos trabajos exploratorios en Europa la acción antimicrobiana de los aceites

esenciales asociados al biodeterioro (Palla et al. 2020 y Rotolo et al. 2018), lo cual sería necesario estudiar su efectividad en contextos tropicales como el sureste mexicano.

Agradecimientos

Los autores agradecen la participación en el trabajo de campo y su contribución para nuevas aportaciones sobre el conocimiento heredado por los mayas actuales a Marcelo Tuz May, Juan Fernando Zapata Magaña y Lorenzo Antonio Balam Lozano. Los agradecimientos se hacen extensivos al Mtro. Víctor Ceja y al Dr. José Quinatzin, este último, director del Laboratorio de Geoquímica Marina de la Unidad Mérida del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), en cuyos laboratorios se llevaron a cabo los análisis de este estudio. Finalmente, también se agradece el apoyo de la Dra. Patricia Quintana Owen y al Laboratorio Nacional de Nano y Biomateriales (LANNBIO) de la misma institución, y a la Dra. Helga Geovannini miembro activo del Proyecto de Conservación Integral de Chichén Itzá del INAH.

Referencias

- BASER K. H. C. y DEMIRCI F. (2011). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. 4th edition. Wiley.
- BRETON, A. C. (1905): "The Wall Paintings at Chichén Itzá". En *Proceedings of the 15th International Congress of Americanists*, Argentina 1: 245-247
- BUCKLE, J. (2014). *Clinical Aromatherapy. Essential Oils in Healthcare*, 3rd edition, England: Churchill Livingstone
- CHALLENGER, A., y SOBERÓN, J. (2008). "Los ecosistemas terrestres". En *Capital natural de México, Conocimiento actual de la biodiversidad, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)*, México 1: 87-108.
- DOMÉNECH-CARBÓ, A.; DOMÉNECH-CARBÓ, M^a T.; SÁNCHEZ DEL RIO, M.; VÁZQUEZ DE ÁGREDOS, M. L., y Lima, E. (2009). "Maya Blue as a nanostructured polyfunctional hybrid organic-inorganic material: the need to change paradigms", *New Journal of Chemistry* 33 (12): 2371-2379. <https://doi.org/10.1039/B901942A>
- DURÁN, R. y GARCÍA, G. (2010). "Distribución espacial de la vegetación". En *Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán*, Durán, R. y Méndez, M. (eds). México: CICY
- FLORES, O. y GEREZ, P. (1994). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo*, Universidad Autónoma de México, México.
- GARCIA MORENO, R., STRIVAY, D. y GILBERT, B. (2008). "Maya blue-green pigments found in Calakmul, Mexico: a study by Raman and UV-visible spectroscopy", *J. Raman Spectroscopy* 39: 1050-1056. <https://doi.org/10.1002/jrs.1972>

- GARCÍA, C. y JÁIDAR, Y. (2013). "El uso de aditivos orgánicos en mezclas de cal en el área maya". En *La Cal: Historia, Propiedades y Usos*, Barba, L. y Villaseñor, I. (eds.), México: Universidad Autónoma de México y Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, 115-138
- GARCÍA, C. y VALENCIA, B. (1997). "El deterioro de piedra en la Zona Arqueológica de Chicanná, Campeche, y una propuesta para su conservación", Tesis de licenciatura en conservación-restauración de bienes muebles, México, ENCRyM-INAH.
- GARCIA SOLIS, C.; MENDOZA ANAYA, D. y QUINTANA OWEN, P. (2016). "La escultura arquitectónica modelada en estuco de Calakmul, Campeche, México: la transformación material en el proceso tecnológico" *Intervención* 7(14): 16-30. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-249X2016000200016&lng=es&nrm=iso ISSN 2007-249X.
- GETTENS, R.J. (1962). "Maya Blue: an unsolved problem in ancient pigments". *American Antiquity* 27: 557-564
- GUASCH-FERRÉ, N. (2016). *Optimizació de mètodes multitàcnica per a la caracterització de components orgànics i morters de calç tradicional de l'antiguitat. Desenvolupament de metodologies experimentals per a la seva conservació i restauració. Aplicació a un cas d'estudi: els estucs de la pintura mural de la cultura maia* (Antiga Mesoamèrica). Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.
- GUASCH-FERRÉ, N.; PRADA, J. L.; VÁZQUEZ DE ÁGREDOS, M^a L.; OSETE, L. y DOMÉNECH, M^a T. (2019). "Polysaccharide remains in Maya mural paintings: is it an evidence of the use of plant gums as binding medium of pigments and additive in the mortar?", *Star: Science & Technology of archeological research*, 5 (2): 200-220 <https://doi.org/10.1080/20548923.2020.1720377>
- HANAU, R.; MASCHELEIN, L.; THISSEN, J. y TRICOT, F. (1966). "Les peintures murales mayas de Bonampak : Analyse des matériaux", *Boletín IX, Institute Royal de Patrimoine Artistique*, 9: 18-22.
- HANSEN, E.; HANSEN R. y DERRIK (1995). "Los análisis de los estucos y pinturas arquitectónicas de Nakbé: resultados preliminares de los estudios de los métodos y materiales de producción". En *VII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, Laporte, J. P. y Escobedo, H. L. (eds.), Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología, 543-560
- LANDA, D. (1973). *Relación de las cosas de Yucatán*, México: Porrúa
- LITTMAN, R. E. (1958). "Ancient Mesoamerican mortars, plasters and stuccos: The composition and origin of Sascab", *American Antiquity*, 24(2): 172-176
- MAGALONI, D. (1996). *Materiales y técnicas de la pintura mural maya. Tesis de maestría*. Universidad Autónoma de México
- MAGALONI, D. (1998). "El arte en el hacer: técnica pictórica y color en las pinturas de Bonampak". En *La pintura mural prehispánica en México, Área Maya*, México: IIE-UNAM (Instituto de Ideas Estéticas-Universidad Autónoma de México), 2(2):49-80
- MAGALONI, D. (2001). "Materiales y técnicas de la pintura mural maya", *La pintura mural prehispánica en México, Área Maya*, Vol. II Tomo III, Staines, L. (coord.), México: IIE-UNAM (Instituto de Ideas Estéticas-Universidad Autónoma de México), 2(3):155-198
- MAGALONI, D.; PANCELLA, P.; FRUH; CAÑETAS, J. y CASTAÑO, V. (1995a). "Studies on the mayan mortars technique". En *Materials Research Society Symposium Proceedings* (MRS Biblioteca (OPL)), England: Cambridge University Press, 352: 381-388 <https://doi.org/10.1557/PROC-352-483>
- MAGALONI, D.; NEWMAN, R.; BAÑOS, L.; CASTAÑO, V.; PANCELLA, R. y FRUH, Y. (1995b). "An analysis of mayan painting techniques at Bonampak, Chiapas, Mexico". En *Materials Research Society Symposium Proceedings* (MRS Biblioteca (OPL)), England: Prensa de la Universidad de Cambridge, 352: 381-388 <https://doi.org/10.1557/PROC-352-381>
- MARTÍNEZ SALES, J.; HERNÁNDEZ-BOLIO, G.; HERNÁNDEZ NUÑEZ, E.; OCAMPO FLORES, C.; VÁZQUEZ DE ÁGREDOS, M^o L. Y VIDAL LORENZO, C. (2025). "Plant and animal molecules non previously identified in Maya mural paintings: First results from Acanceh", *Journal of Archaeological Science: Reports*, 67: 1-11 <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2025.105348>
- MORLEY, S. G. (1925). "Report of E. H. Morris on the Mural Paintings of the Temple of the Warriors (Station 4)", *Research in Middle American Archaeology*, Morley (ed.), E.E.U.U.: Carnegie Institution of Washington, Year Book 24: 247-260
- MORRIS, E.; CHARLOT, H. J. y MORRIS, A. (1931). *The Temple of the Warriors at Chichén Itzá*, Carnegie Institution of Washington
- PALLA, F.; BRUNO, M.; MERCURIO, F. y TANTILLO, A. (2020). "Aceites esenciales como biocidas naturales en la conservación del patrimonio cultural", *molecules*, 25, <https://doi.org/10.3390/molecules25030730>
- RICO-GRAY, V. (1992). "Los mayas y el manejo de las selvas", *Ciencias*, 28: 23-26.
- ROTOLO, V.; DE CARO, M.L.; DI CARLO, E.; GIORDANO, A.; PALLA, F. (2016). "Plant extracts as green potential strategies to control the biodeterioration of cultural heritage", *Intern. J. Conservat. Sci.*, 7(2): 839-846
- RUIZ, M. C. (2010). "El pixoy como material de conservación de pintura mural y relieves policromos en el área maya", *Estudios de cultura maya*, 35: 65-90
- SEMARNAT (2008). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- TENTORI, T. (1961). *La Pittura Precolombiana*, Italia: Società Editrice Libreria, Milano, 269
- TOLEDO, V. M.; BARRERA-BASSOLS, N.; GARCÍA FRPOLLI, E. y ALARCÓN-CHAIRES, P. (2008). "Uso múltiple y biodiversidad entre los Mayas Yucatecos (México)", *Interciencia*, 33 (5): 345-352.
- VAN OLPHEN, H. (1966). "Maya blue: a clay-organic pigment?", *Science* 154 (3749): 645-646. <https://doi.org/10.1126/science.154.3749.645>
- VÁZQUEZ DE ÁGREDOS, M.L. (2006). *Los recursos materiales y las técnicas pictóricas en los murales de las tierras bajas mayas*. Tesis doctoral. Universitat de València

VÁZQUEZ DE ÁGREDOS, M. L., (2007). *Caracterización químico-analítica de azul maya en la pintura mural de las Tierras Bajas Mayas*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.

VÁZQUEZ DE ÁGREDOS, M. L. (2010). *La pintura mural maya: materiales y técnicas pictóricas*. México: Universidad Autónoma de México

VÁZQUEZ DEL MERCADO X. y VILLEGAS, M. (1993). *Los estucos modelados del Palacio y del Templo de las Inscripciones de Palenque: una metodología de análisis para la técnica de manufactura, tesis de licenciatura*, Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía, "Manuel del Castillo Negrete (ENCRyM)", México.

VILLAGRA, A. (1949). Bonampak, La Ciudad de los Muros Pintados, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
Recursos web

EncicloVida de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO): <https://enciclovida.mx/>

Listado de especies forestales oficiales en línea del Instituto Nacional de Bosques de Guatemala: <https://consultaespecies.inab.gob.gt/>

Catálogo de Flora Ilustrada de la Península de Yucatán, del Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY): <https://www.cicy.mx/sitios/flora%20digital/index.php>

Autor/es



Jorge Martínez Sales
jormars2@alumni.uv.e
Universidad de València
<https://orcid.org/0000-0002-3879-6150>

Es graduado en Historia por la Universitat de València (2013-2017) donde elaboró un estudio comparativo de las fuentes escritas y arqueológicas sobre el Templo de Júpiter óptimo Máximo en Roma. Continuó sus estudios de especialización en la misma institución con el máster en Arqueología (2017-18) periodo en el cual empezó a aplicar las técnicas analíticas a las culturas precolombinas realizando su Trabajo Final de Máster sobre restos de color en adobe en la ciudad de Teotihuacán (México). Posteriormente, se trasladó a la Universidad Autónoma de Yucatán para continuar su especialización interdisciplinar estudiando la Maestría en Conservación del Patrimonio Arquitectónico donde realizó su Tesis de Maestría en el en el sitio arqueológico de Mayapán (México). Actualmente está cursando el Doctorado en Historia del Arte por la Universidad de València que continúa trabajando el estudio del color en el área maya. Por tanto, su área de trabajo se centra en el mundo antiguo y las culturas precolombinas. Pariendo desde una mirada interdisciplinar estudia los objetos del pasado, especialmente centrada principalmente en la rama de la arqueometría y los análisis físico-químicos aplicados al patrimonio cultural. Su experiencia laboral se ha centrado como analista de materiales en el Proyecto de Conservación de Chichén Itzá (2023). Por otra parte, ha contribuido a la investigación científica participando en múltiples reuniones, congresos y simposios de carácter internacional y nacional, así como, publicando en revistas de alto impacto como la Journal of Archaeological Science: Reports.



Claudia A. García Solís
claudia_garciasl@inah.gob.mx
Sección de Conservación del Centro Yucatán del
Instituto Nacional de Antropología e Historia
<https://orcid.org/0000-0002-5007-891X>

Es una conservadora e investigadora mexicana del Centro INAH Yucatán, además de Nivel 1 en el SNII. Es egresada de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía 'Manuel del Castillo Negrete' con estudios de arqueología con maestría de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y doctorado en La Trobe University, Australia. Con más de 20 años de experiencia ha estudiado y se ha especializado en la de conservación y manejo del patrimonio arqueológico e histórico de la región sureste de México, coordinado decenas de proyectos de conservación de acabados arquitectónicos en varios sitios del área maya como Mayapán, Becán, Chicanná, Calakmul, Chichén Itzá, entre otros. En Chichén Itzá, desde el 2005, es la responsable de su conservación. En 2011 fue merecedora del Premio Paul Coremans en reconocimiento a los resultados del proyecto de conservación de la pintura mural del sitio de Mayapán. En colaboración interdisciplinaria su línea de estudio está enfocada a la arqueometría de los acabados arquitectónicos para abonar al conocimiento histórico y para profundizar sobre mecanismos de deterioro. Así como realiza estudios orientados a generar nuevas metodologías para la resolución de los problemas específicos de conservación.



Gloria I. Hernández Bolio
gloria.hernandez@cinvestav.mx
Departamento de Física Aplicada del
Cinvestav Unidad Mérida
<https://orcid.org/0000-0002-4979-8979>

Es Doctora en Ciencias Biológicas con especialidad en Biotecnología (Centro de Investigación Científica de Yucatán), enfocada principalmente en química de productos naturales. Es Investigadora Nacional Nivel I y actualmente es investigadora posdoctoral en el Departamento de Física Aplicada del Cinvestav Unidad Mérida. Su investigación incluye la detección y elucidación de productos naturales y bioactivos de plantas y organismos marinos, metabolómica, espectroscopía de resonancia magnética nuclear y arqueometría. Sus intereses particulares se centran en la detección de moléculas orgánicas en contextos funerarios y el análisis isotópico de dientes y huesos humanos.



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1448>