

Resultados preliminares del estudio geofísico del Edificio 16 Templo de las Pinturas de Tulum y la Estructura 12 de Tancah, Quintana Roo

Jorge Blancas*, Luis Barba*, Agustín Ortiz*, Claudia Trejo** y Patricia Meehan**

**Laboratorio de Prospección Arqueológica, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México

**Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, Instituto Nacional de Antropología e Historia

Resumen

Una de las prioridades del *Proyecto de conservación e investigación de pintura mural de la Costa Oriental de Quintana Roo* es estudiar y detener las causas que producen sus deterioros. Las pinturas murales del Edificio 16 de Tulum y de la Estructura 12 de Tancah se ven directamente afectadas por problemas estructurales de los edificios de los que forman parte. A través de las observaciones de la investigación bibliográfica, del estado de los edificios, del estudio de los levantamientos arquitectónicos y de la medición y monitoreo de la dinámica de las grietas de estos edificios, se formuló la hipótesis de que la problemática estructural se podría derivar de asentamientos originados en el subsuelo. Con la finalidad de comprender esta dinámica estructural en el 2015 se inició el estudio geofísico de los edificios y sus inmediaciones, en el cual se obtuvieron resultados preliminares. En el año 2016 se efectuaron nuevos estudios con georradar para complementar los inquietantes datos de las temporadas anteriores. En el presente escrito se muestran los resultados de los estudios efectuados, mismos que sustentan las hipótesis planteadas.

Palabras clave

Pintura mural, prospección geofísica, resistividad eléctrica, monitoreo estructural, conservación arqueológica multidisciplinaria.

Abstract

One of the main aims of the Proyecto de conservación e investigación de pintura mural de la Costa Oriental de Quintana Roo is to study the decay mechanisms and to reduce or control their causes. The mural paintings located in the archaeological structures of Structure 16 in Tulum, and Structure 12 in Tancah are affected by structural problems. The hypothesis that the structures of these buildings are affected by settlements originated in the ground was established as a result of observation, bibliographical research and by measuring and monitoring the dynamics of cracks formed in them. A geophysical survey was initiated in 2015 in order to understand these structural dynamics both in the buildings and their surrounding environment; preliminary results were obtained. In 2016, new studies were undertaken using a georadar, in order to complement the serious results from the previous field work. This paper presents the results of the research, which support the initial hypotheses.

Keywords

Mural painting, geophysical survey, electric resistivity, structural monitoring, multidisciplinary archaeological conservation.



Edificio 16 “Templo de las Pinturas”, Tulum

El Edificio 16 o Templo de las Pinturas, es uno de los edificios más importantes del núcleo urbano de la ciudad de Tulum. Este edificio es característico del estilo arquitectónico Costa Oriental y está ricamente decorado con relieves policromados y pintura mural, las cuales son objeto de estudio e intervención por parte del *Proyecto de conservación e investigación de pintura mural de la Costa Oriental de Quintana Roo*.

Descripción del edificio

El Edificio 16 está conformado por cuatro etapas constructivas y, como ya se mencionó, presenta elementos característicos del estilo Costa Oriental, así como la presencia de pintura mural. La etapa más temprana corresponde a un templo pequeño con un único vano de acceso en la fachada poniente. Las características arquitectónicas del templo son: la presencia de un dintel remetido, un friso con la presencia de molduras y de un nicho central que contiene un relieve modelado en estuco, así como la presencia de pintura mural tipo códice (Lothrop, 1924: 92).



Figura 1. Detalle de la pintura mural estilo códice de la fachada poniente del santuario del Edificio 16. Imagen: Valerie Magar, 2010, ©CNCPC-INAH.

En la segunda etapa se construyeron tres crujías abovedadas al norte, sur y poniente del santuario. Se conservó el lado poniente como la fachada principal del edificio con la presencia de cinco vanos de acceso por medio de columnas y paramentos a los laterales. La fachada principal presenta relieves modelados en estuco sobre el friso y sobre las molduras, tres nichos con restos de personajes modelados en estuco, encontrándose al centro el relieve del Dios Descendente, y en las esquinas noroeste y suroeste de la fachada el mascarón modelado del Dios Itzamná, así como restos de pintura mural en la superficie de la fachada (Lothrop, 1924: 92).



En la tercera etapa según Lothrop (1924: 92) se construyó el templo superior del edificio con un único vano de acceso al lado poniente. Los muros del templo superior se construyeron ligeramente desfasados del eje de los muros del santuario de la primera etapa constructiva, de esta forma se generaron terrazas al norte, al poniente y al sur del templo superior. Para acceder al primer nivel se construyó una escalera en la fachada sur del edificio; para esto, se eliminó parte del friso de esta fachada para empotrar la escalera.¹

En la cuarta y última etapa se construyó un muro de contención en la fachada oriente del edificio que funciona a manera de contrafuerte y se colocó un pilar al centro del vano de acceso del santuario (primera etapa constructiva) (Lothrop, 1924: 92).

Antecedentes

La primera investigación científica en Tulum fue llevada a cabo por el Instituto Carnegie de Washington a través de tres temporadas de campo dirigidas por el arqueólogo Sylvanus G. Morley en 1916, 1918 y 1922. Las actividades que se realizaron durante las temporadas fueron reportadas por Samuel K. Lothrop en 1924. En la figura 2 tomada durante las excavaciones del Instituto Carnegie en 1922, se puede observar que el edificio ya presentaba problemas estructurales como el colapso de la bóveda de la crujía norte (izquierdo de la figura). Así mismo, se puede observar el crecimiento de vegetación en el sitio, donde incluso no se puede observar el Edificio 1 “El Castillo” al fondo.

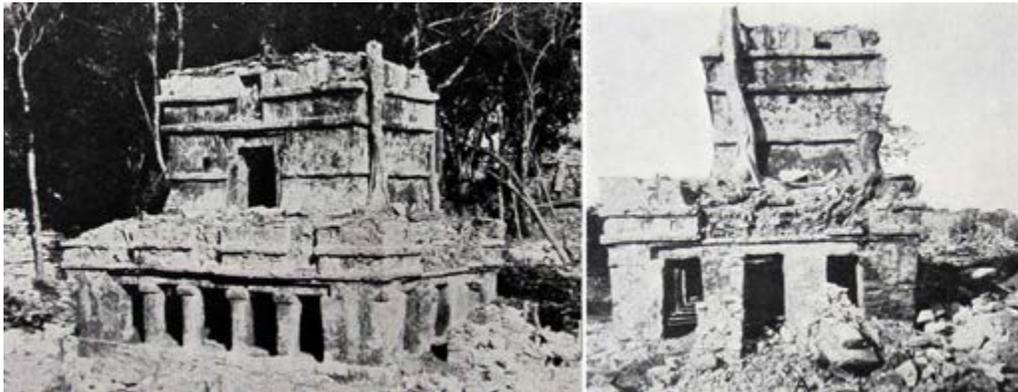


Figura 2. Fotografías tomadas durante las exploraciones del Instituto Carnegie. Izquierda: Perspectiva suroeste del Edificio 16, se observa el colapso del mascarón en la esquina del lado izquierdo de la fachada principal. Derecha: Fachada sur. Se puede observar la invasión de raíces en el núcleo expuesto, así como el derrumbe de la escalera al pie del edificio. *Imagen: Samuel Lothrop (1924: 96).*

En la imagen del lado derecho de la misma figura se observa claramente la invasión de raíces en el núcleo expuesto de la fachada sur, así como el escombros al pie del edificio. Este material correspondería a la escalera ya colapsada que daría acceso al templo superior del edificio. Lothrop menciona que la superestructura y el santuario no pudieron soportar el peso del

¹ Como parte de la investigación que se ha efectuado del Edificio 16 dentro del *Proyecto de conservación e investigación de pintura mural de la Costa Oriental de Quintana Roo*, se ha formulado la hipótesis de que el templo superior posiblemente sea contemporáneo a la segunda etapa constructiva, sin embargo esta investigación está aún en proceso.



templo superior; la evidencia de esto fue el reforzamiento de algunos muros (Lothrop, 1924: 92). De acuerdo con Lothrop estos refuerzos son los mencionados en la cuarta etapa constructiva del edificio, que incluyen la colocación del pilar al centro del vano de acceso del santuario, el ensanchamiento de los muros del lado oeste del santuario (primera etapa) y el adosamiento de un muro de contención en la fachada oriente.

Posteriormente, en junio de 1938 el arqueólogo Miguel Ángel Fernández realizó una primera temporada de trabajos de exploración y conservación de Tulum, posterior a su visita el año anterior como miembro de la Expedición Científica del Sureste Mexicano y Centroamérica. Fernández menciona que encontró el Edificio 16 en mal estado de conservación y registró daños importantes que surgieron después del proyecto de la Institución Carnegie (Fernández, 1945, TIII: 113). También sugiere que el principal daño que presentaba el edificio era el colapso parcial de la crujía norte (Fernández, 1945, TIII: 114).

Fernández efectuó distintos trabajos de conservación y de restauración en este edificio. Reconstruyó las secciones colapsadas del edificio, principalmente la bóveda de la crujía norte y el mascarón modelado de la esquina noroeste de la fachada principal (Fernández, 1945, TIII: 112) (figura 3). Otro de los trabajos de conservación del edificio realizado por Fernández fue remover el piso de la terraza del primer nivel y consolidarlo con un mortero de concreto para evitar las filtraciones de agua al interior de las crujías (Fernández, 1945, TIII: 112). También reconstruyó el contrafuerte de la parte posterior del edificio que los mayas adosaron para sostener los empujes ocasionados en el muro oriente del templo superior.

Finalmente retiró el escombros del material depositado en la fachada sur del edificio y encontró evidencias de la posible escalera que conducía al primer nivel, pero no la reconstruyó por falta de tiempo (Fernández, 1945, TIII: 112).



Figura 3. Proceso de reconstrucción del mascarón modelado en estuco de la esquina noroeste de la fachada principal del Edificio 16, Tulum. *Imagen: Erosa, 1920.*



En la investigación realizada en el archivo del Centro INAH-Yucatán, se encontró un álbum llamado *Fotografías de Exploraciones en la zona arqueológica de Tulum* de Ricardo Velázquez Valadéz de 1975. Las fotografías correspondientes al Edificio 16 muestran el proceso de consolidación de la estela número 2 frente al edificio. Lo interesante de estas fotografías es que se logran observar ya las grietas de los tres dinteles al norte de la fachada principal del edificio.



Figura 4. Fotografía tomada durante las exploraciones en Tulum en 1975. Fachada principal del Edificio 16. En los tres primeros dinteles (izquierda-derecha) ya se observan las grietas monitoreadas actualmente por el proyecto. Imagen: Velázquez, 1975.

En 1996 estudiantes de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía (ENCRyM), a cargo de la restauradora Martha Tapia González, como parte del proyecto *Brigada de conservación arqueológica Tulum, Xelhá y San Gervasio*, realizaron distintos trabajos de conservación en los edificios de la zona arqueológica de Tulum. En el apartado de diagnóstico del estado de conservación del edificio de su informe de trabajo, mencionan que éste presenta un desplazamiento hacia la fachada principal, el hundimiento en diversas partes del edificio que provocan la deformación de los muros y la aparición de grietas y fisuras en los mismos, pero no se profundiza a mayor detalle la ubicación exacta de las grietas y fisuras.

Finalmente en 2010 el *Proyecto de conservación e investigación de pintura mural de la Costa Oriental de Quintana Roo* (Jáidar *et al.*, 2011) realizó un diagnóstico del estado de conservación del edificio y de la pintura mural. Desde entonces se han llevado a cabo distintos diagnósticos, intervenciones, análisis y estudios de prospección en colaboración con el doctor Luis Barba, el maestro Jorge Blancas y el doctor Agustín Ortiz del Laboratorio de Prospección Arqueológica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Proyecto de conservación e investigación

Desde la temporada de campo de 2011 el *Proyecto de conservación e investigación de pintura mural de la Costa Oriental de Quintana Roo* se ha llevado a cabo la medición del ancho y la profundidad de las grietas presentes en el edificio. Los resultados que se han obtenido de este monitoreo de 2011 al 2016 indican que el edificio presenta una dinámica constante, así como un incremento en el ancho y la profundidad de las grietas. La dinámica de estas grietas ha permitido detectar que los principales problemas estructurales que presenta el edificio aparentemente son ocasionados por el asentamiento de la esquina noroeste y el hundimiento del templo superior hacia el oeste.

Estudios, hipótesis y resultados de prospección

Con base en los diagnósticos y los resultados de los monitoreos de grietas efectuados, se plantearon distintas hipótesis del problema estructural que presenta el edificio, tal y como se describen a continuación:

- Los mayas que construyeron esta ciudad pudieron haber rellenado y nivelado la parte central del actual sitio arqueológico, lo cual puede ocasionar la inestabilidad estructural de los edificios ubicados sobre sedimentos no consolidados.
- La presencia de cavidades en los estratos de la roca madre, producen asentamientos que afectan directamente la estabilidad del subsuelo y del edificio. Esto podría reflejarse en el edificio con la formación de grietas.
- La existencia de restos de una subestructura bajo el edificio cubierto por el espesor de relleno y que promueven el asentamiento diferencial.

Para lograr obtener resultados precisos se realizaron distintas actividades durante dos temporadas de campo en el 2015 y 2016. Previo a estas actividades se realizó una investigación bibliográfica, específicamente de excavaciones arqueológicas en el sitio de Tulum, para conocer las técnicas de relleno empleadas por los mayas para nivelar el terreno. La fuente principal que se obtuvo de esta investigación fueron los trabajos realizados por William T. Sanders en 1954-1955 (Sanders, 1960), sobre los estudios de las secuencias cerámicas y del patrón de asentamiento. Cabe mencionar que en esa publicación, Sanders no menciona que haya encontrado rellenos profundos, pero si la escasa profundidad a la que recuperó los fragmentos cerámicos.

Para verificar esta información se llevaron a cabo sondeos del suelo mediante nucleadores. El sondeo se realizó junto a la fachada norte del Edificio 16 por presentar una superficie de vegetación uniforme, además de que no se encuentran edificios o plataformas aledañas. La profundidad máxima de penetración de los nucleadores fue de 30 cm, de lo cual se obtuvo sólo tierra vegetal colocada para plantar el pasto (izquierda de la figura 5).

Las pruebas con los nucleadores ayudaron a descartar la hipótesis de que el sitio hubiera sido rellenado por los mayas para nivelar la superficie. Incluso en las fotografías obtenidas de la investigación bibliográfica de los antecedentes del edificio no se observan irregularidades o algún material de relleno, lo que indica que el nivel de la roca madre se encuentra muy cercana a la superficie del sitio.





Figura 5. Sondeo realizado con el nucleador para determinar el espesor de relleno y la profundidad a la que se encuentra la roca madre. Fachada norte del Edificio 16. Imágenes: Patricia Meehan, 2015, ©CNCPC-INAH.

Otra de las actividades realizadas fue la obtención de un mapa topográfico del sitio. Esto fue muy importante ya que hasta el momento no existía un levantamiento detallado, ni la posición exacta de los edificios. También era necesario para detectar las vías de desagüe del agua pluvial y las zonas en donde ésta se acumula.

El levantamiento topográfico se llevó a cabo con un GPS diferencial con el que se tomaron más de 350 puntos en todo el sitio. Los puntos fueron tomados en el interior de la zona arqueológica y en el perímetro de la muralla en las zonas donde era posible hacer el registro. El mapa topográfico se complementó con una imagen satelital de Google Earth® de alta resolución con lo que se logró obtener un modelo tridimensional del relieve de la zona arqueológica. Este modelo permite observar claramente los niveles del sitio y la relación con la posición de las estructuras en la zona. Los resultados de la topografía permitieron distinguir una pendiente en la parte media y central del sitio donde existe una conducción natural de agua pluvial que parece dirigirse hacia el noreste con dirección a la playa (Figura 6).



Figura 6. Modelo digital de elevación de la zona arqueológica de Tulum, obtenido de los datos topográficos tomados in situ con un GPS diferencial y con la capa de textura de una imagen satelital de Google Earth®. Imagen: Jorge Blancas, 2015, ©CNCPC-INAH.

Para determinar las condiciones del subsuelo y comprender los procesos del hundimiento diferencial que presenta el Edificio 16 se realizaron estudios geofísicos en el perímetro y en el interior del edificio, así mismo se realizaron algunas líneas a lo largo de los andadores de todo el sitio con la misma finalidad. Para el estudio geofísico se emplearon dos antenas, una de 200 MHz que alcanza una profundidad de 5 m y otra de 400 MHz que alcanza 3.50 m de profundidad. La primera antena, aunque consigue mayor profundidad, produce una imagen con menor resolución, mientras que la segunda penetra una menor profundidad pero la imagen es de mejor calidad.

Como primera aproximación al estudio del sitio se utilizó la antena de 200 MHz, con la que se realizaron líneas sobre los andadores actuales (para visitantes), así como en las zonas más planas del sitio. Los resultados de los radargramas arrojaron información general de las condiciones del sitio. Se observaron reflexiones intensas que muestran anomalías en la roca madre que contrastan con las zonas homogéneas en mejor estado. Estas anomalías parecen estar relacionadas con fallas geológicas como oquedades o cavidades subterráneas (Figura 7). Las anomalías detectadas se encuentran a partir de un metro de profundidad hasta los cuatro metros.



Figura 7. Acercamiento de la imagen satelital tomada de Google Earth® con la ubicación de una de las líneas de georadar con antena de 200 MHz obtenidas en el andador central del sitio. Se observan claramente las reflexiones en blanco en la parte sur del radargrama (derecha de la imagen). Imagen: Jorge Blancas, 2015, ©CNCPC-INAH.

Estas fallas o anomalías también se observaron en el corte de la costa desde el mar (Figura 8). Gracias a una observación desde la costa se logró detectar un gran número de cavidades que aparecen a diferentes alturas en el perfil expuesto al oriente del sitio. Con base en lo anterior se propone que las reflexiones que el georadar detecta en las líneas realizadas en la superficie del sitio están relacionadas con las cavidades que se apreciaron en el perfil de la costa y que son consecuencia de la disolución de la roca caliza.



Sobre estas cavidades se observa una capa de roca caliza consolidada sobre la cual, se encuentra construida la mayor parte de las estructuras del sitio.



Figura 8. Mosaico fotográfico del perfil expuesto en el límite oriente del sitio. Se muestran dos de las cavidades formadas por la disolución de la roca caliza. Imagen: Luis Barba, 2016, ©CNCPC-INAH.

Es probable que si estas cavidades son de un tamaño suficiente, el estrato que se encuentra por encima de éstas podría ser susceptible a la formación de grietas, deterioros o asentamientos por la pérdida de soporte de la roca caliza. A ello se sumaría el peso de las estructuras arqueológicas que producen asentamientos diferenciales del terreno. Estos factores se reflejan en los edificios con la formación de grietas activas en los muros y elementos estructurales, tal y como sucede en el Edificio 16.

Con respecto a los estudios de georradar efectuados en el perímetro e interior del Edificio 16, en la figura 9 se muestra un corte a 2 m de profundidad en el perímetro del edificio. Las zonas de color verde representan las secciones de roca caliza que se encuentran homogéneas y estables, mientras que las zonas de color rojo representan las secciones de la roca caliza donde existen cavidades a esta profundidad.



Figura 9. Vista de los cortes de profundidad a 2 m efectuados con la antena de 400 MHz en el perímetro del Edificio 16. Las zonas en color rojo, representan las secciones donde se detectaron cavidades por la disolución de la roca caliza. Imagen: Jorge Blancas, 2015, ©CNCPC-INAH.

Para verificar la posible presencia de cavidades por debajo del Edificio 16, se llevó a cabo un estudio de resistividad eléctrica para complementar los datos obtenidos del estudio de georradar. Los datos obtenidos con este estudio a un metro de profundidad indicaron la presencia de puntos en los que no fue posible conducir la conductividad eléctrica. Esto se explica como la ausencia de material conductor que se interpreta, como oquedades o fracturas en la roca madre en los puntos señalados (Figura 10).

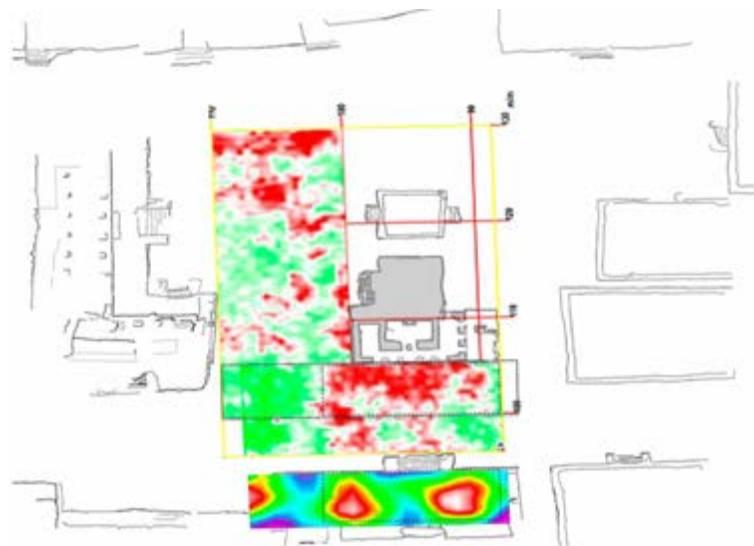


Figura 10. Detalle de los cortes de profundidad con georradar al norte y al poniente del Edificio 16, así como de los datos del estudio de resistividad eléctrica al poniente del edificio. Los resultados de ambos estudios, coinciden en la posición de las cavidades de la roca caliza entre 1 y 2 m de profundidad. Imagen: Jorge Blancas, 2015, ©CNCPC-INAH.



Estructura 12, Tancah

La Estructura 12 forma parte del grupo B del sitio arqueológico de Tancah. Este grupo se compone de un conjunto de estructuras alrededor de una plaza y la Estructura 12 se localiza al poniente de la misma. Tancah, al igual que Tulum, presenta características arquitectónicas del estilo Costa Oriental. Tancah se encuentra a 5 km al norte de la zona arqueológica de Tulum y corresponde al período Posclásico Tardío.

Descripción del edificio

El templo de la Estructura 12 se desplanta sobre un basamento piramidal de tres cuerpos escalonados, con una escalinata central muy pronunciada al oriente. El templo presenta un sólo cuarto abovedado, con un vano de acceso al oriente y una ventana hacia el poniente, así como los restos de lo que pudo ser una crestería. Al interior del templo se conservan restos de pintura mural estilo códice, principalmente sobre el muro poniente.



Figura 11. Detalle de los restos de pintura mural en el muro poniente de la Estructura 12 de Tancah. Imagen: Ana José Ruigómez, 2010, ©CNCPC-INAH.

Antecedentes

Los antecedentes referentes a las intervenciones, diagnósticos y al estado de conservación de la Estructura 12 de Tancah son pocos, ya que la mayor parte de la bibliografía encontrada es referente al estudio, registro, diagnóstico e intervenciones de la pintura mural.

En 1916, 1918 y 1922 miembros del Instituto Carnegie de Washington también realizaron las primeras investigaciones arqueológicas en Tancah y fueron dadas a conocer por Samuel K. Lothrop (1924). En su publicación describe que el dintel remetido del vano de acceso al templo y el muro poniente del interior conservaban restos de pintura mural de color rojo. Lothrop generó el primer plano de la Estructura 12, donde se observan los restos de una crestería en el lado norte del templo (Figura 12).

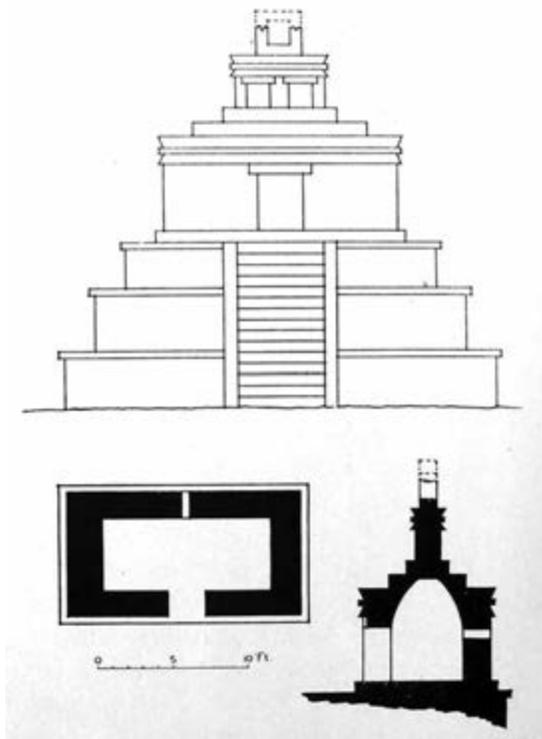


Figura 12. Levantamiento arquitectónico realizado por Samuel K. Lothrop quien registra en el corte y en el alzado de la fachada principal, los restos de la crestería que corona el templo de la Estructura 12, Tancah. Imagen: Lothrop, 1924.

En 1954 William T. Sanders realizó un estudio cerámico y de patrón de asentamiento en el que registró nuevas estructuras en los grupos que conforman la zona arqueológica de Tancah.

En el *Informe de actividades en la zona arqueológica de Tancah* de 1975 el arqueólogo Antonio Benavides menciona haber realizado importantes trabajos de conservación en la estructura. Sin embargo, la mayor parte de las actividades que reporta corresponde al estudio y registro de la pintura mural que resguarda el templo. Dentro de las actividades de conservación, apunta que se llevaron a cabo labores de consolidación de la estructura ya que se encontraba invadida por varios árboles que crecieron sobre los cuerpos del basamento, techo y crestería. Señala que los datos arquitectónicos que conservaba la estructura le permitieron identificar la ubicación de los materiales y llevar a cabo su consolidación. Benavides no describió los procesos empleados en la eliminación de los árboles y raíces, ni los materiales utilizados para la consolidación de la estructura. Las únicas imágenes que se muestran en el informe son registros del estado de conservación de la pintura mural.



José Luis Romero Rivera, Carlos A. Perez y Ángela González (1983) realizaron una evaluación del estado de los edificios prehispánicos de Tancah. Referente a la Estructura 12 reportaron que “milagrosamente se ha conservado en pie”, ya que se encontraba invadida por varios árboles. Especifican que las raíces del árbol crecieron sobre el techo, produjeron una fractura en el muro oeste del templo que se prolongó hasta la bóveda, ocasionando que la pintura mural del interior se dividiera en dos, con un ancho de la abertura de 30 cm. También señalan que por haber colapsado la estructura ésta carecía del dintel y de todo el muro sur, lo que provocó que la estructura se desestabilizara y se dividiera en dos. El informe de esta evaluación hace referencia a distintas fotografías de la estructura, pero no se encontraron.

En 1990 el arqueólogo Luis J. Leira (1998) realizó trabajos de conservación en la estructura que se encontraba colapsada. En esta intervención procuró retirar el árbol que la invadía pero la raíz principal que afectaba al templo no fue eliminada por completo, ya que, hubiera tenido que retirar el 80% de los materiales constitutivos del edificio. En la figura 13 se observa a la estructura invadida por árboles que crecen sobre el templo y el basamento. Se observa el derrumbe parcial de la bóveda y los muros del templo principalmente del lado sur de la estructura producto del peso y afectación de las raíces de los árboles. Posteriormente en 1998 Leira envió un oficio a la arqueóloga Adriana Velázquez Morlet, directora del Centro INAH en el que le informaba que parte de la Estructura 12 de Tancah se había colapsado nuevamente (Leira, 1998).

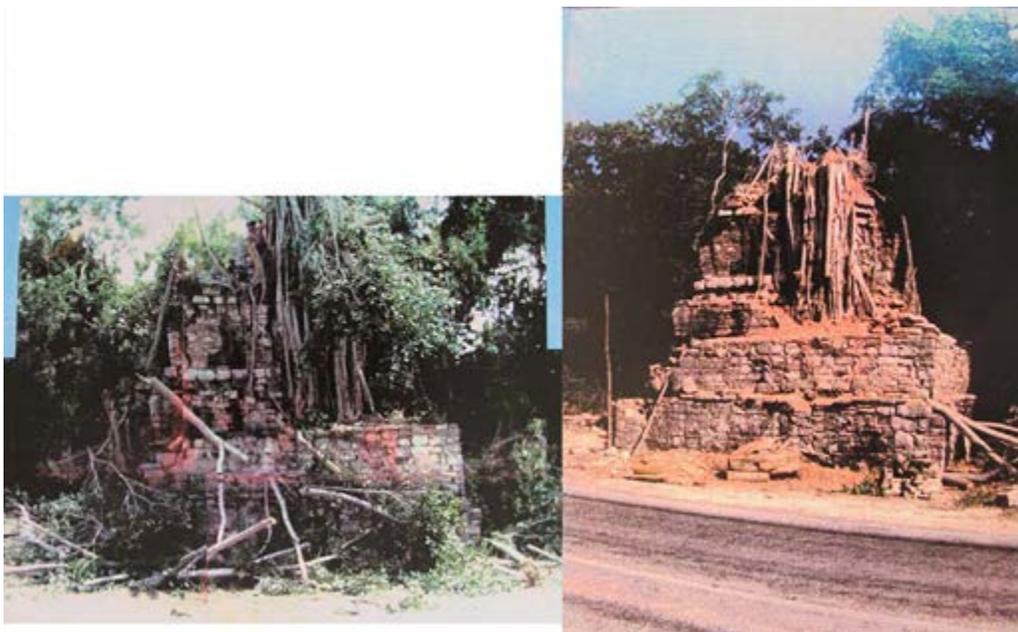


Figura 13. Estado de conservación de la Estructura 12 de Tancah. Vista de la fachada poniente, donde se observa que la estructura se encuentra invadida por las raíces de los árboles que crecieron sobre el templo y el basamento. *Imagen: Luis Leira, 1998.*

En 2007 el arqueólogo Alejandro Martínez Muriel observó, al centro de la fachada poniente de la estructura, una grieta que iba desde el primer cuerpo del basamento hasta la bóveda del templo. Al realizar los trabajos de intervención como la inyección de grietas del segundo cuerpo, detectó que lo que estaba afectando a la estructura era la presencia de raíces del árbol



de kópo en el interior del basamento. Realizó una cala para extraer la raíz de 15 cm de diámetro aproximadamente y, al extraerla, descubrió otra raíz con las mismas características que la primera, por lo cual tuvo que retirar más sillares para poder extraerla (izquierda de la figura 14) (Martínez, 2011: 196-209).

En la esquina sureste del basamento del primer cuerpo se detectó también la presencia de una raíz que penetraba por debajo del desplante del basamento (Figura 14). La raíz propició la formación de grietas que fueron consolidadas con cemento (Martínez, 2011: 196-209). Por último Martínez Muriel consideró que la parte norte de la estructura era la más estable ya que no presentaba grietas o fisuras que requirieran una intervención y consolidación.



Figura 14. Raíces encontradas en el interior del basamento de la Estructura 12. Al centro del segundo cuerpo de la fachada poniente. Derecha: Esquina sureste del primer cuerpo del basamento. *Imagen: Alejandro Martínez (2011: 204-207).*

Finalmente en 2010 el *Proyecto de conservación e investigación de pintura mural de la Costa Oriental de Quintana Roo* realizó un diagnóstico del estado de conservación de la estructura y de la pintura mural que conserva. Dentro del proyecto se han realizado trabajos de investigación para detectar y comprender la problemática estructural que presenta el edificio actualmente.

Proyecto

El monitoreo de grietas de la Estructura 12 de Tancah se ha llevado a cabo desde el 2011. Se detectaron siete grietas: cinco de ellas ubicadas en el muro oeste en el interior del templo donde se encuentra la pintura mural. Estas grietas corresponden a un claro asentamiento del tercer cuerpo del basamento y templo hacia su sección sur. Las medidas de profundidad que se han obtenido de algunas grietas ubicadas en el muro poniente es hasta de 25 cm, y en algunos casos se cree que las grietas atraviesan por completo el espesor del muro.

A pesar de que las grietas del edificio han sido intervenidas en el pasado el problema estructural del edificio continúa; incluso se han formado nuevas grietas como consecuencia de una dinámica estructural distinta. Por lo anterior se tomó la decisión de realizar un estudio con georradar para comprender las causas del hundimiento diferencial que presenta la estructura mediante el estudio del núcleo del basamento en las superficies horizontales y verticales de los cuerpos del edificio y su templo.



Estudios, hipótesis y resultados del estudio geofísico

El estudio geofísico estuvo a cargo del doctor Luis Barba, el maestro Jorge Blancas y el doctor Agustín Ortiz del Laboratorio de Prospección Arqueológica de la UNAM. Para determinar el estado del núcleo del basamento del edificio se realizaron líneas de georradar con la antena de 400 MHz sobre los paramentos de los tres cuerpos del edificio, así como en las terrazas que rodean al templo y en el interior del mismo.

La penetración de las ondas dentro del edificio fue en promedio de 3.50 m. La antena se colocó sobre el paramento de forma vertical para lograr las lecturas horizontales del relleno del basamento. Una vez que se obtuvieron las imágenes de los radargramas, éstas fueron insertadas en los planos del levantamiento arquitectónico del edificio realizado por los arquitectos del proyecto.

Los avances en el análisis e interpretación de los radargramas apuntan a que existen marcadas heterogeneidades en el relleno del basamento que pueden estar directamente relacionadas con las grietas y con las intervenciones estructurales del inmueble. También parece existir una menor alteración en las áreas originales del edificio respecto a las intervenidas arqueológicamente, en las que incluso se ha podido confirmar con la investigación bibliográfica. Por lo tanto, parecen existir sectores en el núcleo del basamento más estables que otros.

Posiblemente esto pueda deberse a la presencia de raíces que crecen y desestabilizan el relleno del basamento, afectando directamente el templo superior.

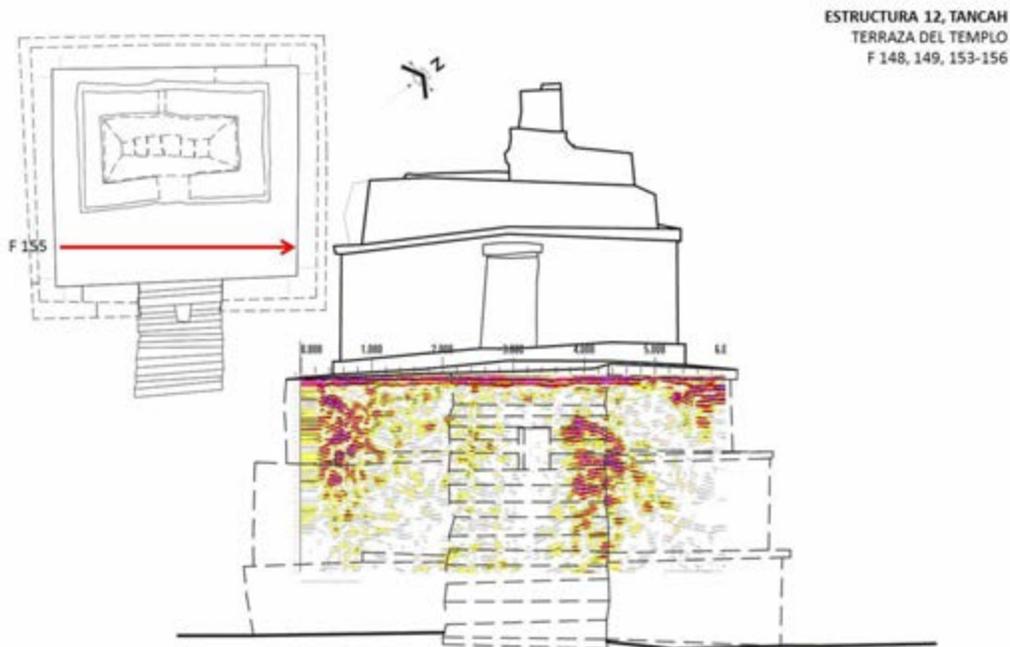


Figura 15. Planta arquitectónica y alzado de la fachada principal de la estructura con la ubicación y vista de las anomalías de la línea 155 de georradar efectuada sobre la terraza superior del basamento. *Imagen: Jorge Blancas, 2015, ©CNCPC-INAH.*



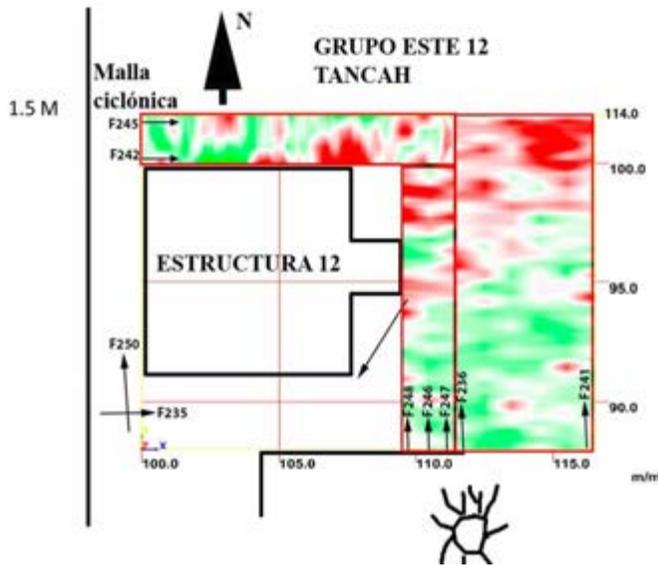


Figura 16. Corte de profundidad a 1.5 m en el perímetro de la Estructura 12, con los datos obtenidos frente a la fachada norte y la fachada oriente. Se observan cavidades en la parte noreste. Imagen: Jorge Blancas, 2015, ©CNCPC-INAH.

Es altamente probable que las raíces del árbol de kópo localizado en la esquina sureste del edificio estén penetrando el núcleo del basamento. Una explicación de esta hipótesis es la presencia de raíces en el interior de las grietas del muro oeste y sur del edificio que coinciden con la sección que presenta mayor número de grietas registradas además del hundimiento del templo. También se ha logrado observar el crecimiento de finas raíces sobre los muros, los intradoses de bóveda, la jamba y las tapas de bóveda del edificio. Además se han observado pequeños brotes de raíces con hojas en algunas juntas de la fachada sur del templo. Estas hojas son muy similares a las hojas del árbol que se encuentra en la esquina sureste del edificio. Es por eso que cabe la posibilidad de que las raíces que crecen en el edificio formen parte de este árbol y que estén penetrando el interior del basamento.

Conclusión

A manera de conclusión se sugiere que tanto en el Edificio 16 de Tulum, como en la Estructura 12 de Tancah, las cavidades subterráneas producto de la disolución de la roca han producido asentamientos diferenciales del terreno que poco a poco y de manera continua han afectado a los edificios provocando la presencia de grietas activas en los muros y elementos estructurales. Este es un fenómeno que claramente afecta todos los sitios de la costa del Caribe donde los procesos de disolución de las rocas subyacentes están presentes y en el momento en que se suman al peso de una estructura arqueológica en un punto determinado ocasionan problemas de estabilización estructural.

Como ya se mencionó, en el caso de la Estructura 12 de Tancah, existe un efecto adicional por la presencia de raíces dentro del basamento que contribuye a desestabilizarlo.

Uno de los aspectos más importantes que resultan de este tipo de estudios es la demostración que la interdisciplina es la mejor forma de enfrentar problemas complejos que rebasan las capacidades de un estudio aislado.



Referencias

Benavides, Antonio (1975) *Informe de actividades julio-agosto, 1975. Tancah, Quintana Roo*. Texto inédito. Centro Regional del Sureste, Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Erosa P., José (29 de noviembre de 1920) *Oficio mecano escrito dirigido al Ing. Manuel Gamio, Director de Antropología. Mérida, Yucatán*. Tomo XCIX_780_2. Archivo Técnico del Instituto Nacional de Antropología e Historia

Fernández, Miguel Ángel (1945) "Las ruinas de Tulum I", *Anales del Museo Nacional de Arqueología, Historia y Etnografía* III (quinta época): 109-115.

Jáidar Benavides Yareli, Valerie Magar, Patricia Meehan, Ana José Ruigómez, Enrique Arévalo, Tomás Meraz y Karen Benavides. (2011) *Diagnóstico e informe de las actividades realizadas en 10 sitios arqueológicos con pintura mural de la Costa Oriental de Quintana Roo*. Texto inédito. México, Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural, Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Leira, Luis J. (30 de noviembre de 1998) *Oficio mecano escrito dirigido a la Arqlga. Adriana Velázquez Morlet, Directora del Centro INAH, Quintana Roo*. Archivo del Centro INAH, Chetumal, Quintana Roo.

Lothrop, Samuel K. (1924) *Tulum. An archaeological study of the east coast of Yucatan*, Washington, The Carnegie Institution of Washington.

Martínez Muriel, Alejandro (2011) *Proyecto arqueológico Tulum-Tancah (PATT), Quintana Roo, México. Informe general de actividades correspondientes a los meses agosto-noviembre del año 2007*. Texto inédito. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Dirección de estudios arqueológicos (DEA), Centro Regional INAH, Quintana Roo, pp. 192-209.

Romero Rivera, José Luis, Carlos A. Perez y Ángela González (1983) *Evaluación de la situación actual de los edificios prehispánicos de Tancah, Quintana Roo*. Texto inédito. Mérida, Yucatán, pp. 2-3.

Sanders, William T. (1960) "Prehistoric Ceramics and Settlement Patterns in Quintana Roo, Mexico", en: *Contributions to American Anthropology and History No. 60*, Washington Publication 606, pp. 155-264.

Tapia González, Martha Isabel (1997) "Proyecto brigada de conservación arqueológica Tulum, Xelhá y San Gervasio". *Informe de los trabajos realizados en la zona arqueológica de Tulum, Quintana Roo, temporada noviembre de 1996*. Texto inédito. México, Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía Manuel del Castillo Negrete, Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Velázquez Valadez, Ricardo (1975) *Fotografías de Exploraciones en la zona arqueológica de Tulum*. Fotografías inéditas. Mérida, Centro INAH Yucatán, Instituto Nacional de Antropología e Historia.

