



GOBIERNO DE  
MÉXICO

# glifos



Revista trimestral del Centro INAH Campeche

Año 9

Número 35

Marzo 2023



**CULTURA**  
SECRETARÍA DE CULTURA



**INAH**

     
[gob.mx/cultura/inah](http://gob.mx/cultura/inah)





# DIRECTORIO

**Secretaría de Cultura**

Alejandra Frausto Guerrero

**Director General del Instituto Nacional  
de Antropología e Historia**

Diego Prieto Hernández

**Coordinador Nacional de Centros INAH**

René Alvarado López

**Consejo editorial**

Luis Fernando Álvarez Aguilar

Iván Urdapilleta Caamal

Ana Patricia Figueroa Balam

Verenice Ramírez Rosado

**Coordinación editorial**

Verenice Ramírez Rosado

Marilyn Domínguez Turriza

Marco Antonio Salazar Gómez

Carolina Cervera Rosado

Antonio Benavides Castillo

**Diseño Editorial**

Gabriela Margarita Ceballos Jaramillo

**Coordinadora Nacional de Difusión**

Beatriz Quintanar Hinojosa

**Directora del Centro INAH Campeche**

Adriana Velázquez Morlet

Glifos, año 9, No. 35, Marzo 2023, es una publicación trimestral editada por el Instituto Nacional de Antropología e Historia, Córdoba 45, Colonia Roma, C.P. 06700, Delegación Cuauhtémoc, Ciudad de México, [www.inah.gob.mx](http://www.inah.gob.mx), [revista.glifos@inah.gob.mx](mailto:revista.glifos@inah.gob.mx) Editor responsable: Adriana Velázquez Morlet. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No.: 04-2022-092110160600-102, ISSN: 2007-9451, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Centro INAH Campeche, Gabriela Margarita Ceballos Jaramillo, Calle 59 #36 entre 14 y 16 col. Centro Histórico, C.P. 24000, Campeche, Campeche, fecha de última modificación, 20 de marzo de 2023. Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

# ÍNDICE

4

## **Editorial**

*Adriana Velázquez Morlet*

6

## **Métodos analíticos aplicados al estudio de artefactos metálicos provenientes de ambientes subacuáticos**

*Javier Reyes Trujeque, Helena Barba-Meinecke, Isabel Silva León, Mayra Manrique Ortega*

14

## **Estudios de los materiales metálicos del pecio Ancla Macuca, arrecife Alacranes, Yucatán**

*Helena Barba-Meinecke, Javier Reyes Trujeque, Diana Elizabeth Arano Recio, Isabel Silva León, Mayra Manrique Ortega*

22

## **Estudio de metales procedentes del pecio Vapor La Unión (1861), Sisal, Yucatán**

*Helena Barba-Meinecke, Javier Reyes Trujeque, Abiud Pizá Chávez, Gabriel Quetz León*

32

## **Aplicación de técnicas electroquímicas en el estudio y protección de la corrosión en metales de interés histórico.**

*Ricardo Orozco Cruz, Jorge Alberto Ramírez Cano, Araceli Espinoza Vázquez, Andrés Carmona Hernández, Francisco Javier Rodríguez Gómez, Ricardo Galván Martínez*

44

## **Un enfoque metalúrgico y electroquímico para el estudio de los metales históricos**

*Jorge González Sánchez, Luis Dzib Pérez, Ildfonso Esteban Pech Pech*

50

## **La nanotecnología en la conservación del patrimonio cultural subacuático**

*Ildfonso Esteban Pech Pech, Yolanda Espinosa Morales*

56

## **Suplemento:**

### **El tiempo de las portadas jeroglíficas en la región del Puuc**

*Antonio Benavides C., Sara Novelo O., Carlos Pallán G.*

# EDITORIAL

---

En el transcurso de los años, embarcaciones de diversas formas y tamaños navegaron los ríos y mares del mundo, transportando hombres y mercancías, constituyendo sus vestigios en testimonios de un pasado, parte del universo que conforma el Patrimonio Cultural Subacuático.

En los mares de México se conservan restos de embarcaciones que naufragaron a lo largo de más de quinientos años de navegación, y que de aquellas piezas en la ciudad de Campeche se encuentran varios objetos de artillería colonial de gran relevancia histórica tales como cañones, balas, anclas y otros objetos (en su mayoría metálicos) provenientes de ambientes sumergidos. Muchos de estos elementos se encuentran en museos o al aire libre y forman parte del patrimonio cultural. Sin embargo, la conservación de estos objetos es todo un reto debido a la atmósfera cálida y húmeda de la región (península de Yucatán), que se clasifica de potencia corrosiva media-alta.

Con el paso del tiempo, un grupo multidisciplinario de arqueólogos, historiadores, biólogos, químicos y restauradores han consolidado importantes proyectos de conservación del patrimonio Subacuático. Desde hace más de una década, el Centro INAH Campeche, a través de la Dirección de Arqueología Subacuática y el Centro de Investigación en Corrosión (Cicorr) de la Universidad Autónoma de Campeche, han unido esfuerzos para investigar y experimentar nuevas técnicas que permitan mantener estos objetos metálicos en buenas condiciones, e incluso, en el caso de la nanotecnología, detener su deterioro.

Es por ello, que esta edición de Glifos puntualiza el trabajo de un grupo de académicos enfocados en la conservación de metales históricos, las técnicas electroquímicas, la corrosión y la influencia de la nanotecnología en los objetos hallados en el Golfo

de México y Mar Caribe.

Cabe destacar que, a partir de este número, se incluirá un suplemento dedicado a temas de interés histórico, arqueológico y/o cultural.

Javier Reyes, Helena Barba, Mayra Manrique e Isabel Silva presentan “Métodos analíticos aplicados al estudio de artefactos metálicos provenientes de ambientes subacuáticos”, los métodos por los cuales se analizan los objetos de metal encontrados en los pecios del Golfo de México y del Mar Caribe, tales como su naturaleza, condiciones de almacenamiento y exhibición; así como sus respectivas evaluaciones.

En “Estudio de los materiales metálicos del pecio Ancla Macuca, Arrecife Alacranes”, de la autoría de Mayra Manrique, Isabel Silva, Javier Reyes, Helena Barba y Diana Arano, se presentan los trabajos arqueológicos y los análisis arqueométricos realizados en el pecio Ancla Macuca, en donde se recuperó una colección de orfebrería de oro, plata y gemas; objetos de hierro y de cobre.

Helena Barba, Javier Reyes, Abiud Pizá y Gabriel Quetz detallan en el “Estudio de metales procedentes del pecio vapor La Unión (1861), Sisal,



Yucatán”, el diagnóstico y caracterización de lo hallado en el pecio Vapor la Unión, en colaboración con el Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural del Centro de Investigación en Corrosión (LANCIC-CICORR) de la Universidad Autónoma de Campeche.

A continuación, Jorge Alberto Ramírez, Araceli Espinoza, Andrés Carmona, Francisco Javier Rodríguez, Ricardo Galván y Ricardo Orozco presentan “Aplicación de técnicas electroquímicas en el estudio y protección de la corrosión en metales de interés histórico”, en donde explican la importancia del proceso de corrosión en la recuperación de artefactos encontrados en ambientes acuáticos, así como las técnicas electroquímicas para determinar su deterioro.

En “Un enfoque metalúrgico y electroquímico para el estudio de los metales históricos”, Jorge Antonio González, Luis Román Dzib e Ildelfonso Esteban Pech, detallan los fundamentos de la metalurgia física para entender la relación de las características de las aleaciones con su resistencia a la degradación por corrosión en

las piezas metálicas en el entorno subacuático.

Ildelfonso Esteban Pech y Yolanda Espinosa comparten “La nanotecnología en la conservación del patrimonio cultural subacuático”, en donde especifican la importancia de la nanotecnología como una nueva herramienta tecnológica para la preservación del patrimonio, deteniendo la degradación (e incluso a poder revertir el deterioro) de piezas halladas en un entorno subacuático, ya sean metales, vidrio o madera.

Finalmente, en el suplemento de esta edición, Antonio Benavides, Sara Novelo y Carlos Pallán presentan “El tiempo de las portadas jeroglíficas en la región del Puuc”, señalando que en los periodos Clásico Tardío y Clásico Terminal en la península de Yucatán, surgieron entidades políticas que construyeron monumentos arquitectónicos impresionantes, pertenecientes a la tradición constructiva Puuc. A través del tiempo, ésta arquitectura evolucionó lo que permitió mayores superficies techadas y una decoración exterior más elaborada. Así mismo, presentan las entradas jeroglíficas encontradas en varias zonas arqueológicas y se analiza su contenido, marco temporal e implicaciones.

En conclusión, la conservación de metales históricos recuperados en ambientes subacuáticos es de vital importancia para preservar la historia y la cultura, para avanzar en la investigación arqueológica, para mantener el valor histórico de los objetos y para aumentar el conocimiento científico. Es por ello, que el Centro INAH Campeche, a través de la Subdirección de Arqueología Subacuática refrenda su compromiso de continuar colaborando con otras instituciones, empleando nuevas tecnologías, para generar estrategias en pro del patrimonio sumergido.

**Adriana Velázquez Morlet**





# Métodos analíticos aplicados al estudio de artefactos metálicos provenientes de ambientes subacuáticos

Javier Reyes Trujeque<sup>1</sup>, Helena Barba-Meinecke<sup>2</sup>, Mayra Manrique Ortega<sup>1</sup>, Isabel Silva León<sup>1</sup>

## Introducción

Un metal, es por definición una estructura simple que, a temperatura ambiente puede ser sólido, buen conductor de calor y electricidad, maleable y con brillo característico. Cuando los metales se combinan, forman aleaciones, mejorando sus propiedades físico-mecánicas, motivo por el cual suelen utilizarse para fabricar diferentes objetos. Sin duda alguna, el descubrimiento de los metales y el desarrollo de la metalurgia constituyó un salto cuantitativo en la historia de la humanidad (Askeland et al, 2010).

La elaboración de objetos de metal fundido fue desarrollada por las culturas del Viejo y Nuevo Mundo en diferentes momentos. A la llegada de los europeos al continente americano en el siglo XV existía ya una amplia tradición metalúrgica, enfocada principalmente en la confección de joyería, ornamentos y utensilios artesanales. Después de la conquista y colonización hispánica, los métodos para la extracción y fundición de metales en América se enriquecieron con los aportes tecnológicos del viejo continente, derivando en un intenso intercambio trasatlántico por más de tres siglos de materias primas (oro, plata y cobre) y objetos manufacturados como orfebrería, numismática, herramientas, utensilios, entre otros enseres de uso cotidiano.

Una parte importante de la historia de los metales se encuentra en los ambientes subacuáticos. En los mares y océanos existen innumerables pecios, yacimientos arqueológicos que son piezas

---

1. Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural del Centro de Investigación en Corrosión (LANCIC-CICORR), Universidad Autónoma de Campeche.

2. Oficina Península de Yucatán, Subdirección de Arqueología Subacuática (Sede Centro INAH-Campeche).



de un rompecabezas histórico de actividades marítimas en la época virreinal, entre ellas el intercambio comercial de bienes a través de rutas peligrosas de navegación, esto debido a las fuerzas de la naturaleza como las corrientes marinas, bajos, arrecifes y fenómenos hidrometeorológicos, o bien por los conflictos políticos entre las naciones y la piratería que asolaban naves, puertos y mares (Fernández et al, 2014). Inevitablemente, muchas embarcaciones con sus preciados cargamentos, incluyendo todo tipo de artefactos metálicos, junto con sus pasajeros y tripulación terminaron en el fondo del mar, formando contextos que hoy son objeto de estudio para la arqueología subacuática y otras disciplinas como la ciencia de los materiales.

## **El estudio del patrimonio metálico**

La Subdirección de Arqueología Subacuática del Instituto Nacional de Antropología e Historia (SAS-INAH), ha desarrollado por más de cuatro décadas importantes proyectos para la identificación y registro de pecios en aguas del Golfo de México y Caribe Mexicano, recuperando un buen



*Figura 1. Piezas metálicas provenientes de un pecio, exhibidas en el Museo de Arqueología Subacuática (MARSUB), Fuerte de San José el Alto, ciudad de San Francisco de Campeche.*

número de artefactos metálicos (Reyes et al, 2021; Barba et al, 2020). Entre ellos destacan piezas de artillería, municiones, instrumentos náuticos, elementos estructurales de los navíos como: clavos, pernos, recubrimientos de aleación de cobre, así como de joyería y objetos de uso cotidiano (Figura 1). El estudio de estos elementos no es fácil, dada su naturaleza, las condiciones ambientales de su entorno y su estado de conservación; además, una vez extraídos de su contexto subacuático, los metales suelen presentar un acelerado proceso de corrosión si no se estabilizan y controlan adecuadamente para su resguardo, ya sea en bodegas de bienes culturales o en espacios para su puesta en valor, como museos y salas de exhibición.

Muchas veces, los criterios de conservación se definen a partir del diagnóstico de su estado de deterioro, lo que requiere el uso de métodos analíticos para evaluar y comparar modificaciones en las propiedades físicas y químicas de una aleación metálica. Así mismo, los estudios analíticos soportan interpretaciones arqueométricas que



permiten identificar tecnologías de fabricación, interpretar las condiciones de uso y determinar la importancia cultural de los bienes metálicos en función de su contexto histórico y cultural (Neft et al, 2013).

El estudio de los bienes culturales requiere del empleo de métodos de evaluación que no originen cambios en la composición química del objeto de estudio, ni modificaciones permanentes en sus propiedades físicas dado su importante valor histórico, por lo que no se puede poner en riesgo su integridad. Es necesario, por tanto, desarrollar protocolos específicos para el manejo de las piezas y su estudio. Estos protocolos deben considerar entre otros aspectos lo siguiente:

Naturaleza de la muestra: si es un material, orgánico, inorgánico, o si se requiere información química elemental o molecular,

Condiciones de almacenamiento y exhibición, así como la disponibilidad de transportar la muestra al laboratorio o analizarla directamente en su sitio de resguardo, lo que conlleva al empleo de equipos de medición portables,

El uso de métodos de evaluación no invasivos o mínimamente invasivos: de manera tal que la señal analítica pueda ser medida sin entrar en contacto directo con las muestras,

Evaluar la posibilidad de tomar (retirar) una muestra representativa para el análisis, y de no serlo, emplear un método de medición de carácter no destructivo que evite modificaciones físicas y químicas en el objeto bajo estudio.

Desde el punto de vista químico, existe una gran cantidad de métodos analíticos que pueden ser empleados para el estudio de los materiales metálicos, considerando los aspectos previamente descritos.

Los materiales metálicos, debido a su propia naturaleza sufren deterioro por corrosión, el cual es un proceso electroquímico. Su consecuencia final es la formación de una película de óxido sobre su superficie, la cual puede ser una capa compacta de propiedades protectoras que disminuye la corrosión, o por el contrario mostrar una estructura porosa que permite la difusión de agentes ambientales hacia el metal, acelerando el proceso corrosivo y, por consiguiente, de características no protectoras. En ambientes subacuáticos, los depósitos calizos se mezclan con los productos de corrosión, creando condiciones incluso más agresivas para la estructura metálica.

Un protocolo analítico para el estudio de artefactos metálicos puede comprender los siguientes aspectos:

#### ***Evaluación megascópica.***

Consiste básicamente en hacer un registro de las piezas metálicas empleando técnicas fotográficas para describir el

aspecto general de la aleación, su color, presencia de productos de corrosión, depósitos e incrustaciones marinas y otros aspectos de deterioro perceptibles a simple vista.

### ***Evaluación microscópica.***

Permite obtener información general sobre la condición superficial del objeto metálico, de su textura y de la distribución estratigráfica de los productos de corrosión, así como de la microestructura de la matriz metálica que está directamente relacionada con sus tecnologías de fabricación (Figura 2). Entre sus variantes se tienen Microscopía Óptica (MO), Microscopía Digital, Microscopía Óptica Metalográfica y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) (Arenas et al, 2009).

### ***Análisis espectroscópico.***

Incluye el uso de una amplia gama de métodos analíticos que miden modificaciones en la estructura de los enlaces químicos cuando absorben energía. Son considerados métodos de huella digital, ya que la señal analítica que miden son características de los enlaces asociados a la estructura de los compuestos químicos, por lo que no hay dos compuestos de diferente composición que produzcan la misma señal analítica (Aguilar Melo et al, 2019).



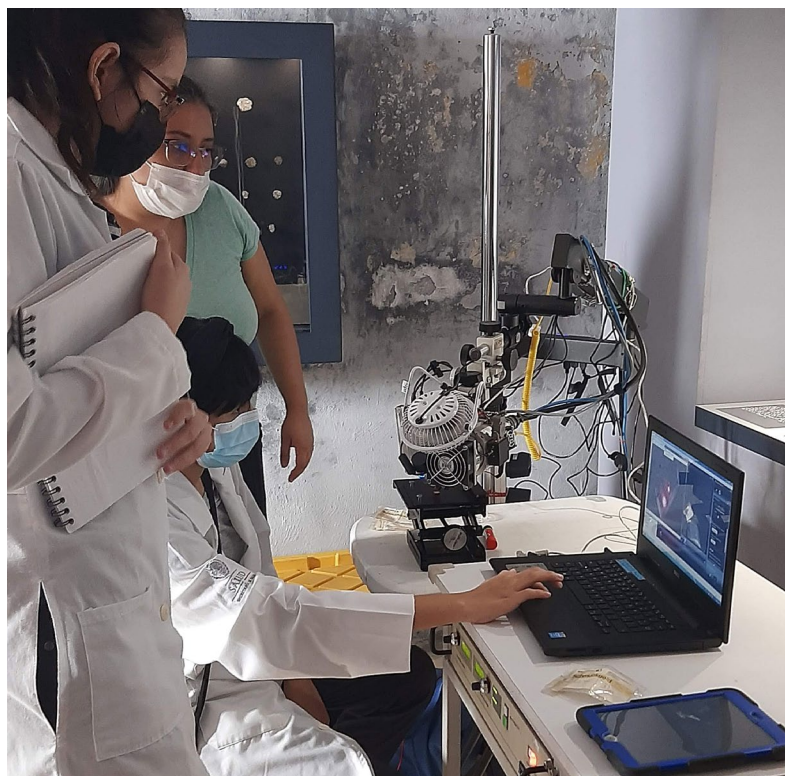
*Figura 2. Equipo portátil para análisis mediante espectroscopía Raman, instalado en el Museo de Arqueología Subacuática (MARSUB).*

Los métodos espectroscópicos pueden medir respuestas analíticas de estructuras moleculares en función de su naturaleza orgánica o inorgánica, y son de gran utilidad para el estudio de los metales, pues permiten estudiar la composición química y procesos de formación de los productos de corrosión, así como evaluar los mecanismos de corrosión que causan el deterioro de los artefactos metálicos. Entre las técnicas de análisis molecular se incluyen Espectrocolorimetría, Espectroscopía



UV Visibles, Espectroscopía de Infrarrojos por Transformada de Fourier (FTIR) y Espectroscopía Raman.

Los métodos espectroscópicos también son útiles para analizar la composición elemental de diversos tipos de muestras, algo de especial utilidad en el caso de metales, ya que los elementos químicos además de señalar la naturaleza de una aleación, proporcionan información sobre el uso de microaleantes empleados para mejorar las propiedades físico-mecánicas de la aleación, y cuyo uso en diferentes periodos históricos nos permiten establecer una línea de tiempo sobre el desarrollo tecnológico para la fabricación de artefactos metálicos. Así mismo, permiten identificar indicadores ambientales asociados al proceso de deterioro. Entre las técnicas de análisis elemental se tienen la Fluorescencia de Rayos X (FRX) y la Espectroscopía de Emisión de Rayos X (EDS), generalmente acoplada a un microscopio electrónico de barrido (Figura 3).



*Figura 3. Sistema portátil de espectroscopía fluorescencia de rayos X usado para el análisis de piezas metálicas en el Museo de Arqueología Subacuática (MARSUB).*

### **Análisis cristalográfico.**

Una de las técnicas de análisis mineralógico de mayor utilidad en el estudio de artefactos metálicos es la Difracción de Rayos X (XRD), que como su nombre lo dice, mide el ángulo en el cual un haz de radiación de rayos X es difractado cuando pasa a través de una estructura cristalina. Este ángulo también constituye una huella digital del compuesto que es analizado, por lo que es ideal para el estudio de estructuras cristalinas. En este sentido, los productos de corrosión son películas de minerales de neoformación cuya estructura cristalina se forma durante la degradación electroquímica de la superficie metálica causada por agentes ambientales.

### **Consideraciones finales**

Para realizar un estudio arqueométrico se requiere de una infraestructura científica altamente especializada, con personal capacitado y disponibilidad de métodos de medición que preferentemente cumplan con dos características fundamentales: que su uso no signifique daños en las piezas analizadas y que los equipos puedan ser portables para realizar estudios in situ.

A pesar de que estas condiciones parecen difíciles de cumplir, en años recientes la Universidad Autónoma de Campeche, a través del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural del Centro de Investigación en Corrosión (LANCIC-CICORR), ha creado un espacio especializado para el estudio del Patrimonio Cultural, que basa sus capacidades analíticas sobre el estudio de bienes culturales, desarrollando protocolos de investigación basados en el empleo de las técnicas arqueométricas descritas en este documento (Figura 4). Esto ha favorecido una asociación estratégica con la SAS-INAH, cuyo enfoque principal es el estudio de artefactos metálicos recuperados de pecios que se encuentran en aguas nacionales. Con ello se busca llevar a cabo estudios científicos de calidad que permitan interpretar la historia de los contextos arqueológicos subacuáticos a través de los objetos que los componen, al tiempo de establecer estrategias para su conservación a largo plazo y en concordancia con lo establecido en la Convención UNESCO 2001 sobre la protección del Patrimonio Cultural Subacuático (UNESCO, 2001).





*Figura 4. Equipo de trabajo en el MARSUB durante el análisis de piezas metálicas provenientes de pecios rescatados por la Oficina península de Yucatán de la Subdirección de Arqueología Subacuática, INAH.*

## **Agradecimientos**

Esta contribución fue posible gracias a la colaboración con el Proyecto Integral para la Protección, Conservación, Investigación y Difusión del Patrimonio Cultural Sumergido de la Península de Yucatán, Sureste Mexicano (PIPY), de la SAS-INAH, y CONACYT, LANCIC LN314886.

## Referencias

Aguilar-Melo V., Mitrani A., Casanova-González E., Manrique-Ortega M., Griselda Pérez-Ireta G., Ruvalcaba-Sil J. L., Tovalín-Ahumada A., Moscoso-Rincón, J., dro Sesheña-Hernández A., Lozada-Toledo J. (2019) "Molecular and X-ray Spectroscopies for Noninvasive Characterization of Mayan Green Stones from Bonampak, Chiapas". *Applied Spectroscopy*. 73, 9, pp. 1-13. DOI:10.1177/0003702819848478. Thousand Oaks, California, U.S.A.

Askeland D., Fulay P., Wrigth W. (2010). *The Science and Engineering of Materials*. Sixth Edition, pp 7-10. U.S.A.: ENGAGE Learnig Group.

Arenas J., Contreras, J., Ruvalcaba, J (2009). "Microstructural Study of Gilded Copper Artifacts from Chichen Itza Cenote". *Proceedings 2nd Latin-American Symposium of Physical and Chemical Methods in Archaeology, Art and Cultural Heritage Conservation and Archaeological and Art Issues in Materials Science*. IMRC 2009, CDMX, México.

Barba-Meinecke, Helena, Junco R., Reyes, J. (2020). "El Tesoro de Alacranes: Estudio Multidisciplinario del Pecio Ancla Macuca, Yucatán". *Arqueología Mexicana. Arqueología Subacuática en México* (16) pp. 58-63. CDMX, México: Editorial Raíces-INAH.

Fernández-Montblanc T., Izquierdo A., Bethencourt M. (2014). "Underwater Cultural Heritage risk assessment related to mean and extreme storm events: A modelling case study at the Bay of Cadiz". *Science, Technology and Cultural Heritage*. Rogerio Candeler (Ed.), pp. 83-88. London, U.K.: Taylor and Francis Group.

López Garrido, Pedro. (2012). "Procesos de transformación natural de contextos arqueológicos sumergidos en la costa de Campeche, Golfo de México". *Arqueología Marítima en México. Estudios interdisciplinarios en torno al Patrimonio Cultural Sumergido*. Vera Moya (Coord.), pp. 141-190. CDMX, México: INAH.

Neff, D., Reguer, S., Dillmann P. (2013). "Analytical Techniques for the Study of Corrosion of Metallic Heritage Artefacts: from Micrometer to Nanometer Scales". *EFC book, N° 65. Corrosion and Conservation of Cultural Heritage Artefacts*. Cambridge, U.K.: Woodhead Publishing.

Reyes J., Silva, S., Pérez K., Hernández, K., Barba-Meinecke H. (2021). "El Análisis del Patrimonio Cultural en la Arqueología Subacuática". *Glifos*, 8 (27), pp. 668-75. San Francisco de Campeche, México: Centro INAH Campeche.

UNESCO. (2001). *La Convención de la UNESCO sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático*. París, Francia: UNESCO. Disponible en: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000126065\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000126065_spa)



# Estudio de los materiales metálicos del pecio Ancla Macuca, arrecife Alacranes

Helena Barba-Meinecke, Javier Reyes Trujeque, Diana Elizabeth Arano Recio, Isabel Silva León, Mayra Manrique Ortega

## Introducción

La colaboración entre la Subdirección de Arqueología Subacuática Oficina península de Yucatán (sede INAH Campeche) del Instituto Nacional de Antropología e Historia (SAS-INAH) y la sede del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural en el Centro de Investigación en Corrosión (LANCIC-CICORR), ha permitido el análisis de un número considerable de piezas metálicas empleando técnicas analíticas, en su mayoría no destructivas y portátiles. Entre las colecciones analizadas se encuentran las piezas asociadas al naufragio Ancla Macuca (ca. siglo XVIII), las cuales representan uno de los hallazgos más significativos de la arqueología subacuática mexicana.

## El naufragio Ancla Macuca

El pecio Ancla Macuca fue un navío, probablemente español, que sucumbió ante las corrientes y geografía marítima del arrecife Alacranes en la península de Yucatán. Sus restos se encuentran sobrepuestos con los del vapor HMS Forth (1849) a una profundidad de entre 1 y 7 metros sobre la rompiente de barlovento, formando un palimpsesto (Arano et al, 2021). El estudio arqueológico e histórico de los materiales realizado por un grupo de especialistas en arqueología subacuática, arquitectura naval, artillería, historia del arte, orfebrería y materiales, sugiere que el variado cargamento de este pecio corresponde con el de un barco mercante de la segunda mitad del siglo XVIII (Barba-Meinecke et al, 2020).





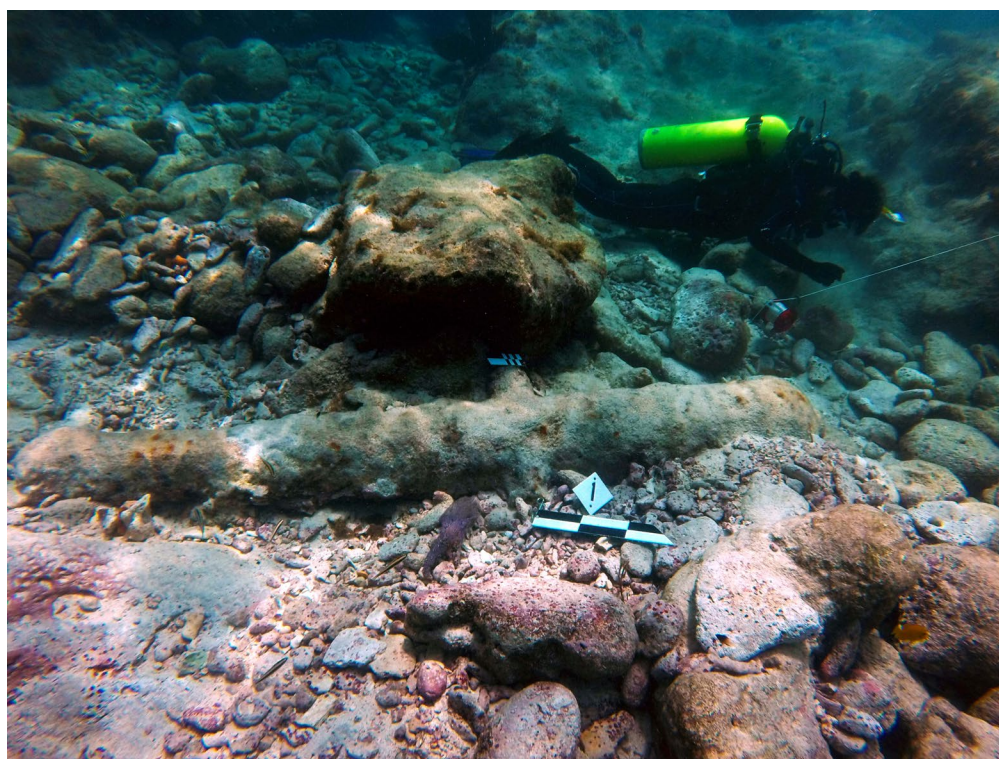


*Registro arqueológico en el pecio Ancla Macuca. © Archivo SAS-INAH, 2016. Foto: Helena Barba-Meinecke.*

Durante los trabajos arqueológicos realizados en el pecio Ancla Macuca, se recuperó una colección de orfebrería de oro, plata y gemas, así como de numismática (monedas macuquinas de plata) y elementos de la vida cotidiana (hebillas y dos piezas pertenecientes a un sistema de pesas de bronce). Asimismo, se identificaron un centenar de objetos de hierro (cañones y ancla), plomo (escandallo, lámina y balas para mosquete), así como de cobre y cobre aleado (láminas, clavos y pernos) (Barba-Meinecke, et al, 2020).



Ante la variedad de materiales diagnósticos recuperados del pecio, se ha realizado una extensa investigación multidisciplinaria para el estudio y comprensión de cada uno de sus elementos. Las técnicas analíticas implementadas en el estudio de estas piezas metálicas incluyeron: técnicas de análisis superficial como: microscopía óptica (MO), colorimetría y dureza superficial; técnicas espectroscópicas para la caracterización de la composición elemental como: espectroscopía de fluorescencia de rayos X (XRF); técnicas espectroscópicas moleculares y estructurales como: espectroscopía infrarroja de reflectancia por transformada de Fourier (FTIR) y difracción de rayos X (XRD); y técnicas analíticas mixtas como: microscopía electrónica de barrido acoplada a un espectrómetro de energía dispersiva (SEM-EDS).

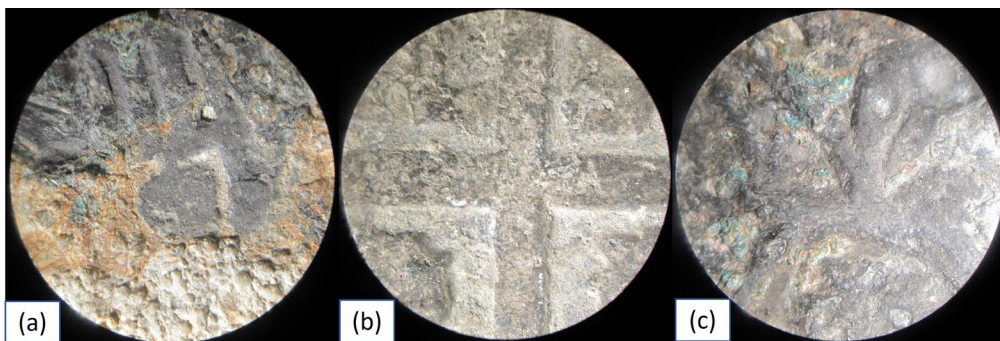


Cañón 1 (hierro), pecio Ancla Macuca. © Archivo SAS-INAH, 2015. Foto: Helena Barba-Meinecke.

## Análisis arqueométricos

La microscopía óptica permitió la observación de fenómenos de corrosión e incrustaciones derivadas de la interacción con el ambiente marino y la acción biológica, las cuales inducen a la formación de depósitos minerales en la superficie metálica. Debido a ello, esta técnica es auxiliar en la selección de áreas de interés analítico, facilitando la interpretación de resultados. Un ejemplo de ello lo encontramos en las monedas macuquinas de plata, las cuales presentaban una gran cantidad de concreciones marinas depositadas sobre su superficie. El retiro de estas concreciones es un riesgo para la integridad de las piezas, por lo que, las micrografías permitieron identificar áreas en donde las concreciones presentaron un menor espesor, para así obtener su composición elemental por espectroscopía de fluorescencia de rayos X.

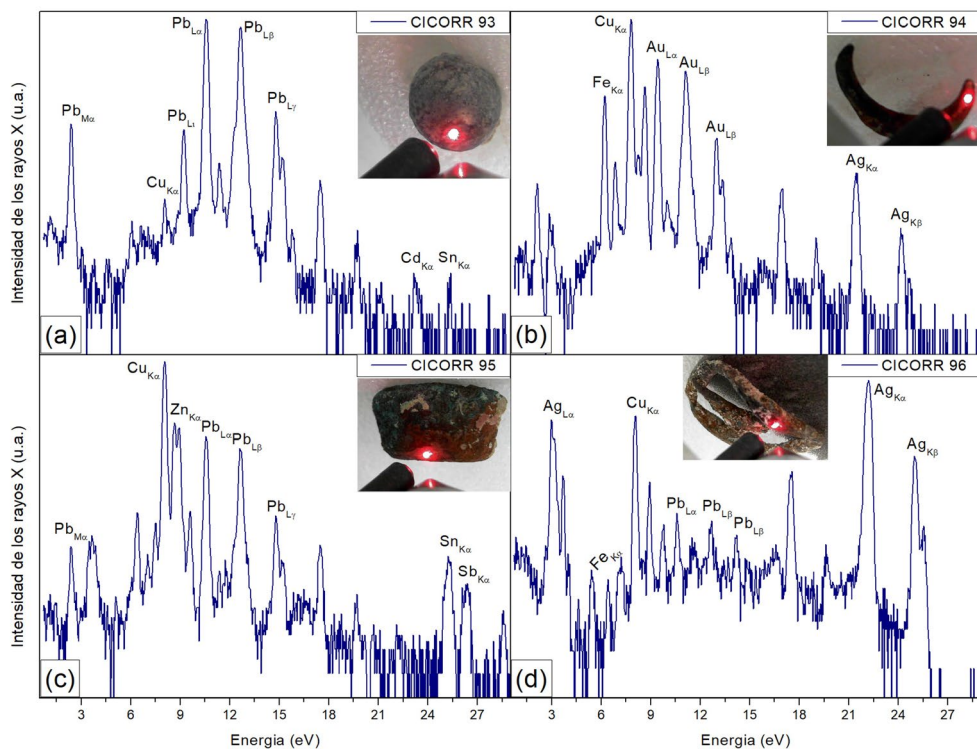




Monedas macuquinas de plata recuperadas del pecio Ancla Macuca, Arrecife Alacranes, Yucatán, Golfo de México. Imagen obtenida mediante microscopía óptica.  
© Archivo LANCIC-CICORR-UAC.

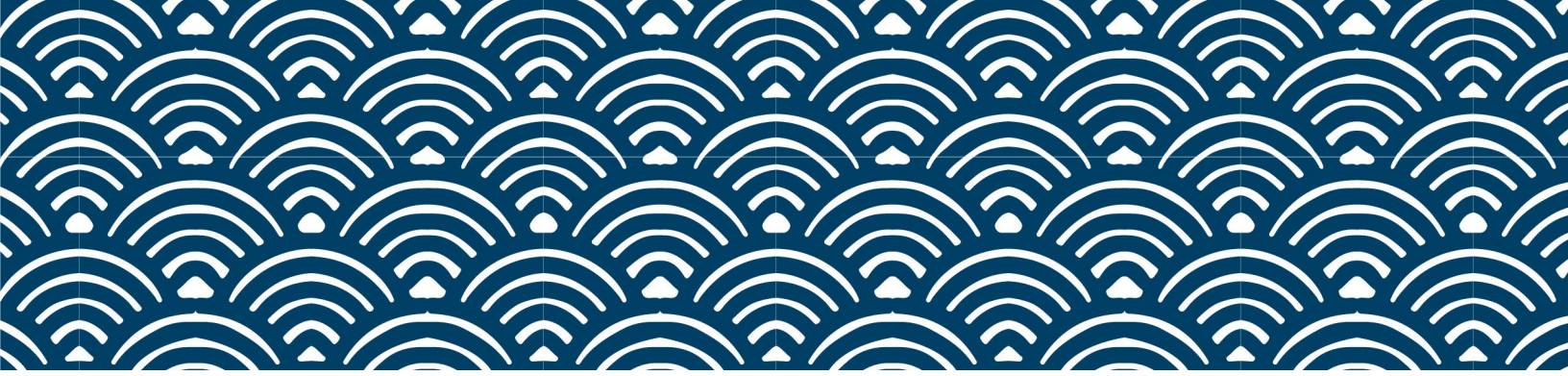
Por otro lado, la acción sinérgica del entorno marino y los factores biológicos también provocan cambios en la coloración y dureza de los materiales. Las alteraciones en la coloración pueden cambiar la interpretación histórica y afectan la estética de las piezas, mientras que el cambio en la dureza representa un riesgo para su conservación. Debido a ello, se utilizaron las técnicas de colorimetría y dureza superficial, las cuales proporcionan un diagnóstico previo a la implementación de métodos de conservación preventiva o intervención adecuados a las necesidades de cada objeto.

Una de las técnicas más utilizadas para el análisis del patrimonio cultural es la espectroscopía de fluorescencia de rayos X (XRF). En el caso de los materiales recuperados del pecio Ancla Macuca, esta técnica espectroscópica permitió establecer las aleaciones metálicas con las que fueron elaborados los artefactos y realizar una comparación entre ellos.



Espectros de fluorescencia de rayos X de (a) balas de arma: aleación de plomo; (b) mondadientes: aleación de oro, plata y cobre; (c) elemento de sujeción: aleación de latón con microaleantes de plomo, estaño y antimonio; (d) hebilla: aleación de plata/cobre. Todas las piezas fueron recuperadas en el pecio Ancla Macuca, Arrecife Alacranes, Yucatán, Golfo de México. © Archivo: LANCIC-CICORR-UAC.





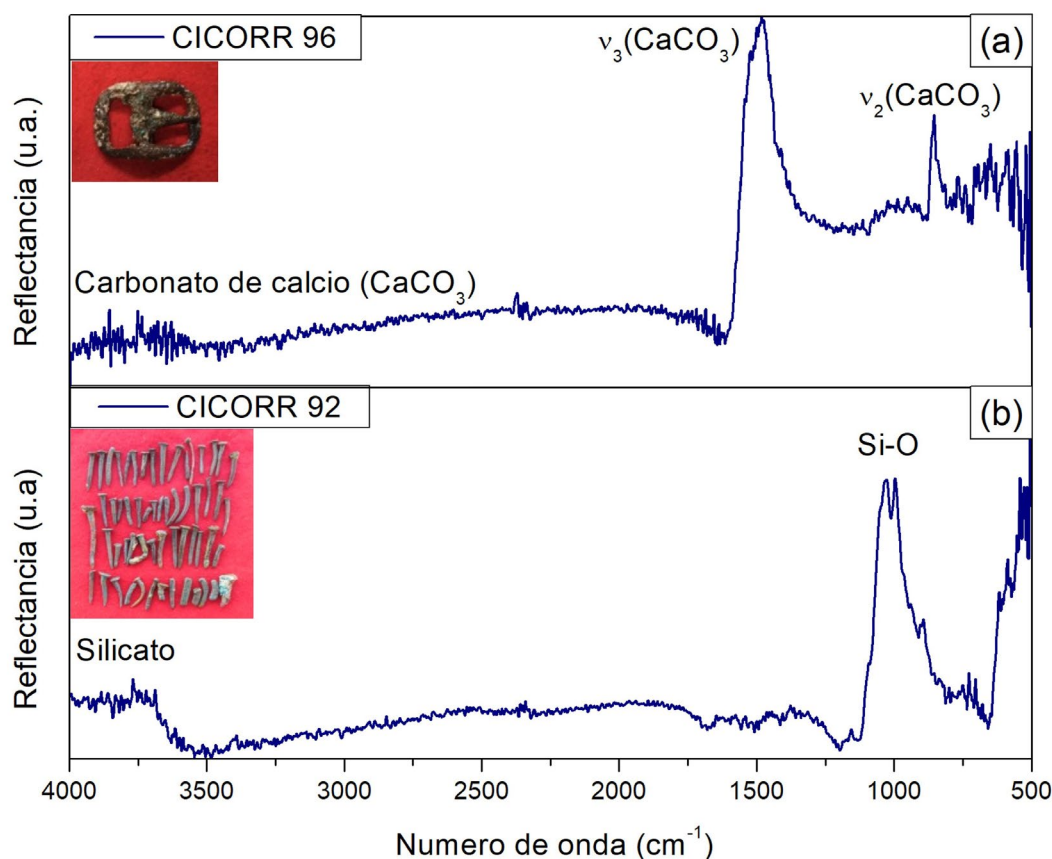
Esto se demuestra en el trabajo de Barba et al, (2020) en el cual, a través de esta técnica, se determinó que las piezas de orfebrería fueron manufacturadas con una aleación de oro y cobre con un posible origen común, lo cual tiene implicaciones en relación a las rutas de comercio e intercambio de este metal precioso (Barba-Meinecke et al, 2020), en su mayoría utilizadas para uso ornamental y religioso.

Destacan también piezas de uso cotidiano, en este caso, tres hebillas con un mecanismo simple para abrocharse en la vestimenta o calzado, característicos en la moda entre las clases privilegiadas entre los siglos XVII y XVIII. Dos de ellas fueron elaboradas en oro, mientras que el análisis por espectroscopía de fluorescencia de rayos X (XRF) determinó que la tercera fue confeccionada con una aleación de plata. Este tipo de objetos de portación personal son de interés para el estudio histórico, revelándonos aspectos tecnológicos, culturales y sociales de la época en la cual fueron fabricados.

Otro aspecto importante para el estudio histórico y tecnológico de estas piezas es la adición de elementos microaleantes que mejoraban las propiedades físico-mecánicas

de los metales, haciéndolos aptos para su uso. En el caso del pecio Ancla Macuca, se encontraron elementos de sujeción, como bisagras y algunos clavos, elaborados en una aleación de latón (cobre-zinc) adicionada con plomo, el cual se utiliza para mejorar la maquinabilidad y darle mayor resistencia al desgaste (Johansson et al, 2019). Asimismo, las balas para armas ligeras encontradas en este pecio contaron con una aleación de plomo-estaño. El plomo es un elemento estable que no se disuelve ni se descompone con facilidad y tiende a deformarse antes que romperse. Estas propiedades aseguraban que los objetos manufacturados con esta aleación, fuesen seguros para el usuario, prolongando la vida útil de las armas, ya que disminuían la fragmentación y desgaste del interior del mecanismo (Johansson et al, 2019).

La diferenciación entre los materiales adheridos a la superficie de las piezas metálicas facilita su diagnóstico, así como la identificación de los procesos de modificación superficial que se presentan por la interacción con el medio marino. En este sentido, la espectroscopía infrarroja permitió la identificación de carbonatos y silicatos depositados en la superficie de diferentes piezas del pecio Ancla Macuca.

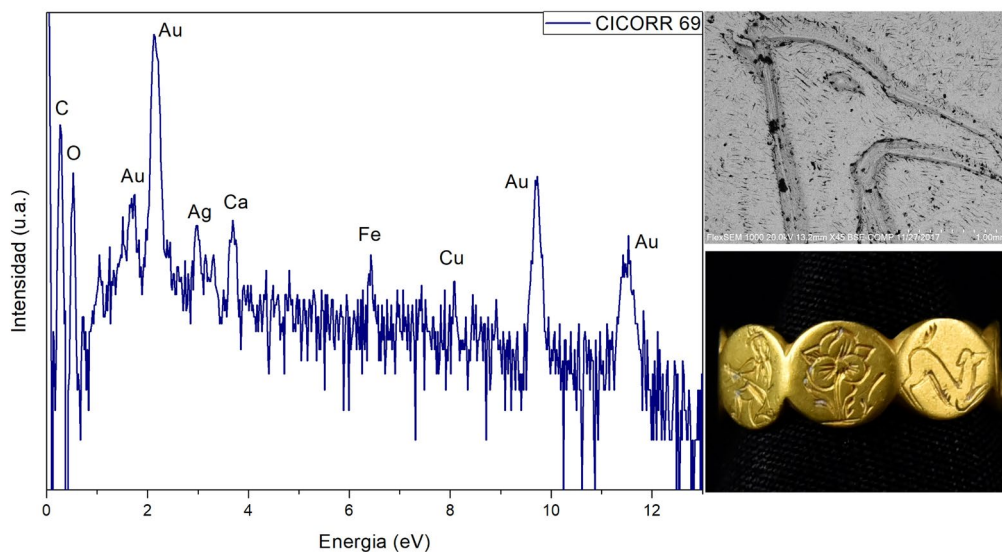


*Espectros infrarrojos de dos piezas metálicas recuperadas en el Arrecife Alacranes, Yucatán, Golfo de México. Se identificó la presencia de carbonatos de calcio en la superficie de la hebilla y de silicatos en algunos clavos, debido a su interacción con el entorno marino durante más de dos siglos. © Archivo: LANCIC-CICORR-UAC.*

Cabe comentar que algunas de las piezas metálicas del pecio Ancla Macuca fueron analizadas en las instalaciones del LANCIC-CICORR (Universidad Autónoma de Campeche), debido a la imposibilidad de desplazar estos equipos, tales como difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido acoplada a un espectrómetro de energía dispersiva para realizar análisis in situ. Estas técnicas son un complemento necesario para la caracterización elemental, estructural y morfológica de la aleación e interpretación de los procesos de deterioro de los materiales arqueológicos por la acción del ambiente subacuático.



En el caso de la difracción de rayos X, el interés se centró en las gemas engarzadas a las piezas de joyería, identificando diamantes, amatista, esmeraldas y vidrios de plomo. Por su parte, a través de la microscopía electrónica de barrido acoplada a un espectrómetro de energía dispersiva, se observó a detalle la morfología y composición elemental de las piezas de orfebrería, para así poder estudiar en el corto plazo sus huellas de manufactura.



*Espectros de energía dispersiva de un anillo de oro recuperados en el Arrecife Alacranes, Yucatán, Golfo de México. © Archivo: LANCIC-CICORR-UAC.*

## Conclusiones

La implementación de técnicas analíticas en el estudio interdisciplinar sobre contextos arqueológicos subacuáticos es de suma importancia para la interpretación histórica y tecnológica de estos objetos patrimonio cultural. Estas técnicas proporcionan información sobre la materia prima, técnicas de manufactura, la evaluación y el diagnóstico del estado de conservación de los artefactos, así como de los procesos de deterioro causados por la interacción del metal con el ambiente marino. En el caso de contar con bases de datos para hacer el contraste de

la información, es posible establecer el puerto de embarque/desembarque, rutas comerciales, uso e importancia de los objetos e incluso contrabando.

La utilización de metodología no destructiva, no invasiva y portátil asegura la integridad de las piezas, garantizando su conservación a futuro para incluso la aplicación de nuevas técnicas.

Finalmente, esta información es indispensable para establecer criterios, protocolos y métodos de conservación preventiva y/o intervención de acuerdo con las necesidades particulares de cada pieza, respetando su naturaleza y valor histórico.

## **Agradecimientos**

Esta contribución fue posible gracias al apoyo del Proyecto Integral para la Protección, Conservación, Investigación y Difusión del Patrimonio Cultural Sumergido de la península de Yucatán, Sureste Mexicano (PIPY), (SAS-INAH), y de CONACYT-LANCIC LN314886.

## **Bibliografía**

Arano Diana, Helena Barba-Meinecke, Nicolás C. Ciarlo, Manuel Bethencourt, Guadalupe Carrasco y Javier Reyes. (2021). "Un acercamiento a la problemática del palimpsesto en naufragios: Estudio de dos contextos arqueológicos subacuáticos en el arrecife Alacranes, México". Congreso Iberoamericano de Arqueología Náutica y Subacuática, Cerezo Andreo, Felipe y Carlota Pérez-Reverte Mañas (Eds.). CIANYS 2021. Cádiz, España: UCA.

Barba-Meinecke, Helena, Roberto Junco Sánchez y Javier Reyes Trujque. 2020. "El tesoro de Alacranes. Estudio multidisciplinario del pecio Ancla Macuca, Yucatán". Revista Arqueología Mexicana. Arqueología Subacuática en México. (ISSN 0188-8218) 28 (64): 58-63. CDMX, México: Editorial Raíces-INAH.

Johansson, J., H. Persson, J.-E. Ståhl, J.-M. Zhou, V. Bushlya, F. Schultheiss. (2019). "Machinability Evaluation of Low-Lead Brass Alloys". Procedia Manufacturing (ISSN 2351-9789) (38): 1723-1730. Países Bajos: Elsevier.





# Estudio de metales procedentes del pecio Vapor La Unión (1861), Sisal, Yucatán

Helena Barba-Meinecke, Javier Reyes Trujeque, Abiud Pizá Chávez,  
Gabriel Quetz León

## Introducción

Cuando se localizan los restos de una embarcación naufragada o pecio, se puede encontrar una gran diversidad de objetos de variado uso y composición material, desde elementos mismos de la arquitectura del navío, hasta los que formaban parte del cargamento y vida cotidiana de los pasajeros y tripulación. En este universo podemos hallar artefactos de madera, metal, cerámica, hueso, lítica vidrio, textil y vegetal (Ciarlo y Argüeso, 2019).


Estos materiales se convierten en marcadores arqueológicos diagnósticos, que proporcionan aspectos como relaciones materiales, espaciales y temporales, es decir, el cómo, el cuándo y el porqué de la existencia de cada objeto, al mismo tiempo que coadyuvan a la interpretación del contexto en donde fueron localizados; siendo necesario incluso implementar algunas herramientas de medición usadas en las ciencias exactas, como la química, la física, la biología y la ciencia de materiales, para comprender su naturaleza, estudiar sus propiedades y su contexto socio-cultural (Watkinson, 2013).

En los contextos arqueológicos subacuáticos marinos, por lo general, son los materiales de origen inorgánico como el pétreo, cerámico y metálico los que más se conservan a lo largo de los siglos y están presentes en los restos de naufragios. Estos artefactos brindan evidencia sobre el tipo de construcción naval (anclas, elementos de sujeción como los clavos, pernos, láminas para el recubrimiento de los cascos de los buques, maquinarias y chimeneas, entre otros); instrumentos para la navegación, sondeo del fondo marino y medición del tiempo (compás, cuadrantes, astrolabios, sextantes, catalejo, reloj de arena, sondaleza y campanas); pertrechos para la guerra, batallas navales, defensa de fortificaciones y señales (cañones, armas ligeras como pistolas, mosquetes

---

*Del b. latín pecium. Pedazo o fragmento de la nave que ha naufragado junto con su carga; así como los derechos que el señor de un puerto de mar exigía de las naves que naufragaban en sus costas (RAE, 2022).*





y espadas, así como municiones, etcétera); cargamentos de metales preciosos y para el comercio como el quinto real o la joyería); herramientas y utensilios para el mantenimiento de la nave en los puertos y durante las travesías utilizados por los calafates, así como artefactos de época y vida cotidiana a bordo, desde fogones, utensilios para la cocina, objetos personales (hebillas para zapatos, medallas o rosarios, monedas de oro, plata y cobre), tanto pertenecientes a la tripulación como a los pasajeros. Por su parte, aquellos cuya naturaleza es orgánica (madera, hueso, textil, piel o productos alimenticios), son más difíciles de identificar principalmente en aguas tropicales.

Tanto los materiales orgánicos como los inorgánicos, sufren de degradación por causas intrínsecas y extrínsecas. Las primeras son relativas a la naturaleza de los materiales constitutivos y las segundas están relacionadas al medio circundante, siendo: 1) de carácter físico: corrientes, oleajes, mareas, tipo de fondo, profundidad, distancia de la costa, 2) de carácter químico: agua, sales y oxígeno disueltos, acidez y basicidad, 3) de carácter biológico: bacterias, litófagos, xilófagos, especies incrustantes y sedentarias, y 4) antrópicos: expolio, contaminación, obra pública sin supervisión, entre otras (Barba et al, 2022).

Si bien los artefactos de origen inorgánico también sufren amenazas, estos suelen preservarse con mayor facilidad a lo largo del tiempo, siendo muy oportunos para estudios

científicos mediante la aplicación de técnicas arqueométricas.

De acuerdo a la Convención UNESCO 2001 sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático, la preservación in situ de los contextos arqueológicos y los materiales que los componen siempre será la primera opción. En este sentido, la recuperación de elementos diagnósticos debe siempre estar apegada a las siguientes normas y parámetros: 1) Protección, en caso de que el objeto/contexto esté en riesgo de extracción derivada de una acción ilícita o próximo a su destrucción; 2) Conservación, la cual debe contemplarse e integrarse a los proyectos de arqueología desde su planeación, garantizando su preservación a corto y largo plazo; y 3) Científico, que aporte información para el estudio del conocimiento del hombre y las sociedades del pasado (UNESCO, 2001).

## **El pecio Vapor La Unión (1861)**

El naufragio Vapor La Unión (1861), fue localizado el verano del 2017 a 1.08 millas náuticas (2 km) al noreste del puerto de abrigo de Sisal, municipio de Hunucmá, Yucatán, en el marco del Proyecto Integral para la Protección, Conservación, Investigación y Difusión del Patrimonio Cultural Sumergido de la Península de Yucatán, Sureste Mexicano, de la Oficina Península de Yucatán, Subdirección de Arqueología Subacuática (SAS) del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), México (Figura 1).



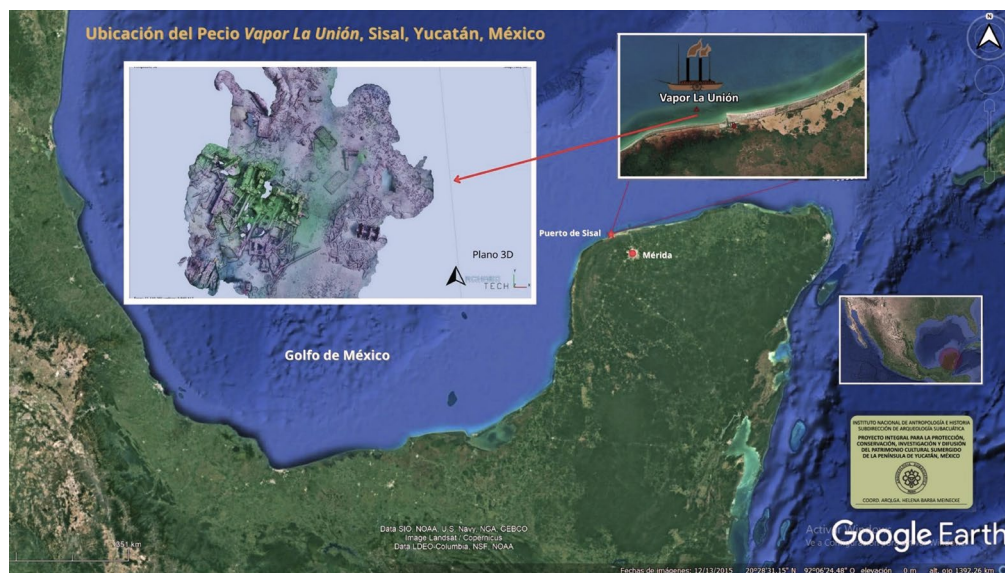


Fig. 1. Mapa de localización y plano 3D del contexto arqueológico subacuático pecio Vapor La Unión (1861), Sisal, Yucatán. © Archivo SAS-INAH / Archaeotech, 2023.

A partir de entonces, durante los trabajos de prospección y sondeo mediante excavación extensiva, se ha registrado in situ el plan de madera del buque, su eje con ruedas de paleta laterales, así como caldera, serpentín, fragmentos de la caja de fuego y chimenea, entre muchos otros elementos.

Entre los materiales arqueológicos diagnósticos identificamos y se recuperaron: 40 clavos, 20 pernos y láminas de recubrimiento de aleación de cobre, artefactos relacionados con la arquitectura y elementos de sujeción del barco, así como del tipo de propulsión utilizado, en este caso maquinaria de vapor.

Destacan ocho piezas de cubertería recuperadas de un pozo de sondeo (1 m<sup>2</sup>) excavado en la esquina oriente del contexto arqueológico subacuático (Barba, 2017; Barba et al, 2021). Este hallazgo fue realmente importante, ya que por lo general los artefactos asociados con la vida





cotidiana ubicados en contextos de naufragios son menos visibles, en comparación con anclas o cañones. Debido a su tamaño, por lo general pequeños y de poco peso, estos se descontextualizan con facilidad por el movimiento dinámico del mar, factores físicos referidos líneas arriba, a los cuales se suman los fenómenos hidrometeorológicos locales: tormentas de invierno (nortes), primavera (turbonadas) y verano (tropicales y ciclones).

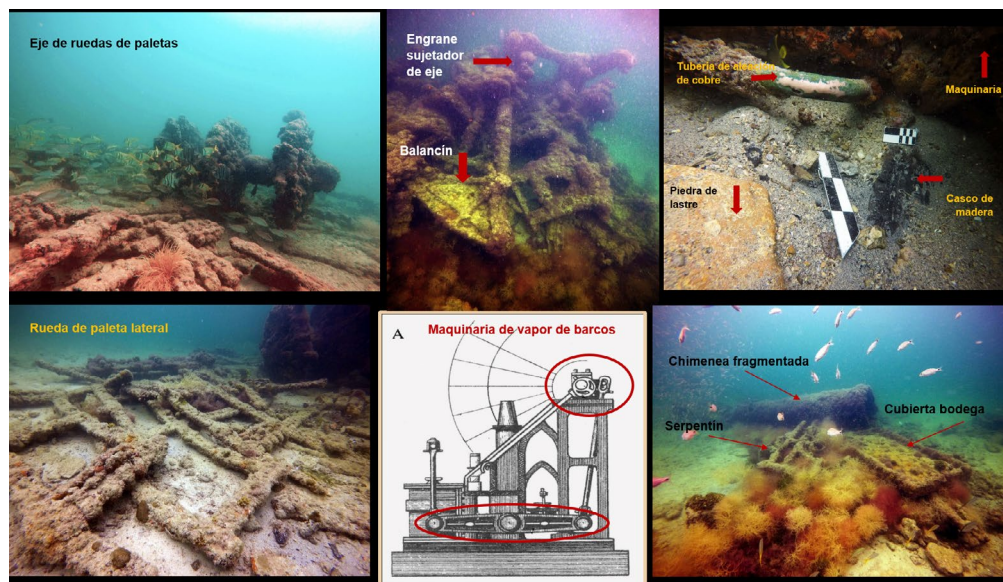


Fig. 2. Elementos diagnósticos del pecio Vapor La Unión (1861): Eje de las ruedas, Radios de las ruedas, Engrane sujetador de eje, Balancín, Chimenea fragmentada, Serpentín, Cubierta de bodega, Piedra de lastre, Tubería de cobre, Casco de madera, Cubertería de latón, Maquinaria de vapor.

© Archivo SAS-INAH, 2017. Fotos: Helena Barba Meinecke.

El buque a vapor La Unión (1861) era propiedad de la Compañía comercial naviera Zangronis Hermanos, establecida en La Habana, Cuba. Este barco realizó viajes de cabotaje entre los puertos de Sisal, Campeche, Veracruz y Tampico para el transporte de correo, carga y pasajeros entre 1855 y 1861, justo durante la Guerra de Castas en Yucatán (1847-1901).





Las investigaciones en archivos históricos y provinciales, así como la evidencia arqueológica, señalaron que el pecio se fue a pique resultado de un incendio que provocó la explosión en el área de la caldera, tras zarpar del puerto de Sisal hacia La Habana en septiembre de 1861, además de que se trataba de un barco que transportaba mayas yucatecos cautivos de la guerra y de forma ilícita, para ser sometidos a esclavitud en las haciendas azucareras de Cuba (Barba et al, 2021).

Las embarcaciones de propulsión a vapor del siglo XIX representaron una innovación tecnológica que desplazó paulatinamente la navegación a vela. Esta tecnología ofreció altos beneficios para los viajes trasatlánticos como el incremento en su frecuencia y menor tiempo de travesía, además de generar un transporte marítimo más confiable y con amenidades -compartimentos privados de primera, segunda y tercera clases, servicios de alimentos y bebidas, música, etcétera- industria que motivó un mayor desplazamiento de personas entre continentes y regiones, así como cambios en la manera de viajar a bordo de un barco (Dodd, 1867).

La cubertería de plata estaba restringida para los comedores de los oficiales y para los pasajeros de primera clase. En el caso de los cuchillos, hacia el siglo XIX, fueron los gremios de ciudades como Solingen en Alemania o Albacete en España, los que se especializaron en su manufactura, además de existir producciones en Inglaterra. Las cucharas también fueron parte importante, mientras que los tenedores, aunque ya se usaban desde el siglo XI, al ser más difíciles de maniobrar, fueron objetos poco utilizados por algún tiempo hasta que en el siglo XIX son reintegrados a las mesas a través de variados tratados de urbanidad, protocolo y etiqueta (Hartley, 1860).

## **Los elementos arqueológicos diagnósticos y su caracterización**

Para llevar a cabo la caracterización de los artefactos arqueológicos es necesaria su clasificación, análisis e interpretación, usando diversas técnicas analíticas desarrolladas en los campos de la física y la química (Ciarlo, 2011). El estudio de los materiales metálicos del pecio Vapor la Unión, se desarrolló siguiendo protocolos ya establecidos por la SAS-INAH en colaboración con el Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural del Centro de



Investigación en Corrosión (LANCIC-CICORR) de la Universidad Autónoma de Campeche.

La aplicación de estos protocolos inició durante la prospección arqueológica in situ con el registro y clasificación megascópica de los materiales, identificando las condiciones en superficie (físico, químicas y biológicas) del entorno marino, así como el tipo de material, tamaño de la pieza, color y definiendo posibles condiciones de deterioro (erosión, fracturas, dispersión, corrosión, disolución, desintegración, concreción, erosión y/o abandono). Esta clasificación permitió programar el procedimiento analítico, buscando responder a las preguntas que podemos hacerle a cada objeto como, por ejemplo: ¿Qué es?, ¿De qué material está manufacturado y de dónde procedía?, ¿En qué época y quién lo fabricó?, ¿Cómo funcionaba?, entre otras, para con esta información hilvanar el discurso histórico en torno al naufragio.

Gracias a los avances tecnológicos desarrollados en la arqueometría, se ha logrado conjuntar en los equipos analíticos dos ventajas ideales para el estudio de los bienes patrimoniales: su portabilidad y su carácter no destructivo, lo que garantiza la protección de las piezas sin poner en riesgo su integridad, permitiéndonos, además, responder a los objetivos planteados en una investigación.



Fig. 3. Equipos analíticos portátiles y aplicación de técnicas arqueométricas en el Museo de Arqueología Subacuática (MARSUB) Fuerte San José el Alto, San Francisco de Campeche.  
© Archivo INAH, SAS /LANCIC-CICORR.





En los laboratorios del LANCIC-CICORR, se efectuaron estudios arqueométricos a la cubertería recuperada en el naufragio Vapor La Unión (1861). Estas se enfocaron principalmente en la obtención de la composición de sus materiales constitutivos (tipo de metal y sus aleaciones), así como de huellas de manufactura (artesanal o industrial) que, al ser interpretados a través de las fuentes históricas, nos permita ubicar el origen de fabricación de los objetos y su materia prima, en un tiempo y espacio determinado, para así aproximarnos a una datación, filiación cultural, procesos tecnológicos y cadena operativa y comercial; además de desarrollar estrategias para su conservación.

### **La cubertería y su análisis arqueométrico**

El conjunto está constituido por ocho piezas: un tenedor que conserva su forma original con cuatro dientes, un tenedor doblado seguramente durante el accidente, así como seis fragmentos que parecen corresponder a mangos de cubertería deteriorada, uno de ellos de un posible cuchillo.

Los especialistas del LANCIC-CICORR analizaron las piezas usando la técnica analítica conocida como fluorescencia de rayos X (FRX). A través de esta se identificaron los elementos químicos que sirven para relacionarlos con las materias primas de fabricación de la aleación (Mousser et al, 2011), así como los depósitos formados sobre su superficie debido a la interacción con el ambiente marino.

Los resultados del análisis muestran que la cubertería fue fabricada en una aleación compuesta de cobre (Cu) y Zinc (Zn) principalmente, la cual da como resultado el latón. Asimismo, se detectaron elementos como: el níquel (Ni), plomo (Pb), arsénico (As), hierro (Fe) y cobalto (Co).

El latón y el níquel eran empleados en diversas técnicas metalúrgicas de la primera mitad del siglo XIX para imitar el aspecto del oro y

la plata en la cubertería. Con ello los comerciantes ampliaban su mercado hacia los diferentes sectores sociales y niveles adquisitivos. A bordo de los vapores, esta cubertería es posible fuese utilizada por la tripulación y pasajeros de segunda y tercera clases.

Por otra parte, los microaleantes como: el plomo (Pb), arsénico (As) hierro (Fe) y cobalto (Co), se relacionan con propiedades que se les otorgaba a las piezas durante su manufactura como: la dureza, maleabilidad, anticorrosivos y antibacteriales.

Finalmente, durante los análisis se observaron trazas de calcio (Ca) el cual proviene del medio marino y son comunes en los elementos arqueológicos procedentes de contextos de naufragios.



Fig. 4. a. Conjunto de ocho cubiertos de latón procedentes del pecio Vapor La Unión (1861), b. Tabla de análisis elemental obtenido mediante FRX en una pieza de la cubertería, c. Análisis microscópico de una pieza de la cubertería con presencia de productos de corrosión. © Archivo INAH, SAS, LANCIC-CICORR.



## Consideraciones finales

A través del estudio de los materiales mediante técnicas arqueométricas fue posible identificar la composición elemental de un conjunto de cubiertos de latón que viajaban a bordo del vapor con bandera española La Unión (1861) en tornaviaje hacia La Habana y, con base en la investigación histórica, inferir que se trata, por el material y acabados, de cubertería para el uso de la tripulación y pasajeros de menor rango.

El potencial de la aplicación de las técnicas arqueométricas en la arqueología subacuática es muy alto, ya que a través de estas se puede definir además de elementos traza de composición, detalles sobre su materia prima, manufactura, huellas de uso, productos de corrosión, entre otros aspectos de interés para las investigaciones.

Estos estudios son sumamente valiosos para la arqueología subacuática, ya que, a través de su aplicación a los objetos procedentes de los naufragios, podemos conocer y entender a las sociedades que lo crearon, acotando referencias respecto a la vida cotidiana a bordo de un barco y su estratificación social, el comercio, los puertos de origen y destino, las rutas de navegación, así como los usos y reutilizaciones de los objetos.

En resumen, esta investigación interdisciplinaria desarrollada entre la SAS-INAH, y LANCIC-CICORR, es relevante para el estudio científico de nuestro pasado, su conservación y, en el corto plazo, para la visibilización y puesta en valor del patrimonio cultural subacuático de México.

## Bibliografía

Barba-Meinecke, Helena. Diana Arano y Abiud Pizá. (2022). "Patrimonio cultural subacuático en las cuevas y cenotes de la Península de Yucatán, México. perspectivas en torno a su conservación y puesta en valor". I Congreso Iberoamericano en Arqueología Náutica y Subacuática. CIANYS: 20-23 de octubre de 2021. Universidad de Cádiz. Cádiz, España.

Barba-Meinecke, Helena; Abiud Pizá y Gabriel Quetz. (2021). "El pecio Vapor La Unión (1861) indicios de esclavitud maya en la península de Yucatán". Glifos, Revista Electrónica del Centro INAH Campeche (27): 36-45. Campeche, México: Centro INAH Campeche.

Barba-Meinecke, Helena. (2017). Informe de actividades del Proyecto Integral para la Protección, Conservación, Investigación y Difusión del Patrimonio Cultural Sumergido de la Península de Yucatán. Sureste Mexicano (PIPY). (Mecanuscrito). Archivo Técnico, INAH. CDMX, México: Subdirección de Arqueología Subacuática, INAH.

Ciarlo, Nicolás, Argüeso A. (2019). "Archaeometric and Archaeometallurgical Studies on Historical Shipwrecks: Research, Experiences Argentina". *Journal of Maritime Archaeology*, (14) 127-150, N.Y., U.S.A.: Springer.

Ciarlo, Nicolás. (2011). Arqueometalurgia de un naufragio del siglo XVIII: La corbeta de guerra HMS Swift (1770), Puerto Deseado, Provincia de Santa Cruz. Tesis para optar al grado de Lic. en Ciencias Antropológicas, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Dodd, George. (1867). *Railways, Steamers and Telegraphs. A Glance and their Recent Progress and Present state*. London, U.K.: W. & R. Chambers.

Hartley, Florence. (1860). *The Ladies' Book of Etiquette, and Manual of Politeness*.

*A Complete Hand Book for the Use of the Lady in Polite Society*. Proyecto Gutenberg (documento 35123). Disponible en:

[https://www.academia.edu/49082393/\\_PDF\\_EL\\_libro\\_de\\_etiqueta\\_de\\_las\\_damas\\_todo\\_lo\\_que\\_tienes\\_que\\_saber\\_para\\_verte\\_y\\_Comportarte\\_con\\_elegancia\\_](https://www.academia.edu/49082393/_PDF_EL_libro_de_etiqueta_de_las_damas_todo_lo_que_tienes_que_saber_para_verte_y_Comportarte_con_elegancia_)

López Garrido, Pedro. (2012). "Procesos de transformación natural de contextos arqueológicos sumergidos en la costa de Campeche, Golfo de México", *Arqueología marítima en México. Estudios interdisciplinarios en torno al patrimonio cultural sumergido*. Vera Moya (Coord.), pp. 141-190. CDMX, México: INAH.

Mousser H., Amri, R., Madani, A., Darche, A., Mousser A. (2011). "Microchemical surface analysis of two Numidian coins". *Applied Surface Science*. 257 (14), 5961-5965, Netherlands: Elsevier.

RAE. Real Academia Española. (2022). Asociación de Academias de la Lengua Española. Madrid, España. Disponible en: <https://dle.rae.es/pecio>

UNESCO. (2001). *La Convención de la UNESCO sobre la Protección del Patrimonio Cultural Subacuático*. París, Francia: UNESCO. Disponible en: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000126065\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000126065_spa)

Watkinson, David. (2013). "Conservation, corrosion science and evidence-based preservation strategies for metallic heritage artefacts". *Corrosion and Conservation of Cultural Heritage Metallic Artefacts*. Dillman A., P.; Watkinson, D.; Angelini, E.; Adriaens (Eds.). Cambridge, U.K., pp. 9-36: Woodhead Publishing.





# Aplicación de técnicas electroquímicas en el estudio y protección de la corrosión en metales de interés histórico

Jorge Alberto Ramírez-Cano, Araceli Espinoza-Vázquez, Andrés Carmona-Hernández, Francisco Javier Rodríguez-Gómez, Ricardo Galván-Martínez y Ricardo Orozco-Cruz

## Introducción

La preservación del patrimonio cultural es de suma importancia, ya que permite definir la identidad de un pueblo, como parte de su historia, promueve la cohesión social y el orgullo por los logros alcanzados por generaciones pasadas. También permite entender las transformaciones históricas y culturales de las sociedades modernas.

Por otro lado, tiene un impacto económico palpable al fungir como uno de los motores del desarrollo sostenible, promoviendo el turismo y la derrama económica asociada. En el año 2019, el turismo en México generó más de 24 millones de dólares, gran parte de dichos ingresos corresponden al sector del turismo cultural, lo que ejemplifica la relevancia de dicho sector turístico en el desarrollo económico de la nación (Gallaga et al, 2022).

En nuestro país, gran parte del patrimonio cultural, correspondiente a la época de la colonia, se compone de artefactos metálicos (balas de cañón, campanas, herramientas y armas), muchos de los cuales se encuentran en condiciones que favorecen su deterioro por corrosión (Arceo et al., 2019), (Figura 1).

La corrosión metálica puede definirse como el deterioro del material mediante un proceso electroquímico, esto quiere decir que se lleva a cabo a través de una reacción química en la que existe transferencia de electrones entre las especies involucradas; como resultado, ocurren cambios en las propiedades del metal, que comprometen su integridad estructural y provocan una pérdida de funcionalidad del mismo (Raichev et al, 2009).





Fig. 1. Vestigios históricos que formaron parte de la artillería militar del Fuerte de San Juan de Ulúa sumergidos en agua de mar. Autor: Ricardo Orozco Cruz, tomado de: "Estudio de alternativas para la mitigación del daño estructural de balas de cañón mediante tratamientos superficiales", Conservación de materiales de interés histórico y artístico, vol. II, Editores: Reyes Trujeque J. y Villegas P., 2016.

Desde un punto de vista termodinámico, la corrosión es un fenómeno fisicoquímico altamente favorable, ya que permite el paso de una estructura de alta energía, los metales en su estado puro, a otra de mínima de energía, los productos de corrosión (Figura 2.)

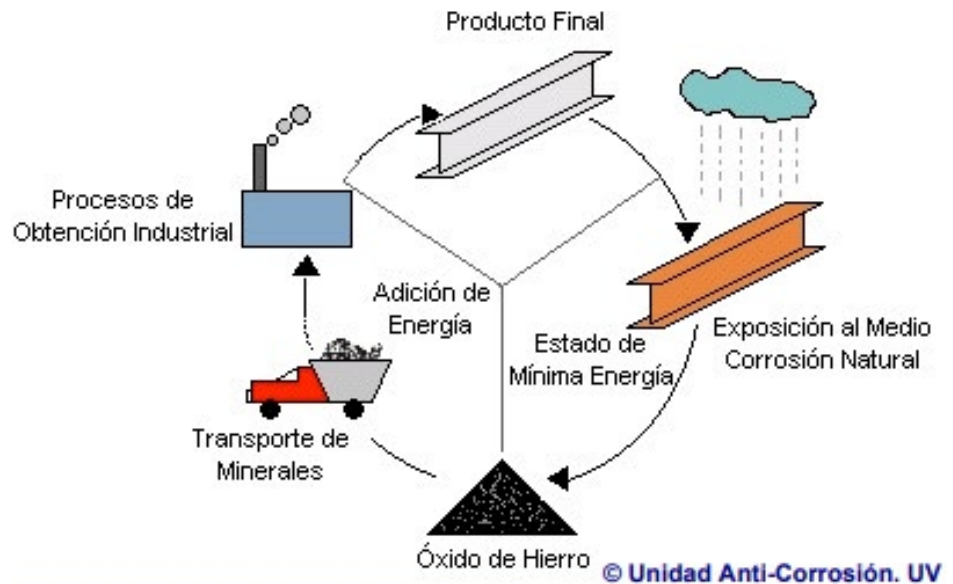



Fig. 2. Transición del mineral (óxido metálico) de un estado de baja energía a uno de alta energía (metal puro) y posterior oxidación debido al exceso de energía. Autor: Ricardo Orozco Cruz, tomado de: "Corrosión: fenómeno natural, visible y catastrófico", La Ciencia y el Hombre, Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana, 2007.





A la luz de lo anterior, la conservación a largo plazo de colecciones de objetos metálicos de interés histórico y cultural presenta un desafío considerable. Primeramente, porque los artefactos recuperados generalmente se encuentran ya en un proceso avanzado de corrosión y segundo porque la elección del método de restauración y almacenamiento de la pieza son cruciales para garantizar la preservación de ésta (Orozco et al, 2014).

Así pues, es de vital importancia caracterizar el tipo de corrosión que afecta al metal estudiado y, en función de ello, elegir alguna técnica de conservación adecuada al contexto de la pieza en cuestión. Puesto que el fenómeno de corrosión es de naturaleza electroquímica, las técnicas de caracterización y protección electroquímicas surgen como candidatos naturales para dicha tarea.

## **Estudio de la corrosión en metales de interés histórico mediante técnicas electroquímicas**

### ***Potencial de corrosión***

Existen varias técnicas que permiten conocer el grado de avance del proceso corrosivo, y aunque no es identificada como una técnica electroquímica sí es un procedimiento que proporciona información del estado termodinámico de un sistema. Ante eso, el seguimiento del potencial de corrosión (Ecorr) es un parámetro bastante útil para estimar el estado actual y futuro del proceso de corrosión (Dillmann et al, 2007).

Todo sistema electroquímico se compone de dos electrodos, el ánodo, donde tiene lugar la reacción de oxidación, y el cátodo, donde se lleva a cabo la reacción de reducción; ambos se encuentran inmersos en un electrolito, generalmente una fase acuosa que contiene iones, estos últimos transportan carga entre los electrodos, permitiendo el flujo de electrones entre el ánodo y el cátodo, (Figura 3).

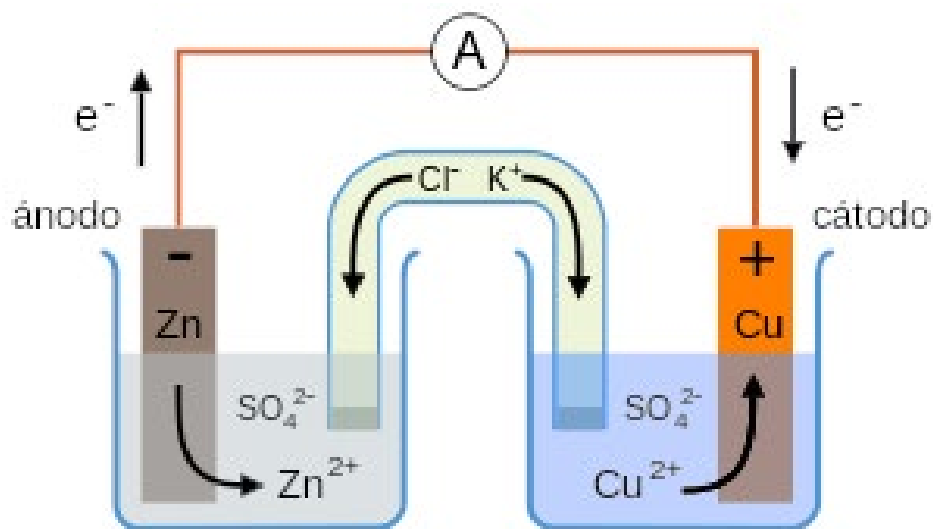


Fig. 3. Sistema electroquímico, se observa el ánodo, el cátodo y los iones metálicos presentes en el electrolito. Autor: Jfmlero, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons.

Durante dicho proceso, el metal reacciona con su entorno, lo cual conduce a la disolución del material en el electrolito y a la formación de nuevas especies en la superficie de los electrodos, a esto último le llamamos corrosión. Por lo tanto, debido a la reacción de corrosión, la degradación del material por envejecimiento se acentúa, el potencial de corrosión funge como un indicador de la reacción de corrosión desde una perspectiva electroquímica, permitiendo determinar si existe o no un proceso activo de corrosión (Kano et al, 2021).

Este procedimiento es especialmente útil en la recuperación de artefactos encontrados en ambientes acuáticos, tanto marinos como dulces, principalmente porque dichos artefactos son muy



inestables al extraerse del entorno en el que fueron encontrados, el cambio súbito de ambiente perturba su estado de equilibrio y acelera el proceso de corrosión (Dillmann et al, 2007).

Por lo anterior, es importante garantizar primero la conservación in situ del artefacto, mientras se define un procedimiento adecuado para garantizar una recuperación segura del objeto. Esto último implica monitorear el potencial de corrosión del material en función del tiempo y, en caso de detectar corrosión activa, proteger el artefacto utilizando ánodos de sacrificio (Dillman et al, 2007). Así mismo, el potencial de corrosión se utiliza para monitorear el estado de piezas recuperadas, ya sea en condiciones de almacenamiento o en exposición, por lo cual se trata de un procedimiento bastante útil para la conservación de artefactos metálicos, (Figura 4).



*Fig. 4. Monitoreo de potencial de corrosión en piezas metálicas sumergidas y recuperadas del medio marino y esquema de aleaciones de bronce con pátinas en atmósfera marina, el diagrama muestra el arreglo experimental para la adquisición de datos. Autor: autoría propia.*

### ***Espectroscopía de impedancia electroquímica***

Es una técnica electroquímica de corriente alterna, utilizada comúnmente para caracterizar el comportamiento de películas y recubrimientos, el principio de operación de la técnica consiste en aplicar una pequeña señal oscilatoria de perturbación (voltaje) y medir la respuesta en frecuencia del sistema, la cual depende de las reacciones que tienen lugar en el sistema electroquímico (Letardi et al, 1998).





La técnica puede utilizarse para monitorear el estado de la pátina, capa de productos de corrosión formada sobre cobre y aleaciones de cobre como el bronce, de la misma manera, dar seguimiento al tratamiento o proceso que puedan tener diferentes metales que hayan sido desenterrados o extraídos del lecho marino o bien de recubrimientos aplicados para proteger algún artefacto. Esto permite conocer el grado de protección ofrecido ya sea por la pátina o el recubrimiento aplicado y, en función de ello, su integridad estructural facilitando la toma de decisiones en cuanto a tratamientos de mantenimiento que permitan la continuidad del estado de protección de la pieza.

Las características de la técnica permiten conocer información específica del proceso de corrosión sobre metales corroídos, la cual es bastante útil para ayudar a curadores y conservadores a identificar qué partes del artefacto metálico requieren protección. A pesar de sus ventajas, no se ha adoptado a gran escala dentro de la comunidad de curadores y conservadores, debido a que su aplicación in situ es complicada, recientemente se han desarrollado alternativas que permiten aplicar la técnica de forma más práctica, (Figura 5) (Jia et al, 2023).

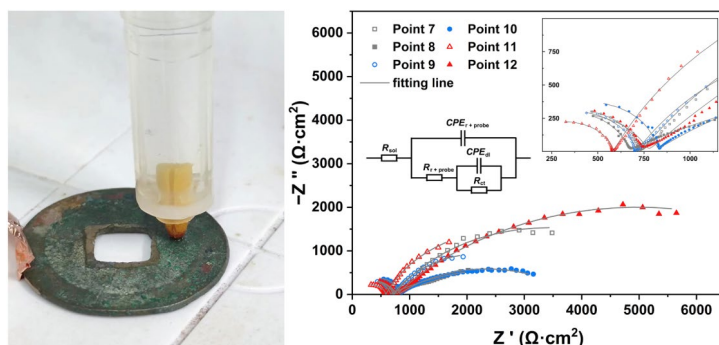


Fig. 5. Sonda de medición in situ para EIS. Autor: Minghao Jia, tomado de "An easy-to-assemble probe for in situ corrosion testing of archaeological metal". *Electrochemistry Communications*. 2023, vol. 147.

### **Resistencia a la polarización**

Se trata de una técnica bastante útil para monitorear el estado de una pieza metálica, físicoquímicamente corresponde a la resistencia del metal a la oxidación durante la aplicación de un potencial externo. En el contexto de la conservación de piezas metálicas, provee información importante para estudiar la evolución en el tiempo de la velocidad de corrosión en un artefacto de interés his-



tórico, facilitando trabajos preventivos de restauración (Dillman et al, 2007).

La técnica consiste en la aplicación de un potencial de alrededor de diez mV en la dirección anódica y catódica, relativo a su potencial de circuito abierto (potencial medido cuando no hay corriente neta fluyendo en el sistema). Debido al cambio de potencial, inducido sobre el material, la corriente fluye entre el electrodo de trabajo (material de interés) y el contraelectrodo (auxiliar para cerrar el circuito eléctrico). La velocidad de corrosión puede hallarse al calcular la pendiente de la curva potencial vs corriente.

### Otras técnicas de monitoreo y caracterización

Microscopía electroquímica de barrido: es una técnica de caracterización superficial altamente sensible, que permite determinar la reactividad superficial de materiales metálicos en la microescala, como tal, representa una herramienta muy valiosa para caracterizar procesos electroquímicos que tienen lugar sobre metales de composición específica, (Figura 6).

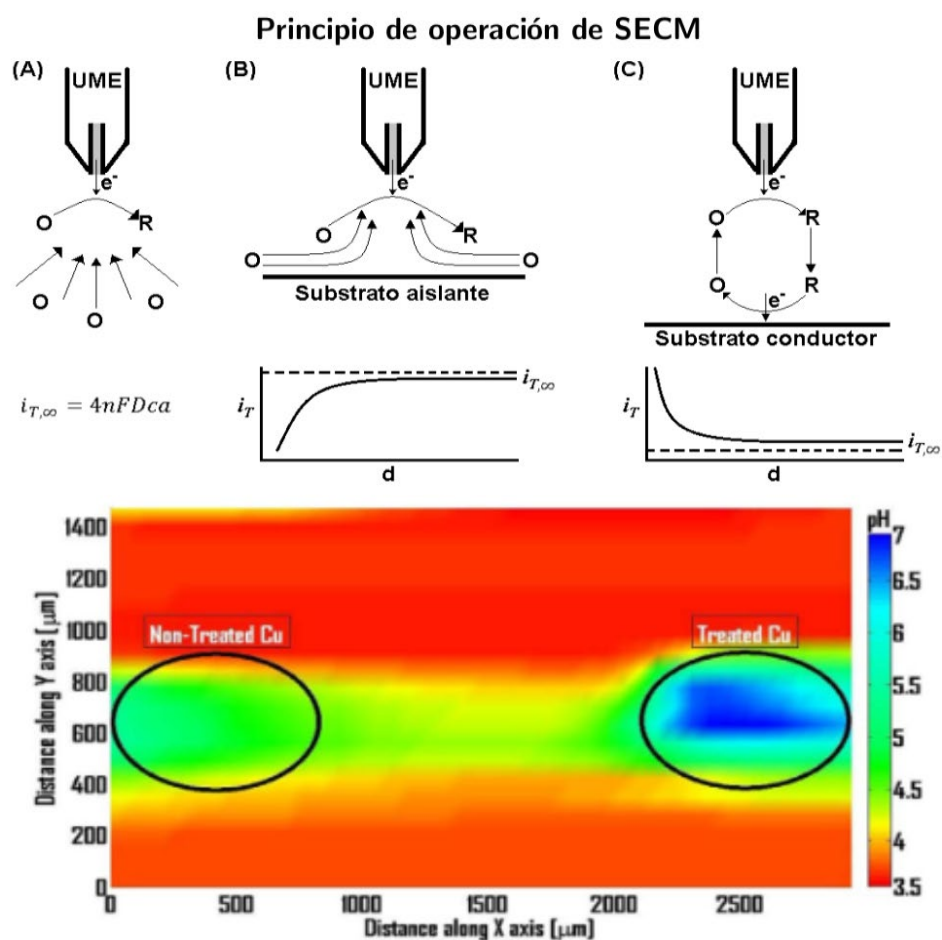



Fig. 6. Modos de operación del microscopio electroquímico de barrido a) en el seno del electrolito, b) sobre sustrato aislante y c) sobre sustrato conductor, se muestra también mapa de actividad obtenido con la técnica. Autor: autoría propia.



Además de proveer un mapa de reactividad sobre la pieza estudiada, y por tanto un mapa de vulnerabilidad, también permite obtener una huella electroquímica característica, que permita distinguir entre piezas genuinas y falsificaciones (Doménech et al, 2015).

Voltamperometría de micropartículas: se trata de una técnica que provee información analítica de partículas escasamente solubles, para ello se requiere una muestra de material de tan solo unos cuantos nanogramos, lo cual provee de un método no invasivo, para estudiar el comportamiento electroquímico de obras de arte o artefactos arqueológicos.

La técnica se aplica directamente sobre los productos que conforman la pátina del metal de interés, lo cual permite obtener el comportamiento electroquímico característico, facilitando la detección de piezas falsificadas (Doménech et al, 2015).

## **Métodos de protección de metales de interés histórico contra la corrosión**

### ***Tratamientos de decloruración***

Las piezas metálicas encontradas en regiones costeras o directamente en el mar, se encuentran en ambientes con altas concentraciones de iones cloruro, esto último implica la formación de fases cloruradas en la superficie de los artefactos.

El problema con la formación de dichas fases, consiste en su escasa integridad estructural, especialmente en el caso de los oxihidróxidos de hierro. Al extraerse las piezas de la zona en que fueron encontradas, se altera el equilibrio fisicoquímico de la misma y, como consecuencia, se facilita el desprendimiento de las capas superficiales, exponiendo al metal al entorno y reanudado el proceso de corrosión.

La estabilización de piezas metálicas cloruradas puede lograrse a través de baños de desalinización, los cuales consisten en la inmersión de las piezas en sustancias altamente alcalinas, las cuales extraen los iones cloruro y limitan el desarrollo de nuevos procesos corrosivos (Veneranda et al, 2015).

### ***Reducción potencioestática***

La técnica de reducción potencioestática se basa en la aplicación controlada de potencial a la pieza de interés, esto con la finalidad de reducir los iones del metal presentes en las capas de productos de corrosión, como resultado colateral, puede darse la formación de capas pasivantes de otras especies presentes en el electrolito. Su principal ventaja frente a otras técnicas es que existe una pérdida despreciable de material durante el procedimiento (comparado con técnicas mecánicas o incluso láser). Por otro lado, su aplicación puede ser general o localizada, incrementando considerablemente la versatilidad del método (Barrio et al, 2005).





### **Recubrimientos**

Los recubrimientos son agregados que cubren completamente la superficie del metal, se aplican de forma similar a como se aplica una pintura y detienen el proceso de corrosión al imponer una barrera física entre el metal y el entorno agresivo.

En un contexto industrial, las propiedades protectoras del recubrimiento son el principal factor para su elección. No obstante, en el caso de recubrimientos para preservación de obras de arte o piezas de interés histórico, también deben ser transparentes, de forma tal que la estética del objeto no se vea afectada, deben ser fácilmente reversibles, permitiendo recuperar rápidamente el estado original de la pieza, no deben modificar la estructura o composición de la pieza y también deben ser fáciles de mantener y presentar eficiencia de largo plazo (Cano et al, 2010).

Las consideraciones anteriores, imponen limitaciones considerables en la elección y aplicación de recubrimientos para piezas metálicas y obras de arte. Por lo cual, la aplicación de recubrimientos es bastante limitada en la conservación y restauración de artefactos metálicos (Dillman et al, 2007).

Dentro de los recubrimientos, las ceras inorgánicas, tanto poliméricas como microcristalinas, cumplen con los estrictos lineamientos de selección establecidos anteriormente. Las ceras son especialmente aptas para su uso en la preservación de esculturas en exteriores (Figura 7), una de sus principales limitaciones es la estabilidad de largo plazo, algunos estudios sugieren que la aplicación de ceras debe realizarse al menos dos o tres veces por año (Dillman et al, 2007).

### **Inhibidores de corrosión**

Los inhibidores de corrosión son sustancias que, aplicadas en concentraciones muy pequeñas, son capaces de reducir efectivamente la velocidad de corrosión (Ramírez y Veleza, 2015). En la actualidad, el desarrollo de dichos compuestos se centra en las variedades orgánicas y amigables con el medio ambiente, comúnmente denominados inhibidores verdes.



Fig. 7. Superficie de bala de cañón tratada con cera microcristalina y expuesta a entorno corrosivo por 30 días. Autor: Ricardo Orozco Cruz, tomado de: "Corrosion Evaluation of Rust Converter and Microcrystalline Wax on Cannon Balls from San Juan de Ulua Fortress". *Materials Research Society*. 2014, vol. 1618.

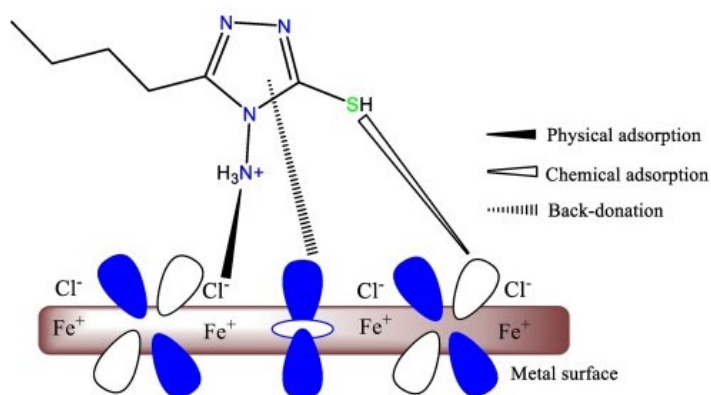


Fig. 8. Molécula orgánica utilizada como inhibidor de corrosión, la figura muestra los diversos mecanismos de adsorción que permiten establecer la película protectora sobre el metal. Autor: Quaraishi, M.A., tomado de: "Development of environmentally benign corrosion inhibitors for organic acid environments for oil-gas industry". *Journal of Molecular Liquids*. 2021, vol. 329.

La reducción en la velocidad de corrosión se logra mediante la adsorción del compuesto inhibidor en la superficie metálica, formando una capa pasiva delgada que protege al metal retardando la reac-

ción catódica, anódica o ambas, todo lo anterior sin modificar las propiedades eléctricas o mecánicas del metal.

Debido a que prácticamente no modifican la superficie, los inhibidores de corrosión se encuentran entre los métodos más populares de protección y restauración de piezas de interés histórico (Dillman et al, 2007). Actualmente, también se estudian métodos de protección mixtos, con esquemas multicapa que incluyen la aplicación de inhibidores de corrosión en sinergia con ceras microcristalinas, lo que mejora aún más la eficiencia del tratamiento.

## Conclusión

En este trabajo se han descrito, a grandes rasgos, algunas técnicas electroquímicas de estudio, caracterización y protección de materiales metálicos. Como se mencionó previamente, la protección del patrimonio cultural metálico es muy importante, tanto desde la perspectiva social como desde la perspectiva económica. Las técnicas electroquímicas abordadas, proveen información sumamente útil para determinar el estado de deterioro y desarrollar estrategias que permitan la conservación a largo plazo, facilitando la continuidad del patrimonio cultural de la nación.



## Referencias bibliográficas

Arceo Gómez, D. E., Aguilar Viveros, J.C., Reyes Trujeque, J., Galván Martínez, R. y Orozco Cruz, R. "Electrochemical Analysis of a SiO<sub>2</sub> Film on Alternative Rust Converter to Preserve Ferrous Alloys in Historical Heritage". ECS Transactions. 2019, vol. 94, núm. 1.

Barrio, J., Cano, E., Arroyo, M., Pardo, A.I., y Chamón, J. "Investigación sobre el proceso de estabilización y limpieza por reducción potencioestática de un plomo epigráfico romano". Investigación en conservación y restauración: II Congreso del Grupo Español del IIC. 2005.

Cano, E., Lafuente, D. y Bastidas, D.M. "Use of EIS for the evaluation of the protective properties of coatings for metallic cultural heritage". Journal of Solid State Electrochemistry. 2010, vol. 14.

Dillmann, P., Beranger, G., Picardo, P. y Matthiesen, H. (2007). Corrosion of metallic heritage artefacts: investigation, conservation and prediction for long-term behaviour: European Federation of Corrosion Publications. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.

Doménech Carbó, A., Doménech Carbó, M.T., Las-tras Pérez, M. y Herrero Cortell, M. "Detection of archaeological forgeries of Iberian lead plates using nanoelectrochemical techniques. The lot of fake plates from Bugarra (Spain)". Forensic Science International. 2015, vol. 247.

Gallaga, E., Trujillo, J. y Andrić, B. "Archaeological Attractions Marketing: Some Current Thoughts on Heritage Tourism in Mexico". Heritage. 2022, vol. 5, núm. 1.



Jia, M., Hu, P. y Hu, G. "An easy-to-assemble probe for in situ corrosion testing of archeological metal". *Electrochemistry Communications*. 2023, vol. 147.

Kano, K., Hagiwara, S., Igarashi, T. y Otani, M. "Study on the free corrosion potential at an interface between an Al electrode and acidic aqueous NaCl solution through density functional theory combined with the reference interaction site model". *Electrochimica Acta*. 2021, vol. 377.

Letardi, P., Beccaria, A., Marabelli, M. y D'Ercoli, G. "Application of electrochemical impedance measurements as a tool for the characterization of the conservation and protection state of bronze works of art". *Metal*. 1998, vol. 98.

Orozco Cruz, R., Ambros Peralta, M., Galván Martínez, R. y Reyes Trujeque, J. "Corrosion Evaluation of Rust Converter and Microcrystalline Wax on Cannon Balls from San Juan de Ulua Fortress". *Materials Research Society*. 2014, vol. 1618.

Raichev, R., Veleva, L. y Valdez, B. (2009). *Corrosión de metales y degradación de materiales*. Mérida, Yucatán-México: CINVESTAV.

Ramírez Cano, J.A. y Veleva, L. "Direct measurement of the adsorption kinetics of 2-Mercaptobenzothiazole on a microcrystalline copper surface". *Revista de Metalurgia*. 2015, vol. 52.

Veneranda, M., Constantini, I., Aramendia, J., Prieto, N., García, L., García, I., Castro, K., Azkarate, A. y Madariaga, J.M. "Comparación y optimización de tratamientos de dechloruración más utilizados en el campo de conservación de hierros arqueológicos". *Actas del II Congreso de Conservación y Restauración del Patrimonio Metálico*. 2015.



# Un enfoque metalúrgico y electroquímico para el estudio de los metales históricos

Jorge González Sánchez, Luis Dzib Pérez, Ildefonso Esteban Pech Pech

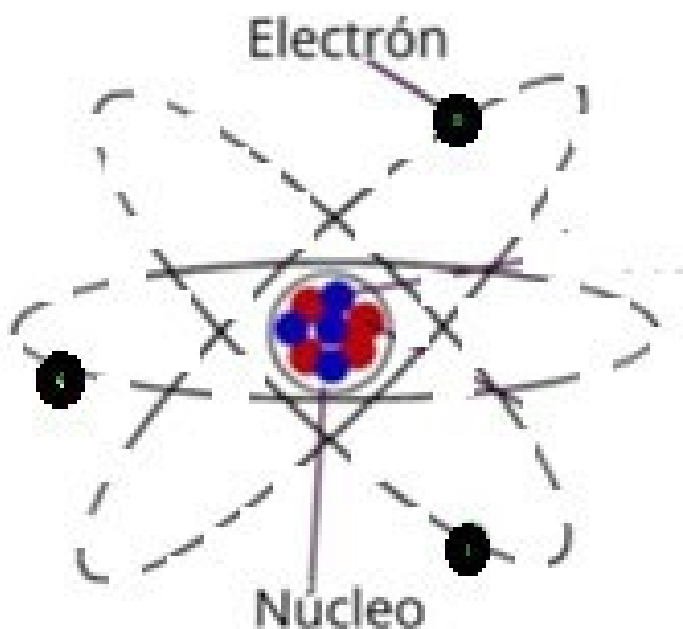



Figura 1.. Representación esquemática del átomo.

El estado de deterioro y la preservación de piezas metálicas con valor histórico-artístico está íntimamente relacionado con la estructura del metal a nivel microscópico y con el medio al que está expuesto. Las propiedades químicas, físicas y mecánicas del metal están determinadas por la forma en que los átomos del metal se encuentran acomodados espacialmente (su microestructura). El fenómeno de corrosión se debe abordar atendiendo los aspectos metalúrgicos y electroquí-

micos del proceso para la preservación y conservación de piezas metálicas con valor arqueológico. Este artículo presenta una explicación básica sobre los fundamentos de la metalurgia física para entender la relación de las características metalúrgicas de las aleaciones con su resistencia a la degradación por corrosión. Es decir, para entender y controlar el proceso de degradación de metales y aleaciones por corrosión debemos primero conocer la estructura de los metales y la relación que tiene con sus propiedades. Se presenta también una introducción a la electroquímica de la corrosión para un entendimiento a nivel técnico de los procesos de degradación por corrosión de los metales.

Partiremos del modelo atómico que considera que el átomo está constituido por un núcleo en el que se encuentran protones y neutrones, rodeado por electrones que se mueven en orbitales de energía que los mantienen siempre atraídos al núcleo como se esquematiza en la figura uno. Consideremos que de forma idealizada los átomos metálicos se comportan como esferas perfectas y sólidas [1-



2]. Los electrones de valencia de los átomos metálicos forman lo que se conoce como nube electrónica y se mueven libremente alrededor de los átomos (cationes) metálicos, formando una nube de electrones en todo el volumen del metal [1]. Los átomos en los metales están unidos por fuerzas asociadas a su tamaño y a la cantidad de electrones que orbitan al redor del núcleo del átomo con una característica muy interesante y que no es de conocimiento común: los átomos metálicos están acomodados en arreglos periódicos en distancias siempre constantes en las tres direcciones (x, y, z), que se repiten millones de veces, (arreglos de largo alcance), llamados celdas cristalinas.

Los metales y aleaciones tienen estructura cristalina a nivel nanómetros cuyos arreglos periódicos alcanzan dimensiones de micrómetros y cientos de miles de grupos de átomos acomodados en estructuras cristalinas creciendo en diferente dirección conforman al metal en dimensiones desde milímetros a metros [1,2].

El hecho de que los átomos de las aleaciones y los metales se encuentran acomodados tridimensionalmente en forma periódica es lo que les permite ser sometidos a deformación plástica sin romperse. Lo anterior es un proceso que no se puede realizar en materiales poliméricos, cerámicos o compuestos de matriz cerámica. El hecho que la mayoría de los metales se puedan deformar sin romperse es posible por el fenómeno de deslizamiento de planos de átomos unos sobre otros. Para visualizar esto veamos las formas de acomodo de los átomos en las aleaciones metálicas en las celdas cristalinas, como se muestra en la figura dos.

La naturaleza ha determinado que hay planos y direcciones preferenciales en las cuales se presenta el deslizamiento cuando se aplica esfuerzo a un metal y se produce su deformación plástica. Tal es el caso de piezas de oro y plata hechas con láminas muy delgadas producidas por golpeteo de una pieza que se adelgaza al deformarse plástica-



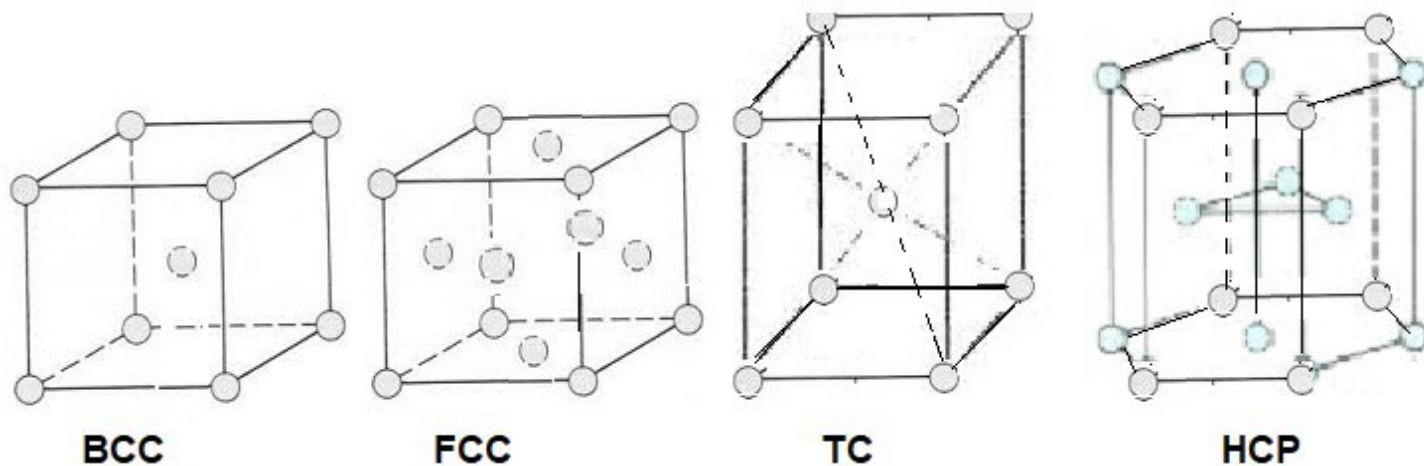


Figura 2. Geometrías de las celdas cristalinas. BCC (Cúbica centrada en el cuerpo), FCC (Cúbica centrada en las caras), TC (tetragonal centrada en el cuerpo) y HCP (Hexagonal compacta).



Figura 3. Cañones de hierro colado (fundición de hierro) y campana de bronce.

mente. También existen piezas metálicas cuya forma final es producto del proceso de fundición y solidificación, como los cañones de fundición de hierro y campanas de bronce como las que se presentan en la figura tres.

Una campana de bronce o unos cañones de hierro colado no pueden deformarse plásticamente debido a su composición química y su mi-

croestructura; en lugar de deformarse cuando se aplica una carga, se fracturan en dos o más partes. Así mismo, la resistencia a la corrosión de todos los metales depende de su microestructura y de su composición química [2]. Las imágenes en la figura cuatro, corresponden a las metalografías realizadas en la superficie de un cañón de fundición de hierro y la de un cepo de un ancla tipo almirantazgo fabricadas con

hierro forjado. Mismo metal base, el Fe, pero con diferente concentración de carbono como elemento de aleación [3,4].

Obsérvese la diferencia en la microestructura del hierro fundido y la del hierro forjado, el primero contiene una gran cantidad de carbono, el cual, durante la solidificación de la aleación, no puede solubilizarse en el Fe y se precipita formando carburo de hierro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) en forma de láminas delgadas intercaladas por láminas de hierro alfa o ferrita ( $\text{Fe-}\alpha$ ) el cual contiene una despreciable concentración de C. La microestructura de la fundición de hierro consiste en una fase continua de  $\text{Fe-}\alpha$  con zonas de laminas intercaladas de  $\text{Fe}_3\text{C}$  y  $\text{Fe-}\alpha$  (fase llamada Perlita) y hojuelas de grafito que no logró transformarse en  $\text{Fe}_3\text{C}$  [1-2].

La presencia de  $\text{Fe}_3\text{C}$  hace a estas aleaciones en general muy duras, poco dúctiles en comparación con los aceros o con el hierro forjado. Las piezas de fundición de hierro se obtienen por colado de metal líquido en moldes de arena con diferentes velocidades de enfriamiento. Por su parte el hierro forjado presenta una sola fase de  $\text{Fe-}\alpha$  con límites de granos equiaxiados (de si-

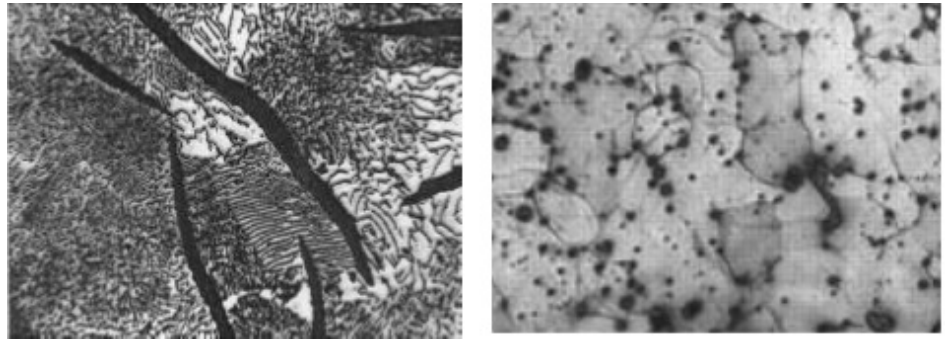


Figura 4. Metalografía superior es de la fundición de hierro, izquierda (aleación de Fe con más de 2% en peso de C), la micrografía de la derecha es de hierro forjado (aleación de Fe con menos de 0.08% en peso de C) [3,4].

milar magnitud en los 3 ejes) bien definidos y una gran cantidad de inclusiones no metálicas. El hierro forjado se puede moldear por golpeo o por prensado elevando su temperatura muy por debajo de su temperatura de fusión, por eso se pueden lograr formas complicadas de piezas de hierro forjado.

Por otra parte, la mayoría de los metales se encuentran en la naturaleza en forma de minerales y el ser humano, aplicando grandes cantidades de energía, extrae los metales de los minerales y los transforma en materiales para uso en ámbitos comunes y tecnológicos. Por lo tanto, la corrosión es un proceso espontáneo de regresión de los metales a su estado natural de menor energía para reaccionar, la cual es en forma de compuestos o minerales [5]. El proceso de corrosión involucra que se lleven a cabo simultáneamente 2 reacciones electroquímicas, una de oxidación (el metal pierde sus electrones de valencia) y pasa a forma iónica en solución para después convertirse en compuesto al reaccionar con otros elementos no metálicos, y otra reacción en la que participan los electrones liberados por el metal al oxidarse. Esta otra reacción es la de reducción o catódica [5]. Si una de las reacciones no se lleva a cabo, el proceso de corrosión no es posible.

En el caso de piezas metálicas con valor histórico-artístico, los materiales metálicos más usados en la antigüedad y a lo largo de la historia de la humanidad han sido el hierro y sus aleaciones, así como el bronce (aleación base cobre), por lo que la mayor parte



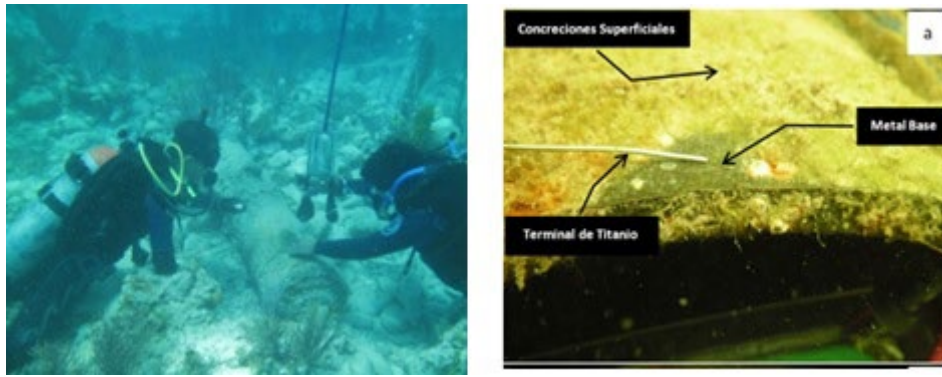


Figura 5. Actividades de arqueología subacuática con mediciones de la condición electroquímica de piezas sumergidas en el mar [7].

de las piezas metálicas que forman parte del patrimonio metálico de Campeche fueron fabricadas con estos metales. Se han estudiado piezas metálicas sumergidas en el mar como se muestra en la figura 5 [7]. Para estos estudios se requirió el apoyo de los arqueólogos subacuáticos del INAH, utilizando equipo especial para la evaluación in situ, del estado de deterioro y velocidad de corrosión de las piezas metálicas.

Para piezas del patrimonio metálico que normalmente se encuentran expuestas al aire libre o en recintos cerrados, pero sin control de la humedad, es fundamental establecer el grado de corrosividad de la atmósfera circundante y la concentración de contaminantes atmosféricos como el  $\text{Cl}^-$  y el  $\text{SO}_2$ . En esta base, el parámetro atmosférico más importante que incide directamente con el proceso de corrosión es la humedad, el cual, es el origen del electrolito necesario en el proceso electroquímico. A espesores pequeños de la capa de humedad la corrosión es muy difícil, y obviamente, en ausencia total de humedad, la corrosión no se presenta [8,9]. De lo anterior queda claro la importancia del conocimiento de las causas y los factores que influyen en la formación de películas de humedad sobre la superficie metálica. La causa más importante es la precipitación de agua (en forma de lluvia o niebla). La condensación de humedad se presenta cuando la humedad relativa en la atmósfera sobrepasa el 100% [8,9].

## Referencias

Arano D., (2008). Conservación de cañones de fundición de hierro del periodo colonial, que forman parte del patrimonio cultural de San Francisco de Campeche, Universidad Autónoma de Campeche.

Bernés F. R., (2008). Preservation of iron-based archaeological artefacts exposed to tropical-humid atmosphere at: Transworld Research Network 37/661.

Callister, W. C., (2001). Fundamentals of Materials Science and Engineering. United States of America. John Wiley & Sons, Inc.

Commission of the European Communities, The characterization of corrosion test sites in the Community, (1998). EUR 7433 (EN), Luxemburgo.

Dzib L. González- J., León A., Espínola P. Laines F. Manual de técnicas electroquímicas aplicadas al estudio de la corrosión de materiales metálicos en el fondo marino, (2013). Universidad Autónoma de Campeche.

Genescá J, Ávila J. (1987). Más allá de la herrumbre, vol. 1. México. La ciencia desde México, Fondo de Cultura Económica.

R. E. Reed-Hill, R. Abbaschian, (1994), Physical Metallurgy Principles. Boston, MA PWS Publishing Company.

Salazar J.P. Mapas de España de Corrosividad Atmosférica. (1993) Capítulo 10. Editores: M. Morcillo y S. Feliu. CYTED Madrid.

Urbani, G. The Science and Art of Conservation of Cultural Property. (1996). En N.S. Price, M.K. Talley Jr. and A.M Vaccaro (eds), Historical and Philosophical Issues in the Conservation of Cultural Heritage, The Getty Conservation Institute. USA.



# La nanotecnología en la conservación del patrimonio cultural subacuático

Ildefonso Esteban Pech Pech, Yolanda Espinosa Morales

La protección y conservación el patrimonio cultural sumergido, es uno de los objetivos de la arqueología subacuática. En las profundidades de los vastas aguas subterráneas y oceánicas, se encuentra evidencia del desarrollo tecnológico, social y cultural que las diferentes civilizaciones han tenido con el transcurso de los años. Las piezas que aun se encuentran escondidas en la inmensidad de las aguas resguardan información que pueden contribuir a entender y complementar la historia actual de la humanidad (Fig. 1).



*Figura 1. Restos del buque de vapor Lola considerado patrimonio cultural subacuático ubicado en las costas de Campeche.*



El patrimonio subacuático enfrenta dos principales amenazas; la primera de ellas, se relaciona con la actividad humana; en ese sentido, la búsqueda de los tesoros escondidos en las profundidades de los océanos, cenotes, lagos y lagunas ha llevado al saqueo de yacimientos arqueológicos subacuáticos. La segunda amenaza que sufre el patrimonio subacuático, se relaciona con las condiciones ambientales y el entorno en el que estas piezas se encuentran en contacto. En ese sentido, las condiciones de presión, temperatura, tipo y concentración de sales, especies biológicas y fuerza del flujo del agua, son algunos elementos ambientales que al interactuar con la pieza produce su modificación química y/o física, y consecuentemente su deterioro. El tipo de deterioro que sufrirá la pieza dependerá de su naturaleza química. Por otra parte, una vez que las piezas se recuperan de las aguas profundas, los procesos de deterioro continuarán por efecto de la humedad; es decir, por efecto de la presencia de agua en forma de vapor presente en el ambiente, así como por efecto de los iones y/o partículas presentes en el aire. Por lo tanto, una vez recuperada la pieza, el trabajo para conservarla toma una relevancia sumamente importante. La nanotecnología es un área de investigación relacionada al diseño y producción controlada de nuevos materiales con dimensiones menores a los 100 nanómetros (Fig. 2).

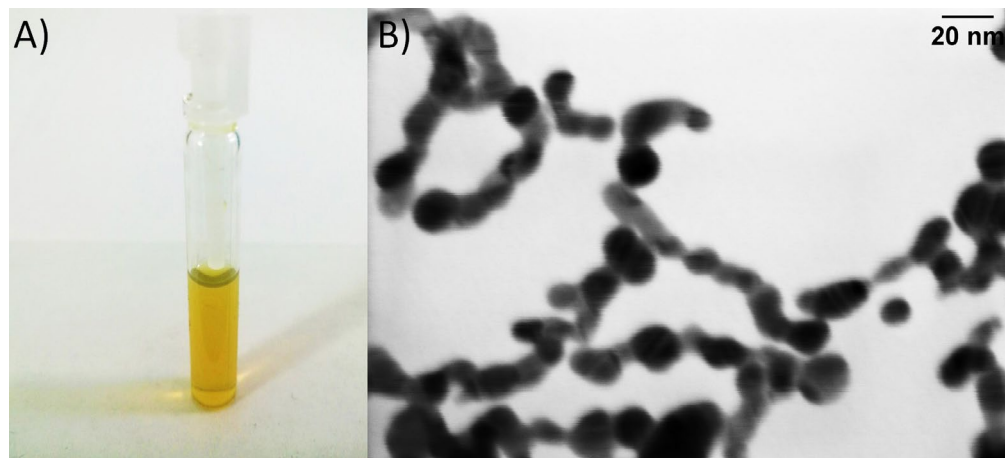


Figura 2. A) Solución de nanopartículas de plata obtenidas mediante reducción química. B) Micrografía obtenida mediante microscopía electrónica de barrido de emisión de campo de las nanopartículas de plata con dimensiones alrededor de los 20nm.

A esas dimensiones extremadamente pequeñas, las propiedades físico-químicas de los materiales suelen ser mejoradas respecto a los materiales tradicionales. Como consecuencia de lo anterior, actualmente existe un auge importante en el desarrollo y aplicación de nuevos materiales nanotecnológicos con la finalidad de detener la degradación de la pieza e incluso para revertir el estado de deterioro de la pieza e intentar regresarla a las condiciones que inicialmente tenía (Baglioni, 2006: 293-303).



Por ejemplo, es muy común encontrar piezas metálicas en ambientes subacuáticos con múltiples y elevados signos de deterioro asociada a la corrosión que ha sufrido. Debemos recordar que la corrosión es un término asociado al proceso de pérdida de material como resultado de la oxidación que sufre la pieza al interactuar con el agua y sus sales. En ese sentido, un recubrimiento de silano de espesores nanométricos recubierta de cera se ha propuesto como alternativa para mejorar la resistencia a la corrosión de artefactos arqueológicos de base hierro recuperados en naufragios (Ashkenazi, 2017: 88-102). La formación de óxidos también suele estar presente en piezas metálicas de origen subacuático (Fig. 3A).

Estos óxidos pueden tener diferentes formas o morfologías; las diferencias morfológicas que adoptan los óxidos que van creciendo sobre la superficie del metal solo son visibles dentro de la escala microscópica (Fig. 3B y 3C). Además, los óxi-

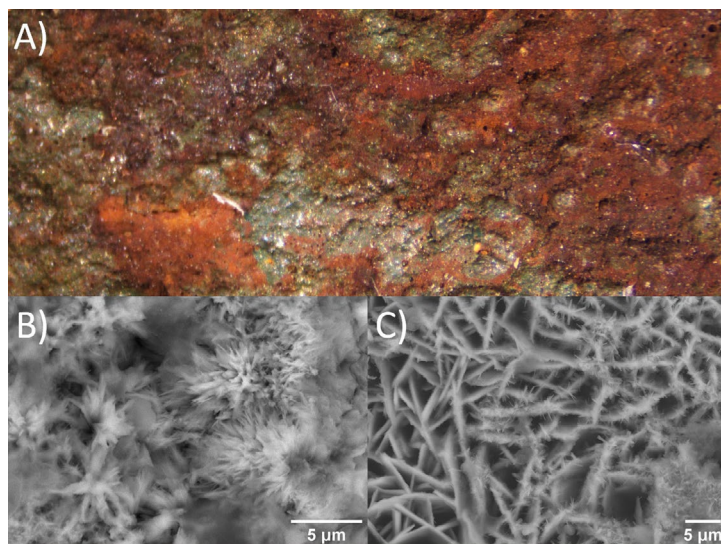


Figura 3. A) Imagen obtenida por microscopía óptica donde se observa la presencia de óxidos con diferentes coloraciones, que crecieron sobre una pieza metálica recuperada en las costas de la localidad de Lerma en el estado de Campeche. B) y C) Micrografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido, donde es posible observar las diferencias morfológicas de los óxidos microscópicos de la pieza metálica.

dos, al ser químicamente diferente a la pieza original, suele interactuar de manera diferente con los rayos de luz; consecuentemente, la percepción visual del color original también cambiará, afectando significativamente la estética de la pieza (Fig. 3A). Por lo tanto, el desarrollo de nanorecubrimientos puede ser una alternativa no solo para evitar la corrosión de la pieza, sino también para detener los cambios estéticos de color asociados al crecimiento de nuevos óxidos. Adicionalmente, otros cambios estéticos que suelen presentar las piezas metálicas recuperadas en ambientes subacuáticos, son los asociados al crecimiento de biopelículas o biocostras; es decir, productos de degradación biológica que se generan debido a la interacción de microorganismos o bacterias con la superficie del metal o sus óxidos (Fig 4). En ese sentido, las nanopartículas de plata (Fig. 2) es uno de los nanomateriales que ha generado mayor interés para utilizarlo en la prevención o tratamiento de la colonización microbiana en los materiales de patrimonio cultural (Franco Castillo, 2021: 629-669) (Ganguli, 2021: 3769-3777); sin embargo, estudios sobre su uso de este y otro tipo de nanomateriales para la prevención y tratamiento de diferentes microorganismos y bacterias en patrimonio cultural subacuático es aún limitado.

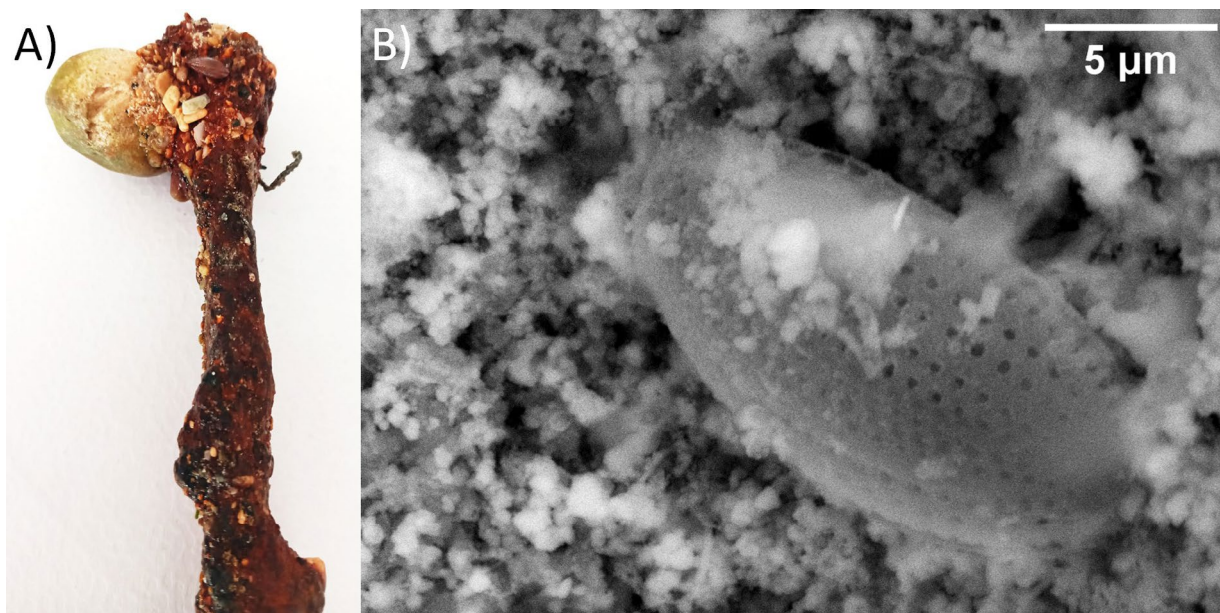


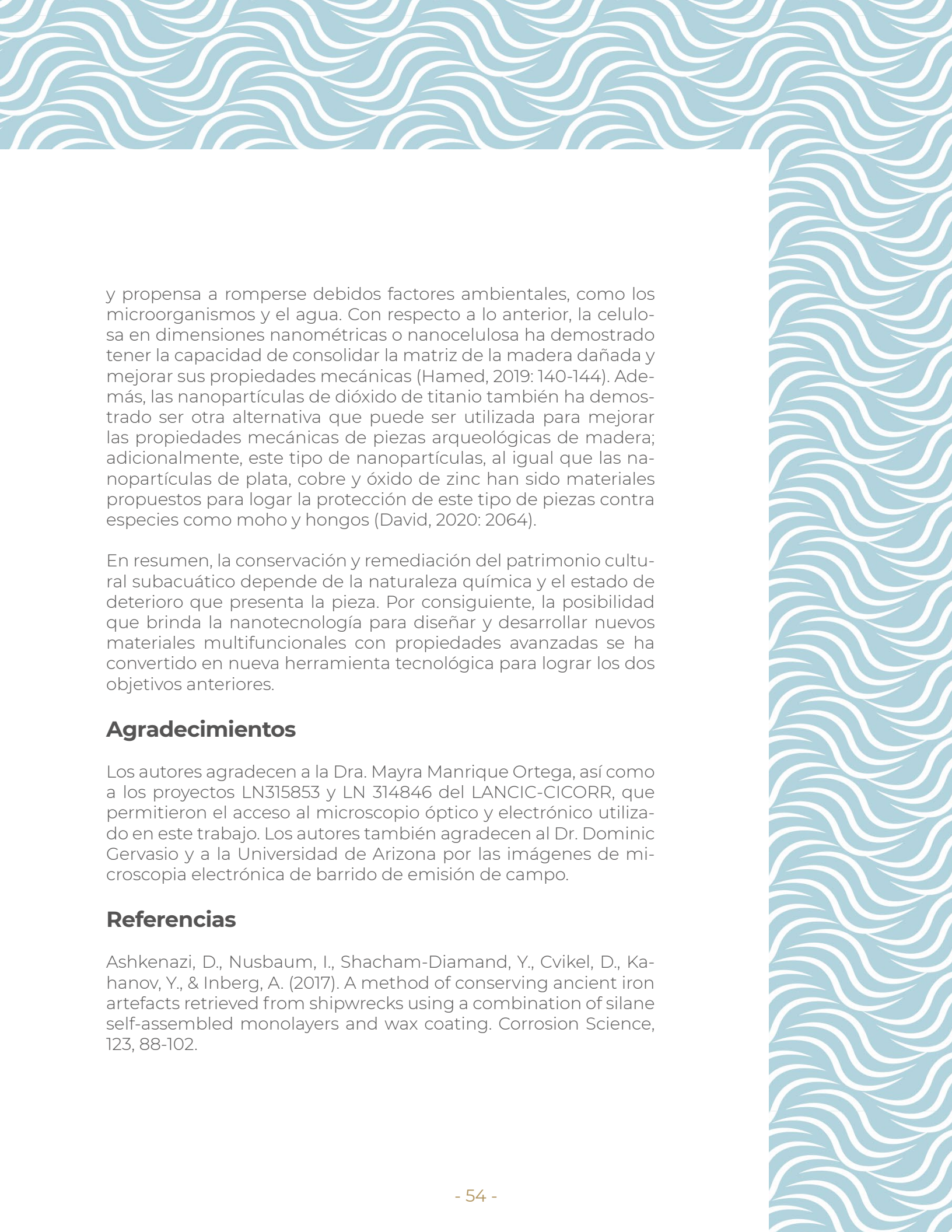
Figura 4. A) Imagen digital donde se puede observar el crecimiento concreciones biológicas o biocostras depositadas sobre una pieza metálica recuperada en las costas de la localidad de Lerma en el estado de Campeche. B) Micrografía de alta magnificación obtenida mediante microscopía electrónica de barrido de una sección de la biocostra.

Los vidrios también suelen encontrarse como parte de materiales arqueológicos subacuáticos. Este tipo de materiales suelen presentar concreciones biológicas y signos de erosión asociada al agua que fluye sobre su superficie. Además, los vidrios arqueológicos subacuáticos pueden presentar un deterioro de su estructura interna debido a incrementos en el pH cuando interactúan con el agua y sus sales, el cual propicia la degradación del vidrio y consecuentemente favorece la formación de poros superficiales (Fig. 5). En ese sentido, la adición de nanopartículas de silicio y aluminio han demostrado aumentar la dureza del vidrio; además, este tipo de nanopartículas demostraron tener la capacidad de formar una capa protectora que reduce la interacción de la superficie del vidrio con el agua (Eloriby, 2022: 67-78).

Otro tipo de material que suele estar presente como patrimonio cultural sumergido son las piezas de madera, tal como las de tipo roble y pino.

Este tipo de materiales suele presentar problemas de degradación por acidificación debido a la acción metabólica de bacterias; las cuales, producen ácido sulfúrico y propician el deterioro de la madera. Las nanopartículas de hidróxido de magnesio como las nanopartículas de hidróxido de calcio han demostrado actuar como reservorios alcalinos; las cuales, una vez adheridas a este tipo de maderas, son capaces de neutralizar su acidez y consecuentemente reducir su deterioro a través de la liberación de iones hidroxilos (Giorgi, 2006: 567-571) (Bagliolini, 2021: 3967). Por otra parte, la madera se hace más frágil





y propensa a romperse debidos factores ambientales, como los microorganismos y el agua. Con respecto a lo anterior, la celulosa en dimensiones nanométricas o nanocelulosa ha demostrado tener la capacidad de consolidar la matriz de la madera dañada y mejorar sus propiedades mecánicas (Hamed, 2019: 140-144). Además, las nanopartículas de dióxido de titanio también ha demostrado ser otra alternativa que puede ser utilizada para mejorar las propiedades mecánicas de piezas arqueológicas de madera; adicionalmente, este tipo de nanopartículas, al igual que las nanopartículas de plata, cobre y óxido de zinc han sido materiales propuestos para lograr la protección de este tipo de piezas contra especies como moho y hongos (David, 2020: 2064).

En resumen, la conservación y remediación del patrimonio cultural subacuático depende de la naturaleza química y el estado de deterioro que presenta la pieza. Por consiguiente, la posibilidad que brinda la nanotecnología para diseñar y desarrollar nuevos materiales multifuncionales con propiedades avanzadas se ha convertido en nueva herramienta tecnológica para lograr los dos objetivos anteriores.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Dra. Mayra Manrique Ortega, así como a los proyectos LN315853 y LN 314846 del LANCIC-CICORR, que permitieron el acceso al microscopio óptico y electrónico utilizado en este trabajo. Los autores también agradecen al Dr. Dominic Gervasio y a la Universidad de Arizona por las imágenes de microscopía electrónica de barrido de emisión de campo.

## **Referencias**

Ashkenazi, D., Nusbaum, I., Shacham-Diamand, Y., Cvikel, D., Kahanov, Y., & Inberg, A. (2017). A method of conserving ancient iron artefacts retrieved from shipwrecks using a combination of silane self-assembled monolayers and wax coating. *Corrosion Science*, 123, 88-102.

Baglioni, M., Poggi, G., Chelazzi, D., & Baglioni, P. (2021). Advanced materials in cultural heritage conservation. *Molecules*, 26(13), 3967.

Baglioni, P., & Giorgi, R. (2006). Soft and hard nanomaterials for restoration and conservation of cultural heritage. *Soft matter*, 2(4), 293-303.

David, M. E., Ion, R. M., Grigorescu, R. M., Iancu, L., & Andrei, E. R. (2020). Nanomaterials used in conservation and restoration of cultural heritage: An up-to-date overview. *Materials*, 13(9), 2064.

Eloriby, R. A., Mohamed, W. S., & Alkaradawi, A. S. (2022). Evaluation of the impact of silica and alumina nanocomposites in consolidation and protection of corroded glass from early Islamic period in Egypt: an multiscientific experimental and analytical study. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 22(1), 67-78.

Franco-Castillo, I., Hierro, L., Jesús, M., Seral-Ascaso, A., & Mitchell, S. G. (2021). Perspectives for antimicrobial nanomaterials in cultural heritage conservation. *Chem*, 7(3), 629-669.

Ganguli, P., & Chaudhuri, S. (2021). Nanomaterials in antimicrobial paints and coatings to prevent biodegradation of man-made surfaces: A review. *Materials Today: Proceedings*, 45, 3769-3777.

Giorgi, R., Chelazzi, D., & Baglioni, P. (2006). Conservation of acid waterlogged shipwrecks: nanotechnologies for de-acidification. *Applied Physics A*, 83, 567-571.

Hamed, S. A. A. K. M., & Hassan, M. L. (2019). A new mixture of hydroxypropyl cellulose and nanocellulose for wood consolidation. *Journal of Cultural Heritage*, 35, 140-144.



# El tiempo de las portadas jeroglíficas en la región del Puuc

Antonio Benavides C., Sara Novelo O., Carlos Pallán G.

A lo largo de los periodos Clásico Tardío (600-800 d.C.) y Clásico Terminal (800-1000), en el occidente de la península de Yucatán prosperaron varias entidades políticas cuyo control de población y acumulación de recursos materiales hoy pueden verse en forma de construcciones monumentales.

Ese patrimonio arquitectónico es visto como un importante legado cultural, en general reconocido como perteneciente a una tradición constructiva llamada Puuc, pero cuyo estudio ha permitido diferenciar un desarrollo a través del tiempo. Los varios momentos distintivos de la arquitectura Puuc corresponden con avances tecnológicos plasmados en el tamaño y corte de los bloques usados en la construcción, así como en los mayores espacios y en las diferentes formas logradas.

La elaboración de sillares burdos y pequeños, los gruesos aplanados de estuco, las bóvedas con lajas en saledizo y los espacios interiores reducidos (entre otros rasgos) fueron transformados a través del tiempo para dar paso a grandes bloques finamente tallados, repellos delgados, muros y bóvedas recubiertos de sillares con espiga y anclados en la mampostería, logrando así mayores superficies techadas. En un principio la decoración exterior del friso se hacía con múltiples aplicaciones de estuco modelado; después observamos intrincados mosaicos de sillares bien cortados para formar mascarones o patrones simbólicos específicos.

El estudio de la arquitectura Puuc ha permitido definir tentativamente varios momentos de su evolución en base al desarrollo tecnológico. En general, se han diferenciado cinco fases conocidas como Proto-Puuc (600-650 d.C.), Puuc Temprano (650-750), Puuc Junquillo (750-850), Puuc Mosaico (800-900) y Puuc Tardío (900-1050) (Cfr. Pollock 1980; Andrews 1986, 1995);

ésta última definida en especial para los sitios de Uxmal y Kulubá.

En muchos casos, a la par de la arquitectura monumental los constructores generaron elementos escultóricos, pictóricos y epigráficos que hoy permiten entender mejor diversos aspectos de la organización social, de la iconografía, del ámbito militar y de la religión maya, entre otros tópicos. En esta ocasión, abordaremos el caso específico de las entradas cuyos bloques de jambas y dinteles fueron tallados con numerales y glifos.

Las portadas jeroglíficas hasta ahora reportadas en la región del Puuc (Figura 1) pertenecen a las zonas arqueológicas siguientes: Hwasil, Sayil, Sisilá, Xcalumkín (5 casos), Xcochá y Xcochxax. Nos interesa presentar sus fechas y lo que parecen indicar sus textos, su marco temporal, las temáticas tratadas y las consideraciones finales derivadas de un análisis preliminar.

## Sayil

Este asentamiento se encuentra en el sur de Yucatán, prácticamente a 8 km al sur de Kabah y a 8 km al poniente de Labná. La estructura 3B1 de Sayil cuenta con seis habitaciones dispuestas por pares y está orientada al este. Para fines de la década de los 1930s habían colapsado las tres primeras habitaciones, dejando visibles las entradas a los aposentos interiores. En esa época Harry Pollock (1980: 113-115), de la Institución Carnegie de Washington, visitó el sitio y documentó la existencia de una portada jeroglífica en el acceso a la habitación noroeste (Figura 2). Su registro y análisis arquitectónico indican que primero fueron construidos los cuartos traseros y después aquellos que les fueron colocados delante. Aparentemente, el aposento central exterior contó con una entrada tripartita formada por columnas. El edificio no ha sido excavado o restaurado hasta la fecha.

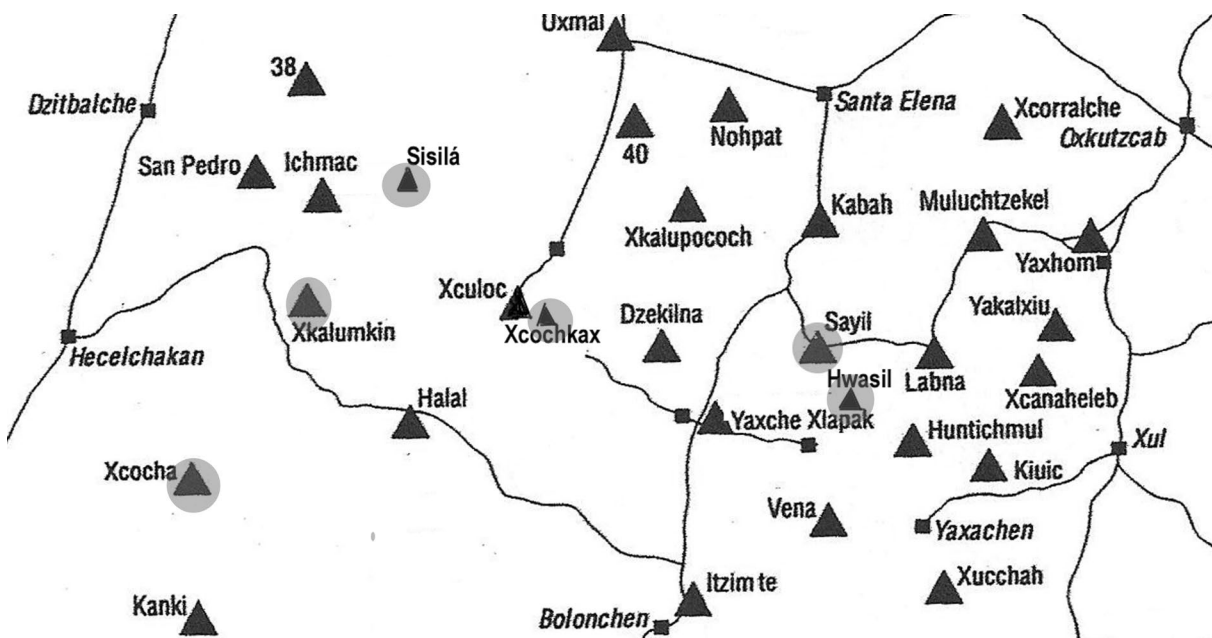


Figura 1. Ubicación de sitios en los que se han registrado portadas jeroglíficas.



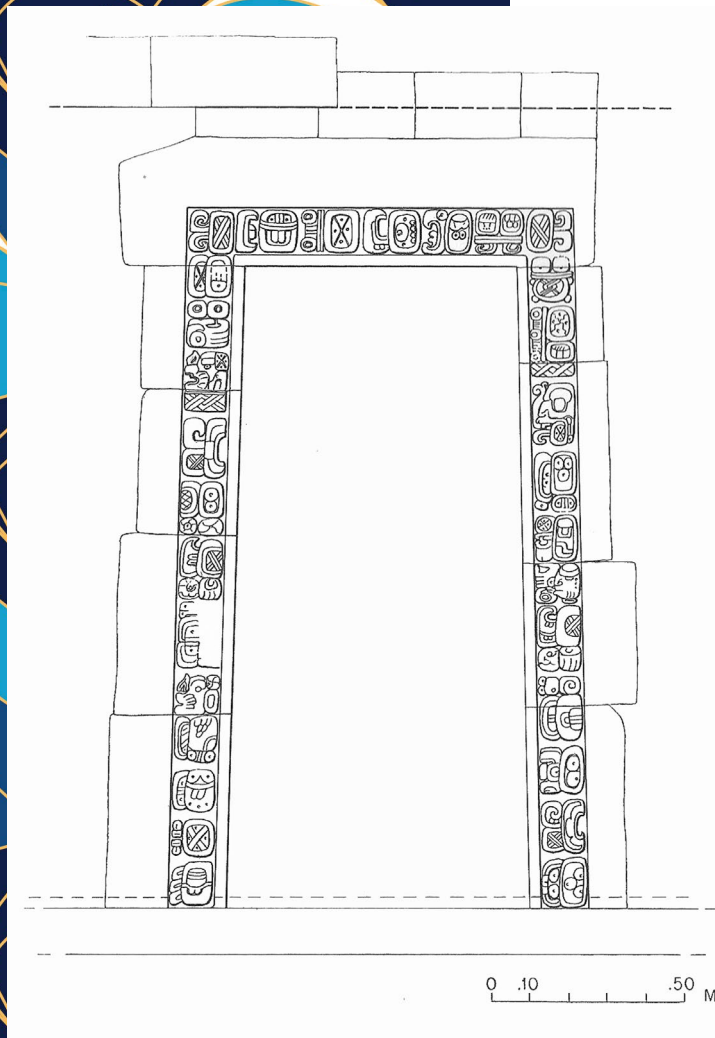


Figura 2. Portada jeroglífica de Sayil, Yuc. (Pollock 1980:115).

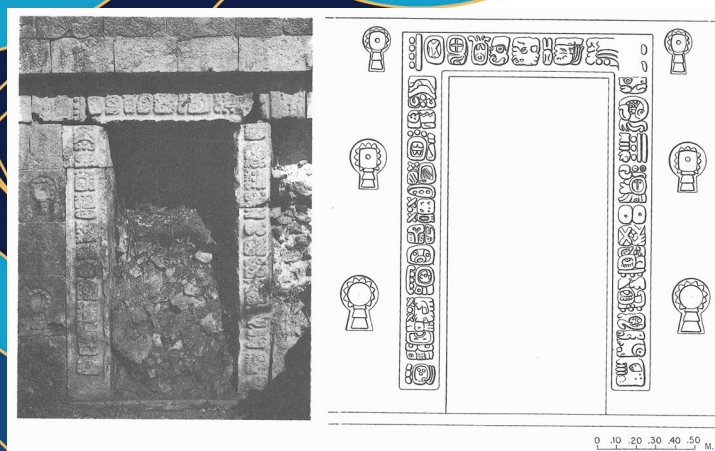


Figura 3. Portada jeroglífica de Sisilá, Campeche (Pollock 1980: 484).

La presencia de una portada jeroglífica, a la usanza de otros sitios de la región del Puuc, y que luego fue cubierta por otra habitación, sugiere que el edificio 3B1 cuenta con elementos del Puuc Temprano que luego fueron complementados con una adición de la fase Junquillo.

Si bien no existe una fecha asignada o tentativa para ese umbral con inscripción glífica, al menos contamos con otros textos de la misma ciudad derivados de los monolitos ahí erigidos. La estela 7 de Sayil lleva la fecha 10.1.13.0.0, 5 Ajaw 18 Mak, correspondiente al 19 de septiembre del año 862 de nuestra era. Avanzando en ese orden cronológico las estelas 3, 4, ambas, muestran la fecha del 30 de abril de 889; y la estela 6 consigna la fecha del 2 de octubre del año 928 (Cfr. Graña-Behrens 2002).

Lo anterior parece indicar que el texto de la portada glífica de Sayil pudo grabarse en algún momento de los siglos VII y VIII, de manera anterior a la manufactura de las estelas conocidas del sitio.

## Sisilá

Esta zona arqueológica se encuentra a unos 13 km (en línea recta) al noreste de Xcalumkín o bien la misma distancia al suroeste de Uxmal. La entrada decorada con glifos del Edificio 35 de Sisilá (Figura 3) fue reportada originalmente también por Pollock (1980: 484). Williams-Beck (1998) incluyó su registro como parte del recorrido y estudio zonal de una parte del norte de Campeche. Después, los glifos fueron analizados por De la Rosa y Martel

(2001) proponiendo un nuevo método de lectura, a nuestro juicio, poco convincente. De acuerdo con Daniel Graña-Behrens (2002) la lectura de los glifos de Sisilá contiene la fecha 9.16.4.10.18. 9 Etnab, 10 Muwan; equivalente en el calendario juliano, al 18 de noviembre del año 755 d.C.

Por lo que respecta al estilo arquitectónico y a la datación del Edificio 35 (Figura 4), debemos reconocer que su construcción no ocurrió en un solo momento. Es un inmueble erigido en varias fases. Las más tempranas parecen hallarse en el costado oriente, lado cubierto por gran cantidad de escombros y derrumbes. Si bien la fecha de mediados del siglo VIII proporcionada por la inscripción jeroglífica del aposento noroeste nos ubica temporalmente, también debemos decir que los dos aposentos inmediatamente al sur de ella presentan características que sugieren un fechamiento más temprano.

Es posible que la fecha inscrita del año 755 (propia de la fase Puuc Temprano) haya sido precedida por sectores construidos en la fase arquitectónica Proto-Puuc, que luego fueron amalgamados con espacios correspondientes a la fase Puuc Temprano (iniciada alrededor del 650 d.C.) y después acompañada por construcciones posteriores erigidas hasta mediados del siglo IX.

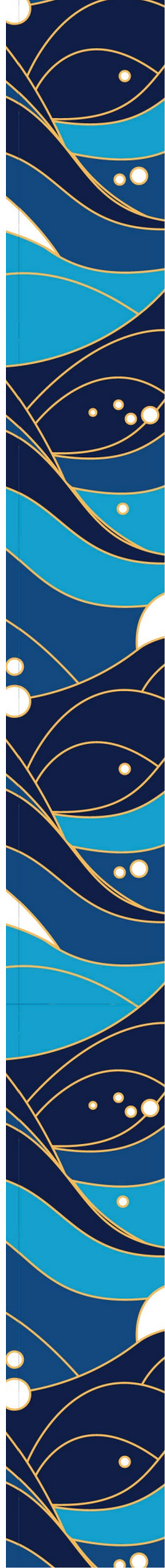
La fecha de mediados del siglo VIII corresponde, de manera general, con los elementos arquitectónicos registrados por nosotros en 2002 (cuando efectuamos la consolidación



Figura 4. Texto glífico de la portada del Edificio 35 de Sisilá. Dibujo de Daniel Graña-Behrens en Graña-Behrens (2002: 623, lámina 142)

de la portada jeroglífica) y mismos que lo ubican en la fase Puuc Temprano. La intervención en Sisilá fue realizada como parte del proyecto de Mantenimiento a Zonas Arqueológicas No Abiertas al Público (MANZANA) que desarrolla el Centro INAH Campeche (Benavides 2002, 2003).

Como nota complementaria debemos señalar que los seis elementos que flanquean a la portada jeroglífica de Sisilá son prácticamente iguales a piezas reportadas en otros sitios como Edzná, Xkichmook y Kabah, aparentemente en contextos del Clásico Terminal o inicios del periodo Posclásico. Al parecer, se trata de rodela o pequeños escudos circulares que denotan un aspecto bélico. Dichas rodela son llevadas por funcionarios importantes representados en diversos monumentos como Calakmul (Estela 31), Itzimté (estelas 3 y 5), Kankí (Dintel 1), Sayil (Estela 5), Tzum (estelas 3 y 6), Uxmal (Estela 7) y Xcalumkín (jambas 1, 4, 6 y 7).







## Xcalumkín

Este sitio del norte de Campeche se halla a 12 kilómetros al oriente de Hecelchakán. Los vestigios mayas fueron reportados originalmente por Teobert Maler (1997) y han sido estudiados por varios investigadores como Harry Pollock, Donald Forsyth, Pierre Becquelin, Dominique Michelet, Heber Ojeda y Vicente Suárez (Cfr. Benavides 2010).

En Xcalumkín se han encontrado cuando menos cinco portadas jeroglíficas; una en el Grupo de la Serie Inicial y las otras cuatro en el Grupo Jeroglífico (Pollock 1980: 418-449; Graham y Von Euw 1992; Grube 1994). Este último se encuentra a 400 metros al sur del Grupo de la Serie Inicial.

La portada del edificio norte del Grupo de la Serie Inicial (Figura 5) estuvo conformada por dos jambas, dos columnas, cuatro capiteles y tres dinteles. De esta forma había tres vanos de acceso. La columna 1 o poniente de ese inmueble registra una fecha correspondiente al 5 de diciembre de 740 (9. 15. 9. 7. 17. 8 Kabán 5 Pax) según Graña-Behrens (2002). En el Capitel 1 tiene otra fecha correspondiente al 10 de julio de 744. Cabe aquí agregar que la inscripción del muro interior de dicho aposento, precisamente la que da nombre al edificio, contiene otra fecha muy similar: 743 d.C. De esta forma, en ese aposento contamos con tres fechas de mediados del siglo VIII y mismas que corresponden a la fase arquitectónica Puuc temprano, a la que este edificio corresponde.

La portada del edificio Medio o Central del Grupo Jeroglífico (vano interior oriente) contó con 25 jeroglíficos (uno de ellos se ha perdido) distribuidos de modo que conforman una especie de serpiente con



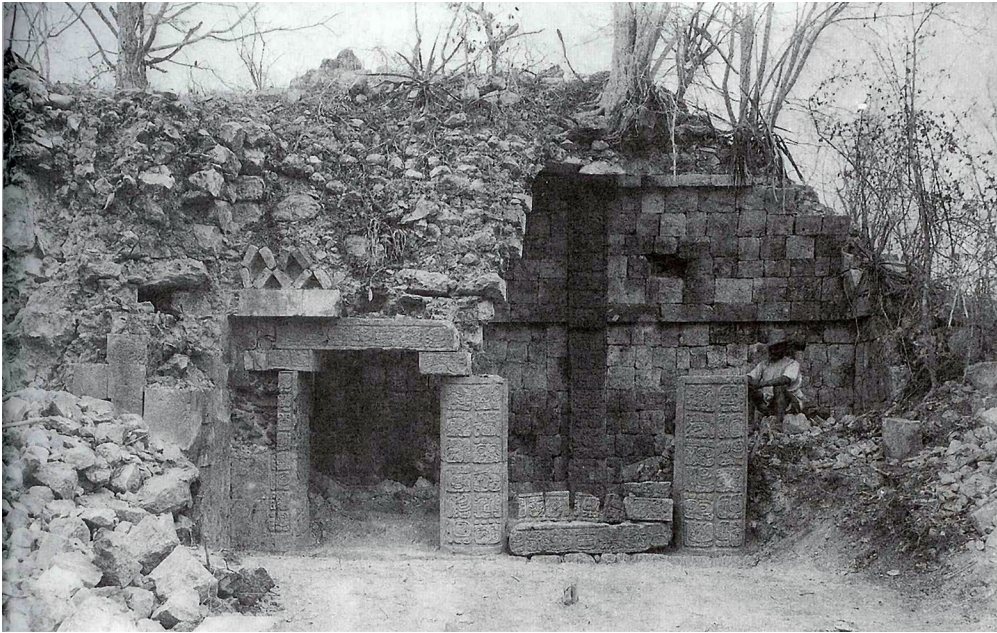
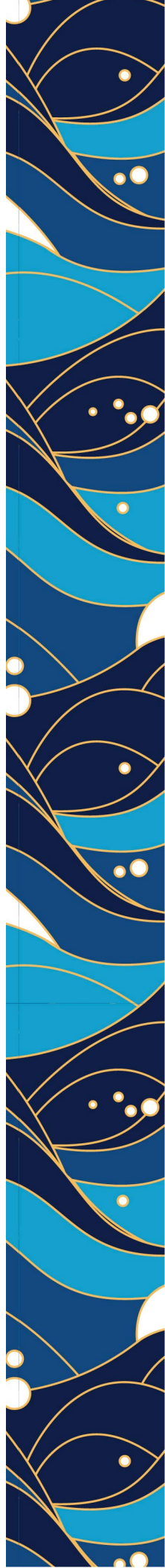


Figura 5. Edificio norte del Grupo de la Serie Inicial de Xcalumkín, Campeche (Imagen de Teobert Maler).

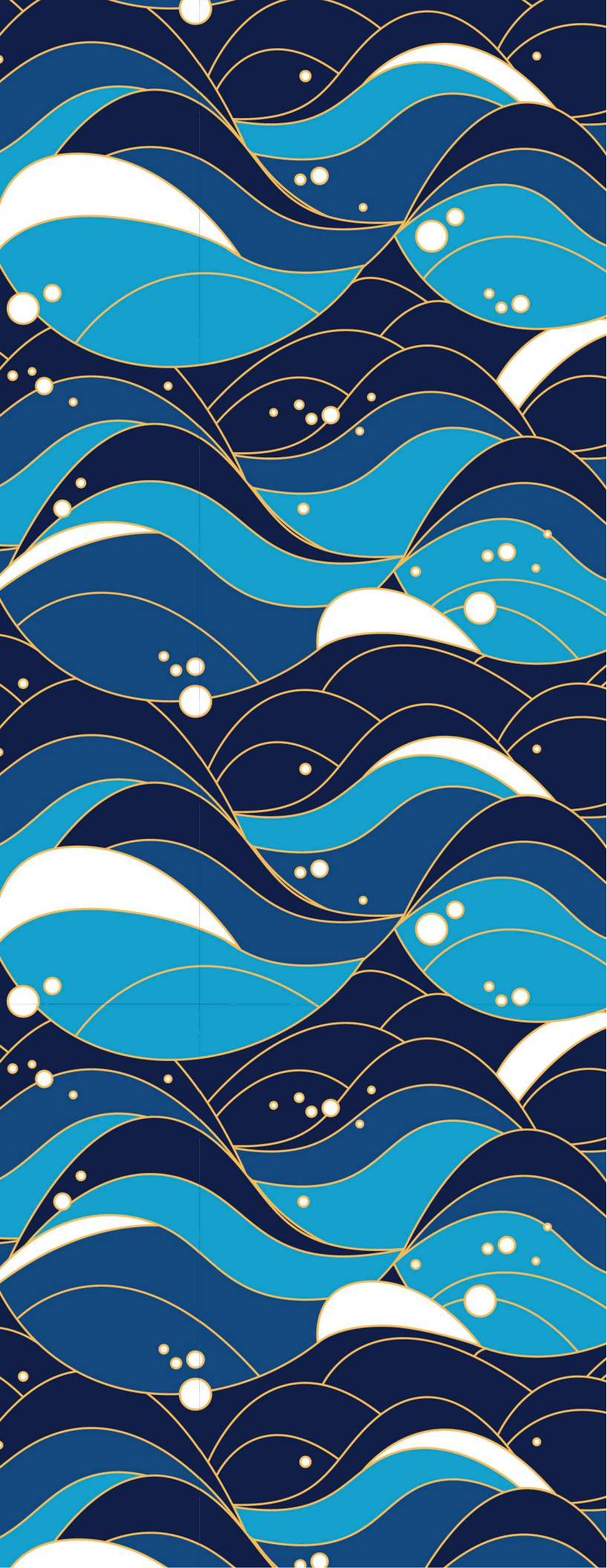


Figura 6. Portada jeroglífica del edificio central del Grupo Jeroglífico de Xcalumkín (Pollock 1980: 443).

cabeza en ambos extremos (Figura 6). Ha sido fechada por Graña-Behrens en una fecha mítica correspondiente al 14 de diciembre del año 9897. Sin embargo, dentro del texto aparece el nombre Kele'm B'atuun ("el joven/fuerte B'atuun"), así como una mención a Itzam Kohkaaj (el dios D, en su aspecto aviano), calificándolo como Ajk'in (sacerdote del calendario) y Ajtz'ihb' (escriba), entre otros títulos.







La tercera portada jeroglífica registrada en Xcalumkín se encontró en el edificio Sur del Grupo Jeroglífico. En este caso no solo mostraba glifos en las jambas y en el dintel; se complementaba con paneles y sus respectivas inscripciones insertos en ambos muros a los lados del vano. Precisamente, de uno de esos textos complementarios conocemos la fecha 7 de agosto del año 733 (9. 15. 2. 0. 0. 2 Tun 2 Ajaw) (Graña-Behrens 2002).

Nuevamente nos hallamos ante una construcción posiblemente manufacturada con sillares y técnicas correspondientes a la fase Puuc Temprano. Los paneles muestran al sajal (gobernante subordinado) llamado Kit Pa' y posiblemente a su hijo Kele'm B'atuun.

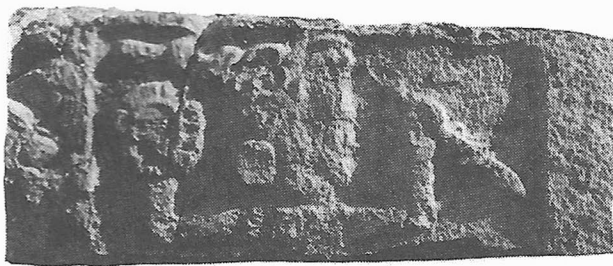
La cuarta portada jeroglífica registrada en Xcalumkín también se reportó en el Grupo Jeroglífico, justo delante de la portada anterior y estuvo formada por dos columnas (denominadas 5 y 6) que soportaban un dintel (Dintel 2) cuyo texto se hallaba en el plano inferior. El dintel lleva la fecha 2 de septiembre de 728 (Pollock 1980: 444-445; Graham y Von Euw 1992, si bien estos autores se confunden y hablan de una columna 7 que no ilustran). De esta forma, las portadas tres y cuatro de Xcalumkín fueron colocadas en el mismo edificio de modo que quien entraba seguía un orden cronológico, por así decirlo. Estas habitaciones también parecen haber correspondido a la fase Puuc Temprano.

La quinta portada jeroglífica de Xcalumkín se encontraba también en el edificio Sur del Grupo Jeroglífico, a pocos metros al oriente de la portada antes comentada. Estuvo formada por el Dintel 4 y las Jambas 8 y 9 (Graham y Von Euw 1992). Sin embargo, no se han efectuado mayores investigaciones y

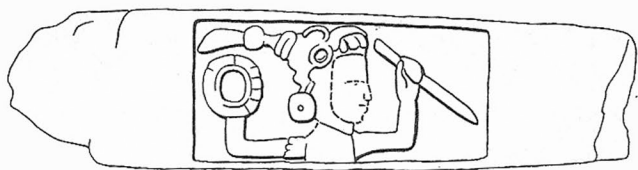


a

0 .10 .20 .30 M.



b



0 .10 .20 .30 M.

de ella sólo conocemos cuatro imágenes: el dintel, su grabado inferior con una escena de dos personajes y dos fragmentos de las jambas. Todos estos elementos cuentan con glifos, aunque, aparentemente, ninguno permite calcular una fecha. Hoy sabemos que el Dintel 4, antes reportado como perdido, se encuentra fragmentado en el poblado de Cumpich, localidad cercana a Xcalumkín.

## Xcochá

La zona arqueológica de Xcochá se localiza a unos 12 kilómetros al sureste de Pomuch, o bien a la misma distancia al oriente de Tenabo, en el norte de Campeche. Cuenta con varios grupos arquitectónicos, aunque desafortunadamente ha sufrido severos saqueos. Pollock (1980: 514) reportó varios fragmentos de jambas procedentes de un edificio colapsado (Figura 7), así como una escena al frente de un dintel cercano. Graña Behrens calculó la fecha de los elementos de esa portada en 9. 14. 5. 0. 0. 5, Tun 4 Ajaw, es decir, el 4 de noviembre de 716 d.C.

El dintel muestra la cabeza de un personaje que porta una especie de yelmo, la parte superior del torso y ambos brazos levantados, con una rodela en la mano derecha y un objeto alargado (posible lanza) en la otra mano.

## Xcochkax

Este sitio se localiza a sólo dos kilómetros al sureste de Xculoc, sobre elevaciones naturales del terreno. También fue reportado en primera instancia por Pollock (1980: 386-397),

Figura 7. Fragmentos de la portada jeroglífica de Xcochá, Campeche, reportada por Pollock (1980: 514).



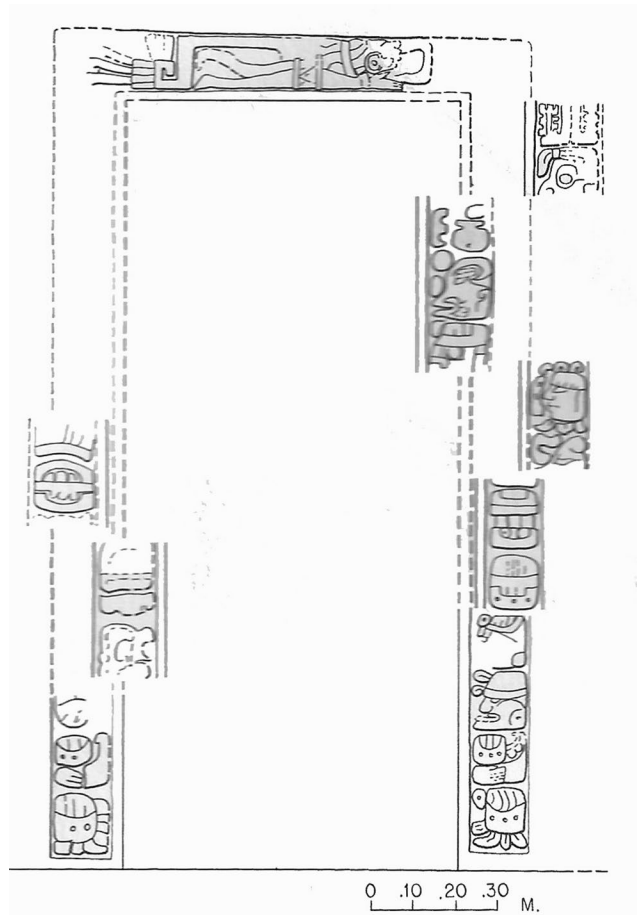


Figura 8. Portada jeroglífica de Xochkax, Campeche (Pollock 1980: 393).

si bien varias décadas después el asentamiento fue investigado por varios colegas franceses encabezados por Dominique Michelet (Michelet et al 2000).

Pollock (Op. Cit.) reportó los vestigios de una portada jeroglífica en un cuarto nivel de construcciones, sobre una de las lomas del sitio (Figura 8). El dintel parece mostrar a un ser humano postrado o boca abajo y los sillares que conforman las jambas no han sido ordenados ni parecen contener alguna fecha. Aparentemente sólo se registraron 17 jeroglíficos o partes de ellos. Algunos se hallaban en la base de las jambas; de los otros se desconoce su ubicación original.

## Hwasil

La zona arqueológica fue reportada en 2007 (Benavides 2007: 151-158; Merk 2007, 2011). Se

encuentra en el sector noreste de Campeche, a escasos seis kilómetros al sureste de Sayil o bien a 7 kilómetros al norte de la comunidad de Chunhuaymil, Campeche. Las coordenadas geográficas del sitio, tomadas con un GPS portátil, indicaron 20° 08' 13.5" de latitud Norte y 89° 37' 20.3" de longitud Oeste.

Hwasil es un asentamiento que se ha recorrido brevemente y en el que hay muchos elementos por registrar; es posible que el sitio cubra una extensión mayor a un kilómetro cuadrado. Conserva algunos edificios parcialmente en pie correspondientes a las fases Puuc Temprano y Junquillo; sobresale la presencia de una portada jeroglífica (Figura 9) inicialmente estudiada por Daniel Graña Behrens (2011) y después analizada con mayor profundidad por Pallán et al. (2012) y Pallán y Benavides (2017).

En este caso la portada jeroglífica se encuentra en un edificio de doble crujía, con tres aposentos al frente. La portada se halla en el acceso a la habitación central posterior. La inscripción consta de 33 signos y de las varias fechas probables, el estilo de los glifos y su correlación con inscripciones de otros sitios parece indicar que fue grabada en una fecha 4 Kib' 3 Sotz' que pudo corresponder al 9.18.17.12.16 (26 de marzo de 808 d.C.), o bien al 10.1.10.7.16 (13 de marzo de 860 d.C.).

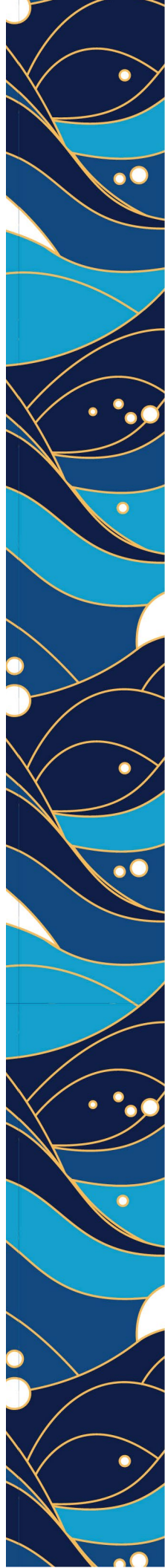
A diferencia de las portadas antes comentadas, una interesante particularidad de la portada jeroglífica de Hwasil es la inclusión de cinco cavida-



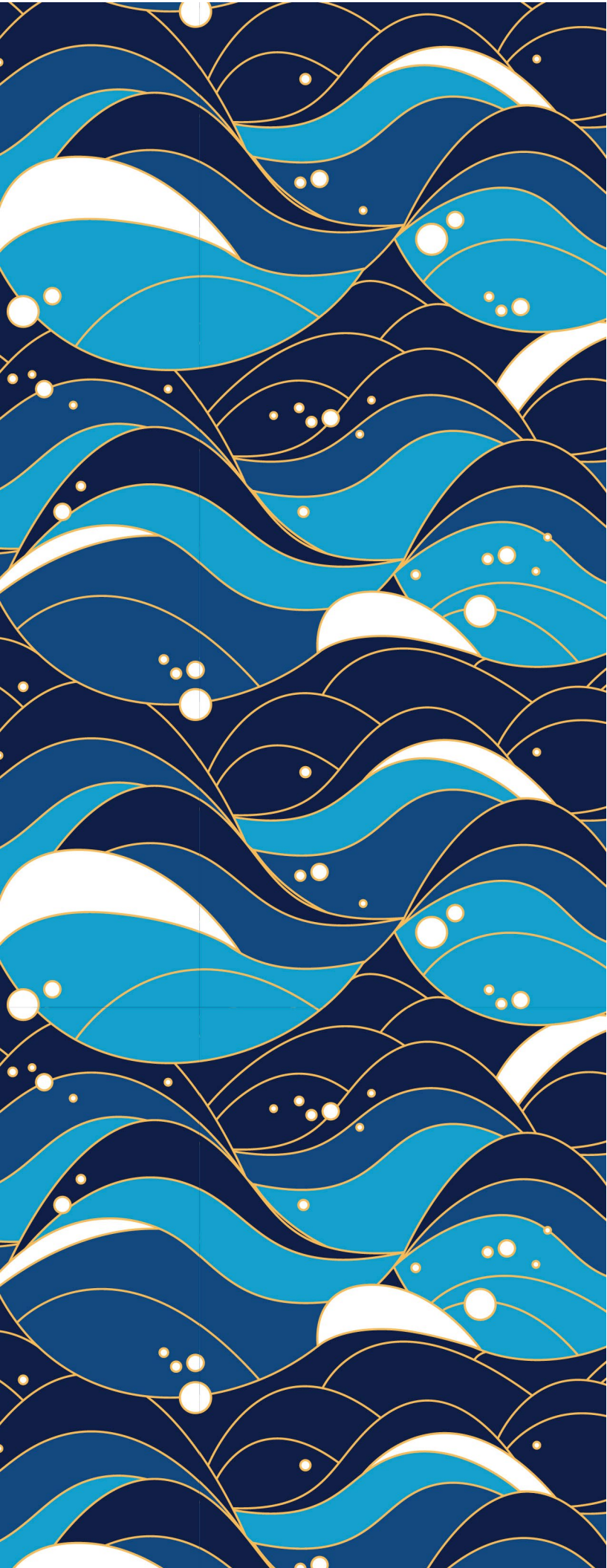
Figura 9. Portada jeroglífica de H'Wasil, Campeche.

des circulares (en promedio 10 cm de diámetro por 2 cm de profundidad) como parte del texto. Esas cavidades fueron distribuidas de manera armónica a lo largo de la inscripción, y por su disposición, recuerdan en cierta forma a las cavidades al centro de los elementos en forma de rodajas que rodean a la portada jeroglífica de Sisilá. Respecto a su función original, es posible que hayan servido para incrustar o encajar elementos de algún material duro (¿jade, pedernal, obsidiana?) para complementar la lectura y la presentación del marco de acceso. Pallán ha sugerido previamente el término joya para dicho faltante, con base en la inspección in situ del contexto en el que se encuentran dichos elementos.

Aquí cabría comentar sobre las representaciones de dos edificios abovedados que fueron plasmados en arcilla por anónimos artistas de Comalcal-







co. Nos referimos a dos ladrillos en los que se aprecian construcciones cuyas jambas muestran círculos que semejan las cavidades registradas en Hwasil. Uno de ellos también presenta marcas circulares en el dintel.

El dintel de la portada jeroglífica de Hwasil (Figura 10) contiene la información referente a una fecha en el siglo IX de nuestra era, así como la mención a la deidad pluvial Yax Ha'al Cha:k. En la parte central del dintel encontramos la primera cavidad circular. Inmediatamente después puede leerse una fórmula dedicatoria autorreferencial como k'a-la K'AL yu-YUKUM?-li'ya-xa ha-la cha-ki, k'al y-ukumil? Yax Ha'al Chaahk, entendida aquí como "fueron fijados/atados los horcones/postes(?) de Yax Ha'al Chaahk. Interesantemente, el nombre del Dios L o dios jaguar del inframundo fue utilizado aquí para aludir al término arquitectónico de "horcón", "pilar" o "poste", tal y como ha observado previamente Pallán (2021: 141-143) que ocurre también en el código Tro-Cortesiano, elaborado siglos después, durante el Postclásico tardío, donde el mismo término fue utilizado para referir a un elemento constructivo (específicamente, horquetas u horcones) siendo "plantado" o "encajado" en el suelo por diversas deidades que aparecen, representadas iconográficamente en el acto de construir una casa (tz'a:paj yokte'/yok[om] te'). Asimismo, el uso de complementos fonéticos diferenciados en estos dos contextos (yu- en Hwasil y yo- en el Tro-Cortesiano) podría reflejar importantes cambios fonológicos (u → o) suscitados en las lenguas yucatecanas a través de los siglos.

Los glifos superiores de la jamba poniente señalan que un gobernante es el padre de un personaje. A continuación se aprecia la se-

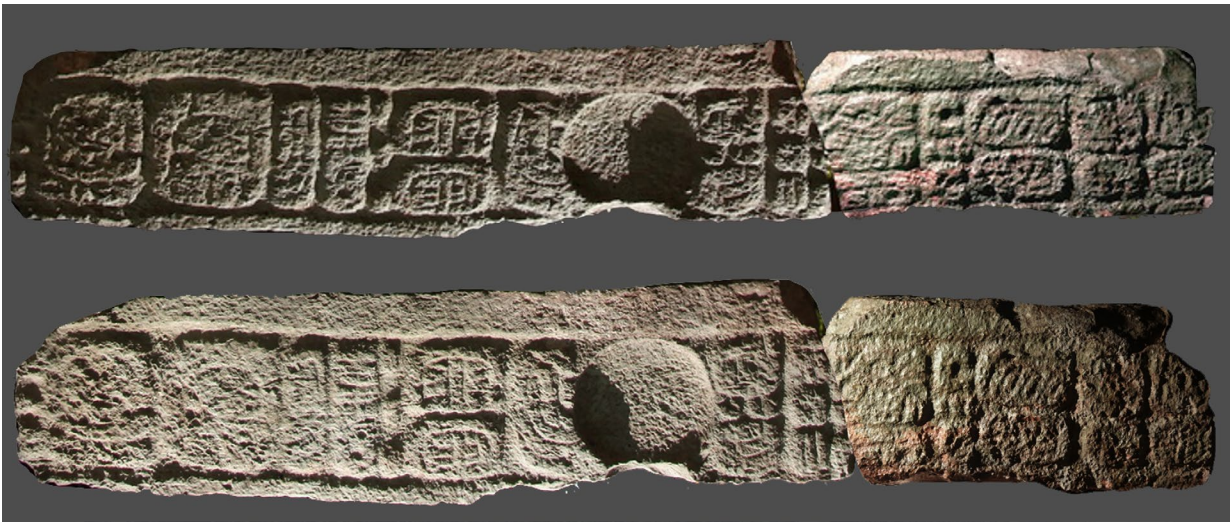


Figura 10. Portada jeroglífica de H'Wasil, Campeche, dos vistas del texto del dintel con distinta iluminación (por Carlos Pallán Gayol, 2011 *Acervo Jeroglífico e Iconográfico Maya del INAH, CNA/Ajimaya*).

gunda cavidad en la que pudo existir algún elemento incrustado. Los bloques siguientes indican que “es su grabado”, si bien el nombre del sujeto que le sigue presenta cartuchos que aún se encuentran en proceso de identificación. En la posición A10 (Figura 11a) aparece una tercera cavidad que posiblemente contuvo otra incrustación (¿joya?), seguida de una referencia a “cuatro ?... sacerdotes del calendario y escribas/amanuenses” (4-TE' ?-T533 AJ-K'IN-ni ?... tu/pa-lu ?-T533 AJ-tz'i-b'a). Los títulos de Ajk'in (sacerdote del calendario) y Ajtz'ihb' (escriba o amanuense) en las posiciones A13 y G4 fueron escritos de forma similar a los discutidos previamente para el caso del Panel 4 de Xcalumkín. Interesante en esta expresión resulta también el cartucho en la posición G1 (Figura 11b), que podría corresponder al término \*pa-lu (pa'l?). Desafortunadamente, la erosión y desgaste en la parte superior de las jambas dificulta leer este car-

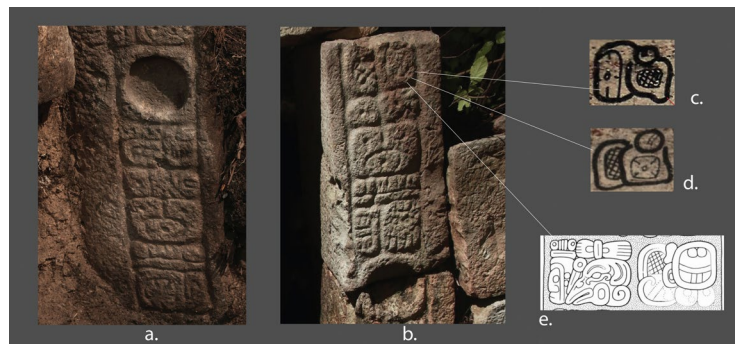


Figura 11. Portada jeroglífica de H'Wasil: a) detalle posiciones A11-A13; b) detalle posiciones G1-G3 con posible secuencia \*pa-lu (por Carlos Pallán Gayol, 2011 *Acervo Jeroglífico e Iconográfico Maya del INAH, CNA/Ajimaya*); c) secuencia pa-lu, *Códice de Dresde*, página 55b; d) secuencia pa-lu, *Códice de Dresde*, página 54b (edición facsimilar por Ernst Foerstemann, 1892); e) secuencia [pa]lu- OHL-la (Xcalumkin, Columna 2 (Ian Graham y Eric Von Euw 1992: vol. 4.3: 174) © President and Fellows of Harvard College).

tucho con certeza, aunque de ser correcta la lectura, resultaría comparable a términos registrados en Xcalumkín (Columna 2), el *Códice de Dresde* (páginas D.54b-55b) y el *Códice Tro-Cortesiano* (M.36a). En estos contextos (Figuras 11c-e), el término paal parecería funcionar con el sentido de “muchacho” o “joven”, aunque en maya yucateco de la época colonial <paal u> también fue registrado para referir a la “luna nueva” o “luna joven” (Ciudad Real ca. 1614: fol. 366; Kelley 1976: 43; H.Bricker & V.Bricker (2011: 301, Fig. 9-24).



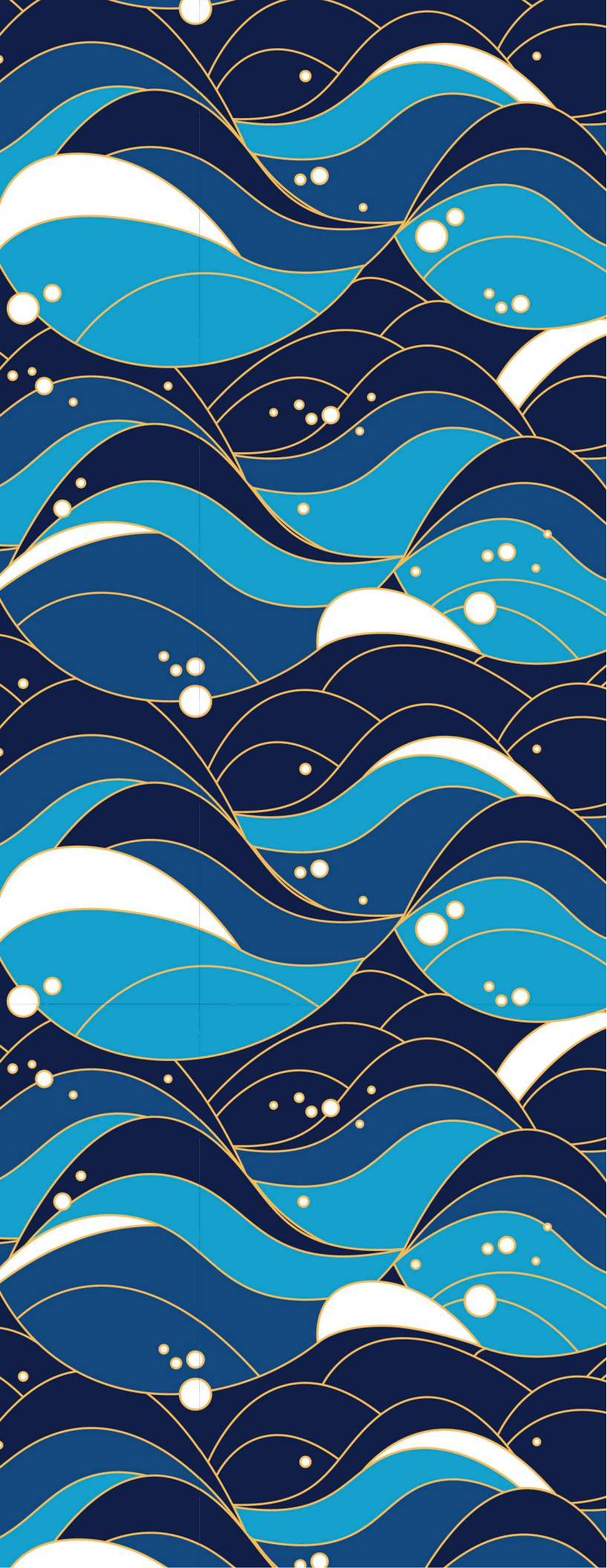


Figura 12. Portada jeroglífica de H'Wasil: a) detalle posiciones G6-G9; secuencia *i-tz'a-ti wi-WINIK-ki AJ-K'UH-b'a* (imagen RTI por Carlos Pallán Gayol, 2011 Acervo Jeroglífico e Iconográfico Maya del INAH, CNA/Ajimaya).

La posición G5 es ocupada por la cuarta incrustación y luego, en los cartuchos G6 y G7 (Figura 12), puede leerse *itz'a:t winik* ("el hombre sabio/letrado"). En las posiciones G8 y G9 aparecen signos que previamente sugerimos podrían corresponder a una lectura de *Aj K'aba'*, aunque posteriores análisis e imágenes más detalladas nos sugieren ahora con mayor grado de confianza un título sacerdotal diferente de *Aj k'uh b'aa'h* "el de la imagen de la divinidad" o bien quizá un título toponímico *Aj K'ub'a*, "el de K'ub'a".



A continuación, vemos la quinta cavidad de la portada, seguida de las posiciones G12 a G14, que finalizan la inscripción jeroglífica. El último signo alude a un sajal, cuyo significado abordamos en la sección final.

El análisis de los elementos que integran a la portada jeroglífica de Hwasil se encuentra en proceso y para su mejor comprensión es necesario incluir otros textos hallados en la intervención de la temporada 2011, pero que debido a limitaciones de espacio no presentaremos aquí.

## Comentarios finales

El análisis preliminar de las inscripciones jeroglíficas de las portadas en comento nos indica que fueron construidas en edificios ubicados en conjuntos residenciales de elite y que fueron comisionadas por funcionarios importantes de la sociedad maya, pero de menor jerarquía que la de los grandes gobernantes o de los dirigentes de asentamientos mayores.

Algunas inscripciones indican que se trata de conmemorar o dedicar la construcción de mampostería en la que se encuentra el texto, señalando que se trata de una obra poseída por un personaje en particular, evidentemente de alguien que pudo sufragar el costo no sólo de la planeación, labores de albañilería y acabados finales, sino también de un escribano que incrementó el valor económico y político mediante el uso de elementos (fechas calendáricas y texto) que daban mayor prestigio y sacralidad a la edificación.

En algunos casos se mencionan a sajalooob' o dignatarios que hacían las veces de escribas y seguramente de astrónomos; por ello también se les denomina "sabios del calendario". El término sajal, literalmente "el que teme", indica una relación jerárquica, es decir, menor con respecto a un rector hegemónico de un centro mayor o de una capital regional.

Las expresiones usadas en dichos textos están fuertemente vinculadas a la esfera religiosa; por ejemplo las alusiones a Itzamná en Sayil y en Xcalumkín; o bien la mención a Yax Ha'al Chaahk (el Chaahk de las primeras lluvias) en Hwasil. El ámbito religioso casi nunca estuvo ausente en la vida cotidiana de los mayas antiguos.

Las fechas descifradas en las portadas jeroglíficas hasta hoy reportadas en la región del Puuc van del año 716 hasta quizá el 860 de nuestra era, es decir, aparentemente estuvieron en boga a lo largo de un siglo y medio poco antes de que ocurriera la disgregación de las sociedades del periodo Clásico. Como puede observarse, la mayoría de las portadas con jeroglíficos fue erigida durante la fase Puuc Temprano, es decir entre los años 650 y 750 de nuestra era.

Con excepción de Sayil y de Xcalumkín, hasta ahora las portadas jeroglíficas proceden de sitios relativamente pequeños pero que tuvieron la posibilidad de ejercer dominio sobre buen número de individuos, lo que permitió contar con la mano de obra suficiente para edificar obras monumentales de mampostería. Ese control político y económico debió estar acorde con las directrices de asentamientos mayores a los cuales los dirigentes menores debían lealtad y seguramente hacia donde se canalizaba buena cantidad de excedentes productivos (bienes y servicios).

En otras palabras, la existencia de unidades políticas regidas por sajalooob' debió tener razón en función de unidades mayores de las que emanaba la legitimidad de los funcionarios menores y a las que, en correspondencia, fluían productos diversos como mano de obra, artículos producidos y frutos de la tierra.

Sin embargo, las portadas jeroglíficas no estaban destinadas a la esfera pública. Su ubicación dentro de los edificios y conjuntos arquitectónicos nos indica que solamente podían verlas sus moradores y la gente a ellos vinculada. En general, obser-





vamos una gran ostentación de los textos e imágenes que les acompañan, aunque con excepción de Xcalumkín, no hay una profusión de iconografía, sino se trata principalmente de documentos glíficos que sólo podían ser leídos por un escaso número de letrados pertenecientes a las élites de la región o bien de visitantes o dignatarios invitados, algunos quizás procedentes de sitios relativamente distantes, a juzgar por la amplia evidencia sobre interacción política que revela la arqueología de la región del Puuc durante el periodo en que las portadas jeroglíficas tuvieron su apogeo.

### Portadas jeroglíficas en la región del Puuc

Sitio	Edificio	Ubic.	Fecha	Referencia
Sayil	3B1	Int.		Pollock 1980: 113-115
Sisilá	35	Int.	755	Graña 2002
Xcalumkín	Serie Inicial	Ext.	740	Graña 2002
Xcalumkín	G. Jerog./ Edif. Medio	Int.	720	Graña 2002
Xcalumkín	G. Jerog. / Edif. Sur	Int.	733	Graña 2002
Xcalumkín	G. Jerog. / Edif. Sur	Ext.		Pollock 1980: 444-445
Xcalumkín	G. Jerog. / Edif. Sur	Ext.?		Pollock 1980: 449
Xcochá	G. Suroeste	¿?	716	Graña 2002
Xcochkax	Cuarto Nivel	Ext.		Pollock 1980: 386-397
Hwasil	Portada Jeroglífica	Int.	808/860	Graña 2011; Pallán, Benavides y Maitland, en prensa

### Referencias bibliográficas

Andrews, George F. 1986 Los estilos arquitectónicos del Puuc. Una nueva apreciación. Col. Científica 150. INAH. México. 1995 Pyramids and palaces, monsters and masks. Vol. I.

Architecture of the Puuc region and the northern plain areas. Labyrinthos, California.

Benavides C., Antonio 2002 Informe de labores de mantenimiento menor, Proyecto MANZANA, Temporada 2002 en Sisilá, Campeche. Centro INAH Campeche. 62 pp. México (Documento en el archivo técnico de la Coordinación Nacional de Arqueología, INAH, México). 2003 "Labores de conservación arquitectónica en Sisilá, Campeche" en *Mexicon*, XXIV (6): 161-164. Möckmühl. Alemania. 2007 Informe de labores del Proyecto MANZANA, Temporada 2007: Sabana Piletas,

Chundsínab y Kansah. Centro INAH Campeche. Campeche. 2010 Xcalumkín. Un sitio Puuc de Campeche. Colección Bicentenario Campeche Solidario. Gobierno del Estado de Campeche. Campeche.

Bricker, Harvey M. and Victoria R. Bricker 2011 *Astronomy in the Maya Codices*. Philadelphia: American Philosophical Society.

Calvin, Inga E. 2004 *Maya hieroglyphics study guide*. (57 pp.)

Ciudad Real, Fray Antonio 2001 (1614) *Gran diccionario o Calepino de la lengua maya de Yucatán*. Editado y comentado por René Acuña. Ciudad de México: Plaza y Valdéz.

Kelley, David H. 1976 *Deciphering the Maya script*. Austin: University of Texas Press.

Graham, Ian y Eric Von Euw 1992 *Corpus of Maya hieroglyphic inscriptions*. Vol. 4, Part 3; Uxmal, Xcalumkin. Peabody Museum of Archaeology and Ethnology. Harvard University Press. Cambridge, Mass.

Graña-Behrens, Daniel 2002 *Die Maya-Inschriften aus Nordwestyukatan, Mexiko*. Tesis doctoral. Universidad Rheinischen Friedrich-Wilhelms. Bonn, Alemania.

2011 "Reconstructing the inscription on a building in H-wasil and remembering an ancient noble Yucatec family of wise men and scribes" en *The Long Silence*. *Acta Mesoamericana*, vol. 21 (: 263-274). Verlag Anton Saurwein. Alemania.

Grube, Nikolai 1994 "Hieroglyphic sources for the history of northwest Yucatan" en *Hidden among the Hills*. *Acta Mesoamericana* 7: 316-358. H.J. Prem (ed.) Verlag von Flemming. Möckmühl.

Kurbjuhn, Kornelia 1989 *Maya. The complete catalogue of glyph readings*. Schneider & Weber. Alemania.

López de la Rosa, Edmundo y Patricia Martel 2001 *La escritura en uooh*. IIA, UNAM. México.

Merk, Stephan 2007 "Two Maya sites with hieroglyphic inscriptions in northern Campeche" en *Mexicon*, XXIX (3): 67-68. Möckmühl.

2011 *The Long Silence*. Sabana Piletas and its neighbours. *Acta Mesoamericana*, 21. Verlag Anton Saurwein. Alemania.

Michelet, Dominique; Pierre Becquelin y Marie-Charlotte Arnauld 2000 *Mayas del Puuc*. Arqueología de la región de Xculoc, Campeche. Gobierno del Estado de Campeche / CEMCA. México.

Pallán Gayol, Carlos 2009 *Secuencia dinástica, glifos emblema y topónimos en las inscripciones jeroglíficas de Edzná, Campeche (600-900 d.C.): implicaciones históricas*. Tesis de Maestría. Estudios Mesoamericanos. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México.

2021 *Correlating Ritual Language & Glyphset in the Codex Dresdensis: otherworldly agents and their worldly outcomes as expressions of identity and belief in Late-Postclassic Yucatán*. Disertación Doctoral. Universidad de Bonn, Alemania, Departamento de Arqueología y Etnología de las Américas.

Pallán Gayol, Carlos, Antonio Benavides Castillo and Amy Maitland Gardner 2012 "La Portada Jeroglífica y Otros Monumentos de H'wasil: un centro Puuc del noroeste de Campeche". Book chapter 7 within *Memorias del XX Encuentro Internacional "Los Investigadores de la Cultura Maya" Tomo II*. Universidad Autónoma de Campeche, Vol. 20 Part I.

Pallán Gayol, Carlos and Antonio Benavides Castillo 2017 "The Hieroglyphic Doorway and Other Monuments from H'Wasil, Campeche." In *Recent Investigations in the Puuc Region, Yucatán, Mexico*. Meghan Rubenstein, ed. pp 149-165. Oxford: Archaeopress.







**Centro INAH  
Campeche**

Revista trimestral del Centro INAH Campeche

Año 9

Número 35

Marzo 2023



**GOBIERNO DE  
MÉXICO**

**CULTURA**  
SECRETARÍA DE CULTURA

