

## \_ARTÍCULO




### “La del rincón de Esmeraldas” Libro-Objeto, escena 4.

Cristian Yahir Mazariegos Valle; María Fernanda Muñoz Contreras;  
Velveth Celisabel Sanán Franco, estudiantes del curso  
Proyecto de Integración primer ciclo, año 2023.

Licenciatura en Diseño Gráfico, Escuela de Diseño Gráfico,  
Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala,  
bajo la dirección del profesor Marco Antonio Morales.

# El efecto del cambio climático en la piedra caliza de la arquitectura prehispánica. Estudio de caso: Escalinata Templo V, Parque Nacional Tikal, Petén Guatemala.

*The effect of climate change on the limestone of prehispanic architecture.  
Case study: Staircase Temple V,  
Tikal National Park, Petén Guatemala.*

Wendy Lissett Estrada Aguirre\*   
Facultad de Arquitectura  
Universidad de San Carlos de Guatemala.  
<https://orcid.org/0009-0006-8723-9445>  
Guatemala, Ciudad de Guatemala.

Fecha de recepción: 18 de junio de 2021.  
Fecha de aceptación: 10 de enero de 2023.  
Correo: [wendy.estrada@farusac.edu.gt](mailto:wendy.estrada@farusac.edu.gt)

## Resumen

El principal objetivo de la investigación de la revisión de literatura de estudios relativos se enfoca en la observación de los efectos que el cambio climático ha provocado en las edificaciones del Parque Nacional Tikal Petén, Guatemala, específicamente en la escalinata del Templo V. La piedra caliza de la escalinata cuenta con características de carbonato de calcio especialmente calcita y aragonita. El análisis presenta grados de resistencia y vulnerabilidad de la piedra caliza ante los efectos que ha provocado la modificación del entorno natural debido al cambio climático. Para realizar la investigación se utilizó el método de estudio de caso por medio del cual se analizaron fuentes documentales tales como: Libros, artículos, documentos de archivo, documentos de pruebas de laboratorio (carbono, quemabilidad, hidraulicidad, densidad, fraguado, resistencia mecánica) entre otros, y se obtuvieron los resultados comparativos en el cambio de la estructura de la piedra caliza ante los efectos de los factores ambientales y atmosféricos que ha provocado el cambio climático.

## Palabras clave:

Factores ambientales, efecto invernadero, calcita, escalinata, Tikal.

---

\* Arquitecta graduada por la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala, coordinadora de la Unidad de Bienestar y Desarrollo Estudiantil de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala, cierre de pensum de la maestría en Diseño, Planificación y Manejo Ambiental, de la Facultad de Arquitectura USAC. Estudios en INTECAP sobre Ruta Turística Carmelita – Mirador, Petén Guatemala. Su interés en la exploración e investigación del patrimonio natural y cultural la ha llevado a reconocer la arquitectura prehispánica, tanto en el territorio guatemalteco como en el territorio mexicano, beliceño y hondureño.

## **Abstract**

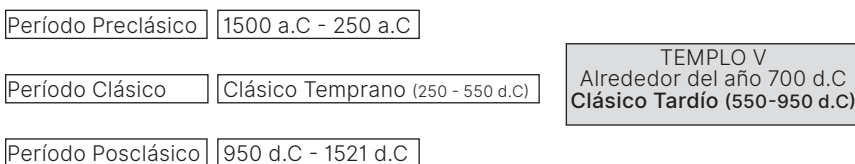
*The main objective of the research of the literature review of relative studies focuses on the observation of the effects that climate change has caused on the buildings of the Tikal Petén National Park, Guatemala, specifically on the steps of Temple V. Limestone of the stairway has characteristics of calcium carbonate, especially calcite and aragonite. The analysis presents degrees of resistance and vulnerability of the limestone to the effects caused by the modification of the natural environment due to climate change. To carry out the investigation, the case study method was used through which documentary sources such as: Books, articles, archival documents, laboratory test documents (carbon, burnability, hydraulicity, density, setting, mechanical resistance) were analyzed. among others, and the comparative results were obtained in the change of the limestone structure before the effects of the environmental and atmospheric factors that climate change has caused.*

**Keywords:**

*Environmental factors, greenhouse effect, calcite, stairway, Tikal.*

## Introducción

Como parte de la investigación de la revisión de literatura de estudios relativos, nos centraremos en el estudio de caso del efecto de los factores ambientales que ha provocado el cambio climático, y el impacto que ha inducido en la piedra caliza de la escalinata del templo V del Parque Nacional Tikal, Petén. El Templo V del parque Nacional Tikal, Petén data del periodo clásico,<sup>1</sup> específicamente clásico tardío, pero ¿qué ha pasado con el clima durante esta época?, ¿Cuál es el efecto del cambio climático en los elementos arquitectónicos de piedra caliza en el Parque Nacional Tikal? En base a estas interrogantes el presente estudio se enfoca en el análisis de los últimos 30 años (1990-2020) de los impactos en la piedra caliza que ya se observan en la escalinata del Templo V. (ver figura 1: Línea de tiempo cultura Maya, datación por radio carbono del Templo V)



**Figura 1.** El esquema muestra la línea de tiempo del desarrollo de la cultura Maya y dentro del mismo la datación por radiocarbono del Templo V (alrededor del año 700 d.C)

Fuente de información: Mundo Maya Esplendor de una Cultura, Arqueología Mexicana. Edición especial No. 44 Diagrama elaboración propia, enero 2020.

La cultura Maya presenta desde los inicios en su arquitectura el uso de materiales de la región en donde se sitúa la ciudad, se utilizaba piedra caliza y madera, estos materiales de construcción los extraían de entorno natural, sienten estos cerros, ríos y árboles.<sup>2</sup> cuando sucede la etapa de decadencia y abandono de las ciudades mayas, esto por la falta de recursos naturales y plagas en el entorno de la misma<sup>3</sup> de las grandes ciudades, el medio ambiente quedó totalmente dañado por el consumo de madera para la elaboración de cal y estuco.

## Metodología

Se utiliza el método de estudio de caso, teniendo como objetivo analizar a partir de fuentes documentales, tales como libros, documentos de archivo, hemerografía, registros audiovisuales, entre otros, el deterioro en la escalinata del templo V, a causa del cambio climático. Categorizado en dos variables: Piedra caliza antigua (muestra en los estudios revisados, recobrada del relleno alrededor de la cantera y probablemente vino de una cantera Maya antigua) y piedra caliza nueva de cantera (muestra en los estudios revisados, cortada de la parte de abajo de donde se acababa de remover un bloque nuevo de cantera) de la escalinata<sup>4</sup> del Templo V, Parque Nacional Tikal, Petén y cambio climático. Se analiza la ubicación y orientación de las escalinatas del

<sup>1</sup> Enrique Vela. "Mundo Maya Esplendor de una Cultura", *Arqueología Mexicana. Edición especial No. 44*, (2012).

<sup>2</sup> J. Learn. "Antiguas herramientas mayas", (2016).

<sup>3</sup> Instituto Politécnico Nacional, Colapso Maya, El enigmático y lento derrumbe de un imperio clásico, México D.F. (2009).

<sup>4</sup> Se entiende por "escalinata" a la escalera amplia construida con materiales nobles en el exterior de una estructura como medio de comunicación vertical.

Templo V y los factores ambientales y atmosféricos afectados a causa del cambio climático; vegetación, temperatura, deforestación, el ozono, polución producida por los aerosoles, gases de efecto invernadero (GEI), cantidad de luz solar, suelo, aire y sus cambios en los últimos 30 años (1990-2020). (Ver figura 2: Proceso de la metodología)

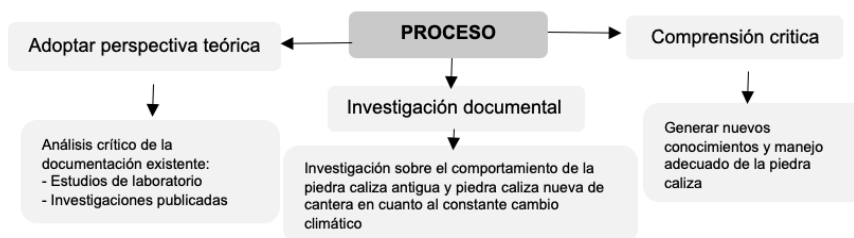


Figura 2. El esquema muestra el estado del arte de proceso investigativo  
Diagrama elaboración propia, mayo 2020

La metodología para la recolección de datos es por el método cualitativo; análisis de documentos, investigaciones publicadas y estudios de laboratorio. Se analizó la documentación existente; (artículos de revistas, libros, informes, análisis de laboratorio, entre otros), investigaciones, análisis y efectos respecto al comportamiento de los factores ambientales y atmosféricos de la región del Parque Nacional Tikal, Petén Guatemala, afectados por el cambio climático.

## Cambio climático y el patrimonio cultural tangible

El Templo V ha permanecido durante 150 años sufriendo la erosión del medio y los visitantes, con un escasísimo apoyo para su mantenimiento.<sup>5</sup>

“Se conoce como cambio climático a la variación global del clima de la tierra... esta variación se debe a causas naturales y a la acción del hombre y causa impacto sobre... todos los parámetros climáticos: Temperatura, precipitaciones, nubosidad, entre otros.”<sup>6</sup>

Entre enfoques más integrales para el análisis comprendemos que las principales causas que provocan el cambio climático son: alta evaporación del agua (siendo este fundamental del ciclo hidrológico), dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozono, todas ellas relacionadas con procesos naturales y causas vinculadas con la actividad humana.<sup>7</sup> Los impactos provocados a causa del cambio climático, según la Comisión Europea – Energía, Cambio Climático, Medio Ambiente<sup>8</sup> son: condiciones meteorológicas extremas y aumento de las precipitaciones, reducción del entorno natural, altas temperaturas, la flora presenta problemas para adaptarse, extinción de especies, contaminación del aire, deterioro en la calidad del suelo, producción de gases de efecto invernadero (GEI), niveles irregulares de los rayos solares, contaminación de la capa de ozono.

<sup>5</sup> Gaspar Muñoz Cosme. El Templo V de Tikal: Su arquitectura. En *X Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, 1996. (editado por J.P. Laporte y H. Escobedo), pp.300-314. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital) (1997).

<sup>6</sup> Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. “El Cambio Climático”, Cumbre de Cambio Climático COP21, Gobierno de España, (2014).

<sup>7</sup> Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. “Causas del cambio climático”. Gobierno de México, (2018).

<sup>8</sup> Comisión Europea. Energía, Cambio Climático y Medio Ambiente, “Consecuencias del cambio climático”. Unión Europea, (2018).

Debido al llamado efecto invernadero el planeta tierra mantiene su temperatura actual, este efecto consiste en retener la energía radiada por la tierra a la atmósfera evitando que se escape hacia el espacio. El mecanismo regulador de los gases de efecto invernadero se hallan en la atmósfera usualmente en concentraciones muy bajas. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) nunca supera concentraciones de algunos centenares de partes por millón (ppm) en "partes por aire". Sin embargo, estos gases representan un papel fundamental en el equilibrio del planeta. La concentración actual de dióxido de carbono supera los 360 ppm y tales niveles no habían sido alcanzados en los últimos 420,000 años.<sup>9,10</sup>

La evolución de la concentración de dióxido de carbono, en la atmósfera tendrá indudablemente un impacto en el sistema climático, pero los procesos implicados son múltiples, complejos e interactúan unos con otros.<sup>11</sup>

Cualquier modificación en el clima conduciría a la desestabilización de las condiciones ambientales y sociales alrededor del planeta<sup>12</sup>. Estas perturbaciones podrían poner en peligro la conservación de ecosistemas naturales y la sustentabilidad de sistemas socioeconómicos. En consecuencia, el cambio climático afectará de manera adversa, y de hecho ya está afectando, la conservación de los bienes del Patrimonio Mundial, tanto natural como cultural. El patrimonio es una irremplazable fuente de vida y de inspiración, es el legado del pasado, con el cual vivimos, y que transmitiremos a las generaciones «futuras».

"los edificios han quedado con sus piedras al aire en la más absoluta desnudez y desprotección arquitectónica, sometidos a la meteorización del medio natural y, en muchos casos, al uso inadecuado e intensivo que de ellos hacen sus visitantes."<sup>13</sup>

El más amplio de los riesgos relacionados socio-naturales que enfrenta El parque Arqueológico Quiriguá el cambio climático, dado que es una alteración en la cantidad, fuerza e impacto que tienen los eventos meteorológicos en la tierra, los cuales son producto de las actividades humanas desarrolladas durante los últimos «siglos».<sup>14</sup>

<sup>9</sup> Cambio climático: la base científica. Contribución del Grupo de trabajo al Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge University, Reino Unido (2001). Citado por Agustín Colette. "Estudio de Caso, Cambio Climático y Patrimonio Mundial", Centro de Patrimonio Mundial. UNESCO, (2007). 12

<sup>10</sup> Esta estimación ha sido actualizada por el IPCC (Resumen para responsables de políticas del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo I del IPCC, 2007, La concentración de dióxido de carbono atmosférico alcanzó 379 ppm en 2005, superando ampliamente los valores habituales durante los últimos 650.000 años (de 180 a 300 ppm). Citado por Agustín Colette "Estudio de Caso, Cambio Climático y Patrimonio Mundial", Centro de Patrimonio Mundial. UNESCO, (2007). 12

<sup>11</sup> Agustín Colette. "Estudio de Caso, Cambio Climático y Patrimonio Mundial", Centro de Patrimonio Mundial. UNESCO, (2007). 12.

<sup>12</sup> Agustín Colette. Estudio de Caso, "Cambio Climático y Patrimonio Mundial", Centro de Patrimonio Mundial. UNESCO, (2007). 12.

<sup>13</sup> Gaspar Muñoz Cosme y Oscar Quintana Samayoa. "Intervenciones de restauración en el Templo I de Tikal", (1992-1994). En IX Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, 1995 (editado por J.P. Laporte y H. Escobedo), pp. 302-308. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital) (1996).

<sup>14</sup> Oscar Rojas. *Análisis y Plan de Gestión de Riesgo-Adaptación ante el Impacto del Cambio Climático del Parque Arqueológico Quiriguá* Viceministerio de Patrimonio Cultural y Natural de Ministerio de Cultura y Deportes, Guatemala, (2013).

Deforestación, agotamiento de recursos naturales, búsqueda desmesurada de poder, consumo excesivo, incendios, agricultura... No hablamos de la sociedad actual, sino de la civilización maya, que desgastó su tierra con un consumo desmedido. La historia maya es la mejor analogía de la sociedad actual. ¿Se actuará para frenar los excesos? ¿Y para frenar el cambio climático? Por ahora, el camino es similar.<sup>15</sup>

El aumento del promedio global de temperatura alcanzó  $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$  a lo largo del siglo XX. Durante la primavera y el verano en el hemisferio norte se ha reducido entre 10 % y 15 % desde los años 50.<sup>16</sup> El contenido del calor global ha aumentado desde fines de los años 50. Los modelos climáticos predicen que para el año 2100 las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera alcanzarán entre 540 y 970 ppm. Se espera que el promedio global de temperatura en la superficie aumente entre  $1.4^\circ\text{C}$  y  $5.8^\circ\text{C}$  durante el período 1990-2100, se prevé “cambios en los eventos meteorológicos extremos y/o peligrosos como olas de calor, sequías, lluvias intensas y huracanes tropicales. En varios sitios del Patrimonio Mundial están siendo llevados a cabo estudios para observar los impactos del cambio climático y planear medidas de adaptación adecuadas.”<sup>17</sup>

Previamente al desarrollo de la investigación sobre la relación lógica que se utiliza para interpretar los resultados, de los factores ambientales mencionados y el comportamiento de la piedra caliza. Se sintetiza la definición teórica preliminar sobre el problema estudiado. La creciente preocupación en el impacto potencial del cambio climático en el patrimonio cultural y natural de la humanidad, afecta de manera adversa, según Caso Estudio, Cambio Climático – Patrimonio Mundial de UNESCO,<sup>18</sup> ya está afectando la conservación de los bienes del Patrimonio Mundial, tanto natural como cultural. Por ello se analizan los factores ambientales, atmosféricos y las modificaciones en la adaptación y vulnerabilidad ante el cambio climático de la piedra caliza antigua y piedra caliza nueva de cantera en las escalinatas del Templo V, Parque Nacional Tikal, Petén, Guatemala.

“La caliza es uno de los recursos calcáreos más importante, se presenta como roca sedimentaria que contiene a lo menos 50% de minerales de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y dolomita ( $\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)$ ), predominando la calcita.”<sup>19</sup> Denomina la “vulnerabilidad de la piedra caliza” como el impacto que ésta percibe, debido a las variaciones de la temperatura ambiente. Se entiende como “resistencia de la piedra caliza”, el grado soporte de la misma a las variaciones ambientales, causadas por el cambio climático.<sup>20</sup> (Ver figura 3: Escalinata Templo V, Tikal, Petén, Guatemala)

El estado de deterioro de la base piramidal. Sólo con una observación preliminar se puede apreciar el deterioro que han sufrido los cuerpos

<sup>15</sup> Adeline Marcos. “Los Mayas y las Lecciones Ambientales del Pasado. Ciencia”. *Revista El Mundo*, (2010).

<sup>16</sup> Agustín Colette. “Estudio de Caso, Cambio Climático y Patrimonio Mundial”, Centro de Patrimonio Mundial. UNESCO. (2007). 14.

<sup>17</sup> Agustín Colette. “Estudio de Caso, Cambio Climático y Patrimonio Mundial”, Centro de Patrimonio Mundial. UNESCO. (2007). 14.

<sup>18</sup> Agustín Colette. “Estudio de Caso, Cambio Climático y Patrimonio Mundial”, Centro de Patrimonio Mundial. UNESCO. (2007).

<sup>19</sup> Hernán Acevedo y Rocío Guerra. *Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana*, Universidad de Chile. Santiago de Chile, (2005). 34.

<sup>20</sup> Cirilo Joaquín Guerrero Hernández. *Ensayos: Rocas Calizas*, Universidad Tecnológica de la Mixteca, (2001).

superiores por la verticalidad del montículo, seguramente muy superior al de los otros templos.<sup>21</sup>



Figura 3. Escalinata Templo V, Tikal, Petén, Guatemala  
Fotografía: Wendy Estrada 2020.

## Piedra Caliza

La piedra caliza es una roca sedimentaria de forma irregular, de aspecto poroso, en su estructura se puede apreciar fragmentos de fósiles o diferentes rangos de color, cuenta con un alto rango de resistencia, esta piedra fue utilizada tanto en la antigüedad para la fabricación como en los trabajos de restauración de las escalinatas del Templo V, gracias a su impermeabilidad y eficiencia.

## Evolución de los cambios ambientales en la época prehispánica

El hombre prehispánico sin conocer la magnitud del daño ocasionado al medio ambiente, se puede describir como consumista desmedido,<sup>22</sup> debido al consumo sin proveer medidas de mitigación al medio natural. La intervención del ser humano en el entorno natural, por la búsqueda de la solución de sus necesidades ha causado la modificación en la calidad de los recursos naturales, el conjunto de todo este impacto ha contribuido al cambio climático,<sup>23</sup> se debe tomar en cuenta que la presencia de turistas en las ciudades mayas tiene un impacto significativo, al medio natural.

<sup>21</sup> Gaspar Muñoz Cosme. "El Templo V de Tikal: Su arquitectura". En *X Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, (1996). (editado por J.P. Laporte y H. Escobedo), pp.300-314. Museo Nacional de Arqueología y Ethnología, Guatemala (versión digital) (1997).

<sup>22</sup> Adeline Marcos. "Los Mayas y las Lecciones Ambientales del Pasado". Revista El Mundo, (2010).

<sup>23</sup> Red ambiental de Asturias. Gobierno del Principado de Asturias, *Actividad humana y efecto invernadero, Las causas del cambio climático*, (2018).



La desintegración de la civilización maya, ocurrida entre los siglos IX y X de nuestra era, pudo estar relacionada con la disminución de las lluvias. Reducciones relativamente modestas en las precipitaciones se relacionan con la caída de esta cultura mesoamericana.<sup>24</sup>

Para comprender los antecedentes históricos relacionados con el tema, en la región del Parque Nacional Tikal, Petén Guatemala, se aborda un periodo de la cultura Maya, siendo este el siguiente:

### Clásico Tardío 550 - 950 d.C:

Se hace mención de este periodo; clásico tardío, debido al esplendor que tuvieron las grandes ciudades prehispánicas, la civilización Maya desgastó la tierra con un consumo desmedido (la tala de árboles, la extracción de piedra y la fabricación de cal para estuco) de los recursos naturales. A causa de ello, en este periodo sucede el máximo daño ambiental.<sup>25</sup> Esta época se caracteriza por el crecimiento máximo de los centros ceremoniales, el aumento demográfico y el crecimiento agrícola, esto permite la construcción masiva, fomentando el alto consumo de recursos «naturales».<sup>26</sup>

Hubo pequeñas disminuciones en las lluvias entre el momento álgido de la civilización maya y el de su ocaso, entre los años 800 y 950 d. C. La pérdida de lluvias es de un 25% a un 40% en el volumen anual, pero eso fue lo suficiente como para que el efecto de la evaporación se impusiera sobre el de la lluvia, de modo que el agua disponible se redujo rápidamente.<sup>27</sup>

Al llegar a la etapa de abandono las ciudades prehispánicas quedan en ausencia de seres humanos, el estuco de las estructuras se deterioró y cayó por falta de mantenimiento, al paso de los años el ambiente natural se regenera, le proveyó una nueva protección: Infinidad de árboles cuyas raíces generaron grandes esfuerzos de compresión. Esto no es el del todo positivo, pues ponen en peligro su estabilidad.<sup>28</sup> La optimización de los recursos naturales<sup>29</sup> es de vital importancia para disminuir impacto del cambio climático, según el artículo “El Cambio Climático Acabó con los Mayas” de la revista digital ABC- cultura,<sup>30</sup> la historia ha demostrado que este ha afectado las estructuras prehispánicas, en este caso de estudio, la escalinata del templo V, han estado expuestas a estos impactos en la modificación del entorno natural a causa del cambio climático y la intervención humana.

<sup>24</sup> Martín Medina-Elizalde y Eelco J. Rohling, “Collapse of Classic Maya Civilization Related to Modest Reduction in Precipitation”. *Science*. 335,956-959(2012).DOI:10.1126/science.1216629

<sup>25</sup> Adeline Marcos. “Los Mayas y las Lecciones Ambientales del Pasado” ...

<sup>26</sup> Juan Antonio Valdés, Marco Antonio Valladares y Luis Alberto Méndez. *Historia de la Arquitectura Prehispánica de las Tierras Bajas Mayas de Guatemala: El Clásico, Fase II*. Programa Universitario de Investigación de Cultura, Pensamiento e Identidad de la Sociedad Guatemalteca. Dirección General de Investigación – DIGI, (2009).

<sup>27</sup> Eelco Rohling. Universidad de Southampton en el Reino Unido, estudiorevista ‘Science’, (2012).

<sup>28</sup> Cooperación Española. *Veinte años de la AECID en Tikal*, Primera edición. Guatemala, (2013).

<sup>29</sup> Conjunto de técnicas que se aplican para llevar a cabo un mejor aprovechamiento de los recursos naturales. INFAIMON

<sup>30</sup> Kennett Dug. “El Cambio Climático Acabó con los Mayas”. *Revista digital ABC- Cultura*, (2012).

A partir del uso de depósitos minerales recopilados en cuevas de la región, los investigadores han podido deducir que se produjeron episodios persistentes de bajas precipitaciones durante la segunda mitad del siglo noveno, lo que coincide “sorprendentemente” con el levantamiento del último monumento de la ciudad, en el año 869, y su abandono final.<sup>31</sup>

El cambio climático ha marcado la historia del entorno natural, en cuanto a su resistencia y vulnerabilidad, según el artículo “El Patrimonio Cultural y el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental”<sup>32</sup> la arquitectura prehispánica por su parte a lo largo de la historia ha demostrado altos niveles de resistencia a estos cambios en el medio ambiental y atmosférico.

El cambio climático y la presencia humana han dañado parte de la cultura de país.<sup>33</sup>

### **Impacto del cambio climático en el Templo V del Parque Nacional Tikal, Petén**

En el Parque Nacional Tikal, en Templo V, grandes cantidades de material proveniente del colapso de los cuerpos superiores se depositaron al pie del basamento piramidal y la escalera, lo que generó paredes de ripios que protegieron una buena porción de la sillería original. Esto sirvió de base para el replanteo de paramentos, taludes y pendientes. El bosque mesoamericano es un ambiente agresivo, donde la saturación de humedad, las altas concentraciones de radiación y la convección, aceleran el proceso de exfoliación de la piedra.<sup>34</sup> De igual forma las investigaciones realizadas documentan que a partir de la hilada 11, la pérdida de sillares originales generó un punto de inflexión hacia el centro de la escalera, en la intersección entre la parábola formada por la acumulación de material suelto y la pendiente original de la escalinata ceremonial, debido al escurrimiento de las aguas de lluvia y al paso constante de visitantes, lo que ocasionó que se generara una figura en forma de “V” que hoy aún se observa.<sup>35</sup> (Ver tabla 1: Factores ambientales afectados a causa del cambio climático en los últimos 30 años (1990-2020))

Respecto a la gran escalinata, se puede indicar que presenta en su lateral oeste una grieta vertical de gran longitud que viene a coincidir con la unión entre basamento y escalinata, seguramente debida a lo que estructuralmente se denomina un asiento diferencial, al parecer estabilizado. Estos muros laterales presentan erosión debida al agua y los consiguientes procesos de disolución que produce en estas calizas por efecto del chorreo lateral del agua de lluvia, al tiempo que una ostensible erosión natural por las raíces de la gran cantidad de árboles que la pueblan.<sup>36</sup>

<sup>31</sup> David L. Lentz. *Prácticas eficientes de conservación del suelo y el agua, claves del misterio de la ciudad maya de Tikal*, (2014).

<sup>32</sup> Silvia Bertazzo. “El patrimonio cultural y el sistema de evaluación de impacto ambiental”. *Revista de Derecho Administrativo Económico*, No. 23, (2016).

<sup>33</sup> Rigoberto Escobar. *Plan Conserva Estructuras Mayas*. Guatemala, (2018).

<sup>34</sup> Cooperación Española. *Veinte años de la AECID en Tikal* Primera edición. Guatemala, (2013).

<sup>35</sup> Cooperación Española, *Veinte Años de la AECID en Tikal*. Capítulo III, intervención y Hallazgos del Templo V, Tikal Petén., (2013).

<sup>36</sup> Gaspar Muñoz Cosme. *El Templo V de Tikal: Su arquitectura*. En X Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, (1996). (editado por J.P. Laporte y H. Escobedo), pp.300-314. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital) (1997).

**Tabla 1: FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS A CAUSA DEL CAMBIO CLIMATICO EN LOS ÚLTIMOS 30 (1990-2020) AÑOS QUE HAN INCIDIDO EN LA CONSERVACIÓN DE LA PIEDRA CALIZA DEL PARQUE NACIONAL TIKAL, PETÉN GUATEMALA**









FACTOR	CARACTERISTICAS	EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
<b>Biodiversidad vegetal</b>	"Gran variedad de tipos de vegetación, entre ellos; Ceiba, Caoba, Zapote, vegetación silvestre, arbustos, raíces, entre otras. 185 especies arbóreas, 6 tipos de bosque, 65 especies de hongos." <sup>37</sup>	"Entre las afecciones de la biodiversidad vegetal a causa del cambio climático: disminución de la cobertura vegetal, escasa plasticidad ecológica (amplitud en la que puede soportar variaciones de los factores que definen la tolerancia ambiental), pobre estrategia reproductiva." <sup>38</sup>
<b>Temperatura</b>	La región presenta temperaturas mínimas de 24°C y máxima de 41°C.	"Entre las afecciones a la temperatura a causa del cambio climático: aumento de la temperatura media, variación de presión, cambios de resistencia eléctrica, niveles elevados de calor, incendios." <sup>39</sup>
<b>Ozono</b>	"Se encuentra en la estratosfera, a una altura comprendida entre 12 y 40 km. En su zona media se concentra formando la denominada ozonfera o capa de ozono, que nos protege de la radiación ultravioleta." <sup>40</sup>	"Las emisiones de gases con efecto invernadero atrapan más calor en las capas inferiores de la atmósfera, lo que conduce a un enfriamiento de las capas superiores. Debido a que el ozono se agota a temperaturas más bajas, parece que este enfriamiento en la parte superior de la atmósfera está ralentizando la recuperación de la capa de ozono." <sup>41</sup>
<b>Polución producida por aerosoles</b>	"Los aerosoles cuentan con COV (amplia familia de virus) en sus sustancias. Los COV son compuestos orgánicos volátiles, es decir son contaminantes que, cuando entran en contacto con la luz del sol producen el conocido gas de ozono en la capa más baja de la atmósfera terrestre. Esto permite la formación «smog» <sup>42</sup>	"La contaminación por aerosoles puede afectar de muchas maneras, cambiando radicalmente el clima, aumentando la temperatura de la tierra." <sup>43</sup>
<b>Gases de efecto invernadero (GEI)</b>	"Gas atmosférico que absorbe y emite radiación. Las emisiones de dióxido de carbono producidas por la actividad humana provienen de la combustión de combustible fósil, principalmente carbón, petróleo y gas natural, además de la deforestación, la erosión del suelo y la crianza animal." <sup>44</sup>	"Principal responsable del calentamiento. Su emisión procede de todo tipo de procesos de combustión. La función de la fotosíntesis de los vegetales y la absorción de dióxido de carbono por parte de los océanos son las principales vías de fijación del gas." <sup>45</sup>
<b>Cantidad de luz solar</b>	"Consiste en un espectro de rayos de diferentes longitudes de onda. La luz visible tiene una longitud de onda de 400 a 700 nm, mientras que la luz ultravioleta (UV) invisible tiene una longitud de onda más corta (280 a 400 nm) y la luz infrarroja invisible tiene una longitud de onda más larga (700 nm a 1 mm). Las longitudes de onda más largas, la luz visible e infrarroja, son capaces de penetrar más profundamente en la piel, aunque son menos propensas a causar daños." <sup>46</sup>	"El cambio climático conseguirá que las placas que nos dan energía solar sean menos eficientes. El estudio que lo afirma se centra en los cambios en la cantidad de luz solar que incidirá sobre ciertas zonas. El factor principal que hará que nuestra energía solar sea menos eficiente está en la temperatura." <sup>47</sup>
<b>Fauna</b>	Abundante especie de fauna, entre ellos; Pavo ocelado, tucanes, loro, perico, mono aullador, jaguares, pecaríes, corzos, comadrejas, pumas, ocelotes, armadillos, mono araña, entre otros.	Muchos de ellos en peligro de extinción, a causa de los cambios de temperatura. 352 especies aves, 535 especies mariposas, 5 especies felinos, 50 especies serpientes, 105 especies mamíferos, 25 especies anfibios. <sup>48</sup>
<b>Recurso hídrico</b>	"Potencialidad de agua por aguadas en el territorio, por ellos se deberá manejar de la mejor manera el recurso, Tal es el caso de aguada Tikal 1 y la fosa carpintería. Por lo tanto, se recomienda reducir el exceso de plantas invasoras de tipo emergente y flotante para evitar la pérdida de agua y avance de vegetación dentro del perímetro de la aguada evitando la formación de islas." <sup>49</sup>	"Los efectos del cambio climático se hacen visibles, sobre todo, en el agua: en forma de sequías, inundaciones o tormentas." <sup>50</sup>
<b>Suelo</b>	"El suelo del Parque Nacional Tikal Petén presenta materia orgánica poco profunda, con un subsuelo de textura arcillosa, que descansa sobre roca caliza. De acuerdo a los datos de la estación meteorológica de Tikal, el clima predominante en el área es cálido húmedo sin una estación seca bien definida." <sup>51</sup>	"El cambio climático podría provocar un mayor almacenamiento de carbono en las plantas y en el suelo debido al crecimiento de vegetación o mayores emisiones de carbono a la atmósfera." <sup>52</sup>
<b>Aire</b>	Dos de los principales problemas ambientales del planeta, el cambio climático y la contaminación del aire, tienen una estrechísima relación entre sí. La contaminación del aire es la presencia en el aire de sustancias o partículas que implican riesgo, daño o molestia para el ser humano, la flora o la fauna.	"La principal fuente de contaminación atmosférica son los gases ozono troposférico (O3), óxidos de azufre (SO2 y SO3), óxidos de nitrógeno (NO y NO2), benzopireno (BaP) y las partículas en suspensión (PM). Estos gases se derivan principalmente de las emisiones provocadas por la quema de combustibles fósiles (incluidas las emisiones generadas por el transporte), los procesos industriales, la quema de bosques, el empleo de aerosoles y la radiación." <sup>53</sup>
<b>Actividad humana</b>	"Visitantes promedio anual en Parque Nacional Tikal, Petén Guatemala, año 2017= 2,113,270 visitantes, Aumento anual de 11%. Instituto Guatemalteco de Turismo. INGUAT." <sup>55</sup>	"Impacto que tienen los eventos meteorológicos en la tierra, o cuales son producto de las actividades humanas desarrolladas durante los últimos siglos." <sup>55</sup>

La tabla muestra elemento y características del medio ambiente, del Parque Nacional Tikal, Petén

Fuente de información: Indicada en tabla.

Tabla elaboración propia, agosto 2020.

Tabla 2: ANÁLISIS ATMOSFÉRICO PARQUE NACIONAL TIKAL PETÉN

TARDE				NOCHE			
Nubes dispersas viento moderado norte		7.9-8.8 Km/h	ene-mar	Pocas nubes viento moderado norte		7.9-8.8 Km/h	ene-mar
Humo pocas nubes viento ligero suroeste		5-7.1 Km/h	abril-jun	Despejado viento calma		3-4 Km/h	abril-jun
Parcialmente nublado viento ligero noreste		5-11.7 Km/h	jul-sep	Nubes dispersas viento ligero este		5-7.1 Km/h	jul-sep
Lluvia parcialmente nublado viento ligero noreste		11.7-15.9 km/h	sep-oct	Llovizna nubes dispersas viento calma		7-8.8 Km/h	sep-oct
Parcialmente nublado viento moderado norte		22.7-19.2 Km/h	nov-dic	Pocas nubes viento moderado norte		22.7-19.2 Km/h	nov-dic

Cuadro análisis atmosférico reserva Parque Nacional Tikal, Petén Guatemala

Fuente de información: Instituto nacional de sismología, vulcanología, meteorología e hidrología (INSIVUMEH), Guatemala 2020

Tabla elaboración propia, mayo 2020

<sup>37</sup> Ministerio de Cultura y Deportes. Dirección General del Patrimonio Cultural y Natural. *Plan Maestro del Parque Nacional Tikal* (2004-2008). Guatemala (2003).

<sup>38</sup> Federico González Fernández, Javier Loidi y Juan Carlos Moreno Saiz. Impactos sobre la Biodiversidad Vegetal. Impactos del cambio Climático en España, (2019).

<sup>39</sup> Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología - INSIVUMEH

<sup>40</sup> Ayuntamiento de Pamplona. Ozono y sus características, (2020). Enlace: <https://www.pamplona.es/ayuntamiento/varios/ozono-caracteristicas>

<sup>41</sup> Victoria González. "El agujero de la capa de ozono influye en el cambio climático, y viceversa". Informe científico. Revista Muy Interesante, (2016).

<sup>42</sup> Incinerox. Contaminación por aerosoles, Gestión Ambiental, (2019).

<sup>43</sup> Romina Pascual. *Contaminación por aerosoles*, Repositorio Institucional CONICET Digita, (2019).

<sup>44</sup> Henry Benavides y Gloria León. *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, (2007).

<sup>45</sup> Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. *Gases causantes del efecto invernadero, Cambio Climático y sus Efectos*, (2018).

<sup>46</sup> José Pineda. "Efecto de la Luz solar", *Revista digital En Colombia*, (2020). Enlace: <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/energia-solar/>

<sup>47</sup> Cathia Rodas. "El Cambio Climático Afecta Gravemente la Producción de Emisiones Solares". *Revista digital El español*. (2020)

<sup>48</sup> Informe Parque Nacional Tikal, (2019).

<sup>49</sup> Mirtha Cano. *Monitoreo de la Calidad de Agua en el Parque Nacional Tikal*, Unidad de Biología, (2011).

<sup>50</sup> Philippa Lysaght. *5 Realidades Sobre el Agua y el Cambio Climático*. Artículo digital. UNICEF, (2016).

<sup>51</sup> Parks Watch. *Características del suelo en Tikal, Fortaleciendo los Parques para Proteger la biodiversidad*, Duke University, (1999).

<sup>52</sup> Agencia Europea de Medio Ambiente. *El suelo y el cambio climático*. Artículo. Publicación (2015), modificación, (2020).

<sup>53</sup> Gonzalo Sáenz de Miera y Francisco Laverón. "Cambio Climático y la Contaminación del Aire". *Revista digital El Confidencial*, (2017).

<sup>54</sup> INGUAT. *Plan Maestro de Turismo Sostenible de Guatemala (2015-2025). Un compromiso de Nación para el Desarrollo Competitivo*, (2015).

<sup>55</sup> Ministerio de Cultura y Deportes. *Análisis y Plan de Gestión de Riesgo Adaptación ante el Impacto del Cambio Climático del Parque Arqueológico Quiriguá*. Guatemala, (2013).

Tabla 3: ANALISIS AMBIENTAL MULTICRITERIO

FACTORES		Petén Guatemala					
		1950 (Hipotético)	1980	1990	2000	2010	2020
Biótico	Flora	80% densidad	70% densidad	67%	60%	50%	40%
	Fauna	80% densidad	70% densidad	65%	55%	50%	40%
Abiótico	Temperatura mínima en °C	21°C	22°C	23°C	23°C	23°C	23°C
	Temperatura máxima en °C	30°C	31°C	32°C	33°C	34°C	35°-38°C
	Precipitación en mm	50-210mm	55-220mm	55-217	50-227mm	55-250 mm	92-255 mm
	Vientos en km/h	6km/h - 8km/h	7km/h - 8km/h	7km/h - 8km/h	7km/h - 8km/h	7km/h - 9km/h	7km/h - 9km/h
Sistema atmosférico	Humedad del suelo	63%- 75%	63%- 80%	63%- 80%	63%- 80%	70%- 92%	75%- 96%
	Tormentas eléctricas en %	12.5	4	4	4	4	4
	Presión en omb	1027	1027	1025	1026	1026	1025
	Suelo	Ganadería/ agricultura	Ganadería/ agricultura	Ganadería/ agricultura	Ganadería/ agricultura	Ganadería/ agricultura	Ganadería/ agricultura
		Buena	Moderada	Moderada	Dañina	Muy dañina	Muy dañina (para el año 2035 se proyecta una calidad de aire peligrosa, a causa de los incendios forestales)
	Calidad de aire						
	Cantidad de luz solar	12 h/día	12 h/día	12 h/día	12 h/día	12 h/día	12 h/día
	Río - cuenca	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Sismos	Sin actividad	Sin actividad	Sin actividad	Sin actividad	Sin actividad	Sin actividad	
Amenaza de incendios en % (adimensional)	35%	45%	48%	50%	55%	60%	

Tabla análisis ambiental multicriterio, reserva Parque Nacional Tikal, Petén Guatemala

Fuente de información:

Biótico: Informe 1950-2020. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN), Guatemala, 2020.

Abiótico y sistema atmosférico: Informe 1950-2020. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), Guatemala, 2020.

Tabla elaboración propia, mayo 2020

## Mapas análisis características atmosféricas

Análisis de las características atmosféricas que afectan la región del parque nacional Tikal, Petén, entre ellas; Isoterma temperatura promedio anual, nivel isoce-raunicos de días con descarga eléctrica o truenos promedio, isoyetas promedio anual, temperatura y vientos predominantes. (Ver figuras 4, 5 y 6: Mapas análisis características atmosféricas)

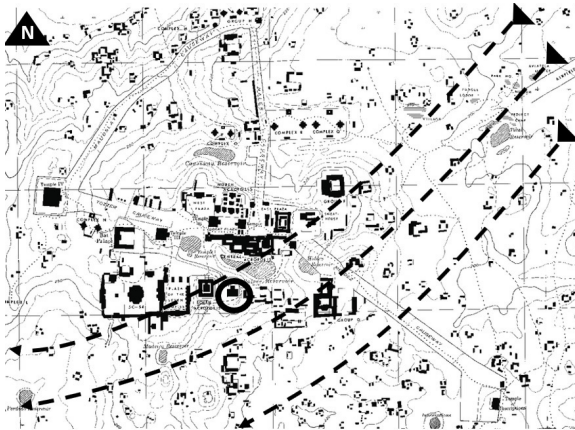


Figura 4. Mapa análisis vientos predominantes reserva Parque Nacional Tikal, Petén Guatemala. Fuente de información: INSIVUMEH, Guatemala, 2020. Tabla elaboración propia, mayo 2020. Fotografía: Google imágenes, mayo 2020.

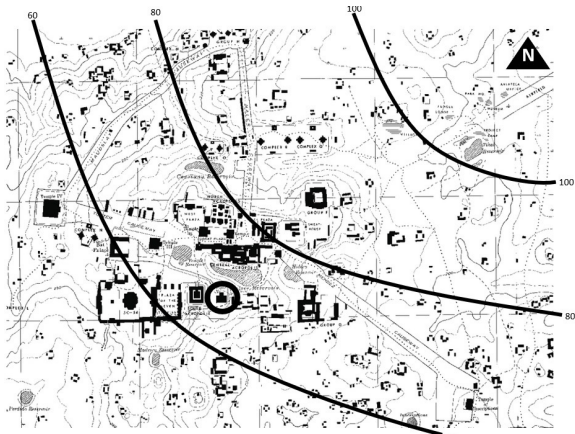


Figura 5. Mapa análisis nivel isoceraunicos de días con descarga eléctrica o truenos promedio anual, reserva Parque Nacional Tikal, Petén Guatemala. Fuente de información: INSIVUMEH, Guatemala, 2020. Tabla elaboración propia, mayo 2020. Fotografía: Google imágenes, mayo 2020.

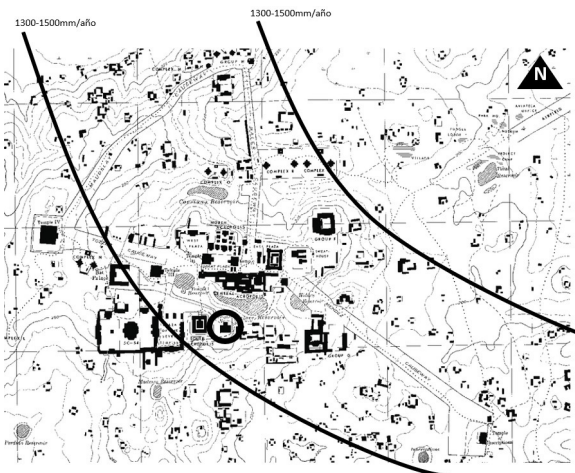


Figura 6. Mapa análisis isoyetas promedio anual mm de lluvia, reserva Parque Nacional Tikal, Petén Guatemala. Fuente de información: INSIVUMEH, Guatemala, 2020. Tabla elaboración propia, mayo 2020. Fotografía: Google imágenes, mayo 2020.

**VIENTOS PREDOMINANTES**

Enero: 8.8 km/h	Mayo: 5.5 km/h	Septiembre: 11.7 km/h	Promedio anual: 10.2 km/h
Febrero: 7.9 km/h	Junio: 5.0 km/h	Octubre: 15.9 km/h	
Marzo: 8.6 km/h	Julio: 5.0 km/h	Noviembre: 22.7 km/h	
Abril: 7.1 km/h	Agosto: 5.7 km/h	Diciembre: 19.2 km/h	





*Figura 7. Templo V, Tikal, Petén, Guatemala  
Fotografía: Wendy Estrada 2020*

En el análisis de los últimos 30 años (1990-2020) se observa el declive de los factores ambientales a causa del inadecuado manejo de los recursos naturales, la contaminación del aire<sup>56</sup> y las altas temperaturas son las principales señales del inadecuado manejo ambiental, la temperatura ambiente se mantiene entre mínima de 23°C y máxima de 38°C, a causa del cambio climático conlleva a la modificación de las características de adaptación y vulnerabilidad tanto de la piedra caliza antigua como de la piedra caliza nueva de cantera en las escalinatas del templo V, del parque Nacional Tikal, Petén.

Las características del clima varían de acuerdo a la región, en este análisis la región del Parque Nacional Tikal, Petén, contempla condiciones climáticas propias, determinadas por la cantidad de lluvia, los vientos, temperatura, humedad, entre otros. El impacto ocasionado a las estructuras debido al cambio climático de la ciudad de Tikal no será el mismo que de alguna otra ciudad prehispánica de otra región. La población maya pudo haber exacerbado las condiciones de sequía a través de actividades de tala de bosques.<sup>57</sup>

La zona productiva circundante a Tikal no tenía la capacidad de resistencia para soportar las sequías del siglo noveno. Así, la estrategia de gestión de recursos utilizada cesó para proporcionar una alimentación adecuada, combustible y agua potable a la población del periodo Clásico Tardío de cara a los períodos prolongados de sequía. Como resultado, se produjo un desorden social y el abandono.<sup>58</sup>

La cobertura forestal reportada para Petén entre 1990-2022 representa una disminución del 19% lo cual aporta una disminución en la calidad de aire de moderada a muy dañina, y aporta un aumento a la temperatura de 1-3°C.<sup>59</sup> (Ver tabla 4: Cuadro análisis pérdida cobertura forestal, Petén Guatemala)

<sup>56</sup> Gonzalo Sáenz de Miera y Laverón Francisco. "Cambio Climático y la Contaminación del Aire". *Revista digital El Confidencial*, (2017).

<sup>57</sup> David L. Lentz. *Prácticas eficientes de conservación del suelo y el agua, claves del misterio de la ciudad maya de Tikal*, (2014).

<sup>58</sup> Instituto Politécnico Nacional. *Colapso Maya, El Enigmático y Lento Derrumbe de un Imperio Clásico*, México D.F. (2009).

<sup>59</sup> Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN). Programa Fortaleciendo la Cobertura Forestal del Petén, Guatemala, (2022).

TABLA 4: COBERTURA FORESTAL PETÉN, GUATEMALA

Superficie Km2	1990/93	1993	2001	2006	2010	2022
Petén	22,646.40	23,940.60	21,920.90	19,272.20	18,026.00	15,371.00
% de superficie boscosa de Petén en comparación a nivel nacional				2006	2010	2022

Tabla 4. Cuadro análisis pérdida cobertura forestal, Petén Guatemala.

Fuente de información: Registros MARN 1991-2022.

Tabla elaboración propia, septiembre 2022.

## Estudios de laboratorio

Entre los hallazgos a partir de los estudios de laboratorio realizados por el MARN está el comportamiento en los grados de resistencia y vulnerabilidad de la piedra caliza nueva de cantera ante los efectos del cambio climático. (Ver tabla 5: Cuadro comportamiento piedra caliza)

Tabla 5: COMPORTAMIENTO PIEDRA CALIZA

Ante condiciones ambientales en niveles de temperatura elevados (32°C-44°C)	
Hidraulicidad	Débilmente hidráulica - hidráulica
Densidad	2.25kg/dm3
Fraguado	2 - 48 h
Resistencia mecánica	50kp/cm2

Cuadro comportamiento piedra caliza

Fuente de información: Hugo Alejandro Gálvez Barrera. Promedio de análisis realizados para densidad aparente (ASTM 188-95) para la piedra caliza, Evaluación del comportamiento de la piedra caliza. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003.

Tabla elaboración propia, junio 2020

**Análisis físicos:** La inspección visual presentada en el documento "Promedio de Análisis realizados para la densidad aparente (ASTM 188-95) para la piedra caliza" con el objetivo de verificar color, textura porosidad y homogeneidad de la pieza, pruebas de porcentaje de humedad y densidad, características petrográficas= micrita/ esparita (temperatura máxima alcanzada)

**Análisis químico:** El observación en el documento "Promedio de Análisis realizados para la densidad aparente (ASTM 188-95) para la piedra caliza" se enfoca en evaluar la composición química de la materia lo cual comprende la determinación de porcentajes de los elementos presentes y la verificación de fases dentro del mineral, los análisis químicos que se realizan son complejometría, determinaciones por absorción atómica y fluorescencia de rayos X. (Ver tabla 6: Cuadro pruebas en piedra caliza nueva de cantera)



**Tabla 6: PRUEBAS EN PIEDRA CALIZA NUEVA DE CANTERA**

<b>Inspección visual</b>											
Color											
Fecha	Variado entre blanco, anaranjado y blanco										
27.03.2015											
<b>Pruebas físicas</b>											
27.03.2015	Densidad (litros)						% HUMEDAD				
	1505						0.16%				
<b>Prueba química y quemabilidad</b>											
27.03.2015	PF control	PF 200 g	% de Calcinación	% SiO2	% Al2O3	% Fe2O3	% CaO	% MgO	% SO3	% K2O	% Na2O
	42.50	43.86	96.66%	0.11	0.16	0.27	54.82	2.09	#	0.10	0.04
<b>Porcentaje de carbono (%) y porcentaje de CO2 (%)</b>											
27.03.2015	% Azufre			%SO3			% Carbono			% CO2	
	0.03359			0.08			10.20			37.20	
<b>Test de slaking</b>											
27.03.2015	Temperatura inicial	Temperatura final 30 segundos	Temperatura total de incremento (°c)	Tiempo total de activación slaking (segundos)	DT 30 segundos (°c)	DT total (°c)					
	23.40	62.66	79.56	5.50	39.26	56.16					
<b>Quemabilidad / Tiempo</b>											
27.03.2015	% de calcinación caliza blanca 3 min	% de calcinación caliza negra 3 min	% de calcinación caliza blanca 5 min	% de calcinación caliza negra 5 min	% de calcinación caliza blanca 10 min	% de calcinación caliza negra 10 min					
	27.66	32.48	57.97	53.76	97.36	99.61					

Cuadro pruebas en piedra caliza nueva de cantera

Fuente de información: Hugo Alejandro Gálvez Barrera. Promedio de análisis realizados para densidad aparente (ASTM 188-95) para la piedra caliza, Evaluación del comportamiento de la piedra caliza. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003.

Tabla elaboración propia, junio 2020

En Tikal se distinguen dos tipos de piedra: antigua piedra caliza (la que proviene del relleno alrededor de la cantera y probablemente vino de una cantera Maya antigua) y fracciones de piedra caliza nueva de cantera, extraídas de las canteras para la obtención de los materiales de obra fueron seleccionadas por los maestros restauradores desde comienzos de los trabajos de intervención en el Templo V. Estas canteras se encuentran distribuidas por los alrededores del parque Nacional Tikal, Petén.<sup>60</sup> (Ver figuras 8, 9 y 10: Vista parcial trabajos de restauración, Tikal Petén, Guatemala)



**Figura 8.** Proceso de aplicación de material nuevo en Parque Nacional Tikal, Petén  
Fotografía: Wendy Estrada diciembre 2019.

<sup>60</sup> Cooperación Española. Veinte años de la AECID en Tikal, Primera edición. *Hallazgos del Templo V*, Capítulo III. Guatemala, (2013).



*Figura 9. Vista parcial actuales trabajos de restauración Templo V. Fotografía: Wendy Estrada agosto 2021*



*Figura 10. Vista parcial actuales trabajos de restauración Templo V. Fotografía: Wendy Estrada agosto 2021.*



*Figura 11. Vista parcial de la alfarda Oeste de la escalinata ceremonial del Templo V, Parque Nacional Tikal, Petén Fotografía: Wendy Estrada diciembre 2020*





*Figura 12. Vista parcial de la fachada frontal perspectiva Nor-Oeste del Templo V. Trabajos de integración cromática con una mezcla de mortero de cal y tierras locales, que permiten el rápido crecimiento de microflora, necesaria para la protección y transpiración propia del edificio*  
Fuente de información: AECID 2013  
Fotografía: Wendy Estrada diciembre 2020



*Figura 13. Vista parcial escalinata perspectiva Nor-Este Templo V.*  
Fotografía: Wendy Estrada agosto 2021

### Técnicas de correlación del análisis realizado

Se analizaron dos variables y sus sub variables en la investigación “Promedio de Análisis realizados para la densidad aparente (ASTM 188-95) para la piedra caliza” obteniendo como resultado un índice en cuanto a resistencia y vulnerabilidad de la piedra caliza nueva de cantera ante el cambio climático. (ver tabla 7: Cuadro análisis de variables)

**Tabla 7: PIEDRA CALIZA ESCALINATAS TEMPLO V, TIKAL, PETÉN, GUATEMALA - CAMBIO CLIMÁTICO**

Estudios de laboratorio:	Investigaciones publicadas:	Documentos:
Se analiza estudios de laboratorio en cuanto al comportamiento en los grados de resistencia y vulnerabilidad de la piedra caliza de la escalinata del Templo V, del Parque Nacional Tikal, Petén, ante los efectos del cambio climático.	Recolección de información en publicaciones; artículos de revistas, libros, informes, ensayos, entre otros. Que presentan los efectos del cambio climático en la piedra caliza de la arquitectura prehispánica.	investigaciones, artículos de revistas, libros, informes, entre otros. Análisis en cuanto a los factores ambientales y atmosféricos de la región del Parque Nacional Tikal, Petén Guatemala, afectados por el cambio climático.
<p>Se reduce el 3.471% promedio de la densidad aparente de la piedra caliza a causa de los cambios de temperatura.</p> <p>Relación con la densidad aparente y el comportamiento de la densidad conforme a la exposición a cambios de temperatura de la piedra caliza, grados de vulnerabilidad 22% Grado de resistencia 8% del comportamiento de piedra caliza conforme a la exposición a los rayos solares.<sup>61</sup></p> <p>La consecuencia del cambio climático en la atmosfera representa el 70% de todos los factores alterados, provoca la disminución de resistencia de la piedra caliza de la escalinata del Templo V, Parque Nacional Tikal, Petén, ante la exposición a lluvia.</p> <p>El 2019 fue la temporada más calurosa registrada en el Parque Nacional Tikal, Petén, por niveles encima del promedio, la piedra caliza de la escalinata del Templo V, se encuentra expuesta antes esta variable.<sup>62</sup></p>		

Cuadro análisis de variables

Fuente de información: Referencia indicada en la tabla.

Tabla elaboración propia, septiembre 2020

## Resultados

Se realizó una revisión de literatura de estudios relativos a las condiciones de los factores ambientales y atmosféricos de los últimos 30 años (1990-2020) y su relación con el deterioro de la piedra caliza, cuyos resultados se integran en una tabla comparativa que puede ser aplicada como estudio de caso a la escalinata del Templo V del Parque nacional Tikal, Petén, Guatemala. (Ver tabla 8: Cuadro de análisis comparativo)

De acorde al análisis de los documentos estudiados se explica la diferencia entre la calcinación de una piedra caliza blanca y una piedra caliza negra, este origen metamórfico propiciado por cambios de temperatura y presión, por su parte la piedra caliza negra es considerada una piedra caliza pura, esto por sus características que contienen material orgánico (fácilmente calcinable) por la misma razón, el cambio de la estructura de la piedra caliza está relacionado con los cambios de temperatura y con su facilidad de perder el dióxido de carbono debido a la intervención de los cambios de temperatura. Es de alta importancia este dato en la investigación, por medio del cual se puede afirmar que un cambio en la temperatura, disminuye notablemente la resistencia de la piedra caliza, también se puede afirmar que estando la piedra expuesta a la intemperie con un adecuado manejo del soporte de la temperatura ambiente o bien medida de mitigación: cobertura superior para la mitigación de los rayos solares, forestación del área promoviendo calidad de aire aceptable y aportando a la disminución de los niveles de temperatura, podrá mejorar el comportamiento de la piedra caliza de la escalinata Templo V, del Parque Nacional Tikal, Petén.

<sup>61</sup> Hugo Alejandro Gálvez Barrera. *Promedio de análisis realizados para densidad aparente (ASTM 188-95) para la piedra caliza*, Evaluación del comportamiento de la piedra caliza. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, (2003).

<sup>62</sup> Mariana Ibarcena y Mauricio Scheelje. "El Cambio Climático principales Causantes, Consecuencias y Compromisos de los Países Involucrados". XII Congreso Forestal Mundial, Québec City, Canadá, (2006).

Como resultado de este estudio de caso determinando el grado de resistencia y vulnerabilidad de la piedra caliza en función de sus características químicas-mineralógicas, se revisó la investigación de documentación de dos tipos de piedra caliza de la escalinata del Templo V: piedra caliza antigua y piedra caliza nueva de cantera y se elabora un cuadro análisis comparativo de daños ocasionados por el efecto del cambio climático.

**Tabla 8: ANÁLISIS COMPARATIVO DE DAÑOS OCASIONADOS POR EL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ESCALINATA DEL TEMPLO V DEL PARQUE NACIONAL TIKAL, PETÉN GUATEMALA**

Origen de la muestra en los estudios revisados	Daños ocasionados	Densidad	Observaciones
<p><b>Antigua piedra caliza de cantera</b> (Muestra recobrada del relleno alrededor de la cantera y probablemente vino de una cantera Maya antigua)</p>	<p>Mayor resequeidad y blandura, pierde peso durante la deshidratación, la dureza de la piedra caliza disminuye con el aumento de la profundidad bajo la superficie.<sup>63</sup> La porosidad de las muestras tomadas en monumento en la zona superficial externa del mismo, estas magnitudes alcanzan el 25-35%.<sup>64</sup></p>	<p>Un metro cúbico de piedra caliza vieja pesa cerca de 903 kilos (1989 libras).<sup>65</sup></p>	<p>Los trabajadores de la cantera sugirieron que la presencia de inclusiones o fracturas pudo haber sido la razón principal por la cual las canteras antiguas fueron también abandonadas; posiblemente esto explica por qué hay tantas canteras pequeñas sin estar agotadas en Tikal (Carry Hazard 1961).<sup>66</sup></p>
<p><b>Nueva piedra caliza de cantera</b> (Muestra cortada de la parte de abajo de donde se acababa de remover un bloque nuevo de cantera)</p>	<p>Menor resequeidad y blandura.<sup>67</sup> 3.417% Reducción densidad a causa de cambios de temperatura. 8% resistencia exposición a los rayos solares 22% densidad aparente y comportamiento de la densidad.<sup>68</sup> La porosidad en cantera es de tipo medio (10-15 %).<sup>69</sup></p>	<p>Un metro cúbico de piedra caliza recién cortada pesa alrededor de 1236 kilos (2723 libras).<sup>70</sup></p>	<p>Los trabajadores de piedra de Tikal observaron una capa de 5-10 cm cerca de la cima del manto del lecho de roca que es más duro que la piedra inferior. Después de extraer el bloque, la porción blanda inferior es removida formándose el bloque. Después el bloque es puesto durante la reconstrucción para que la capa dura sea la superficie exterior de la estructura. Los trabajadores de la cantera de Tikal también observaron este acontecimiento, así como inclusiones esféricas en la piedra caliza. Por esto y otros defectos tales como fracturas han sido abandonadas varias canteras modernas. La cantera que ahora está en uso fue localizada después de haber buscado mucho y probado la calidad de la piedra.<sup>71</sup></p>

La porosidad se interpreta como un efecto de degradación por disolución kárstica. Dentro de esta porosidad, la microporosidad, se encuentra entre el 66 y el 88% sin que exista diferencia notable entre cantera y monumento.<sup>72</sup>

Se han detectado sales solubles fundamentalmente cloruro sódico (halita NaCl) subordinadamente cloruro potásico (silvinita KCl). En una muestra aparece además algo de yeso (CaSO4 2H2O). Estas sales pueden proceder del mismo material de cantera ya que existen en la zona niveles evaporíticos, pero el contenido original, que debe ser escaso, se puede incrementar localmente por la acción biológica.<sup>73</sup>

Cuadro de análisis comparativo

Fuente de información: Referencia indicada en la tabla.

Tabla elaboración propia, agosto 2021

## Conclusión

En el periodo clásico tardío (550- 950 d.C) de los asentamientos mayas en el territorio mesoamericano, el medio ambiente fue en decadencia, esto debido al inadecuado manejo de los recursos naturales, las construcciones desmedidas y la explotación de los recursos lo que provocó el inicio del deterioro ambiental, la arquitectura prehispánica fue construida con los mejores materiales vírgenes de la región mesoamericana esto ayudó a que muchos de ellos hayan permanecido en pie hasta la época actual, como lo es el caso del Templo V del Parque Nacional Tikal. Al paso de los años dichas edificaciones han requerido ser intervenidas por procesos de restauración, que demandan de constante mantenimiento debido que estas se encuentran expuestas a los cambios en los factores climáticos.

La revisión de los documentos conlleva a que la evaluación del comportamiento de la piedra caliza, conforme a la densidad aparente (ASTM 188-95),<sup>74</sup> el impacto debido a las variaciones ambientales a causa del cambio climático en la piedra caliza de las escalinatas del Templo V Tikal, Petén se concluye: en la disminución en un 8% al grado de resistencia a la exposición de los rayos solares, en un 22% disminuye la resistencia de la piedra caliza a los cambios de temperatura y un 3.417% reducción de la densidad,<sup>75</sup> la porosidad de la piedra caliza de cantera es de tipo medio (10-15 %), así mismo la porosidad de las muestras en los estudios revisados, tomadas en el monumento en la zona superficial externa del mismo, estas magnitudes alcanzan el 25-35%,<sup>76</sup> a causa de variante de los grados temperatura.

El análisis de la documentación indica que un metro cúbico de piedra caliza vieja pesa cerca de 903 kilos (1989 libras), mientras que un metro cúbico de piedra caliza recién cortada pesa alrededor de 1236 kilos (2723 libras).<sup>77</sup>

Existen diferencias entra la resistencia de una piedra caliza antigua y una piedra caliza nueva de cantera, ya que la piedra caliza antigua presenta mayor resequedad y blan-

<sup>63</sup> James C. Woods y Gene L. Titmus. "Piedra en piedras: Perspectivas de la Civilización Maya a través de los Estudios Líticos". En *VII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, (1993) (editado por J.P. Laporte y H. Escobedo), Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología, 295-310 (1994).

<sup>64</sup> Cooperación Española. *Veinte años de la AECID en Tikal*, Primera edición. Guatemala, (2013).

<sup>65</sup> Woods y Titmus "Piedra en piedras: Perspectivas de la civilización Maya a través de los estudios líticos".

<sup>66</sup> Woods y Titmus "Piedra en piedras"...

<sup>67</sup> Woods y Titmus "Piedra en piedras"...

<sup>68</sup> Hugo Alejandro Gálvez Barrera. *Promedio de análisis realizados para densidad aparente (ASTM 188-95) para la piedra caliza, Evaluación del comportamiento de la piedra caliza*. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, (2003).

<sup>69</sup> Cooperación Española. *Veinte años de la AECID en Tikal*, Primera edición. Guatemala, (2013).

<sup>70</sup> Woods y Titmus "Piedra en piedras"...

<sup>71</sup> Woods y Titmus "Piedra en piedras"...

<sup>72</sup> Cooperación Española. *Veinte años de la AECID*....

<sup>73</sup> Cooperación Española. *Veinte años de la AECID*....

<sup>74</sup> Hugo Alejandro Gálvez Barrera. *Promedio de análisis realizados para densidad aparente (ASTM 188-95) para la piedra caliza, Evaluación del comportamiento de la piedra caliza*. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, (2003).

<sup>75</sup> Hugo Alejandro Gálvez Barrera. *Promedio de análisis realizados*...

<sup>76</sup> Cooperación Española. *Veinte años de la AECID en Tikal*, Primera edición. Guatemala, (2013).

<sup>77</sup> Woods y Titmus "Piedra en piedras: Perspectivas de la civilización Maya a través de los estudios líticos".

dura que la piedra caliza nueva, también la piedra caliza antigua pierde peso durante la deshidratación estando está expuesta a los cambios de temperatura por mayor tiempo que la piedra caliza nueva de cantera.

La estructura y el origen de la piedra caliza influye directamente en su capacidad de perder el dióxido de carbono en el proceso de la exposición a los cambios de temperatura.

Se deberá contar con un diseño ambiental en cuanto a concebir especificaciones y normas, todo esto apropiado de indicadores de desempeño e impacto, así como un proceso constante de investigación aplicada para ajustar, medidas de mitigación y manejo del cambio climático, implementando un plan maestro que incluya aporte soporte de conservación de las escalinatas del Templo V, del Parque Nacional, Tikal, Petén y un adecuado manejo del entorno natural.

Que la calidad de la piedra caliza nueva de cantera que se utilice para restauraciones del patrimonio cultural tangible prehispánico, sea de calidad equivalente a la piedra original que se sustituya. Una calidad inferior implicaría acelerar el deterioro y una piedra caliza nueva de cantera con calidad superior a la piedra caliza original provocará estrés mecánico a la piedra original.

## Bibliografía

- Acevedo, Hernán y Guerra, Roción. *Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana*, Universidad de Chile. Santiago de Chile, (2005).
- Agencia Europea de Medio Ambiente. *El suelo y el cambio climático*. Artículo. Publicación 2015, modificación, 2020. Enlace: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/el-suelo-y-el-cambio-climatico>
- Ayuntamiento de Pamplona. *Ozono y sus características*, (2020). Enlace: <https://www.pamplona.es/ayuntamiento/varios/ozono-caracteristicas>
- Benavides, Henry y León Gloria. *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, (2007).
- Bertazzo, Silvia. “El patrimonio cultural y el sistema de evaluación de impacto ambiental”. *Revista de Derecho Administrativo Económico*, No. 23, (2016).
- Cano, Mirtha. *Monitoreo de la Calidad de Agua en el Parque Nacional Tikal*, Unidad de Biología, 2011.
- Cooperación Española. *Veinte años de la AECID en Tikal*, Primera edición. Guatemala, (2013).
- Colette, Agustín. *Estudio de Caso, Cambio Climático y Patrimonio Mundial, Centro de Patrimonio Mundial*. UNESCO, (2007).
- Comisión Europea. Energía, Cambio Climático y Medio Ambiente, *Consecuencias del cambio climático*. Unión Europea, (2018). Enlace: [https://ec.europa.eu/clima/change/consequences\\_es](https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_es)
- Dug, Kennett. “El cambio climático acabó con los mayas”. *Revista digital ABC-Cultura*, (2012). Enlace: [https://www.abc.es/cultura/rc-cambio-climatico-acabo-mayas-201211090000\\_noticia.html](https://www.abc.es/cultura/rc-cambio-climatico-acabo-mayas-201211090000_noticia.html)
- Escobar, Rigoberto. *Plan Conserva Estructuras Mayas*. Guatemala, (2018).
- Gálvez, Barrera Hugo Alejandro. *Promedio de análisis realizados para densidad aparente (ASTM 188-95) para la piedra caliza*, Evaluación del comportamiento de la piedra caliza. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, (2003).
- González, Victoria. “El agujero de la capa de ozono influye en el cambio climático, y viceversa. Informe científico”. *Revista Muy Interesante*, (2016).
- González Fernández, Federico, Javier Loidi y Juan Carlos Moreno Saiz. *Impactos sobre la Biodiversidad Vegetal*. Impactos del cambio Climático en España, (2019).
- Guerrero Hernández, Cirilo Joaquín. *Ensayos: Rocas Calizas*, Universidad Tecnológica de la Mixteca, (2001).



- Ibarcena, Mariana y Scheelje Mauricio. "El Cambio Climático principales Causantes, Consecuencias y Compromisos de los Países Involucrados". *XII Congreso Forestal Mundial, Quebec City, Canadá*, (2006). Enlace: <https://www.fao.org/3/xii/0523-b2.htm>
- Incinerox. *Contaminación por Aerosoles*, Gestión Ambiental, (2019). Enlace: <https://www.incinerox.com.ec/contaminacion-por-aerosoles-lo-que-debes-saber/Contaminación>
- INGUAT. *Plan Maestro de Turismo Sostenible de Guatemala (2015-2025). Un compromiso de nación para el desarrollo competitivo*, (2015).
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. *Causas del cambio climático*. Gobierno de México, (2018). Enlace: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/causas-del-cambio-climatico>
- Instituto Politécnico Nacional. *Colapso Maya, El enigmático y lento derrumbe de un imperio clásico*, México D.F. (2009).
- Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud. *Gases causantes del efecto invernadero, Cambio Climático y sus Efectos*, (2018). Enlace: <https://istas.net/istas/guias-interactivas/cambio-climatico-y-sus-efectos/cambio-climatico/clima-y-sistema-0#:~:text=Los%20m%C3%A1s%20importantes%20est%C3%A1n%20regulados,%2C%20PFC%2C%20SF6>
- Learn. J. *Antiguas Herramientas Mayas*, (2016).
- Lentz, L. David. *Prácticas eficientes de conservación del suelo y el agua, claves del misterio de la ciudad maya de Tikal*, (2014). Enlace: <https://www.iagua.es/noticias/agencia-sinc/14/12/16/practicas-eficientes-conservacion-suelo-y-agua-claves-misterio-ciudad>
- Lysaght, Philippa. *5 Realidades sobre el Agua y el Cambio Climático*. Artículo digital. UNICEF, (2016). Enlace: <https://blogs.unicef.org/es/blog/5-realidades-sobre-el-cambio-climatico/#:~:text=Los%20efectos%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico,vida%20de%20millones%20de%20ni%C3%B1os>
- Marcos, Adeline. "Los Mayas y las Lecciones Ambientales del Pasado". *Revista El Mundo*, (2010). Enlace: <https://www.elmundo.es/elmundo/2010/12/17/ciencia/1292603367.html>
- Medina-Elizalde, Martín y Eelco J. Rohling, "Collapse of Classic Maya Civilization Related to Modest Reduction in Precipitation". *Science*. 335,956-959(2012). DOI:10.1126/science.1216629
- Ministerio de Cultura y Deportes. *Análisis y Plan de Gestión de Riesgo adaptación ante el impacto del cambio climático del Parque Arqueológico Quiriguá*. Guatemala, (2013).
- Ministerio de Cultura y Deportes. Dirección General del Patrimonio Cultural y Natural. *Plan Maestro del Parque Nacional Tikal* (2004-2008). Guatemala, (2003).
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *El Cambio Climático, Cumbre de Cambio Climático COP21*, Gobierno de España, (2014). Enlace: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/cumbre-cambio-climatico-cop21/el-cambio-climatico/>

- Muñoz Cosme, Gaspar. "El Templo V de Tikal: Su arquitectura". En *X Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, (1996). (editado por J.P. Laporte y H. Escobedo), pp.300-314. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital) (1997).
- Muñoz Cosme, Gaspar y Quintana Samayoa Óscar. "Intervenciones de restauración en el Templo I de Tikal", (1992-1994). En *IX Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, (1995) (editado por J.P. Laporte y H. Escobedo), pp.302-308. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital) (1996).
- Parks Watch. *Características del suelo en Tikal, Fortaleciendo los Parques para Proteger la Biodiversidad*, Duke University, (1999).
- Pascual, Romina. *Contaminación por Aerosoles*, Repositorio Institucional CONICET Digita, (2019).
- Pineda, José. "Efecto de la Luz solar", *Revista digital En Colombia*, (2020). Enlace: <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/energia-solar/>
- Red ambiental de Asturias. Gobierno del Principado de Asturias, *Actividad humana y efecto invernadero, Las causas del cambio climático*, (2018). Las causas del cambio climático, (2018). Enlace: <http://movil.asturias.es/portal/site/medioambiente/menuitem.1340904a2df84e62fe47421ca6108a0c/?vgnnextoid=b40d0e84caa91210VgnVCM10000097030a0aRCRD&vgnnextchannel=1e1c1cc03aa1a110VgnVCM1000006a01a8c0RCRD&i18n.http.lang=es#:~:text=Aunque%20son%20muy%20variadas%20las,en%20mayor%20medida%20en%20la>
- Rodas, Cathia. "El Cambio Climático afecta gravemente la producción de emisiones solares". *Revista digital El español*. (2020)
- Rojas, Oscar. *Análisis y Plan de Gestión de Riesgo-Adaptación ante el Impacto del Cambio Climático del Parque Arqueológico Quiriguá* Viceministerio de Patrimonio Cultural y Natural de Ministerio de Cultura y Deportes, Guatemala, (2013). Enlace:<https://www.wmf.org/sites/default/files/article/pdfs/WMF%20Micude%20Analisis%20y%20plan%20de%20gestion%20de%20riesgo-adptacion%20an%20el%20impacto%20del%20cambio%20climatico.pdf>
- Rojas, Oscar. *Metodología de Gestión de Riesgo Climático para Sitios y Parques Arqueológicos* Viceministerio de Patrimonio Cultural y Natural de Ministerio de Cultura y Deportes, Guatemala, (2013). Enlace:<https://www.wmf.org/sites/default/files/article/pdfs/WMF%20Micude%20Metodologia%20de%20gestion%20de%20riesco%20climatico%20para%20sitios%20y%20parques%20arqueologicos.pdf>
- Sáenz de Miera, Gonzalo y Laverón Francisco. "Cambio Climático y la Contaminación del Aire". *Revista digital El Confidencial*, (2017). Enlace: [https://blogs.elconfidencial.com/espana/tribuna/2017-02-18/cambio-climatico-contaminacion-semejanzas-diferencias-reflexiones\\_1334096/](https://blogs.elconfidencial.com/espana/tribuna/2017-02-18/cambio-climatico-contaminacion-semejanzas-diferencias-reflexiones_1334096/)
- Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia – SEGEPLAN. *Diagnóstico Territorial de Petén, Petén 2032 Plan de Desarrollo Integral*, (2013).

Titmus, Gene L. y James C. Woods. "Operación Q206: una cantera caliza". Informe de las Investigaciones realizadas en la Temporada de 1991 en el Sitio Arqueológico Nakbé, Petén. (Editado por R.D. Hansen, University of California, Los Ángeles) (1992).

Valdés, Juan Antonio, Valladares Marco Antonio y Méndez Luis Alberto. Historia de la Arquitectura Prehispánica de las Tierras Bajas Mayas de Guatemala: *El Clásico, Fase II*. Programa Universitario de Investigación de Cultura, Pensamiento e Identidad de la Sociedad Guatemalteca. Dirección General de Investigación – DIGI, (2009).

Vela, Enrique. "Mundo Maya Esplendor de una Cultura", *Arqueología Mexicana*. Edición especial No. 44, (2012).

Woods, James C. y Gene L. Titmus. "Piedra en piedras: Perspectivas de la civilización Maya a través de los estudios líticos". En *VII Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, (1993). (editado por J.P. Laporte y H. Escobedo), Museo Nacional de Arqueología y Etnología, paginas 295-310. Guatemala, (1994).

#### **Lecturas complementarias:**

Chirinos A, Guarenas A.M y Sánchez Díaz M. Oxígeno Disuelto. Laboratorio de Análisis de Agua. Departamento de Química. Instituto Universitario de Tecnología Alonso Gamero. Coro-Falcón Venezuela, (2000).

GEO Guatemala. *La gestión ambiental en Guatemala, Informe Ambiental del Estado de Guatemala*, (2009).

Gómez, Oswaldo y Vidal Lorenzo Cristiana. "El Templo V de Tikal: Su excavación". En *X Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, (1996). (editado por J.P. Laporte y H. Escobedo), pp. 315-331. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital), (1997).

Mendoza, Eduardo. *Determinación de la composición química y la quemabilidad de piedra caliza y su relación con la reactividad final de la cal viva (CaO)*, en la caldera de la planta San Miguel, Cementos Progreso S.A. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, (2015).

Morley, Sylvanus G. y George W. Brainerd. *Los Antiguos Mayas*, (1983). (revisado por Robert J. Sharer)

Quintana, Oscar y Noriega Raúl. "Intervenciones en el Templo V de Tikal, Petén, Guatemala"; (1987-1991). *Cuadernos de Arquitectura Mesoamericana* 20:52-76, (1992).

Ramírez de Alba, Horacio, Pérez Campos Ramiro y Díaz Coutiño Heriberto. "El cemento y el concreto de los mayas" *Ciencia Ergo Sum*. vol. 6, núm. 3. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México, (1999).

Reyes, Fátima y Morales J. *Los Cuerpos de Agua de la Región Maya-Tikal-Yaxhá. Importancia de la Vegetación Acuática Asociada, Calidad de Agua y conservación*. Centro de Estudios Conservacionistas –CECON-. Laboratorio de Investigaciones Químicas y Ambientales –LIQA-, Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas, (2009).

Ruiz, María Elena. "Observaciones sobre canteras en Petén, Guatemala", *Mesoamérica*, No.10, pp.421-449. Centro Regional de Investigaciones de Mesoamérica, Antigua Guatemala, (1985).

Ruiz, María Elena. "Las canteras de Chinkultic, Chiapas, México". En *VI Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala*, (1992) (editado por J. P. Laporte y H. L. Escobedo, S. V. de Brady). Museo Nacional de Arqueología y Etnología, (1993).

Tozzer, Alfred M. *Estudio preliminar de las ruinas prehistóricas de Tikal, Guatemala*. Memorias del Museo Peabody de Arqueología y Etnología, Vol. 4, No.2. Universidad de Harvard, Cambridge, (1911).

UNESCO, World Heritage Centre. *UNESCO World Heritage State of Conservation Information System (SOC)* (2013).

Vidal Lorenzo, Cristina. *Plan de Intervención Arqueológica Preliminar del Templo V, Documentos 1 y 2. Informe*, Agencia Española de Cooperación Internacional, Antigua Guatemala, (1995).

Vidal Lorenzo, Cristina. *Plan de Intervención Arqueológica Preliminar del Templo V, Documentos 3. Informe*, Agencia Española de Cooperación Internacional, Antigua Guatemala, (1996).