

El uso de extractos vegetales (Chukum) en los recubrimientos de aljibes hispanoárabes en América: El caso del aljibe de la escuela Vicente María Velázquez, en Mérida, Yucatán, México.

The use of plant extracts (Chukum) in the coatings of Hispano-Arab cisterns in America: The case of the cistern of the Vicente María Velázquez school, in Mérida, Yucatán, México.



José Eduardo Cerón Chávez 

Escuela de Arquitectura
Centro de Investigaciones Silvio Zavala
de la Universidad Modelo de Yucatán
eduardoc@modelo.edu.mx

José Jorge Lara Jiménez 

Escuela de Arquitectura
Centro de Investigaciones Silvio Zavala
de la Universidad Modelo de Yucatán
jorgelara@modelo.edu.mx

José de la Cruz Damas 

Corporativo Seahorse
Ingeniero Físico por la
Universidad Autónoma de Yucatán
josia.damas@gmail.com

Resumen

Se presentan los resultados de un estudio complementario sobre la geometría, los materiales empleados y el proceso constructivo de un aljibe con características arquitectónicas heredadas de la cultura árabe en España, localizado al interior de una escuela primaria estatal en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Se confirma científicamente la utilización del extracto de *Acadia albicans* (*Chukum*) como material constructivo y su uso como impermeabilizante. Se plantea un proceso de intervención para rehabilitarlo e integrarlo parcialmente al sistema hidrosanitario de la escuela, aportando además elementos didácticos que permitan su difusión, la revalorización de su función en el contexto actual y la apropiación del objeto arquitectónico por parte de la comunidad educativa.

Palabras Clave

Aljibe, materiales, análisis, *Chukum*, agua pluvial, rehabilitación arquitectónica.

Abstract

This article presents the results of a complementary study on the geometry, the materials used and the construction process of a cistern with architectural characteristics that have been inherited from the Arabic cultural presence in Spain, which is located inside a state elementary school in the city of Mérida, Yucatán, México. The use of *Acadia albicans* (*Chukum*) extract as a construction material and its use as a waterproofing material is scientifically confirmed. An intervention process is proposed to rehabilitate it and partially integrate it into the school's plumbing system, also providing didactic elements that allow its dissemination, the revaluation of its function in the current context and the appropriation of the architectural object by the educative community.

Keywords

Cistern, materials, analysis, *Chukum*, rainwater, architectural rehabilitation.

1. Antecedentes

Al interior de la escuela primaria estatal Vicente María Velázquez, dentro de los límites del centro histórico de la ciudad de Mérida, Yucatán, se encuentra un antiguo aljibe para almacenamiento de agua pluvial, que fue explorado por los autores en el año 2017. El registro y la identificación de sus características arquitectónicas y funcionales fue presentada por los autores en publicación previa, determinándose que éstas tenían similitudes con obras hidráulicas hispanoárabes medievales (Cerón, Lara, y Damas, 2018:65). En ese momento se desarrolló una propuesta de una posible reutilización del espacio con fines de integración a las funciones didácticas del inmueble, además del diseño de elementos y acciones de difusión para la comunidad educativa, tales como infografías, carteles, panfletos y presentaciones en diversos foros, con el propósito de poner en valor la existencia de dicha construcción.

Sin embargo, durante esa primera exploración no fue posible registrar con precisión la totalidad de la geometría interna del aljibe, debido a la existencia de una capa de sedimentos de 20 centímetros de espesor promedio, acumulada en todo el fondo o piso, durante un tiempo indeterminado. Por otra parte, tampoco se realizaron los estudios que permitieran identificar los materiales y los procesos constructivos empleados. Asimismo, la propuesta de integración de tal espacio a las actividades del plantel presentaba inconvenientes de tipo normativo bajo consideraciones de movilidad, inclusión y seguridad.

Con el propósito de darle continuidad a este proyecto, se realizaron los estudios complementarios requeridos y se planteó una nueva propuesta de intervención para su rehabilitación y uso. Tal propuesta surgió bajo el interés de conjugar objetivos de tipo educativo, funcional y de conservación patrimonial, aprovechando además la coyuntura que representa el reconocimiento cada vez más difundido, de la existencia de una creciente problemática relacionada con la disponibilidad del agua potable para la ciudad de Mérida en el corto plazo.

2. El aprovechamiento del agua de lluvia

En el momento actual, la disponibilidad de agua potable para la ciudad de Mérida presenta una serie de amenazas y retos importantes. El agua subterránea en Yucatán es la principal fuente de abastecimiento de este líquido; sin embargo, la alta permeabilidad del material geológico hace que el acuífero sea vulnerable a la contaminación (González, Albornoz, Sánchez, y Osorio, 2018:667). La ciudad tiene una única fuente de abastecimiento, que es el acuífero subterráneo, el cual es altamente vulnerable a la contaminación natural y a la generada por influencia antrópica. La calidad del agua que

se extrae del subsuelo se ha visto deteriorada con el paso del tiempo debido, entre otros factores, a que las aguas residuales que reciben algún tipo de tratamiento son un porcentaje mínimo del agua utilizada, estando Yucatán en el último lugar nacional en términos de tratamiento de aguas residuales (Gómez, 2019) y a la ausencia de políticas públicas enfocadas en mitigar los procesos de contaminación. Estudios recientes han detectado la presencia de arsénico y del virus de la hepatitis A en muestras de agua subterránea (Medina, 2022). Por otra parte, la población urbana ha estado en constante aumento en las últimas décadas y se pronostica que la ciudad llegará al millón de habitantes para el año 2030 (COESPO (Consejo Estatal de Población), 2022), lo que se estima, generará las condiciones para que se presenten situaciones de estrés hídrico debido a la sobreexplotación del acuífero. No son pocas las instituciones e investigadores que han abordado el tema desde hace décadas. Pero posiblemente la situación más preocupante sea la falta de conciencia que se percibe sobre esta situación por parte de la población en general., ya que existe la creencia de que el agua contaminada está en el primer manto freático, pero no en el segundo, lo cual es una falacia (Ortiz, 2019).

La historia y las soluciones del pasado pueden contribuir a generar esa conciencia, principalmente entre las generaciones jóvenes, para afrontar los retos del presente y futuro. El aprovechamiento de recursos como el agua de lluvia, tal y como se hizo desde la época precolombina con los chultunes, que son depósitos subterráneos para el almacenamiento de grandes cantidades de agua por largo tiempo (Pingarrón, 2013:22), y posteriormente con la construcción de aljibes, como el de este caso de estudio, tienen el potencial de contribuir con este propósito.

La península de Yucatán posee, entre varias de sus características peculiares, una que puede considerarse de importancia en el futuro de la gestión del agua. A diferencia de otras regiones del país, las temporadas de sequía (comprendidas generalmente entre los meses de marzo a mayo), no tienen las consecuencias severas que vemos en otras regiones. No se registra disminución en la disponibilidad de agua durante estos meses (Estrada, Cobos, Acosta, y Peña, 2016:151). Y en cambio, se presenta una marcada temporada de lluvias, que inicia por lo general en el mes de junio y puede prolongarse hasta octubre (INEGI, 2022). Durante estos meses el acuífero se recarga, y en temporadas atípicas, como la ocurrida durante el año 2020, incluso se han llegado a alterar los niveles de las aguas freáticas.

Es por ello que se planteó la posibilidad de desarrollar un proyecto de restauración y rehabilitación, que permitiera poner en función nuevamente el aljibe, aprovechando su extraordinario estado de conservación, e integrarlo al sistema hidráulico de la escuela, para que dé servicio a los muebles sanitarios del conjunto. El proyecto contempla también el diseño de elementos didácticos e informativos que contribuyan a la apropiación por parte de la comunidad escolar no sólo del objeto arquitectónico, sino de las ideas subyacentes y su importancia actual.

3. Estudios y trabajos realizados

Uno de los primeros estudios que se realizó fue el de las características del agua natural (pluvial) que se acumula al interior del aljibe. Para ello, y previo al proceso de limpieza de los sedimentos, se solicitó a un laboratorio acreditado en análisis de aguas (Laboratorio de análisis de aguas Q.F.B. Manuel A. Comas Bolio, 2021) la toma de muestras y el posterior análisis, el cual comprendió la determinación del pH, Nitrógeno de nitritos y de nitratos, presencia de sólidos suspendidos y disueltos, dureza de calcio y de magnesio, cloruros, presencia de bacterias coliformes, cloro libre residual, ión sulfato y presencia de carbonatos, bicarbonatos, sodio, potasio, calcio y magnesio.

De los resultados obtenidos se destacan las bacterias coliformes, las cuales superan por mucho los límites permitidos de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana sobre salud ambiental, agua para uso y consumo humano (NOM-127-SSA1-1994) donde se observan 690 ufc/100 ml contra 2 ufc/100 ml, que es el límite permitido. En cuanto a los límites permisibles de características físicas y organolépticas, la turbiedad resulta ser superior al 10% de lo establecido en la norma, obteniéndose 22 UNT contra 5 UNT permisibles. En cuanto a los demás constituyentes químicos, estos se encuentran dentro de los límites permitidos por la norma. En la [Figura 1] se presenta una vista del informe correspondiente.

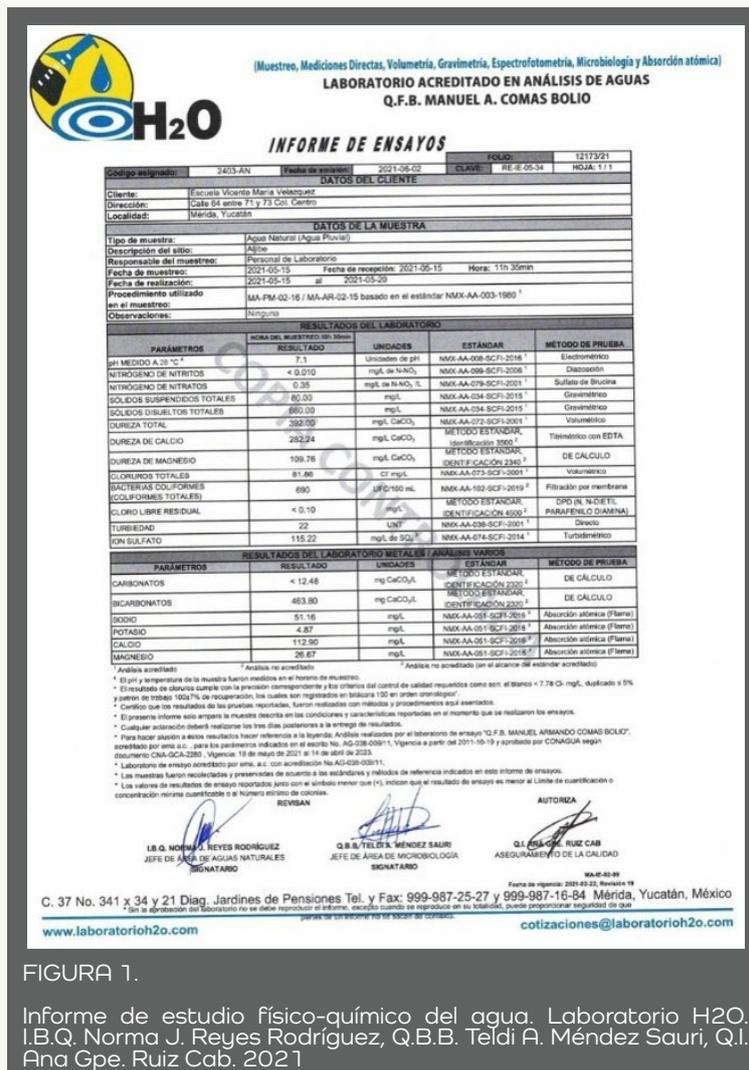


FIGURA 1.

Informe de estudio físico-químico del agua. Laboratorio H2O. I.B.G. Norma J. Reyes Rodríguez, Q.B.B. Teldi A. Méndez Sauri, Q.I. Ana Gpe. Ruiz Cab. 2021

En consecuencia, se pudo concluir que el agua pluvial almacenada, sin ningún tipo de tratamiento, no es apta para consumo humano, pero si es factible su uso para el riego de jardines y para la descarga de muebles sanitarios.

3.1) Retiro de sedimentos y limpieza

Una vez tomadas las muestras de agua, se procedió a la limpieza del interior del aljibe, el cual presentaba una acumulación de sedimentos que se estimó inicialmente en un espesor de 15 a 20 cm. Esta limpieza resultó ser determinante para la obtención de un registro tridimensional preciso de la geometría interior del aljibe, así como para poder inspeccionar de manera detallada las condiciones de las superficies interiores del mismo. En la etapa previa del proyecto se supuso, ante la evidencia de la existencia de filtraciones y la detección de áreas con material suelto, cubierto por la capa de sedimentos, que el piso o partes de él se encontraban fracturadas, y que tales roturas, quizá se habían realizado de forma intencional para permitir la filtración del agua de lluvia al subsuelo, y evitar así, su acumulación, ya que el aljibe se encuentra cerrado y sin uso.

La limpieza se realizó a través de una cuadrilla de trabajadores formada por un oficial de albañilería, dos ayudantes de albañil y una supervisora de trabajos, quién estuvo presente durante todo el proceso de limpieza y registraba en bitácora, los hallazgos y trabajos realizados por jornada. El retiro de sedimentos se realizó por medio de cubetas, y el material del sedimento se recolectó con cucharas de jardinería de plástico, con el propósito de evitar generar cualquier tipo de daño a las superficies interiores. Al salir cada cubeta de material, éste se hacía pasar a través de una criba de malla de las utilizadas para polvo fino, de tal manera que se pudieran detectar objetos pequeños que pudieran ser de interés. En esta etapa se recuperaron una botella de refresco de la marca local "Cristal", que por las características de su diseño se presume fue elaborada en década de los 60. Destacan también 3 piezas de tabique de barro, siendo la mayor de 12x5x20 cm. Cabe señalar que en ninguna parte del inmueble que ocupa actualmente la escuela se observa este tipo de material. Se encontraron también 2 piezas incompletas de tejas francesas con los grabados *Antoine Sacoman / Marseille*. *St.Henry* en su superficie. Este tipo de tejas fueron materiales que se importaban con regularidad desde Europa, principalmente a partir de la segunda mitad del siglo XIX (Villegas, 2012:154). También se encontraron 5 monedas con diferentes grados de deterioro, pero en todos los casos es imposible interpretar ninguno de sus grabados. Entre otros objetos, se encontraron un par de piezas de madera que aparentemente formaban parte de algún tipo de mueble y finalmente, una pieza fracturada del tipo de mosaico que se observa en el suelo de la terraza bajo la cual se encuentra el aljibe. En la **[Figura 2]** se presentan los objetos descritos anteriormente.

Al haber sido liberadas y lavadas con agua potable todas las superficies del interior del aljibe, fue posible inspeccionar en detalle las mismas, encontrándose que la mayor parte de las bóvedas y paredes se



FIGURA 2.

Objetos recuperados durante el proceso de retiro de sedimentos y limpieza. Imagen de los autores. 2022.

encuentran en excelente estado de conservación, pero en alturas comprendidas aproximadamente hasta un metro, en algunas paredes se presentan desprendimientos del recubrimiento interior, observándose pequeñas oquedades y material fácilmente desprendible. También fue posible observar que, contrario a la suposición previa, el piso no se encuentra fracturado, sino que el material suelto que se había detectado eran piedras y fragmentos de bloques, arrojados intencionalmente por la boca del aljibe. En una sección del piso correspondiente a la cámara principal, se observó lo que parece ser la aplicación de una lechada de cemento, posiblemente realizada con la intención de sellar filtraciones. Pudo observarse que el punto más bajo del fondo (piso) del aljibe se encuentra justo debajo del acceso al mismo, y en este punto se conforma un detalle constructivo que se desconocía. El punto más bajo se encuentra dentro de una depresión de planta circular de 40 cm de diámetro y de unos 15 cm de profundidad, medidos a partir del nivel del piso del pasillo interior del aljibe, a manera de un pozo de succión en una cisterna moderna. En la [Figura 3] se presenta una sección longitudinal obtenida del escaneo láser que presenta lo antes descrito. Posiblemente este detalle servía para acumular, por gravedad, materiales sólidos en un solo punto y facilitar con esto la limpieza periódica del aljibe.



FIGURA 3.

Sección longitudinal del aljibe, obtenida del escaneo láser. José de la Cruz Damas. 2022.

3.2) Levantamiento láser

Al concluir la extracción de los sedimentos y la limpieza del interior del aljibe, se procedió a realizar un nuevo levantamiento mediante un escaneo láser. En esta ocasión, el escaneo abarcó también los espacios superiores e inmediatos al aljibe, de tal manera que fuera posible observar y analizar el contexto completo, como se puede observar en la [Figura 4]. Un detalle interesante y que pudo registrarse fue la existencia de algunas letras talladas sobre el paramento interior sur de la cámara principal, donde se alcanza a leer “SE DE 1904”, siendo este el único detalle con estas características encontrado en el sitio y que se muestra en la [Figura 5].

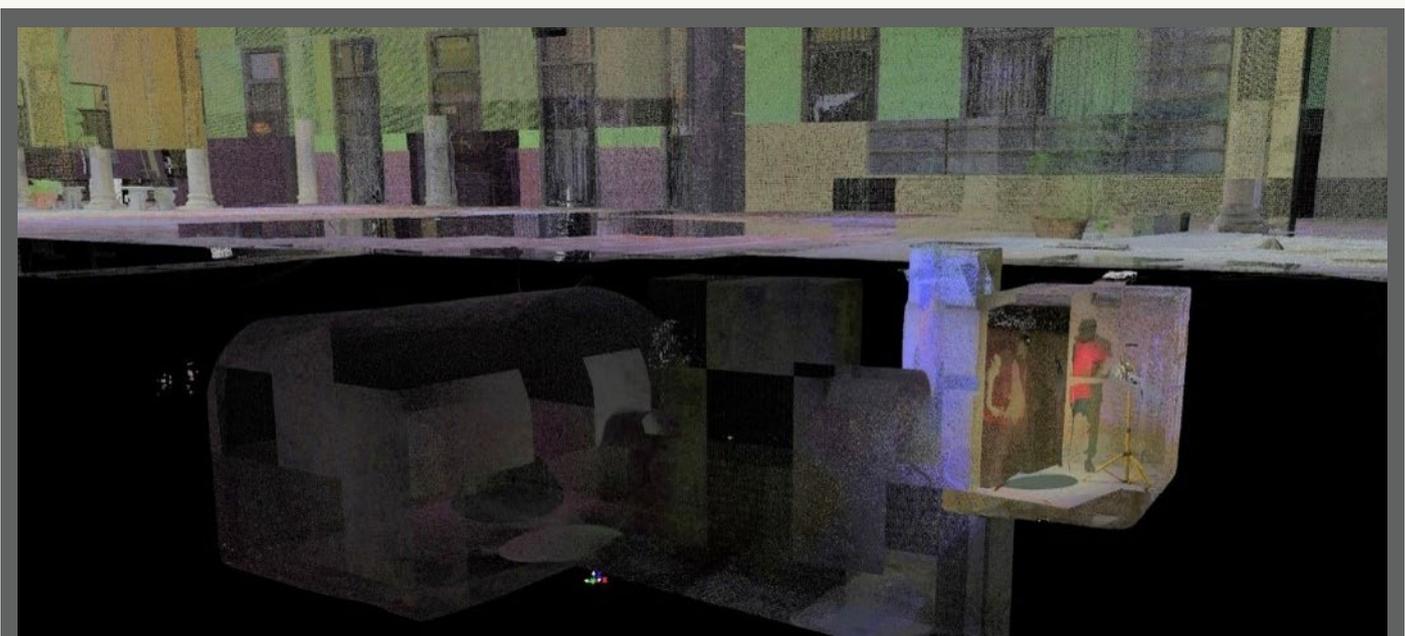


FIGURA 4.

Sección longitudinal del aljibe, obtenida del escaneo láser. José de la Cruz Damas. 2022.

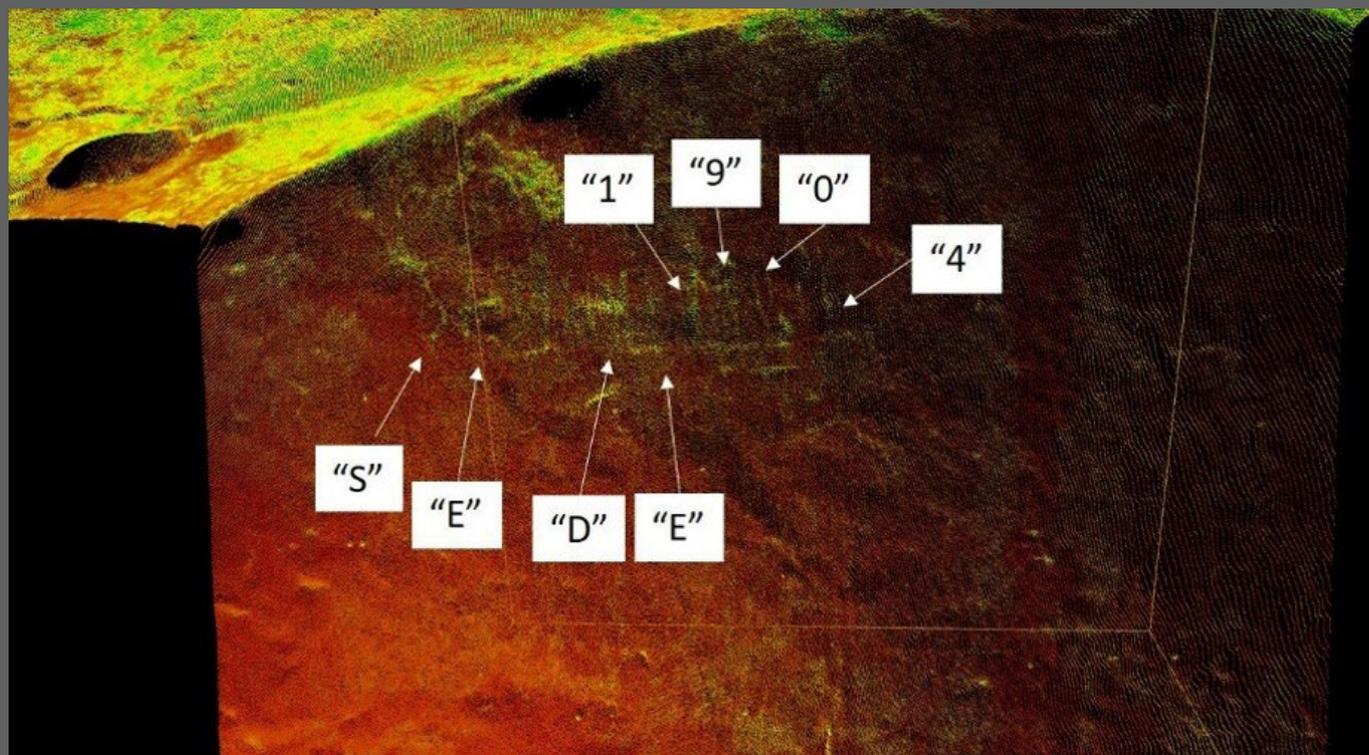


FIGURA 5.

Detalle de inscripción en interior de aljibe, obtenida del escaneo láser. Corresponde al texto "SE DE 1904" que los autores interpretan como "Septiembre de 1904". José de la Cruz Damas. 2022.

3.3) Extracción de núcleos

Como se mencionó anteriormente, se desconocían las características de los materiales empleados y el proceso constructivo seguido para la construcción del aljibe. Por esta razón, una vez limpio el interior e identificadas algunas zonas donde las superficies interiores presentaban ya cierto deterioro, se procedió a extraer tres muestras de material, dos en paredes y una en piso, mediante el uso de un equipo para extracción de núcleos de concreto. Este equipo permitió extraer tres cilindros de 2.5" de diámetro (6.35 cm) y de 20, 15 y 6 cm de profundidad, los cuales se muestran, desde dos ángulos, en la [Figura 6]. Una primera inspección a estas muestras permitió identificar con claridad la roca natural donde se excavó el aljibe, una capa de material semejante a un mortero usada para suavizar las superficies interiores, con espesores promedio de 0.5 cm y finalmente el recubrimiento final interior, con un espesor de milímetros.

3.4) Estudios de los Materiales

En la primera etapa del informe publicado por los autores se planteó como hipótesis que las paredes interiores del aljibe habían sido recubiertas con agua de Chukum, preparación hecha con resina extraída del árbol del mismo nombre (*Acadia albicans*), usada por los Mayas por sus propiedades impermeabilizantes y que sigue presente en la construcción contemporánea gracias a sus características económicas y ecológicas (Martínez & Guerrero, 2020:498). Sin embargo, no es la única planta que se ha utilizado históricamente para su uso en la construcción o en la elaboración de recubrimientos.



FIGURA 6.

Núcleos extraídos del interior del aljibe. Imágenes de los autores. 2022.

En ese sentido, García y Jáidar señalan que el uso de aditivos orgánicos en las mezclas de cal para la elaboración de los recubrimientos arquitectónicos, se encuentra documentado en fuentes coloniales y etnográficas (García y Jáidar, 2013:115), y aunque son pocas las fuentes históricas que hacen mención al uso de este tipo de mezclas para la construcción, se pueden mencionar algunas, como el documento anónimo encontrado por Vázquez de Agredos, que indica como hacían los indígenas sus pinturas, fechado en 1548, y en el cual, mencionan que el uso de la cal utilizada en los soportes de la pintura mural era preparada con ciertos aditivos orgánicos (Vázquez de Agredos, 2010), o el señalamiento de fray Diego de Landa sobre el uso de aditivos para bruñir los encalados y hacerlos más resistentes, donde se mezclaba la cal con los caldos obtenidos después de majar cortezas de ciertos árboles (Landa, 2017:41).

También señalan que Morris, Earl, H. J. Charlot y A. Morris, recopilaron y registraron las anécdotas de albañiles mayas durante el proyecto arqueológico de la *Carnegie Institution of Washington* en Chichén Itzá en la década de 1920, publicadas en *The Temple of the Warriors at Chichén Itzá*, donde los albañiles mencionaban que preparaban la cal de manera diferente, dependiendo del uso que se les daría a los acabados, si los morteros se utilizaban para recubrir techos, estos eran humectados con un extracto obtenido de la corteza del árbol chukum, y que para obtener la solución del chukum era necesario humectar las cortezas en agua por varios días (Morris, Charlot, y Morris, 1931).

Por otra parte, en el Diccionario Maya Cordemex, se mencionan varias de las especies de árboles de donde se podrían obtener gomas de las cortezas de los árboles: chakaj, jabín, jolol y pixoy, utilizadas en morteros de cal, pero que sólo de las dos últimas especies mencionadas, se especifica que se obtiene materia glutinosa (Barrera Vázquez, 1980).

En la actualidad, se siguen desarrollando estudios encaminados a conocer con mayor profundidad los

efectos que tienen aditivos a base de resinas de origen natural en las características mecánicas de los morteros, particularmente en aquellos empleados en proyectos de restauración de construcciones patrimoniales. Tal es el caso del uso del mucílago de nopal (baba de nopal), que en estudios recientes ha mostrado que su utilización en las mezclas mejora las características físicas y químicas de los morteros de cal, y que esas mejoras se relacionan con los métodos de extracción del mucílago (Ruiz, 2014:74). Un estudio similar se realizó usando nopal y mucílago de Aloe Vera (Sábila), en muestras de mortero de cemento sometidos a compresión, encontrando que con el nopal se logra una mejora en temas de resistencia y durabilidad, mientras que la sábila no parece aportar mejoras significativas a estas propiedades (Torres, Celis, Martínez, & Lomelí, 2010:37). Otra posibilidad estudiada ha sido la inclusión de mucílago de nopal, cal apagada y ceniza volcánica, obteniéndose morteros con notables mejorías en su resistencia a la compresión, flexión y tensión (Martínez, y otros, 2008:100).

Se consideró relevante para el proyecto poder hacer una identificación precisa de los materiales existentes, por lo que los núcleos extraídos fueron enviados al Laboratorio Nacional de Nano y Biomateriales, perteneciente al Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), junto con muestras de extractos de Chukum, *Opuntia albicarpa* (Nopal tunero), *Agave fourcroydes* (Henequén) y *Aloe barbadensis miller* (Aloe Vera ó Sábila), elaborados por los autores, de tal manera que se pudiera hacer una caracterización e identificación tanto del material de recubrimiento como del presunto mortero subyacente. En la [Figura 7] se muestran los procesos para la obtención de las extracciones acuosas que sirvieron posteriormente para realizar las comparaciones entre los diferentes perfiles químicos. Los investigadores del Cinvestav que estuvieron a cargo de los estudios propusieron el uso de resonancia magnética nuclear (RMN) y cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG-EM), comparando el perfil químico de la muestra con el de las referencias que se proporcionaron. Para el caso del mortero, se realizaron análisis a través de un microscopio electrónico de barrido con espectroscopia de energía de dispersión (SEM-EDS) y adicionalmente un difractograma de rayos x (DRX).

Las conclusiones de estos análisis permitieron establecer que, para el caso del recubrimiento, se encontraron compuestos coincidentes con la muestra de referencia del chukum, y en particular la presencia del componente llamado levoglucosano permite sugerir que la corteza o la resina de la planta fue sometida a un proceso de calentamiento durante la elaboración del recubrimiento, lo cual coincide con lo que se sabe de los procesos tradicionales aplicados en su elaboración, en los cuales se hierva en dos o hasta en tres ocasiones la corteza de la planta (Martínez y Guerrero, 2020:504). La [Figura 8] presenta los gráficos comparativos obtenidos de este estudio. Por otra parte, se pudo establecer que el mortero subyacente fue de base cal (carbonato de calcio), del cual se encontraron las fases calcita y aragonita. La [Figura 9] muestra los resultados del análisis del mortero.



ILUSTRACIÓN 7.

Obtención de extractos acuosos de Henequén, Nopal y Sábila. Imágenes de los autores. 2022.

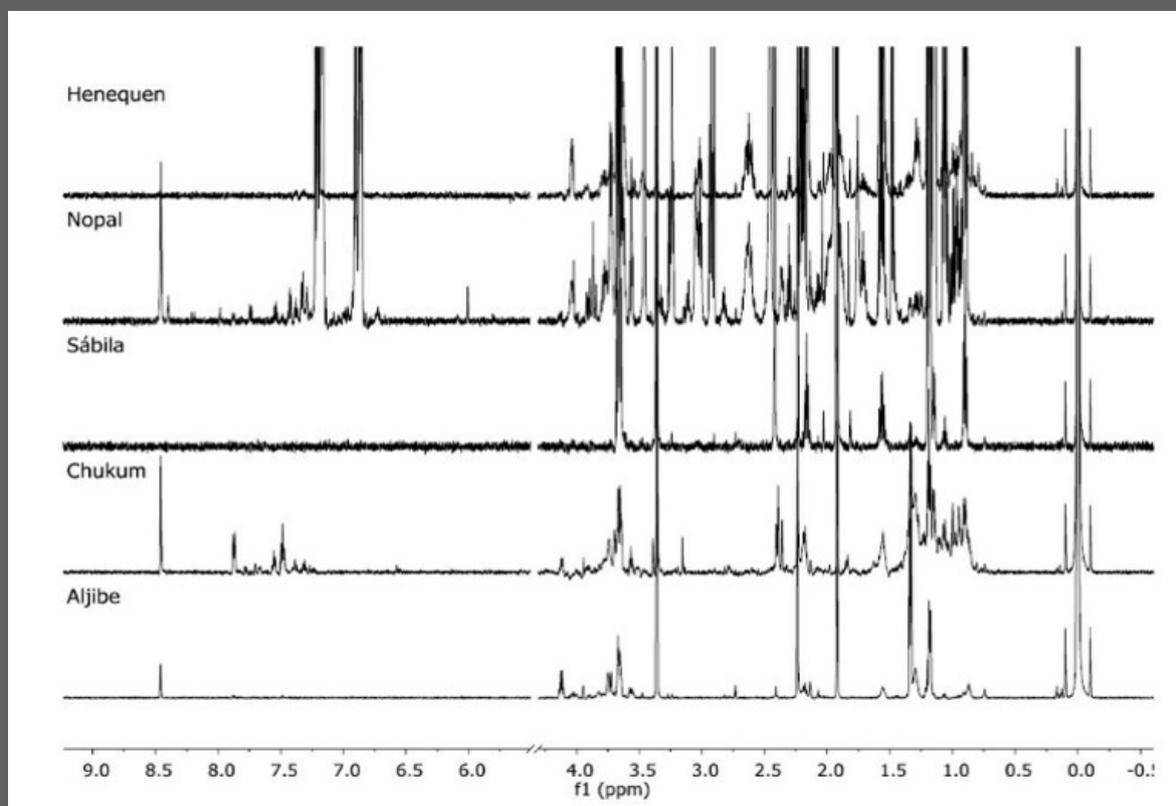


ILUSTRACIÓN 8.

Comparación de perfiles químicos de los extractos vs las muestras del aljibe. LANNB-CINVESTAV. Tomado del análisis 11-2022. Dra. Patricia Quintana Owen, Dra. Gloria Hernández Bolio, Dr. Víctor Rejón Moo, Dr. Emanuel Hernández Núñez y M.C. Daniel Aguilar Treviño.

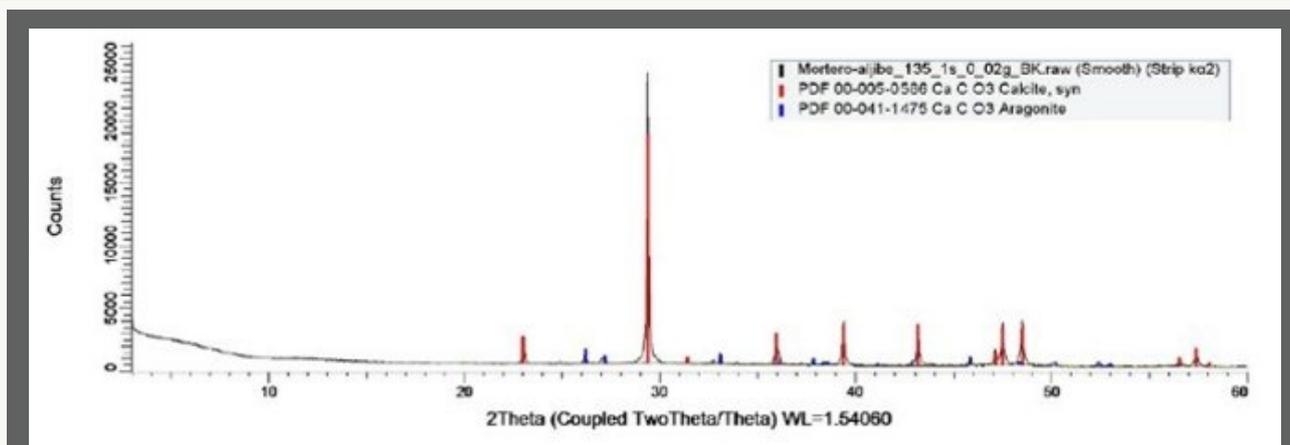


ILUSTRACIÓN 9.

Difractograma de rayos X de la muestra de mortero, mostrando las fases de calcita y aragonita.. LANNB-CINVESTAV. Tomado del análisis 11-2022. Dra. Patricia Quintana Owen, Dra. Gloria Hernández Bolio, Dr. Víctor Rejón Moo, Dr. Emanuel Hernández Núñez y M.C. Daniel Aguilar Treviño.

En resumen, la evidencia obtenida nos permite concluir que el proceso constructivo consistió en la excavación manual de la roca caliza, la colocación de un mortero base cal para suavizar las superficies interiores y “bolear” las aristas, y finalmente la aplicación de un recubrimiento elaborado a partir de extracto de chukum como acabado final impermeabilizante, proceso muy similar al utilizado en la construcción de los chultunes en la zona norte de la península de Yucatán (excavación en roca caliza y recubrimiento interior con aplanado de cal) (Icaza, 1985:26).

4. Proyecto de rehabilitación

Consideración esencial de los trabajos de intervención en el patrimonio edificado, es su recuperación y conservación para el uso, disfrute y servicio a la población. Bajo esa perspectiva es que los autores han planteado diversas propuestas para la puesta en valor y de uso del aljibe. Como se ha mencionado, en la propuesta inicial, se planteaba incorporarlo a las actividades pedagógicas y lúdicas del plantel, sin embargo, a partir de análisis posteriores, y ante una problemática creciente en la ciudad con relación al suministro de agua en diversas zonas de la ciudad, se replanteó la puesta en función, considerando la rehabilitación del aljibe para su uso original, es decir, almacenar agua de lluvia, pero ahora, solo para distribución y uso en inodoros, limpieza y lavado de pisos y patios, además, la propuesta considera incluir elementos didácticos que contribuyan a su difusión e importancia de su puesta en función y conservación, ante las necesidades actuales de la comunidad educativa y de la zona.

5. Propuesta de intervención

Para la propuesta de intervención se consideran varias etapas con apego a una metodología de restauración arquitectónica, bajo la premisa de la mínima intervención, tratar de conservar al máximo los elementos y componentes originales, así como el procurar ser lo menos invasivo en la estructura original. Entre las etapas de intervención se consideran:

5.1) Identificación de superficies deterioradas y liberación de aplanados y recubrimientos

Como acciones iniciales, se plantea el registro gráfico y fotográfico de superficies que presenten deterioros o patologías, tales como grietas o fisuras, áreas sopladas, flojas o desprendidas, manchas, eflorescencias o uso de materiales incompatibles, se registrará su dimensión, forma, cromática y textura, para realizar posteriormente las liberaciones correspondientes. Tales liberaciones consideran solo la demolición de aplanados o recubrimientos que presenten daño irreversible.

Las secciones en las que se realice liberación de recubrimientos deteriorados, se dejará expuesta la piedra desnuda de tres a cuatro días (o más si es posible) para que se ventile y disipar así, la humedad que pudiera contener.

Tales liberaciones se realizarán con picoleta o martillo de filo, con golpes suaves y rasantes, con la finalidad de liberar sólo los aplanados flojos, se trabajará de áreas superiores hacia inferiores, para identificar áreas de menor a mayor daño, ya que es en áreas inferiores donde comúnmente se presentan los mayores deterioros por el contacto con el agua y humedad. Es importante destacar que se conservarán todos los recubrimientos que presentan solidez.

Después de retirar los recubrimientos vencidos, flojos o deteriorados, se limpiarán los paramentos con brocha de cuatro o cinco pulgadas para retirar el polvo, suciedad, materia residual u orgánica que pudiera contener. Una vez descubiertos los paramentos de piedra, si se observaran oquedades, se deberán reacuñar para uniformizar las superficies, a fin de evitar que la capa del revoco nuevo sea muy gruesa.

5.2) Reintegración de aplanados y recubrimientos

Por la antigüedad, ubicación y técnica con la que se elaboró el aljibe, los paramentos originales, presentan cierta inclinación e irregularidad en sus aplanados, los cuales se respetarán en todo momento para preservar sus características originales. Los aplanados originales no están aplicados a hilo, regla y plomada, ni su acabado es pulido, por lo que presentan pequeñas ondulaciones y texturas en todo el interior del aljibe. Se propone la reintegración de revocos de cal similares a los originales y bajo la misma técnica, que se explicará más adelante.

Como es sabido, para la elaboración de mezclas, morteros y argamasas, el uso de la cal en México, ha sido esencial desde la arquitectura prehispánica hasta la decimonónica (la cal como aglutinante de las estructuras de piedra y para la elaboración de revoques y pintura) en tales mezclas, la cal es el material utilizado en menor proporción y la mayor parte, la conforman los denominados áridos; arenas, gravilla, tierra, cenizas, polvo de arcillas, etcétera. Ante ello, se puede considerar que el uso de tales materiales, ha sido determinante y característico en la morfología constructiva y arquitectónica de las edificaciones del periodo señalado (Guerrero, 2013:66).

Para la intervención en estructuras de mampostería de piedra, por compatibilidad de materiales, se requiere de mezclas y revoques a base de cal, ya sean gruesos o finos, la cal fungirá como cementante y los áridos conformarán el cuerpo o volumen de la mezcla. Para una estructura como la del aljibe se requiere el uso de revoques con argamasa. La argamasa es un mortero hecho de cal, arena y algún aditivo o solución, empleado en obras de albañilería usados desde la antigüedad hasta la actualidad (Alonso, 2013:73). Bajo tales consideraciones, es importante señalar que, en el ámbito de la conservación de estructuras o mamposterías de piedra, no hay una argamasa ideal, ya que la proporción de mezcla entre cementante (cal) y agregados, dependerá de los objetivos de la intervención, si se busca dureza, resistencia a la compresión, velocidad de fraguado, permeabilidad al agua o vapor de agua, resistencia a sales solubles o ciclos de congelación (Villaseñor y Schneider, 2013:95)

La argamasa para conservación, debe tener porosidad, permeabilidad y resistencia a la compresión similar o ligeramente inferior a la original, para que funcione en un momento dado como material de sacrificio, de tal modo que, teniendo propiedades mecánicas, de resistencia a los ciclos de sales solubles y de congelación inferiores a la argamasa original, se puedan canalizar los agentes de deterioro a los materiales de sacrificio, protegiendo así a los originales (Villaseñor y Schneider, 2013:96)

La reintegración de aplanados y recubrimientos al aljibe estará sustentada a partir de los resultados arrojados por los estudios realizados a los núcleos de los revocos originales, y a las soluciones obtenidas de la humectación de diferentes especies, con lo cual se concluyó que los aplanados originales estaban compuestos a base de cal, polvo de piedra y aditivo orgánico de chukum (popularmente conocido como agua de chukum). Cabe señalar que, en el uso de morteros de cal y aditivos orgánicos, no existe una receta única o unívoca de proporcionarlos o prepararlos, esto varía según la región y sus condicionantes, la elección de sus componentes debe ir en función de las necesidades de su problemática específica, en concordancia con el objetivo de la intervención (García y Jaidar, 2013:132)

Para el caso del aljibe, la reintegración de aplanados se aplicará por capas hasta alcanzar el espesor a ras o igual a los aplanados existentes, bajo las siguientes consideraciones: sobre los paramentos descubiertos, se aplicarán los aplanados o revocos gruesos, a base de cal y polvo de piedra grueso en proporción 1:3, y agregando solución de chukum hasta obtener la consistencia requerida. Una vez aplicado el revoco se deberá esperar para que seque por completo y se contraiga, a fin de que se aparezcan las pequeñas grietas generadas por el secado del revoco nuevo. Tales grietas, serán selladas posteriormente y cubiertas por el aplanado fino.

Para la aplicación de los aplanados o revocos finos, primero se humedecerán las superficies con solución de chukum y posteriormente se aplicarán los aplanados a base de cal y polvo de piedra fino o cernido, en proporción 1:1.5, agregando solución de chukum hasta obtener la consistencia

requerida. Es importante señalar, que humedecer previamente los paramentos de revoco grueso, evitará que estos absorban la humedad de los aplanados o revocos finos nuevos y se fisuren.

Los aplanados, tanto gruesos como finos, se aplicarán con llana de albañil sin hilo, plomada o regla, para que la morfología resultante sea similar a la de los aplanados originales del aljibe. Una vez aplicados los revocos finos, se deberán bruñir (tallar) con el canto de la cuchara de albañil, lo cual dará un acabado similar a los originales y la textura lisa tendrá mejor comportamiento y resistencia para repeler el agua.

Esta última capa de revoco fino bruñido, será el acabado final (aparente) en los paramentos del aljibe, ya que como se señaló previamente, este no presenta ningún tipo de recubrimiento adicional.

5.3) Sistema de bombeo y cubierta de registro

Aprovechando el pequeño pozo o cárcamo existente al interior del aljibe, se propone la colocación de una bomba eléctrica para alimentar de manera directa un tinaco, el cual se ubicará en el techo del núcleo sanitario de alumnos (ya que es ahí donde se encuentran la mayor cantidad de muebles sanitarios y salidas de agua para limpieza). En el caso de los bajantes pluviales conectados al aljibe, será necesario instalar rejillas de filtrado para evitar el paso de cualquier cuerpo o materia diferente al agua de lluvia.

Actualmente, para acceder al aljibe se requiere remover una tapa de concreto armado ubicada al nivel del patio de la escuela, por lo cual su presencia pasa totalmente desapercibida para los usuarios del plantel. Con el objetivo de darle notoriedad y una finalidad didáctica, se propone sustituir la tapa existente por una tapa-cubierta de doble vidrio templado de 12 mm, color natural, con marco de acero inoxidable, diseñada para resistir el tránsito de personas, para que desde el patio se pueda apreciar la entrada del aljibe, el agua captada de lluvia y la instalación del sistema de bombeo. Para evitar la concentración de humedad por condensación en la tapa-cubierta, y que, con ello, se obstruya la visibilidad al interior, se propone la colocación de tubos de ventilación de PVC, colocados debajo de la tapa con salida hacia el exterior, para ello se ranurará el piso del patio y muro más cercanos para alojar dicha tubería, quedando así protegida y oculta a la vista de los usuarios.

5.4) Elementos informativos para difusión y apropiación del aljibe

En una etapa previa de este estudio se diseñó un poster dirigido a alumnos, maestros y público en general tipo cómic informando sobre la existencia del aljibe, así mismo, se creó un personaje, que explicaba de forma sencilla a los lectores, sobre la existencia de la construcción subterránea.

Para esta nueva etapa se propone crear un póster, en el cual, el mismo personaje explique brevemente la problemática actual y futura del consumo y la contaminación del agua a nivel mundial y local, la importancia de su consumo responsable y como esta estructura puede reintegrarse a las instalaciones

de la escuela y contribuir al cuidado del agua. También se propone la creación y colocación de una placa informativa que explique brevemente los trabajos realizados en el aljibe, su puesta en función y los beneficios que ello genera.

Para propiciar la difusión, puesta en valor y apropiación de usuarios y ciudadanos, se realizarán presentaciones, ante la comunidad educativa de la escuela, de los avances del trabajo de investigación y las propuestas de intervención.

6. Reflexiones finales

Es importante destacar los aprendizajes que el estudio de este aljibe ha dejado en el equipo de trabajo y en todos los involucrados. En primer término, la imperante necesidad de valorar el empleo de las tecnologías de vanguardia y la riqueza que aporta un enfoque multidisciplinario en el estudio del patrimonio edificado. En segundo término, pero no menos importante, la utilidad presente de esos elementos patrimoniales. La propuesta de utilizar los materiales originales en el proceso de rehabilitación son un reconocimiento a su probada durabilidad, sus buenas prestaciones técnicas y en particular, sus inherentes características de sostenibilidad. En este caso, pasado, presente y futuro se conectan a través de un objeto arquitectónico, y lo que en el pasado fue una necesidad producto de la falta de desarrollo e infraestructura, ahora se convierte en una necesidad producto de nuestro desarrollo desmedido y hasta cierto punto, irresponsable en el manejo de los recursos hídricos. El reto está en hacer conscientes de esta problemática a las nuevas generaciones.

Agradecimientos

Los autores desean manifestar su agradecimiento a la Dra. Patricia Quintana Owen (LANNBIO); al L.N.I. Manuel Comas Carrillo (Laboratorio H2O); a la Dra. Trinidad Eugenia Cu Cañetas (U. Modelo), por sus valiosas asesorías y comentarios.

Bibliografía y referencias

- ALONSO, A. (2013). Agregados de morteros y conglomerados de cal. En L. Pingarrón, & I. Villaseñor, La cal. Historia, propiedades y usos (págs. 73-94). México: UNAM-Instituto de investigaciones antropológicas.
- BARRERA VÁZQUEZ, A. (1980). *Diccionario Maya Cordemex*. Mérida: Cordemex
- CERÓN, J.; LARA, J.; y DAMAS, J. (2018). El aljibe de la escuela Vicente María Velázquez, espacio subterráneo en la ciudad de Mérida, Yucatán, México. Registro y proyecto de intervención. *Intervención.*, pp. 65-79.
- COESPO (Consejo Estatal de Población). (6 de junio de 2022). Consejo Estatal de Población. Obtenido en línea de https://coespo.yucatan.gob.mx/si.php?s=proyecciones_de_poblacion. (Consulta: 10.04.2023).
- ESTRADA, H., COBOS, V., ACOSTA, J. L., y PEÑA, S. (2016). La sequía de la península de Yucatán. *Tecnología y Ciencias del Agua*, pp.151-165.
- GARCÍA, C., Y JAIDAR, Y. (2013). El uso de aditivos orgánicos en mezclas de morteros de cal en el área maya. En L. Pingarrón, & I. Villaseñor, La cal, historia, propiedades y usos. pp. 113-138. Ciudad de México: UNAM-Instituto de investigaciones antropológicas.
- GÓMEZ, J. (18 de diciembre de 2019). "Yucatán, último lugar en tratamiento de aguas residuales". Punto medio. En línea en <https://puntomedio.mx/yucatan-ultimo-lugar-en-tratamiento-de-aguas-residuales/> (Consulta: 10.10.2023)
- GONZÁLEZ, R., ALBORNOZ, B., SÁNCHEZ, I., y OSORIO, H. (2018). El acuífero yucateco. Análisis del riesgo de contaminación con apoyo de un sistema de información geográfica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, pp. 667-683.
- GUERRERO, L. (2013). La cal y los sistemas constructivos. En L. Pingarrón, & I. Villaseñor, La cal, historia, propiedades y usos. pp. 47-72. México: UNAM- Instituto de investigaciones antropológicas.
- ICAZA, L. (1985). Arquitectura para el agua durante el virreinato en México. Cuadernos de arquitectura virreinal, pp. 20-33.
- INEGI. (6 de junio de 2022). Información por entidad. Obtenido en línea de: <https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/yuc/territorio/clima.aspx?tema=me&e=31>. (Consulta: 21.06.2023)
- LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Q.F.B. Manuel A. Comas Bolio. (2021). Informe de ensayos. Escuela Vicente María Velázquez. Mérida
- LANDA, D. d. (2017). Relación de las cosas de Yucatán. Alianza. P. 41
- MARTÍNEZ, M. M., y GUERRERO, L. F. (2020). Uso tradicional de morteros con Chucum en la península de Yucatán, México. *Journal of traditional building, architecture and urbanism*, pp. 498-508.
- MARTÍNEZ, W., ALONSO, E., RUBIO, J., BEDOLLA, J., VELASCO, F., Y TORRES, A. (2008). Comportamiento mecánico de morteros de cal apagada artesanalmente, adicionados con mucílago de cactácea y ceniza volcánica, para su uso en restauración y conservación de monumentos coloniales. (p. U. Chile, Ed.) *Revista de la construcción*, 7(2), pp. 93-101.

- MEDINA, C. (26 de julio de 2022). "Crisis del agua en Yucatán: detectan arsénico y el virus de la hepatitis A". El Diario de Yucatán. En línea en : <https://www.yucatan.com.mx/merida/2022/07/26/crisis-del-agua-en-yucatan-detectan-arsenico-el-virus-de-la-hepatitis-335912.html>.(Consulta: 12.08.2023)
- MORRIS, E., CHARLOT, J., Y MORRIS, A. (1931). The temple of the warriors at Chichén Itzá, Yucatán. Washington: Carnegie Institution of Washington.
- ORTIZ, G. (2019). "Agua contaminada en Yucatán, una realidad sin cambios". La Jornada Maya. En línea: <https://www.lajornadamaya.mx/yucatan/118573/agua-contaminada-en-yucatan-una-realidad-sin-cambios>. (Consulta: 05.03.2023).
- PINGARRÓN, L. B. (2013). El uso de la cal en el mundo prehispánico mesoamericano. En L. B. Pingarrón, y I. V. Alonso, La cal. Historia, propiedades y usos (p. 22). México, Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México.
- RUIZ, R. V. (Mayo de 2014). Morteros de cal con mucílago de nopal (*opuntia ficus-indica*), como aditivo: evaluación de las propiedades mecánicas en base al método de extracción empleado. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- TORRES, A., CELIS, C., MARTÍNEZ, W., y LOMELÍ, M. (2010). Mejora en la durabilidad de materiales base cemento, utilizando adiciones deshidratadas de dos cactáceas. Publicación Técnica No. 326. San Fandila, Querétaro, México: Instituto Mexicano del Transporte.
- VÁZQUEZ DE AGREDOS, M. L. (2010). *La pintura mural Maya: Materiales y técnicas artísticas*. Mérida: Universidad Nacional Autónoma de México. 2010.
- VILLASEÑOR, I., y SCHNEIDER, R. (2013). Principios generales para la preparación de argamasas. En L. Pingarrón, & I. Villaseñor, La cal. Historia, propiedades y usos. pp. 95-112. México: UNAM-Instituto de investigaciones antropológicas.
- VILLEGAS, P. (2012). Las tejas de Marsella en la costa campechana. Estudio preliminar. En L. B. Sara Ladrón de Guevara, Haciendo arqueología: teoría, métodos y técnicas, pp. 154-164. Xalapa: Universidad Veracruzana.



JOSÉ EDUARDO CERÓN CHÁVEZ

Ingeniero Civil por la Universidad Autónoma de Yucatán, Maestro en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México, Doctor en Ciencias de la Educación por la Universidad Anáhuac Mayab. Miembro adjunto del centro de Investigaciones Silvio Zavala de la Universidad Modelo y Docente/Administrativo de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Modelo. Coautor de diversos artículos y ponencias. Los dos más recientes son "Diseño, implementación y evaluación de estrategias didácticas para el taller de modelos estructurales", publicado en las memorias de la reunión ASINEA 94 (2016) y "El aljibe de la escuela Vicente María Velázquez, espacio subterráneo en Mérida, Yucatán, México. Registro y proyecto de Intervención", publicado en la revista Intervención No. 18 (2018).



JOSÉ JORGE LARA JIMÉNEZ

Arquitecto por la Universidad Nacional Autónoma de México, Maestro en Intervención Sustentable del Patrimonio Edificado por la Universidad Modelo, Doctorante en Ciencias del Hábitat por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Profesor de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Modelo y la Escuela de Arquitectura y Diseño de la Universidad Marista. Miembro Fundador de la Asociación Yucateca de Especialistas en Restauración y Conservación del Patrimonio Edificado.

Miembro de la Academia de Investigación de la Escuela de Arquitectura de la Universidad Modelo. Su artículo más reciente "El centro histórico de Mérida, la desvalorización de su patrimonio arquitectónico y antagonismos en su transformación" publicado en Memorias del Primer Seminario de Investigación en Ciencias del Hábitat (2017).



JOSÉ DE LA CRUZ DAMAS

Maestro en Física Aplicada por el Cinvestav, Unidad Mérida. Doctorante en Sistemas Complejos por la Universidad de Navarra, España. Profesor de licenciatura en la Escuela de Ingeniería de la Universidad Modelo. Actualmente se desempeña también como Gerente comercial de la empresa IKTANSOFT Servicios Integrados S.A. de C.V. en el desarrollo de estrategias de vinculación científica con universidades y centros de investigación. Ha realizado proyectos a nivel nacional e internacional en países como México, Estados Unidos y Perú.