

15

EL AGUA NOS HABLA DE LA GENTE, NOS CUENTA SU HISTORIA: TIKAL Y SUS RESERVORIOS

LIWY GRAZIOSO SIERRA, DAVID LENTZ, NICHOLAS DUNNING,
KENNETH TANKERSLEY Y VERNON SCARBOROUGH

34 SIMPOSIO DE INVESTIGACIONES
ARQUEOLÓGICAS EN GUATEMALA
2021

Museo Nacional de Arqueología y Etnología
26 al 30 de julio de 2021

Editores

Bárbara Arroyo
Luis Méndez Salinas
Gloria Ajú Álvarez

Referencia

Grazioso Sierra, Liwy *et al.*
2022 El agua nos habla de la gente, nos cuenta su historia: Tikal y sus
reservorios. En *34 Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala,
2021* (editado por B. Arroyo, L. Méndez Salinas y G. Ajú Álvarez), pp. 201-212.
Asociación Tikal, Guatemala.



EL AGUA NOS HABLA DE LA GENTE, NOS CUENTA SU HISTORIA: TIKAL Y SUS RESERVORIOS

LIWY GRAZIOSO SIERRA
DAVID LENTZ
NICHOLAS DUNNING
KENNETH TANKERSLEY
VERNON SCARBOROUGH

PALABAS CLAVE

Tierras bajas mayas, Tikal, reservorios, sistema de filtración, contaminantes.

ABSTRACT

Life in the great city of Tikal could not have been possible without the ingenuity, the planning and the construction of water reservoirs that allowed to keep water all year long. The ancient Maya built a complex hydraulic system that was studied in depth by the Cincinnati University in 2009 and 2010, but ongoing research, scientific advancements and new technologies have made possible to know more about the life of Tikal's population, because their history was registered by water in the reservoirs. We present the new discoveries that include the innovative technology used to filter water which makes Aguada Corriental the earliest water filtering system in the New World. Additionally, we present the results of the contaminants found in the reservoirs, some of them highly toxic, and we also discuss the hypothesis of what these contaminants may have caused among the population. All these was part of the life and the development of this great city and its inhabitants, and they left their imprints registered in the water which enable us to tell their history.

Tikal se encuentra en las Tierras Bajas Centrales, en el norte de Guatemala, alejada de cuerpos de agua permanente por lo que la vida en esta gran ciudad no hubiera sido posible sin el ingenio, la planificación y la construcción de un complejo sistema de ingeniería hidráulica que incluye canales, reservorios, áreas de captación y otras modificaciones al paisaje que les permitiera contar con agua durante todo el año (Carr y Hazard 1961) y, como veremos más adelante, también crearon e implementaron una tecnología novedosa de filtración de agua, que por su antigüedad se sitúa entre los primeros sistemas de purificación del mundo y el más antiguo que se conoce, hasta el momento, que haya usado zeolita como purificador (Tankersley *et al.* 2020).

Este complejo y elaborado sistema de control hidráulico (Figura 1) fue objeto de intensos estudios por la Universidad de Cincinnati, como parte del Proyecto Prácticas de silvicultura y Manejo de aguas por los antiguos mayas, entre 2009 y 2010, pero la investigación ha continuado y gracias a los avances científicos y tecnológicos, ha sido posible obtener nuevos datos que han permitido conocer más acerca de los habitantes de Tikal, porque su historia quedó escrita por las huellas del agua en los reservorios (Grazioso y Scarborough 2013; Lentz *et al.* 2018; Lentz *et al.* 2020; Scarborough y Grazioso 2015).

La traza de la ciudad está tan bien planeada que las plazas son área de captación del agua de lluvia que es

conducida a los reservorios y de allí distribuida hacia otros tanques para que se pueda llevar a toda la ciudad (Scarborough y Grazioso 2015).

Se excavaron y tomaron muestras de suelos de varios reservorios, tanto de los que se encuentran dentro del centro urbano como de los situados en lugares alejados que podemos considerar como la periferia de la ciudad (Figura 2). El estudio incluyó aguadas y reservorios que conservan agua todo el año, como la Aguada Tikal situada detrás del actual centro de visitantes, así como también de las que no retienen agua y permanecen secas la mayor parte del año, como la Aguada Corriental y los reservorios principales en la parte central del sitio.

El estudio incluyó a la red de canales distribuida por toda la ciudad, siendo recorridos los canales actuales y los antiguos, y pudiendo constatar que los canales que se observan en la superficie, que actualmente están recubiertos de cemento y que sirven para drenar el agua de lluvia del Parque Nacional Tikal, están trazados justo sobre la red original de canales del sitio. También se pudo observar que la estratigrafía que presentan los canales modernos es la misma que la encontrada en los canales antiguos, conformada por episodios de grandes corrientes alternados con episodios de relativa calma (Grazioso y Scarborough 2013: 252).

Se identificaron las depresiones y marcas dejadas por las corrientes de agua actuales así como las depresiones en donde se podía advertir, claramente, que se trataba de canales precolombinos. Una vez ubicados los canales antiguos, se excavaron distintos tipos de elementos en el terreno, rasgos culturales, y se pudieron conocer y determinar los tipos de canales y modificaciones al paisaje diseñadas para conducir el agua a lugares determinados a través de rutas precisas. Se encontraron canales de todo tipo, angostos, anchos, superficiales y profundos. Hay algunos muy cerca de la superficie, donde tan solo rasparon la caliza para crear una leve depresión, pero lo suficiente para que el agua fluyera por la gravedad y se condujera a las áreas deseadas sin problema. También hay canales muy anchos y profundos por los que corrían grandes volúmenes de agua a gran velocidad. El manejo del agua en Tikal fue un sistema muy bien planeado y no había nada al azar, la conducción, almacenamiento, redistribución y desecho eran parte de la ingeniería hidráulica, y las modificaciones al paisaje se integraron de tal manera que

parecen parte de la topografía natural.

En las siguientes líneas no se hará referencia a todos los reservorios estudiados por el Proyecto, pues han sido objeto de otras publicaciones (Dunning *et al.* 2013; Grazioso y Scarborough 2013; Lentz *et al.* 2010; Lentz *et al.* 2014; Lentz *et al.* 2018; Scarborough y Grazioso 2015) por lo que este artículo se enfocará en aquellos que han proporcionado nueva información producto de estudios mineralógicos, geoquímicos y genético moleculares realizados en el Departamento de Geología de la Universidad de Cincinnati (Lentz *et al.* 2020; Tankersley *et al.* 2020).

LOS RESERVORIOS DE LA PARTE CENTRAL

En la parte central del sitio se encuentran tres tanques interconectados entre sí que corren de oeste a este. El Reservorio del Templo, en el extremo oeste, seguido por el Reservorio del Palacio y finalmente el Reservorio Escondido, en el extremo este. Estos corren a lo largo de una pendiente natural, que originalmente era una quebrada por la que corría agua sin ningún impedimento (Figura 3). Los tanques están colocados a distintas alturas respetando la pendiente para que el agua fluya por gravedad. Desde el periodo Formativo los antiguos habitantes de Tikal construyeron diques dividiendo el encaño en tres reservorios. A su vez, la parte superior de estos diques servían para cruzar de un extremo al otro (Figura 4). Estos diques son los mismos que forman parte del trayecto del actual circuito turístico por el sitio que permite pasar de la Plaza Central a la Acrópolis Sur y los Juegos de Pelota, y de la Acrópolis Central al Templo 5. Muchas personas cuando visitan Tikal no se percatan que están transitando sobre una especie de puentes entre los reservorios, y tampoco distinguen los tanques a sus lados ya que todo está cubierto por la densa vegetación que incluye especies muy frondosas y algunas de gran altura (véase Figura 3).

Reservorio del Palacio

Se excavaron los diques entre los tanques y se pudieron establecer varias etapas constructivas y diferentes tipos de mampostería. Se detectaron subestructuras sólidamente construidas con sillares de piedra bien

elaborados, funcionando estos diques como verdaderas represas. En algunas secciones se hallaron esclusas que permitían controlar el paso de agua de un tanque al otro, así, por medio de ellas se regulaba tanto el volumen de agua que deseaban mantener en cada tanque como la cantidad de agua que pasaba de un reservorio al otro. Las esclusas se encontraron a diversas alturas lo que significa que el nivel del agua almacenada no era siempre el mismo. Gracias a ellas se controlaba el nivel para que los tanques no se desbordaran por exceso del líquido y también regulaban el flujo para evitar que el agua se estancara (Grazioso y Scarborough 2013; Scarborough y Grazioso 2015; Lentz *et al.* 2018).

Los lados del Reservorio del Palacio estaban terracados, es decir, contaban con muros escalonados, lo que permitía ingresar fácilmente al depósito y poder acceder al agua no importando el nivel del líquido que hubiera en el tanque. En la parte inferior cortaron la roca madre a manera de banquetas, proporcionando una superficie plana a todo lo largo de la corriente (Grazioso y Scarborough 2015). Esto resultaba muy útil y práctico para poder recolectar agua con tinajas o cántaros, ya que las banquetas servirían como superficie de apoyo y les permitirían recoger agua sin mayor problema.

En el fondo del Reservorio del Palacio se encontró un canal excavado en la roca madre que corre por todo lo largo del depósito. No cabe duda que por allí fluía la corriente natural, pero al modificar el encaño y crear los tanques hicieron un gran canal con un ancho homogéneo y regular. Algo interesante que se localizó en el canal fue una grieta semicircular que se considera que se trata de un antiguo manantial, ya seco. Esto tiene mucho sentido ya que siempre se ha cuestionado porqué una ciudad como Tikal fue construida alejada de cuerpos de agua lo que hacía que dependiera de la construcción de depósitos artificiales para su abastecimiento, pero la existencia de manantiales no solo habría sido una fuente primaria de agua sino que además el líquido que nace de la tierra tiene un valor simbólico muy especial y lo más probable es que haya sido la razón por la que eligieron este lugar para construir tan magnífica ciudad.

Efectivamente, el área es zona de manantiales, otros sitios arqueológicos también los tienen como es el caso de Naranjo que cuenta con depresiones y quebradas naturales por los que corre agua. La arqueóloga Vilma

Fialko permitió visitar estos manantiales con la finalidad de establecer comparaciones. La tubería de PVC que se ve en las fotografías es utilizada por su Proyecto para proveerse de agua (Figura 5).

Reservorio del Templo

El Reservorio del Templo se encuentra en el extremo oeste y está colocado a mayor altura que los demás, por lo que el flujo de agua comienza en este tanque y de aquí pasa al Reservorio del Templo y continúa al Reservorio Escondido, este último llamado así ya que pasa por debajo de la Calzada Méndez quedando su mayor parte cubierto por dicha calzada (véase Figura 3).

Este reservorio cuenta con un pequeño tanque elevado en el extremo sur del depósito principal; al excavarlo, conforme se fue profundizando, empezó a brotar agua del fondo (Figura 6a). En un principio no se comprendía lo que pasaba y se pensó que podía tratarse de algún escurrimiento provocado por una fuga de una tubería moderna, pero estaba claro que el agua venía de abajo, del subsuelo, y no de los lados, por lo que no podía ser un escurrimiento de las tuberías que se encontraban varios metros arriba de estos reservorios. Al estar excavando de manera simultánea en los reservorios del Templo y del Palacio y habiendo detectado ya la grieta en el canal del Reservorio del Palacio no nos quedó ninguna duda que se trataba de un manantial activo.

En Naranjo se encontró un ejemplo similar de manantiales activos (Figura 6b), y la razón por la cual el de Tikal no presenta el agua en superficie es simplemente porque el depósito se encuentra azolvado. Si a los canales y reservorios no se les da el mantenimiento necesario -y se les limpia y desazolva con frecuencia- se obstruyen, se tapan y, eventualmente, se secan. Al menos en dos de los tres reservorios centrales se detectaron nacimientos de agua, lo que confiere al sitio un simbolismo y una significación muy especiales.

Aguada Corriental

Se trata de un depósito alejado de la parte central que proporcionó gran cantidad de información, produciéndose en él algunos de los hallazgos más relevantes, como por ejemplo el canal más ancho y más profundo documentado en el Área Maya hasta el momento. La

Aguada Corriental se encuentra al Sureste de la Plaza Principal, fuera del circuito turístico, muy cerca de la carretera del Parque Nacional Tikal. Cuenta con un terraplén en todo su contorno que conforma un muro perimetral que la delimita perfectamente y con tres secciones en donde claramente entran o salen canales (Figura 7).

Si bien ya se había detectado la presencia de arenas foráneas en la Aguada Corriental y que éstas habían sido traídas de lejos para filtrar agua (Scarborough *et al.* 2012; Scarborough y Grazioso 2015), uno de los descubrimientos más recientes es el haber identificado la presencia de zeolitas como componente en estos estratos de arena de cristales de cuarzo en la entrada del canal de alimentación de la Aguada Corriental (Tankersley *et al.* 2020). La zeolita se da tanto en rocas sedimentarias como en volcánicas y metamórficas, y la que surge en las rocas sedimentarias está constituida por aluminio, silicio, hidrógeno, oxígeno y un número variable de moléculas de agua. Si bien la zeolita se da de forma natural en rocas sedimentarias no la hay en el área de Tikal. La arena con zeolita encontrada en la Aguada Corriental fue importada del área del Bajo Azúcar, a unos 30 km al noreste de Tikal, y fue traída para que formara parte de un complejo sistema de filtración de agua (Tankersley *et al.* 2020: 3-4). El gran esfuerzo de transportar toneladas de este material se hizo para poder purificar el agua y hacerla potable. En un ambiente caluroso y selvático es muy importante contar con agua limpia para mantener a la población saludable. Las arenas y cristales sirven para filtrar microorganismos, minerales y metales pesados, entre otros, funcionando de la misma manera que los filtros de carbón. Esta gran inversión de tiempo y esfuerzo se realizó para garantizar la salud de sus pobladores.

Se puede observar el sistema de filtración de agua por el que tendría que atravesar el líquido antes de entrar al tanque: el estrato de arena y zeolita estaría contenido por petates o algún otro tipo de material orgánico que fuera lo suficientemente fino y firme pero que permitiera el paso del agua, para continuar por el estrato de piedra caliza que sería el último paso antes de entrar al reservorio. Las piedras calizas servirían a la vez como muro de retención. Al pasar el agua por allí quedaría libre de impurezas y al entrar al tanque ya sería potable (Figura 8, Tankersley *et al.* 2020: Figura S13).

PRESENCIA DE CONTAMINANTES

Se analizaron un total de cuatro reservorios en busca de contaminantes y residuos tóxicos: Reservorios del Templo, del Palacio, Perdido y Aguada Corriental. Los dos primeros están en pleno centro urbano y los otros dos más alejados, en áreas principalmente residenciales.

En los reservorios de la parte central, principalmente el del Templo y del Palacio, se encontraron altos niveles de mercurio. En la parte inferior de la gráfica (Figura 9) están los periodos arqueológicos y una línea horizontal de color anaranjado que marca el umbral de efecto tóxico (TET *Toxic Effect Threshold*) lo que significa que toda cantidad por encima de ese nivel es altamente tóxica para el ser humano. El color de las barras representa el reservorio del cual provienen las muestras: azul para el Reservorio del Palacio, verde para el Reservorio del Templo, amarillo para el Reservorio Perdido y rosado para la Aguada Corriental. A la derecha está el estimado de población, en miles de personas, las líneas grises marcan el estimado de población en cada periodo, la línea continua es el estimado máximo y la línea discontinua el estimado mínimo (véase Figura 9). Los picos más altos de contaminación por mercurio corresponden al Preclásico Tardío, Clásico Tardío y al inicio del Clásico Tardío Terminal (Lentz *et al.* 2020:3).

También hay evidencia de contaminación por desechos orgánicos detectada por altos niveles de fosfatos principalmente en los tanques de los Reservorios de Palacio y del Templo, especialmente en el Clásico Tardío, y en el del Templo también para el Posclásico. Además se detectó la presencia de niveles muy elevados de cianobacterias (algas verdeazuladas) en particular *Planktothrix* y *Microcystis*, ambas capaces de producir microcistinas que son altamente tóxicas (Lentz *et al.* 2020:4-5). Como se puede observar el único depósito que no presentó cianobacterias en épocas antiguas es Aguada Corriental y esto es debido al sistema de filtración que tenía (Figura 10).

Se encontró un tercer tipo de cianobacteria, *Cylindrospermum*, que es muy común en los ecosistemas terrestres, especialmente en los suelos. Es menos tóxica que los otros dos tipos mencionados y se encontró en el Reservorio del Templo, pero sólo después de que fuera abandonado en época moderna. Cabe hacer notar que el Reservorio del Templo contaba con un tanque

del cual brotaba un manantial y contenía arenas que filtraban el agua, lo que muestra la efectividad de los sistemas de filtración de agua implementados por los antiguos mayas en Tikal.

También se encontraron cianobacterias en el Reservorio Perdido pero en la época pre-maya y en época moderna, no en los periodos en que Tikal se encontraba habitada y el reservorio estaba en uso de manera constante, lo que hace pensar en la posibilidad de que haya contado también con un sistema de purificación de agua. Las excavaciones en este reservorio fueron mínimas, pero sería interesante poder tomar muestras de las entradas de los canales para saber si también se contaba con algún filtro para purificar al agua de este tanque.

Al igual que la presencia de mercurio, los niveles más altos de cianobacterias se encontraron en el Preclásico Tardío, Clásico Tardío y Clásico Tardío Terminal. El Reservorio del Templo adicionalmente presenta contaminantes en el Clásico Temprano y Posclásico. Ese reservorio es el que tiene más población alrededor y está situado entre dos grandes áreas residenciales de élite, la Acrópolis Central y la Acrópolis Sur, lo que explicaría que fuera el tanque más afectado.

Un ejemplo de los efectos que pudo haber padecido la población por intoxicación con mercurio se detecta en la imagen del Gobernante Cielo Oscuro (*Ch'en* = Caverna), uno de los últimos señores de Tikal, quien posiblemente padeciera el síndrome metabólico relacionado con contaminación crónica por mercurio, ya que uno de los efectos secundarios de ese síndrome es la obesidad. Sol Oscuro se encuentra representado en el Dintel 2 del Templo III de Tikal (Lentz *et al.* 2020: 4).

COMENTARIOS FINALES

Tikal fue una gran metrópoli que contaba con las infraestructuras y los servicios de toda gran ciudad. Gracias a su compleja red de canales y reservorios podía proveer a sus habitantes de agua todo el año. Adicionalmente, implementó un sistema de filtración de agua, revolucionario para su época, que garantizaba el abastecimiento de agua potable a todos sus ciudadanos. Seguramente este novedoso sistema de purificación posicionó a Tikal como una de las urbes más modernas y más adelantadas de su época en el Nuevo Mundo.

¿Qué se puede decir de la gente común, de los grupos no de elite y de la población en general y su relación con el agua?

Que el acceso al agua, tanto para beber como para todo uso, estaba garantizado para todos. Que había una utilización diferenciada de los reservorios y del agua que allí se recolectaba. Que hubo épocas en que el agua contenía muchos contaminantes y toxinas que afectaron a sus habitantes, y la mala calidad del agua pudo haberles ocasionado infecciones, enfermedades crónicas y hasta la muerte. Así mismo pudo haber provocado distintos tipos de crisis, fenómenos que habrá que estudiar con detenimiento. Se mencionan las crisis pues llama la atención que los periodos en donde se encontraron niveles más altos de contaminantes corresponden al Preclásico Tardío, Clásico Tardío y al inicio del Clásico Tardío Terminal, que son momentos en los que hubo cambios sociales muy significativos y que también se vieron afectados por erupciones volcánicas y sequías, siendo esto es muy importante de mencionar porque son factores que afectaron tanto a la cantidad como a la calidad del agua que se almacenaba en los depósitos.

El estudio de los reservorios ha permitido establecer que las áreas y edificios que se abandonaron durante el final del Clásico Tardío y Clásico Terminal fueron las grandes estructuras con funciones de carácter público como los templos, plazas y palacios, y también las residencias de élite que se encontraban en la parte central, pero no se abandonó la ciudad como asentamiento en sí, la población permaneció allí por mucho más tiempo, prueba de ello es que sus pobladores siguieron dándoles mantenimiento y desazolviendo los reservorios y algunos canales hasta por lo menos el año 1000 DC, lo que sobrepasa por mucho la fecha propuesta para el abandono de Tikal. Estas obras de gran envergadura, creadas y controladas por las elites, continuaron funcionando y sirviendo para lo que fueron diseñadas: proporcionar a la población este líquido vital de manera constante. Lo más probable es que haya sido la gente del común la que haya seguido limpiando y desazolviendo los reservorios y los haya mantenido vivos y funcionando por tanto tiempo pues fueron ellos, los que vivían en los alrededores, en los grupos no de élite, los que permanecieron en el lugar y los que continuaron haciendo uso de ellos.

Con lo anterior se puede concluir que el control, el buen manejo y el uso responsable del agua son indispen-

sables para la vida. Las sociedades modificaron el paisaje construyendo obras de gran envergadura para captación, purificación, conducción y distribución del agua, haciéndolo un recurso accesible para todos y Tikal es un magnífico ejemplo de ello. Esto fue clave para el desarrollo de civilizaciones extraordinarias como la Maya, una de las culturas más resilientes del mundo. Tikal implementó un moderno y revolucionario sistema de purificación del agua que la coloca a la vanguardia de todas las sociedades tanto de América como del Viejo Mundo, y el mantenimiento de esta infraestructura se extendió mucho más allá del apogeo y el abandono de la ciudad, clara muestra de su importancia.

REFERENCIAS

- Carr, Robert F. y James E. Hazard
1961 *Tikal Report No. 11: Map of the Ruins of Tikal, El Peten, Guatemala*. Museum Monographs, University Museum, University of Pennsylvania, Philadelphia.
- Dunning, Nicholas P.; Timothy Beach, Liwy Grazioso Sierra, John G. Jones, David L. Lentz, Sheryl Luzzadder-Beach, Vernon L. Scarborough y Michael P. Smyth
2013 A Tale of Two Collapses: Environmental Variability and Cultural Disruption in the Maya Lowlands. *Diálogo Andino. Revista de Historia, Geografía y Cultura Andina* 41: 171-183.
- Grazioso Sierra, Liwy y Vernon L. Scarborough
2013 Control del agua por los antiguos mayas: El sistema hidráulico de la ciudad de Tikal. En *Contributions in New York Archaeology 5. Water Management in Ancient Mesoamerica* (editado por J. Zralka y C. Helmke), pp. 39-56. Jagiellonian University, Cracovia.
- Lentz, David; Liwy Grazioso, Vernon Scarborough y Nicholas Dunning
2010 Prácticas de silvicultura y manejo de aguas de los antiguos mayas de Tikal. En *XXIII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 2009* (editado por B. Arroyo, A. Linares y L. Paiz), pp. 133-146. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala.
- Lentz, David L.; Nicholas Dunning, Vernon Scarborough, Kevin S. Magee, Kim M. Thompson, Eric Weaver, Christopher Carr, Richard E. Terry, Gerald Islebe, Kenneth B. Tankersley, Liwy Grazioso Sierra, John G. Jones, Palma Buttles, Fred Valdez y Carmen E. Ramos
2014 Forests, Fields and the Edge of Sustainability at the Ancient Maya City of Tikal. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS) 111 (52): 18513-18518.
- Lentz, David L.; Nicholas Dunning, Vernon Scarborough y Liwy Grazioso
2018 Imperial Resource Management at the Ancient Maya city of Tikal: A Resilience Model of Sustainability and Collapse. *Journal of Anthropological Archaeology* 52 (3): 113-122.
- Lentz, David L.; Trinity L. Hamilton, Nicholas P. Dunning, Vernon L. Scarborough, Todd P. Luxton, Anne Vonderheide, Eric J. Tepe, Cory J. Perfetta, James Brunemann, Liwy Grazioso, Fred Valdez, Kenneth B. Tankersley y Allison A. Weiss
2020 Molecular genetic and geochemical assays reveal severe contamination of drinking water reservoirs at the ancient Maya city of Tikal. *Nature Research Scientific Reports* 10:10316.
- Scarborough, Vernon L. y Liwy Grazioso Sierra
2015 The Evolution of an Ancient Waterworks System at Tikal. En *Tikal Paleocology of an Ancient Maya City* (editado por D.L. Lentz, N.P. Dunning y V.L. Scarborough), pp.16-45. Cambridge University Press, Cambridge.
- Scarborough, Vernon L.; Nicholas P. Dunning, Kenneth B. Tankersley, Christopher Carr, Eric Weaver, Liwy Grazioso, Brian Lane, John Jones, Palma Buttles, Fred Valdez y David L. Lentz.
2012 Water and sustainable land use at the ancient tropical city of Tikal, Guatemala. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (PNAS) 109 (31): 12408-12413.

Tankersley, Kenneth B.; Nicholas P. Dunning, Christopher Carr, David L. Lentz y Vernon L. Scarborough
2020 Zeolite Water Purification at Tikal, an Ancient Maya City in Guatemala. *Nature Research Scientific Reports* 10:18021.

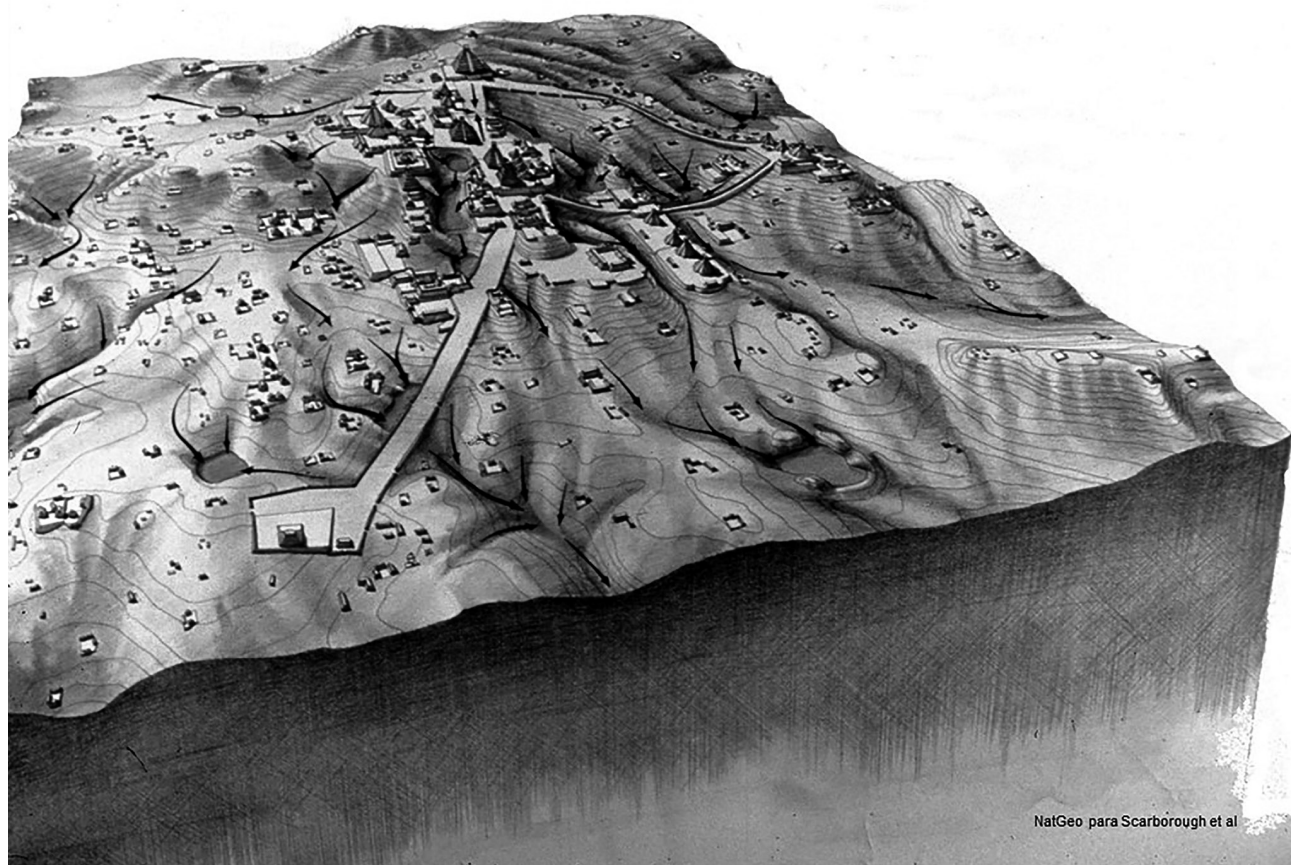


Figura 1. Dibujo reconstructivo de Tikal. (National Geographic, Scarborough *et al* 2012).

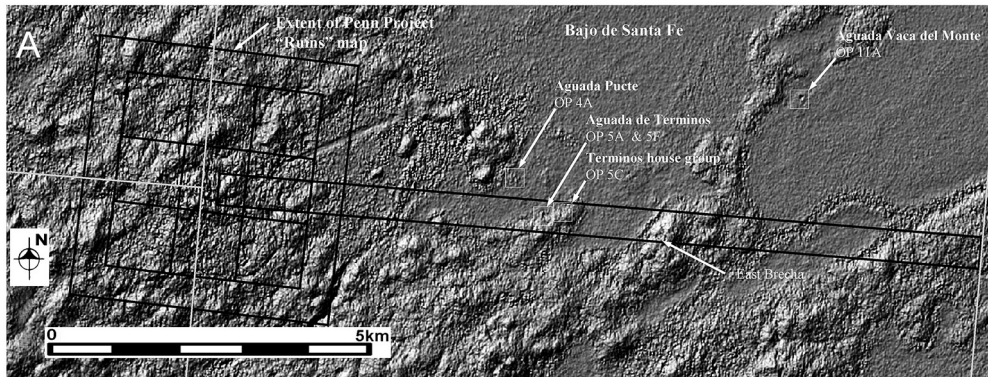


Figura 2. Reservorios estudiados en Tikal. (Imagen realizada por Chris Carr usando NASA SRTM data).

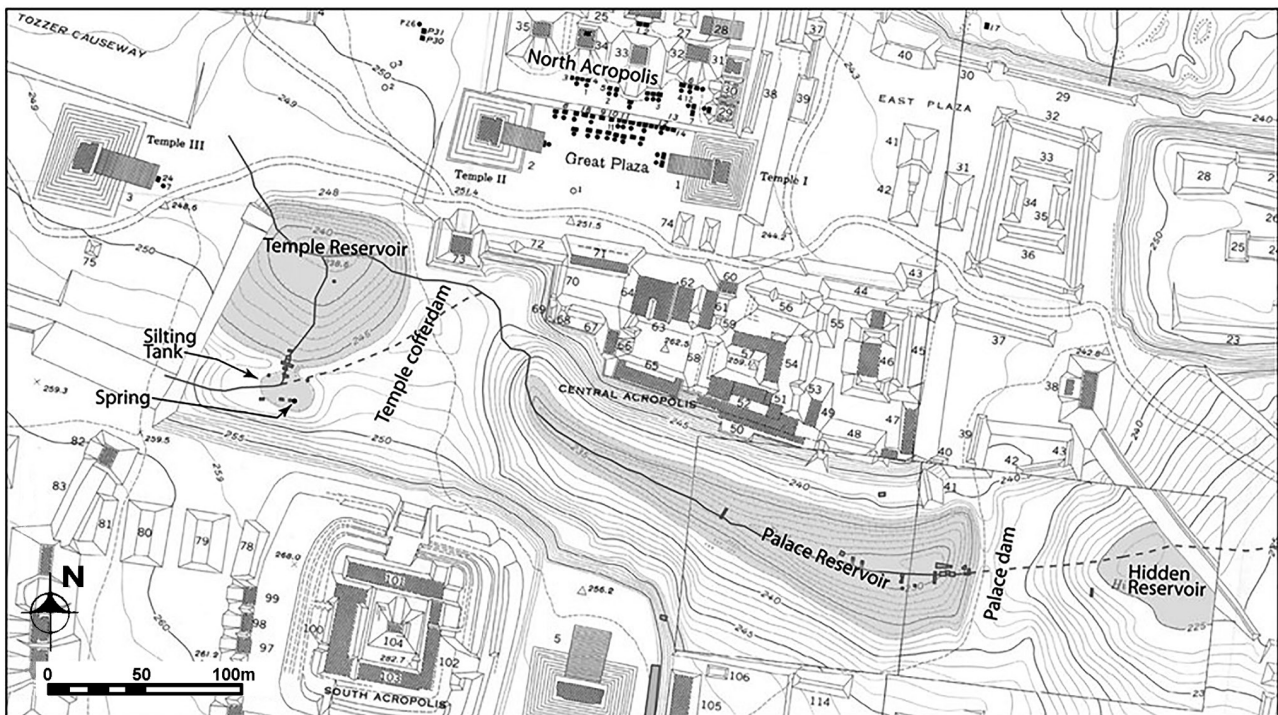
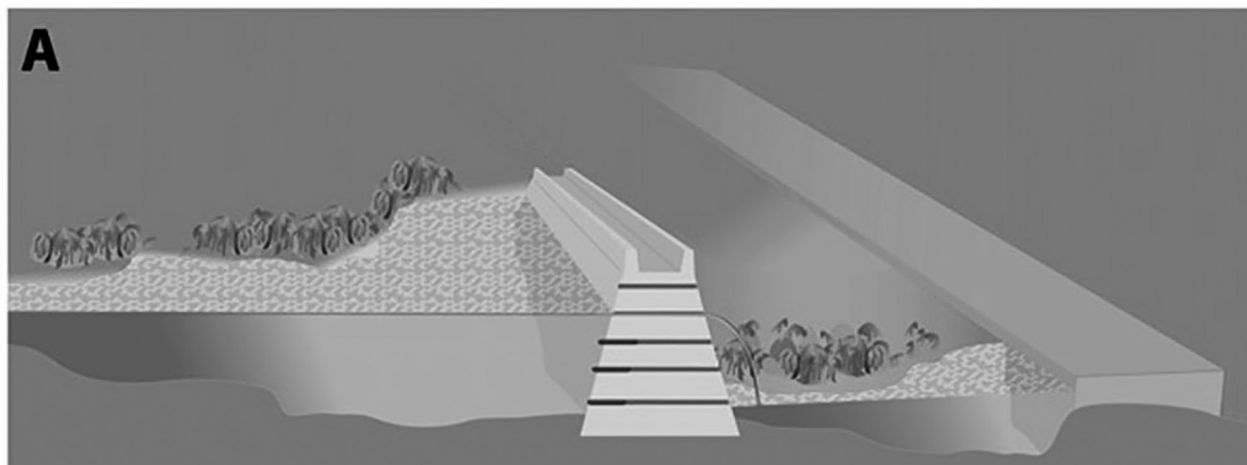


Figura 3. Ubicación de los tres reservorios del área central de Tikal. (Scarborough y Grazioso 2015:23).



R. Weaver, en Scarborough et al, 2012

Figura 4. Dibujo reconstructivo de dique con esclusas, reservorio del Palacio.
(Elaborado por R. Weaver, Scarborough y Grazioso 2015:24).

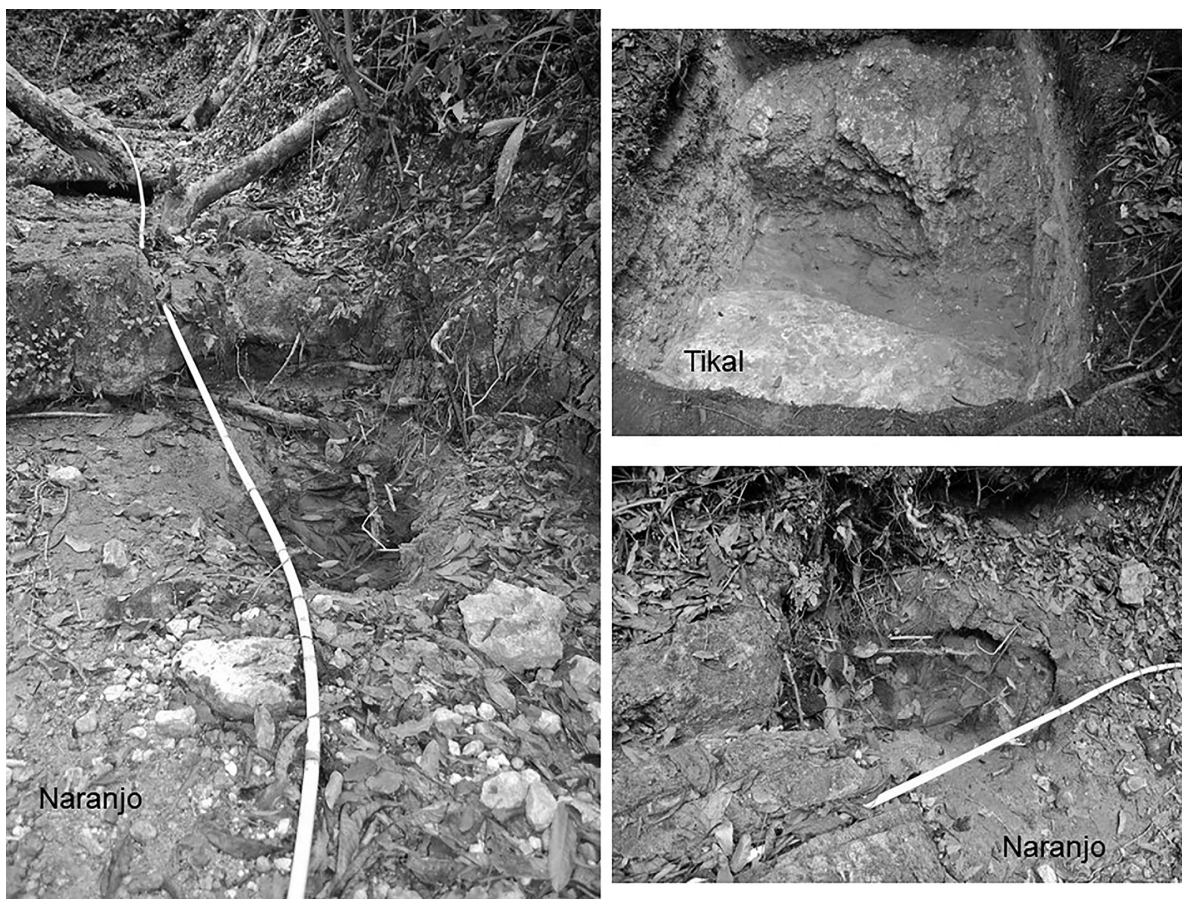
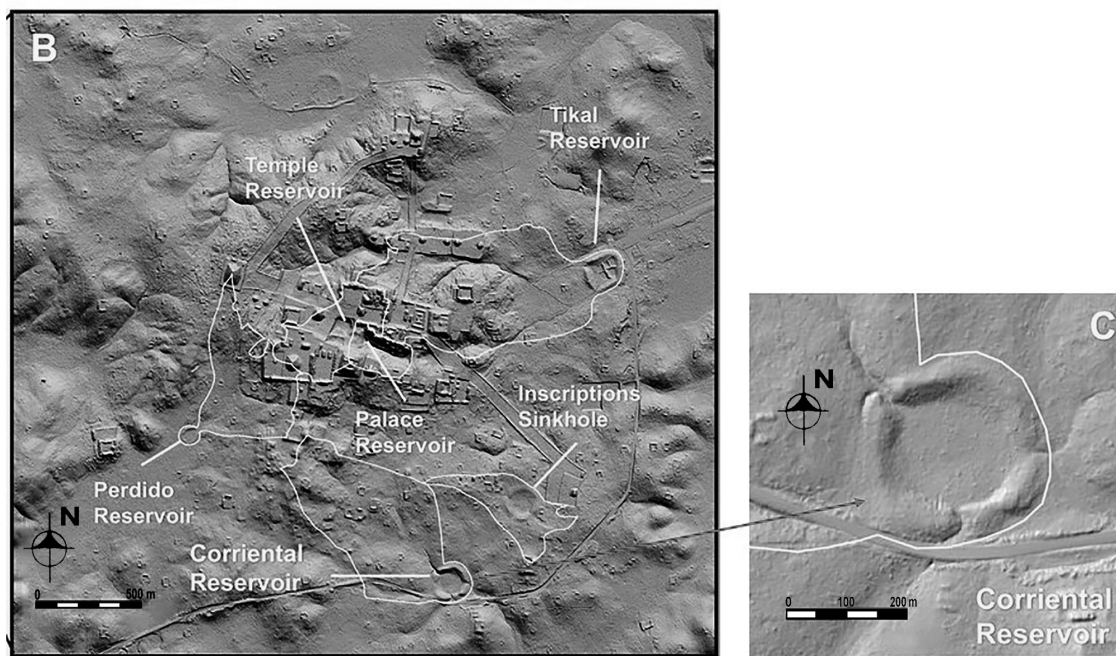


Figura 5. Manantiales activos en Naranjo, Canal con grieta de un manantial seco en el reservorio del Palacio.
(Foto: Liwy Grazioso).

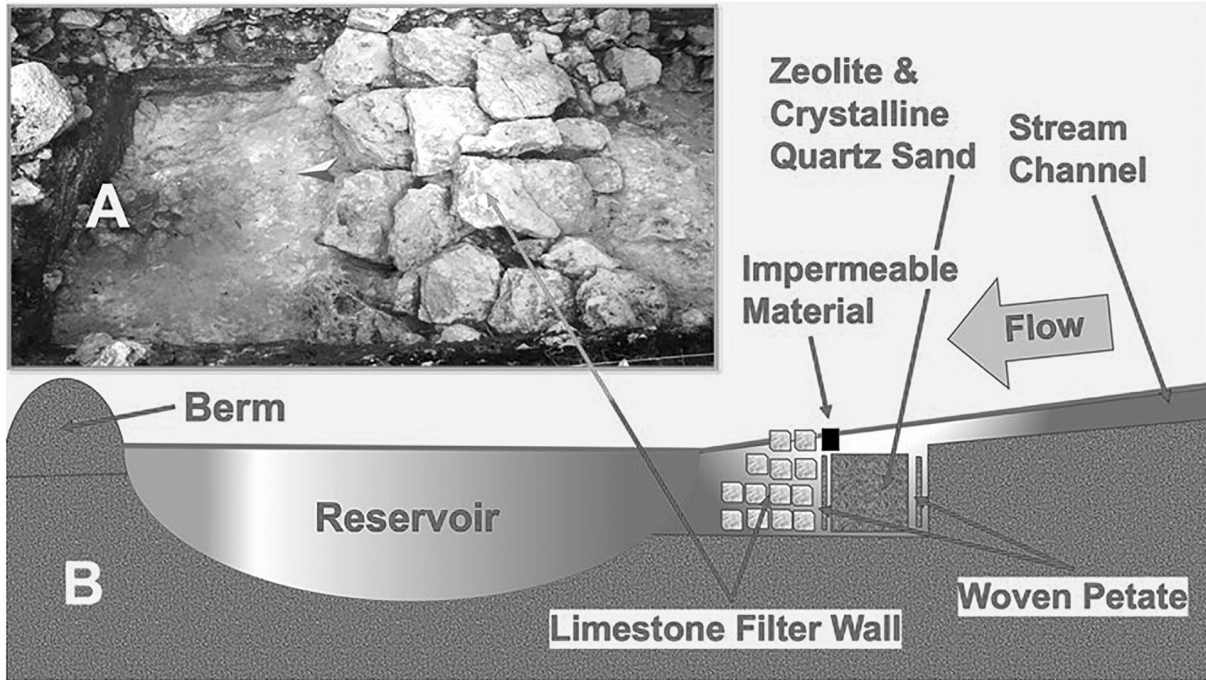


Figura 6. Manantiales activos A Tikal B Naranjo. (Foto: Liwy Grazioso).



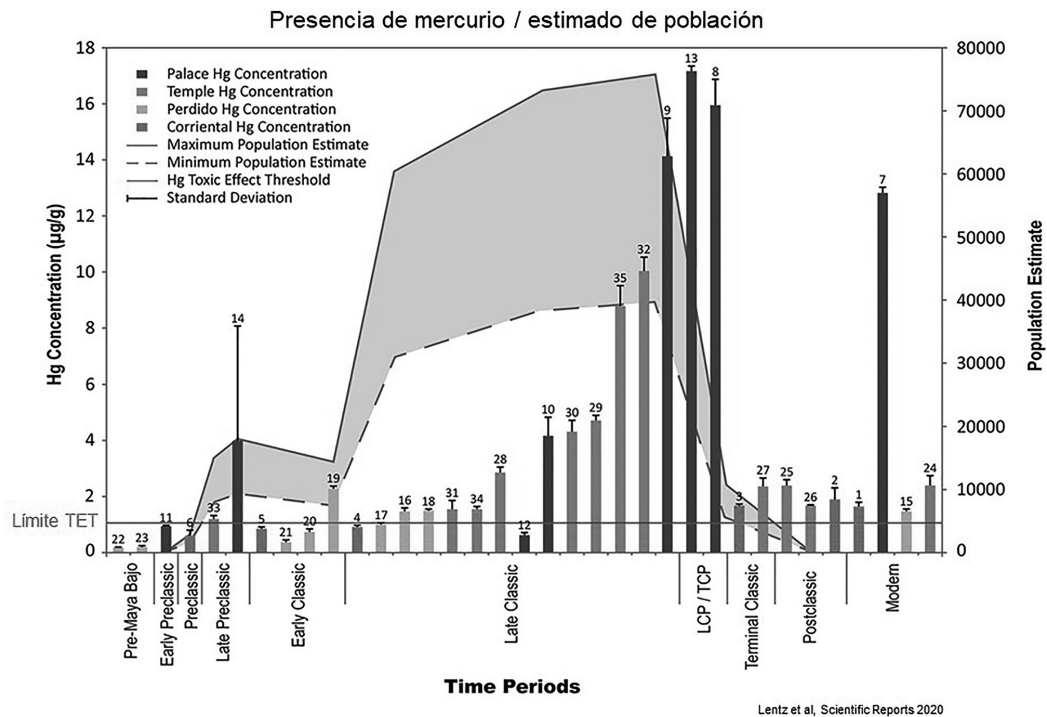
Kenneth Tankersley et al 2020, Imagen elaborada por Christopher Carr a partir de imágenes de LIDAR creadas por F. Estrada Belli, PACUNAM Lidar initiative 23

Figura 7. Reservorios de Tikal (B), Aguada Corriental (C). (Imagen elaborada por Christopher Carr a partir de imágenes de LIDAR creadas por F. Estrada Belli, PACUNAM Lidar initiative 23, en Kenneth Tankersley *et al* 2020).



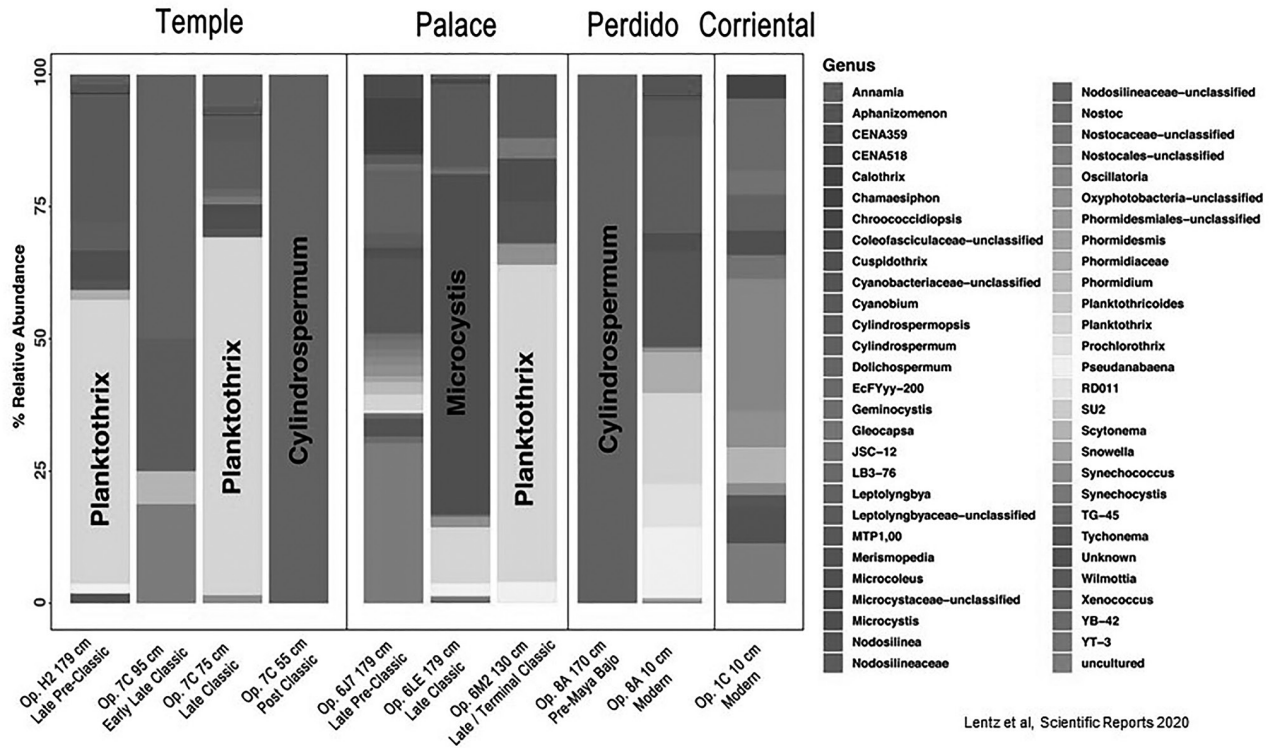
Kenneth B. Tankersley 2020

Figura 8. Diagrama esquemático del sistema de purificación de agua en Tikal. (Kenneth B. Tankersley *et al* 2020: Fig.S13).



Lentz et al, Scientific Reports 2020

Figura 9. Niveles de contaminación por mercurio. (Lentz *et al.*2020).



Lentz et al, Scientific Reports 2020

Evidencia de cianobacteria (algas verdeazuladas) Planktothrix y Microcystis (ambas capaces de producir microcistinas que son altamente toxicas)

Figura 10. Niveles de cianobacteria (algas verdeazuladas) Planktothrix, Microcystis y Cylindrospermum. (Lentz et al. 2020).