

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

**Hongos como agentes de biodeterioro del mural en fresco “Tierra Fértil”, del Museo  
de la Universidad de San Carlos de Guatemala**



Alison Emilse Pérez Guerra

Química Bióloga

Guatemala, marzo 2022

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

**Hongos como agentes de biodeterioro del mural en fresco “Tierra Fértil”, del Museo  
de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Informe de tesis**

Presentado por

Alison Emilse Pérez Guerra

Para optar al título de

Química Bióloga

Guatemala, marzo 2022

## ÍNDICE

I. RESUMEN .....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	2
III. ANTECEDENTES .....	4
A. Deterioro y biodeterioro de las obras de arte .....	4
1. Factores que contribuyen con el biodeterioro por microorganismos.....	4
B. Hongos filamentosos como agentes de biodeterioro.....	5
1. Métodos de estudio.....	7
C. Murales .....	8
1. Murales al fresco .....	9
2. Murales al fresco en la cultura Maya.....	10
3. Murales al fresco en la época colonial e independiente de Guatemala .....	11
4. Biodeterioro de los murales al fresco.....	12
IV. JUSTIFICACIÓN.....	14
V. OBJETIVOS .....	15
A. General.....	15
B. Específicos.....	15
VI. HIPÓTESIS .....	16
VII. MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
A. Universo.....	17
B. Muestra .....	17
C. Recursos.....	17
1. Recursos humanos.....	17
2. Recursos institucionales.....	17
3. Recursos físicos.....	17
D. Procedimiento .....	20
1. Preparación de medios de cultivo agar Sabouraud y PDA .....	20
2. Preparación de material estéril .....	20
3. Análisis del mural.....	20
4. Toma de muestras.....	21

	ii
5. Siembra de las muestras.....	21
6. Aislamiento de los hongos .....	21
7. Elaboración del microcultivo de Riddell.....	22
8. Identificación de estructuras microscópicas .....	23
9. Identificación de los hongos aislados.....	23
10. Preservación de cepas de los hongos aislados.....	23
VIII. RESULTADOS .....	24
IX. DISCUSIÓN .....	33
X. CONCLUSIONES.....	37
XI. RECOMENDACIONES.....	38
XII. REFERENCIAS.....	39
XIII. ANEXOS .....	42

## I. RESUMEN

La conservación de una obra de arte es una tarea necesaria para salvaguardar el patrimonio histórico de un país. Este reto conlleva la participación de un equipo multidisciplinario de profesionales, los cuales aportan su experiencia en diversos campos de trabajo para realizar las actividades de conservación. Dentro del patrimonio cultural de Guatemala se encuentran los llamados murales al fresco, los cuales son piezas que, a lo largo de la historia, han permitido transmitir un mensaje. Pigmentos minerales disueltos en agua sobre capas de arena dieron paso a los primeros murales al fresco en la cultura Maya, y, generación tras generación pudieron contar historias a través de ellos. Posteriormente, en las épocas de la conquista, colonial y la independiente, quedaron grabados en varias obras murales gracias a la trascendencia del movimiento muralista. Dentro de los grandes artistas guatemaltecos que se dedicaron al muralismo se puede mencionar a Rina Lazo, pintora de amplia trayectoria artística. Entre sus obras destaca el mural al fresco “Tierra Fértil”, ubicado en el Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala -MUSAC-, el cual representa la fertilidad y belleza de la naturaleza guatemalteca y exalta la identidad mesoamericana.

Dicho mural ha sufrido daño a través del tiempo, principalmente en las capas pictóricas. Debido a la importancia que esta obra tiene para el arte guatemalteco, así como para el MUSAC, las autoridades decidieron evaluar el deterioro que lo afecta. Por lo anterior, en este trabajo se realizó un análisis microbiológico de dicho mural, para aislar e identificar los géneros de hongos filamentosos que están ocasionando el biodeterioro de tan importante obra artística. Se identificaron 10 géneros de hongos filamentosos con alto potencial de biodeterioro: *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Neurospora* sp., *Fusarium* sp., *Chaetomium* sp., *Trichoderma* sp., *Paecilomyces* sp., *Bipolaris* sp. y *Sepedonium* sp. de los cuales el mayor porcentaje correspondió a *Cladosporium* con un 34%, seguido de *Penicillium* con 25% y *Aspergillus* con 9%.

Los resultados de esta investigación pretenden ser un aporte para el desarrollo de un plan de conservación del mural al fresco “Tierra Fértil” y sumarse a futuros estudios en diferentes disciplinas que brinden los elementos científicos necesarios para su restauración y conservación.

## II. INTRODUCCIÓN

La conservación y restauración de los bienes culturales son actividades necesarias para salvar y proteger el patrimonio histórico y artístico de la humanidad. Estas dos grandes tareas se realizan en gran parte gracias a la aplicación de métodos de estudio científicos, tales como el análisis físico, químico y microbiológico de los bienes culturales. Lo anterior, tiene como objetivo principal buscar los factores que favorecen la pérdida de las características de dichos bienes, se busca implementar un plan de restauración y conservación (Martiarena, 1992).

En Guatemala, uno de los bienes culturales son las pinturas murales (técnica gráfica pictórica que se realiza en un muro). Rina Lazo Wasem (Ciudad de Guatemala, Guatemala, 23 de octubre de 1923 - Ciudad de México, 1 de noviembre de 2019) fue una pintora guatemalteca parte del movimiento del muralismo mexicano. Su obra muralística fue expuesta en México y otros países, convirtiéndola en una de las artistas más reconocidas de Guatemala, y, es hasta hoy, la mayor exponente de las pinturas murales realizadas por medio de la técnica al fresco. Infortunadamente, la única obra de ella que se conserva en el país es el mural “Tierra Fértil”, el cual se encuentra en el Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala (Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala -MUSAC-, 2017).

Dicho mural, creado en 1954, fue ubicado originalmente en el Club Italiano de la Ciudad de Guatemala. Debido a remodelaciones en el edificio, el mural fue cubierto con pintura acrílica blanca, por lo cual la artista recurrió al Programa de Conservación y Restauración del Instituto de Antropología e Historia de Guatemala para realizar las labores de restauración. En 1981, Arturo Lazo Midence, padre de la artista, realizó la donación del mural a la Universidad de San Carlos y fue ubicado en el vestíbulo del Salón Mayor del MUSAC donde se terminaron las tareas de restauración con los últimos retoques de la artista en 1989 (Anzuetto, 2019).

Por sus valores plásticos, sugerentes féminas, así como elementos de flora y fauna nativa, este mural es un tributo a la fertilidad de la tierra, un canto a la naturaleza

guatemalteca con alusión a los orígenes ancestrales mayas y a los anhelos de sus descendientes contemporáneos (Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala - MUSAC-, 2017).

Actualmente y para el infortunio las obras pictóricas de Guatemala, se ha observado el apareamiento de ciertos signos de degradación en dicho mural. Debido a la importancia que el mural “Tierra Fértil” tiene para el arte guatemalteco, así como para el MUSAC, las autoridades han decidido evaluar el deterioro que lo afecta.

Por esta razón, en este trabajo se identificaron los hongos filamentosos posibles causantes del biodeterioro de esta obra, a través de la toma de muestras en la superficie del mural para posteriormente cultivar, aislar e identificar estos microorganismos. Lo anterior se realizó con la finalidad de que especialistas en el tema posean elementos científicos para proponer las medidas necesarias para su restauración y conservación.

### III. ANTECEDENTES

#### A. Deterioro y biodeterioro de las obras de arte

El deterioro de los materiales es un proceso natural, aunque perjudicial para los bienes culturales. En una obra artística, el deterioro significa que ésta pierda sus cualidades físicas, químicas y ópticas originales, por lo que con el transcurso del tiempo se transforma y gradualmente desaparece (García, 2011).

Los agentes que causan deterioro en una obra de arte pueden ser varios, entre ellos el polvo, el humo, el polen y otras sustancias que puedan adherirse a la superficie de los materiales y alterar la textura y color. Por otra parte, la humedad excesiva puede producir un aumento de volumen y peso del material, así como debilitamiento de la estructura, lo cual puede propiciar la formación de grietas y un ambiente ideal para el desarrollo de organismos que eventualmente llevan al biodeterioro (Martíarena, 1992).

El biodeterioro se define como una serie de cambios que alteran las propiedades de un material debido a la actividad de organismos vivos, entre ellos, animales, plantas, y microorganismos. Sin embargo, la presencia de un ser vivo en una obra de arte no indica biodeterioro, a menos que haya un daño evidente (Carlile, Watkinson y Gooday, 2001; Sameño y García, 1994).

Los microorganismos representan un reto para la conservación de los bienes culturales, ya que además de ser omnipresentes, tienen una gran capacidad degradativa (Barton y Northup, 2011).

#### 1. Factores que contribuyen con el biodeterioro por microorganismos

El biodeterioro de una obra artística debido a microorganismos representa un serio problema para el patrimonio cultural. Cada tipo de microorganismo requiere de diferentes factores para su crecimiento y desarrollo, sin embargo, hay dos muy importantes a considerar



para la conservación de una obra: a) La composición química y naturaleza del material con que está hecha la obra, y b) Las condiciones ambientales (Pepe et al., 2008).

**a. La composición química y naturaleza del material con que está hecha la obra**

La madera, el papel y los textiles son componentes de origen natural los cuales son degradados fácilmente por microorganismos, ya que estos tienen un alto potencial biodegradativo. Materiales como la roca, metal y polímeros son también afectados por el crecimiento microbiano, aunque el biodeterioro de éstos es mucho más lento y suelen afectar la superficie más que la estructura (Sterflinger y Piñar, 2013).

**b. Condiciones ambientales**

Ya sea que la obra se encuentre en un área externa o interna, si no hay control de los factores ambientales, existe un alto riesgo de que la obra sea colonizada por microorganismos. En los museos influye la estructura del lugar, el aislamiento térmico, la ventilación y la temperatura. De no mantenerse una temperatura constante y una buena ventilación, el aire cálido del interior suele condensarse en paredes, mojándolas, y creando microclimas con mayor disponibilidad de agua que en el resto del ambiente interior, lo cual favorecerá la colonización por microorganismos (Sameño y García, 1994; Sterflinger y Pinzari, 2012).

Debido a lo anterior, tanto bacterias, como algas y hongos son capaces de deteriorar o alterar las obras de arte, sin embargo, estos últimos quizás son los que más problemas ocasionan además de ser más frecuentes (García, 2011).

**B. Hongos filamentosos como agentes de biodeterioro**

La capacidad de los hongos filamentosos de habitar diferentes ambientes está relacionada principalmente por los extraordinarios mecanismos de dispersión que poseen, así como por su resiliencia y potencial de degradar gran variedad de sustratos orgánicos e

inorgánicos. Las esporas y conidios son fácilmente transportadas por el viento, por lo cual la colonización fúngica de las obras de arte es principalmente aérea, con algunas variaciones estacionales (Sterflinger y Pinzari, 2012).

Los géneros de hongos más importantes son *Alternaria*, *Aspergillus*, *Absidia*, *Acremonium*, *Cladosporium*, *Chaetomium*, *Chrysosporium*, *Eurotium*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Epicoccum*, *Phoma*, *Cunninghamella*, *Emericella*, *Scopulariopsis*, *Stachybotrys*, *Trichoderma* y *Rhodotorula*. *Exophiala*, *Aureobasidium*, *Coniosporium* y *Wallemia*, los cuales se encuentran con frecuencia en asociación con materiales de alta osmolaridad como los murales, o que contengan hidrocarburos, tensioactivos, siliconas o ceras de parafina (Sterflinger y Pinzari, 2012).

Los hongos que afectan a las obras de arte se dividen en dos grupos: a) **Hongos oportunistas**, los cuales crecen en todo tipo de material si la humedad es suficiente, sin embargo, no son capaces de degradarlos pero pueden generar daño estético a la obra por la producción de ácidos, pigmentos y otros metabolitos (Sterflinger y Pinzari, 2012; Martínez et al., 2005), y b) **Hongos degradadores**, los que requieren sustratos específicos tales como los hongos celulolíticos (degradadores de papel), y los queratinolíticos (degradadores de cuero, pelo y plumas) (Sterflinger y Pinzari, 2012; Martínez et al., 2005).

Los hongos poseen una gran actividad enzimática, ya que cuentan con una diversidad enorme de exoenzimas que los hacen agentes descomponedores de materia orgánica, en particular de la celulosa. Producen enzimas tales como celulasas y glucanasas las cuales les permiten degradar materiales como papel, pergamino, barnices y otros materiales. Algunos otros hongos producen lacasas (enzimas ligninolíticas capaces de degradar la lignina). La lignina es altamente resistente a la degradación química y biológica, y confiere resistencia mecánica a la madera (Sterflinger y Pinzari, 2012; Martínez et al., 2005).

## 1. Métodos de estudio

Para el crecimiento de los hongos filamentosos causantes de biodeterioro se deben tener disponibles los nutrientes necesarios para su desarrollo, elementos como el carbono y el nitrógeno, ciertas sales, algunos microelementos y agua. Si encuentran los nutrientes necesarios y las condiciones ambientales adecuadas, crecerán (Deacon, 2006)

El desarrollo de hongos filamentosos por ejemplo en los museos está determinado por la temperatura y la humedad relativa del lugar, los cuales son los factores más importantes. Si la humedad relativa es mayor a 70% por un período de varias semanas, la diversidad de hongos microscópicos capaces de establecerse será enorme. Un valor de humedad relativa del 55% se considera el límite para el crecimiento de hongos filamentosos, por lo que muchos museos mantienen este parámetro por debajo de este porcentaje. Sin embargo, géneros xerófilos como *Eurotium*, *Aspergillus* y *Wallemia* son capaces de sobrevivir en lugares secos, lo cual les permite habitar y descomponer materiales como la piedra utilizada para la realización de muchas piezas artísticas (Sterflinger y Pinzari, 2012).

Para llevar a cabo las acciones necesarias para la conservación de una obra en biodeterioro a causa de hongos filamentosos, es necesario realizar la identificación de éstos. Con la técnica de microscopía electrónica de barrido es posible observar con detalle gran cantidad de estructuras dentro de una muestra, incluyendo estructuras fúngicas. Esta técnica requiere la utilización de un fragmento de la obra (Moreno y Sedano, 2006).

Si no se cuenta con un microscopio electrónico de barrido es necesario realizar el aislamiento, y, una vez descritas las características macro y microscópicas de los hongos que se obtuvieron en los cultivos, quizás se logre la identificación de los mismos. Hoy en día con el avance de la tecnología, existen nuevas metodologías de identificación de hongos, tales como la secuenciación de material genético, así como otras técnicas moleculares, las cuales han permitido que el análisis microbiológico de una obra de arte sea más rápido y certero. Sin embargo, siempre se requerirá del aislamiento en cultivo por lo que éste será un procedimiento necesario para el estudio de hongos u otro microorganismo en obras de arte.

Debido a que el aislamiento requiere de un cultivo axénico de las cepas para su identificación, ésta puede demorarse por lo menos 30 días (Carlile et al., 2001).

Una metodología muy utilizada para el estudio microbiológico de una obra de arte es el hisopado húmedo, la cual permite obtener cualquier tipo de partícula adherida a la superficie, incluyendo cualquier microorganismo presente. Además, es una técnica no invasiva. Si se obtiene una muestra adecuada, es posible aislar y recuperar los microorganismos (en este caso los hongos) presentes en la obra con la ayuda de medios de cultivo apropiados y condiciones ambientales controladas (Cepero, Restrepo, Franco, Cárdenas y Vargas, 2012).

Para el aislamiento, el medio de cultivo utilizado debe permitir el desarrollo de colonias con características macroscópicas claras (color, textura, pigmento, consistencia) y favorecer la esporulación (formación de estructuras de reproducción microscópicas características de cada género). Frecuentemente se utilizan los agares Sabouraud y Papa Dextrosa, ya que permiten obtener un buen crecimiento de los hongos y el desarrollo de características microscópicas, como la forma de esporulación (Cepero et al., 2012).

La observación microscópica de las estructuras de los hongos se realiza a través de microcultivos con los cuales se hacen preparaciones con azul de lactofenol, para visualizar la forma, tamaño y pigmentación de las estructuras fúngicas procedentes de las colonias. (Cepero et al., 2012).

### **C. Murales**

Mural es la técnica pictórica o escultórica que se ejecuta directamente sobre un muro, ya sea al fresco, encáustica o temple. Otras técnicas utilizadas son la cerámica, silicatos líquidos, pintura acrílica, óleo, esmaltes de porcelana al fuego y la fotografía (que forma parte de muchos murales modernos). Se encuentran en el interior de edificios públicos, especialmente iglesias. Abordan temas religiosos, históricos, alegóricos o patrióticos, los que

son significativos para el público y están estrechamente ligados a los planos arquitectónicos y decorativos (Lorenzana, 1994; Sagastume, 2003).

## **1. Murales al fresco**

Los murales al fresco, conocidos también simplemente como frescos, son pinturas realizadas sobre capas de revoque, el cual puede tener como base cal, arena o yeso. La capa más profunda es más gruesa que la superficial. Cuando esta última aún está fresca se aplica la pintura disuelta en agua, preferentemente con pigmentos de origen mineral (Sagastume, 2003).

La pintura al fresco requiere gran rapidez en el trazo del pintor, ya que, al aplicar el pigmento, inmediatamente éste pasa a formar parte del revoque. Precisa también de una gran preparación del artista, ya que la técnica no permite rectificaciones porque serían muy evidentes. La pintura al fresco emplea la sinopia, que es un dibujo preparatorio sobre el revoque que permite fijar los contornos de las figuras (Lorenzana, 1994).

En Europa, en la época del renacimiento la pintura al fresco alcanzó su mayor esplendor, prueba de ello es la bóveda de la Capilla Sixtina, en la Ciudad del Vaticano. A finales del siglo XIX surgió la pintura mural aplicada a la arquitectura, en donde el pintor debía adaptarse a las condiciones arquitectónicas, ya que la técnica tiene que corresponder con la decoración del edificio y el contenido o temática debe transmitir una idea o historia que forma parte de la arquitectura total (Sagastume, 2003).

En México, por ejemplo, los murales al fresco han sido de gran importancia en el campo artístico y, grandes maestros como Diego Rivera, David Alfaro Siqueiros y José Clemente Orozco los elaboraron. La trascendencia del movimiento muralista fue gracias a la difusión del arte mexicano en Estados Unidos por medio de la revista *Mexican Folkways*, en el que colaboró el guatemalteco Carlos Mérida quien dio a conocer a los artistas y su trabajo (Mandel, 2007; Anzueto, 2019).

Los frescos también fueron realizados por culturas prehispánicas y son herencia de los antepasados Mayas, ya que ellos trabajaron este tipo de pintura como una de las artes más bellas. La copia facsímil de los murales al fresco de los murales mayas de Bonampak que se encuentran en el Museo Nacional de Antropología en la Ciudad de México son una de las grandes obras de Rina Lazo, los cuales, para ser replicados, requirieron que la artista tuviera que realizar un estudio profundo de la técnica tradicional de los mayas y el análisis del trazo y del colorido utilizando pigmentos locales. Con este trabajo, Rina Lazo reafirmó lo que en alguna ocasión el maestro Rivera dijo: “En materia de muralismo, nada hemos aprendido de los europeos, teníamos ya una gran cultura pictórica”. Después del éxito de su obra la artista realizó tres paneles transportables con fragmentos del mural, actualmente dos de ellos se encuentran en comodato en una de las salas del Centro Cultural Santo Domingo del Cerro en La Antigua Guatemala (Museo Nacional de Antropología, 2019; Anzueto, 2019)

## **2. Murales al fresco en la cultura Maya**

En la época prehispánica los murales al fresco tuvieron una gran importancia y llegaron a tener un excelente grado de calidad. Para los Mayas, la pintura mural al fresco expresaba aspectos relacionados con actividades de gobernantes y dioses. Ejemplos se han encontrado en Guatemala y México, los cuales van desde el Preclásico Tardío hasta el Postclásico. Dentro de éstos se pueden mencionar Uaxactun (250 a.C. - 550 d.C.), Tikal (250-900 d.C.), Holmul (250- 600 d.C.), Yaxchilán (300-900 d.C.), Bonampak (300-900 d.C.), Dzibilchaltun (350–900 d.C.), Cobá (300-900 d.C.) y Chichén Itzá (900-1100 d.C.), entre otros (Urquizú y Hurst, 2003)

Uno de los hallazgos más importantes realizado en el año 2001, son los murales del Preclásico Tardío de San Bartolo (Petén, Guatemala), los cuales son definidos como la Capilla Sixtina de los Mayas. En ellos se pueden observar varias figuras que refieren al inicio del universo. El descubrimiento de dichos murales provee un tesoro de nueva información sobre la creación del arte, la exploración y el uso de materiales tales como estuco y pintura, así como la utilización del arte mural en programas arquitectónicos prehispánicos (Saturno, Stuart & Beltrán, 2006).

Estudios en otros murales en ciudades Mayas como los murales de Bonampak en Chiapas, han concluido que la técnica de pintura utilizada en la mayoría es el fresco. Esta técnica permite la unión de la pintura con el revoque lo que la vuelve más resistente al paso del tiempo (Lorenzana, 1994).

### **3. Murales al fresco en la época colonial e independiente de Guatemala**

Los murales de San Gaspar Chajul (Departamento de Quiché), los cuales datan de la época colonial y que fueron descubiertos en el año 2003, representan los comienzos del arte colonial de América Latina y el inicio del intercambio artístico-cultural entre mayas y españoles. Estas obras de arte nacieron fruto de la convivencia entre los locales y los conquistadores europeos, es decir, una fusión de culturas. Los murales fueron realizados entre los siglos XVII y XVIII y, combinan, en un ambiente doméstico, elementos precolombinos indígenas con componentes europeos, lo que los convierten en un ejemplo único de arte del período colonial y pueden estar conectados con un renacimiento de la organización religiosa local (cofradías) en el contexto de la decadencia del control colonial español. Se encuentran en el interior de una vivienda y muestran escenas de varios individuos con elementos europeos y mayas, vestimentas típicas europeas, jícaras, trajes tradicionales mayas e instrumentos como la chirimía y tambores. Cuentan con trazos relacionados con el baile tradicional de la conquista (Żrałka et al., 2020).

En el siglo XX, Rina Lazo Wasem (quien como ayudante del maestro Diego Rivera aprendió la técnica del mural al fresco), formó parte de un reducido número de mujeres muralistas y es hasta hoy, la mayor exponente de la técnica al fresco en Guatemala. La única obra que se conserva de ella en el país es el mural “Tierra Fértil”, el cual fue realizado en el año 1954, donde el tema principal es Guatemala y su exuberancia. Está compuesta por cuatro núcleos temáticos. El primero, en el costado izquierdo, se aprecia una estela maya rodeada de selva, como un homenaje a nuestros ancestros. El segundo, los cuerpos femeninos de tez morena, representan la fertilidad de la tierra la cual es también representada por toda la vegetación en el mural. En el tercero, una mujer indígena sale de la selva con canastos llenos

de fruta. En el cuarto se reproduce una escena familiar donde se ofrenda el vínculo de los campesinos con la tierra y el futuro de ésta, el cual está en manos de los niños (Anzueto, 2019).

#### **4. Biodeterioro de los murales al fresco**

Según el Catálogo de Microorganismos del Patrimonio Cultural de la Universidad de Recursos Naturales y Ciencias de la Vida de Austria, las pinturas murales contienen pigmentos que a menudo se suspenden en agua o aceite, junto con aglutinantes orgánicos como caseína, yema de huevo y leche antes de la aplicación, lo que permite la colonización primaria de microorganismos fotoautótrofos y quimiolitautotróficos. La colonización secundaria dada por microorganismos heterótrofos está respaldada por metabolitos producidos por microorganismos autótrofos, contaminación orgánica, goteo de agua, heces de animales y los compuestos orgánicos en las propias capas de pintura. Los procesos de biodeterioro por microorganismos que causan daño estructural y estético a las pinturas murales son: a) formación de biopelículas pigmentadas y biomineralización; b) disolución de metales por ácidos y agentes quelantes; c) degradación de aglutinantes orgánicos y consolidantes, y d) decoloración de pigmentos (Sterflinger y Pinzari, 2012; University of Natural Resources and Life Sciences, 2014).

Los murales al fresco son afectados principalmente por el crecimiento de hongos filamentosos. En este tipo de pinturas el crecimiento de los hongos puede ser de dos formas: a) superficial, en la cual hay un escaso daño de las capas pictóricas y se producen principalmente alteraciones estéticas debido a la aparición de manchas que modifican los colores originales de la pintura, y b) crecimiento en profundidad, donde la estructura del mural se ve afectada debido a la penetración de las hifas en el interior y la excreción de metabolitos del hongo que produce una pérdida de la cohesión del material, lo que genera la formación de exfoliaciones y cráteres (Saiz y Samson, 1981).

En un estudio realizado a los murales de la iglesia de San Martín, en Greene–Kreiensen, Alemania, los cuales se encuentran expuestos al ambiente, se demostró que los



principales formadores de biopelículas eran hongos microscópicos desarrolladores de pigmentos. Los principales géneros encontrados fueron *Acremonium*, *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Fusarium* (Gorbushina et al., 2004).

En 1996 en el Ex Convento de Santo Domingo en La Antigua Guatemala, se encontraron restos de obras coloniales en las que resaltan esculturas adosadas a los muros y pinturas al seco, éstas fueron analizadas para su restauración. Los análisis incluyeron estudios fotográficos, químicos y microbiológicos, los cuales mostraron presencia de musgos fosilizados, algas y hongos filamentosos, de estos últimos los géneros aislados fueron *Aspergillus*, *Rhizopus*, y *Penicillium* (Estrada y Penados, 2013).

#### IV. JUSTIFICACIÓN

El mural al fresco “Tierra Fértil”, ubicado en el vestíbulo del Salón Mayor del Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala, fue creado en el año 1954 por la destacada artista guatemalteca Rina Lazo Wasem. Es el único mural al fresco de dicha artista que se conserva en el país, por lo que es muy importante conservar su legado artístico. Infortunadamente, debido a que dicha obra no cuenta con las condiciones apropiadas para evitar su degradación, existe riesgo de su biodeterioro por parte de microorganismos, entre otros factores, por lo que su conservación es prioritaria ya que su menoscabo significaría también la pérdida de parte del patrimonio cultural del país (MUSAC, 2017).

Respecto al estado de conservación de dicho mural, existen registros previos de crecimiento de moho en el material de soporte y se le ha realizado una intervención con agentes antifúngicos con la finalidad de evitar su biodeterioro, sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados, la degradación ha continuado y se ha detectado que nuevamente sufre de degradación de las capas pictóricas” (G. Barrios, comunicado personal, 14 de junio de 2017).

Por lo anterior, en este trabajo se realizó un análisis microbiológico de este mural, para aislar e identificar los géneros de hongos que están ocasionando el biodeterioro de tan importante obra artística. Esta información será de mucha utilidad para establecer los planes que lleven a su restauración y conservación.

## **V. OBJETIVOS**

### **A. General**

Determinar los hongos agentes de biodeterioro del mural en fresco “Tierra Fértil”, del Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala

### **B. Específicos**

1. Determinar los hongos que causan el biodeterioro del mural Tierra Fértil, a través del aislamiento e identificación de géneros de hongos recuperados en muestras obtenidas de dicha obra.
2. Establecer la frecuencia de los hongos que causan biodeterioro en las áreas muestreadas del mural Tierra Fértil.

## **VI. HIPÓTESIS**

Por ser un estudio descriptivo no se plantean hipótesis

## VII. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Universo

Mural al fresco “Tierra Fértil” ubicado en el vestíbulo Salón Mayor del Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala

### B. Muestra

Muestras del mural “Tierra Fértil” que evidencien biodeterioro.

### C. Recursos

#### 1. Recursos humanos

- Tesista: Alison Emilse Pérez Guerra.
- Asesores: Lic. Osberth Morales y Licda. María del Carmen Bran

#### 2. Recursos institucionales

- Departamento de Microbiología, Escuela de Química Biológica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala – MUSAC –.

#### 3. Recursos físicos

##### a. Equipo

- Autoclave
- Incubadora a 26°C

- Cabina de seguridad biológica Tipo II A2
- Incinerador
- Estufa eléctrica con agitador magnético
- Balanza analítica
- Microscópio de luz marca Olympus® CX20
- Microscopio Leica® DM750 con cámara ICC50
- Refrigeradora a 4 – 8°C

**b. Reactivos**

- Azul de lactofenol
- Alcohol polivinílico
- Alcohol etílico al 70%

**c. Medios de cultivo**

- Agar Sabouraud Merck®
- Agar papa dextrosa PDA Merck®

**d. Cristalería**

- Cajas de Petri de 9.0 x 1.5 cm
- Soportes para cultivo en lámina
- Portaobjetos 25.4 x 76.2 mm
- Cubreobjetos 22 x 22 mm
- Tubos con tapa de baquelita 75x10 mm
- Probeta de 1000 mL
- Erlenmeyer 500 mL
- Pipeta 10 mL

**e. Materiales**

- Agua desmineralizada
- Algodón
- Hisopos largos estériles marca FL medical ®
- Cajas de Petri plásticas estériles de 9.0 x 1.5 cm
- Asas en espátula
- Asas en L
- Asas en argolla
- Soporte para asas
- Gradilla para tubos de ensayo
- Espátula
- Pinzas
- Gradillas
- Piseta de 250 mL
- Pipeteadores
- Guantes de nitrilo AMBIDERM™
- Papel aluminio
- Papel encerado
- Parafilm
- Esmalte de uñas (Sellador)
- Papel Kraft®
- Papel limpia lentes
- Cinta adhesiva
- Marcador permanente
- Lysol®
- AcarKlean®

## **D. Procedimiento**

### **1. Preparación de medios de cultivo agar Sabouraud y PDA**

La preparación se realizó según las instrucciones indicadas por el fabricante.

- Para el agar Sabouraud (Merck®) se disolvieron 65g en 1 litro de agua desmineralizada, en el caso de medio PDA (Merck®) fueron 39g. Se calentaron hasta ebullición y luego se esterilizaron en autoclave por 15 min a 121°C y 15 lb. de presión. Posteriormente se sirvió en cajas de Petri plásticas estériles. Una vez solidificado el medio se almacenaron a 4-8°C hasta su uso.

### **2. Preparación de material estéril**

Se realizó según lo recomendado por Acosta y Andrade (2008).

- Se prepararon cajas Petri de vidrio e hisopos estériles envueltos en papel Kraft y sellados con cinta adhesiva. Posteriormente se esterilizaron en autoclave por 15 min a 121°C y 15 lb. de presión.

### **3. Análisis del mural**

Se realizó según lo recomendado por Giraldo, Torres y Díaz (2009).

- Se establecieron los puntos del mural en los cuales se observaron signos evidentes de biodeterioro, como manchas oscuras y decoloración de la tinta (Anexo 1)



#### **4. Toma de muestras**

Se realizó según lo recomendado por Sánchez (2012).

- El muestreo se efectuó con hisopos estériles secos, únicamente en las áreas afectadas. Se tomaron las muestras de la superficie, sin remover pintura o cualquier material que formara parte de la obra. Se pasó el hisopo por el área afectada una sola vez en una sola dirección.
- Una vez tomada la muestra, los hisopos se transportaron en cajas de Petri de vidrio vacías y estériles.
- En una fotografía del mural impreso en papel, se ubicaron los puntos en los cuales fueron obtenidas las muestras.

#### **5. Siembra de las muestras**

Se realizó según lo recomendado por Negroni (2009)

- Se tomó cada uno de los hisopos con los cuales se recolectaron las muestras y se inocularon individualmente en cajas de Petri con Agar Sabouraud y PDA mediante el método de rayado.
- Las cajas fueron incubadas a 26°C por 5 a 10 días.

#### **6. Aislamiento de los hongos**

Se realizó según lo recomendado por Mier, Toriello y Ulloa (2002)

- Las colonias de hongos filamentosos aislados fueron numeradas para identificar los subcultivos a realizar. Cada colonia se codificó según el área de muestreo y el número de aislamiento obtenido.

- Para los reaislamientos se cortó un fragmento del micelio de cada colonia de interés y se sembró en los agares Sabouraud y PDA hasta obtener el cultivo axénico. Estos últimos fueron incubados a 26°C hasta alcanzar colonias con diámetro de 5 a 7 cm.

## **7. Elaboración del microcultivo de Riddell**

Se realizó de acuerdo con lo recomendado por Mier y colaboradores (2002).

- Dentro de una caja de Petri de vidrio se colocó un soporte para cultivo en lámina, un portaobjetos, un cubreobjetos y luego se envolvió la caja en papel Kraft. El número de cajas fueron las necesarias para los hongos aislados.
- Se prepararon tubos de ensayo con tapa de rosca de baquelita con 5 mL de agua desmineralizada, los necesarios para todos los hongos aislados.
- Las cajas de vidrio empacadas y los tubos con agua desmineralizada fueron esterilizados en autoclave a 121°C por 15 minutos y se dejaron enfriar.
- Con pinzas estériles se colocó adecuadamente el soporte y sobre éste el portaobjetos
- Con el reverso de una pipeta Pasteur estéril se cortaron círculos de 0.5 cm de diámetro en el medio de cultivo PDA y se colocó uno de ellos sobre el portaobjetos.
- Con un asa en “L” se tomó micelio de cada una de las colonias de los hongos aislados y se colocó en el medio de cultivo sobre el portaobjetos.
- Se colocó sobre el círculo de agar inoculado un cubreobjetos con pinzas estériles.
- Se agregó 5 mL de agua desmineralizada estéril en la caja para mantener un ambiente húmedo.
- Se cerraron las cajas y se sellaron con papel Parafilm® y se incubaron por 14 días a 26°C.
- Después de dos semanas de incubación se abrieron las cajas y cuidadosamente se separó el portaobjeto y cubreobjeto para obtener dos preparaciones.
- Se agregó una gota de azul de lactofenol o alcohol polivinílico en un portaobjetos limpio y se cubrió con el cubreobjetos con micelio.
- Cada lámina fue sellada con esmalte de uñas para su conservación y se almacenaron en un lugar fresco y seco.

## **8. Identificación de estructuras microscópicas**

Se realizó según lo recomendado por Mier y colaboradores (2002).

- Las preparaciones realizadas se observaron al microscopio de luz y se identificaron y describieron las estructuras de reproducción asexual.
- Se tomaron fotografías de las preparaciones mediante el uso de un Microscopio Leica® DM750 con cámara ICC50.

## **9. Identificación de los hongos aislados**

Se utilizó bibliografía especializada para la identificación de los hongos aislados a nivel de género, entre ellas, Seifert, Morgan, Gams y Kendrick (2011) y Larone (2002).

## **10. Preservación de cepas de los hongos aislados**

Se realizó según lo recomendado por Mier y colaboradores (2002).

- Se prepararon tubos de vidrio con tapa de rosca de baquelita con 4 mL de agar Sabouraud, se esterilizaron en autoclave a 121°C por 15 min y 15 lb. de presión y se dejaron enfriar con una inclinación de 30° con respecto a la horizontal.
- Se prepararon tubos de vidrio con 50 mL de aceite mineral, se esterilizaron en autoclave a 121°C por 15 minutos y 15 lb. de presión y posteriormente fueron secados por 48 horas en un horno a 90°C.
- Se rotularon con el código numérico del hongo a preservar y se agregó un trozo de micelio del hongo correspondiente. Se realizaron 3 tubos por cada aislamiento.
- Los tubos inoculados se incubaron a 26°C hasta que la colonia estuviera en crecimiento sin producción de esporas.
- Se agregó aceite mineral por sobre 1 cm del límite de la inclinación.

## VIII. RESULTADOS

El análisis micológico realizado al mural “Tierra fértil” permitió el aislamiento e identificación de diez diferentes géneros de hongos filamentosos. *Cladosporium* sp. fue el género con mayor número de aislamientos (34%) seguido de *Penicillium* sp. (25%) y *Aspergillus* sp. (9%).

Tabla 1  
*Frecuencia de géneros de hongos filamentosos aislados del mural tierra fértil*

<b>Género</b>	<b>Frecuencia (n)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<i>Cladosporium</i> sp.	11	34
<i>Penicillium</i> sp.	8	25
<i>Aspergillus</i> sp.	3	9
<i>Neurospora</i> sp.	3	9
<i>Fusarium</i> sp.	2	6
<i>Chaetomium</i> sp.	1	3
<i>Trichoderma</i> sp.	1	3
<i>Paecilomyces</i> sp.	1	3
<i>Bipolaris</i> sp.	1	3
<i>Sepedonium</i> sp.	1	3
Total	32	100

Fuente: Datos experimentales

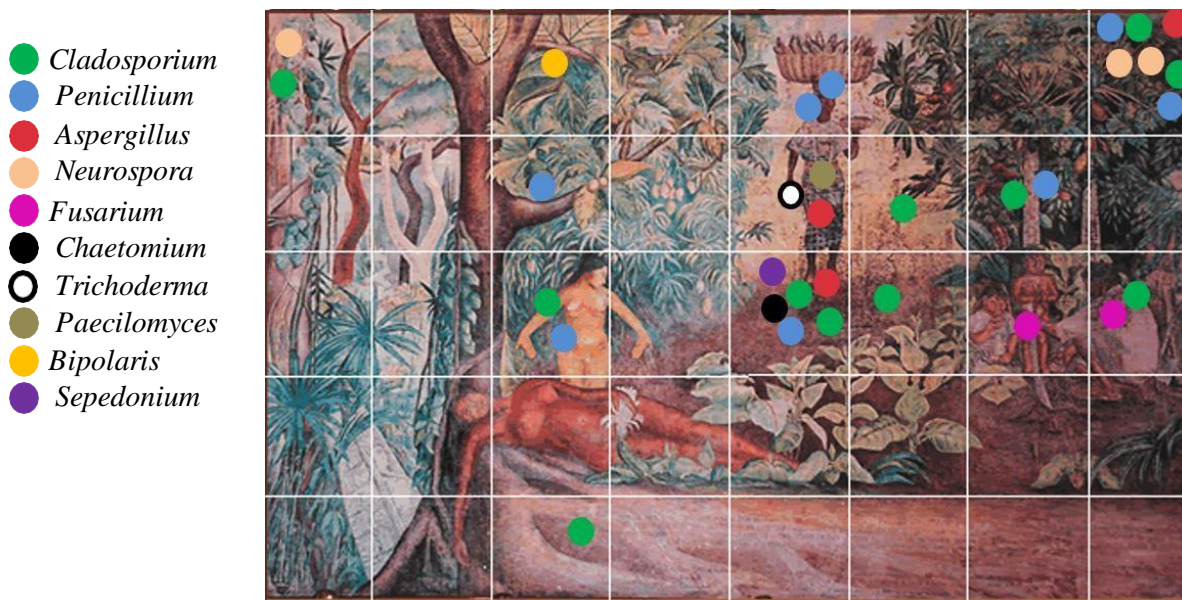


Figura 1: Distribución de hongos filamentosos aislados del mural "Tierra Fértil" identificados en el análisis microbiológico.

A continuación, se describen las características macroscópicas de los hongos identificados:

1. **Cladosporium** (Figura 3A, 3B)

Características macroscópicas: Colonia elevada, aterciopelada, con pliegues radiales visibles en ambos lados, margen ondulado, borde entero, consistencia dura, color verde oliva en el anverso y el reverso con pigmento color negro restringido.

Crecimiento: Crecimiento intermedio, colonia madura de 2.1 cm de diámetro en PDA y 3.1 cm en agar Sabouraud a los 7 días de incubación a 26°C.

Aislamientos: 1a(1), 5a(4), 5b(4), 6(2), 7(1), 8(4), 8(8), 9(1), 11(1), 12(1), 16(1)

2. **Penicillium** (Figura 3C, 3D)

Características macroscópicas: Colonia plana, pulverulenta, margen zonado y ondulado, borde filiforme, consistencia blanda, color blanco al principio luego se toma verde con borde blanco en el anverso, reverso blanco con pigmento amarillo difusible.

Crecimiento: Crecimiento rápido, colonia madura de 2.4 cm de diámetro en PDA y 3.4 cm en agar Sabouraud a los 4 días de incubación a 26°C.

Aislamientos: 5a(2), 5b(3), 7(2), 8(3), 11(2), 14(3), 14(10), 18(2)

3. *Aspergillus* (Figura 3E, 3F)

Características macroscópicas: Colonia elevada, aterciopelada, con pliegues radiales visibles en ambos lados, margen filiforme, borde entero, consistencia suave, color anverso amarillo con borde y reverso blanco con pigmento amarillo restringido.

Crecimiento: Crecimiento rápido, colonia madura de 2.9 cm de diámetro en PDA y 3.3 cm en agar Sabouraud a los 4 días de incubación a 26°C.

Aislamientos: 5a(5), 8(2), 13(9)

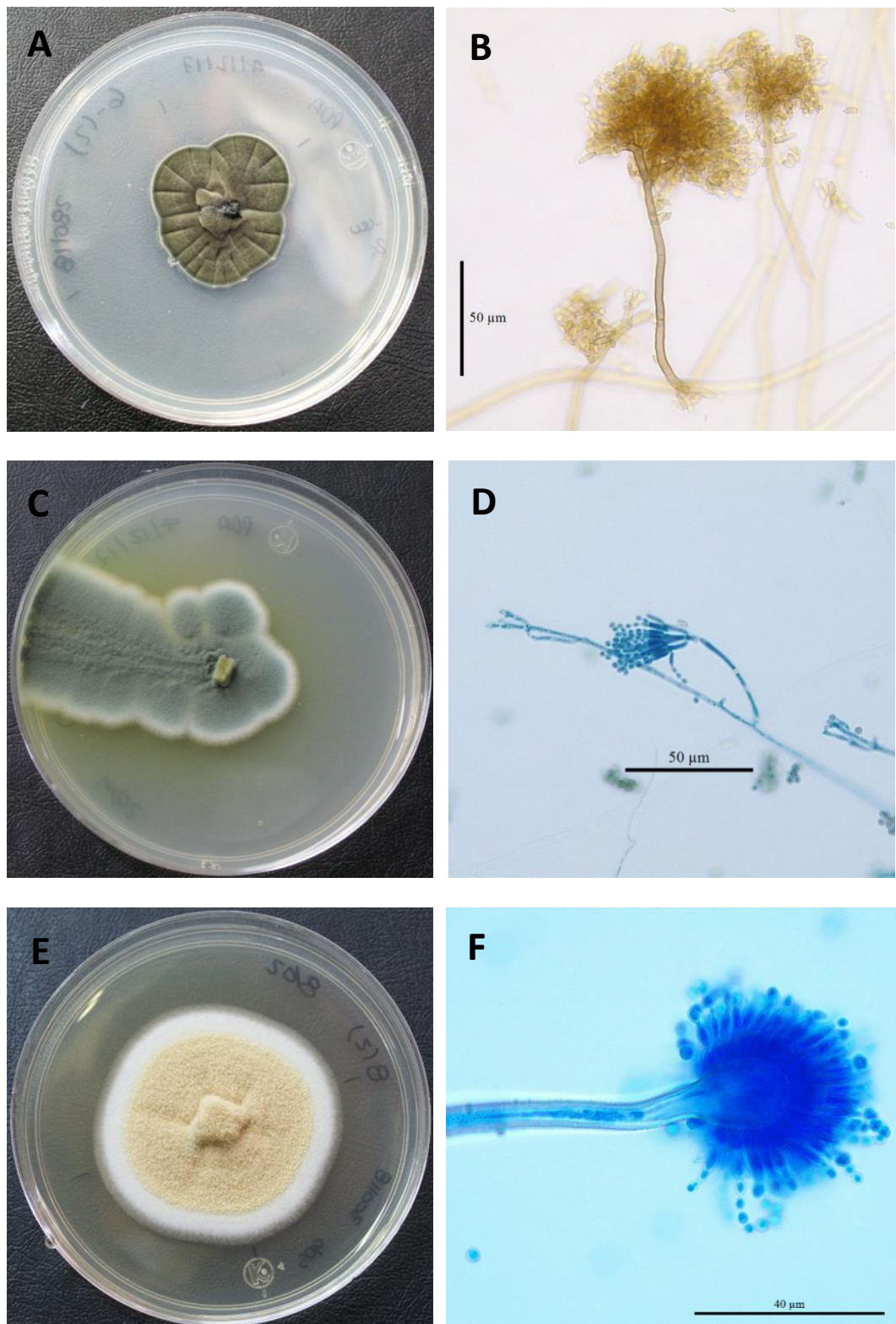


Figura 2. Características macroscópicas y microscópicas de los hongos aislados. A-B. *Cladosporium* sp. A. Colonia. B. Conidióforo (tinción con azul de lactofenol, 40x). C-D. *Penicillium* sp. C. Colonia. D. Conidióforo (tinción con azul de lactofenol, 40x). E-F. *Aspergillus* sp. E. Colonia. F. Conidióforo.

4. *Neurospora* (Figura 4A, 4B)

Características macroscópicas: Colonia elevada, algodonosa, margen filiforme, consistencia blanda, color marfil de anverso y reverso.

Crecimiento: Crecimiento rápido, >8 cm de diámetro a los 5 días de incubación a 26°C en agar Sabouraud y PDA.

Aislamientos: 1(1), 5(2), 5(3)

5. *Fusarium* (Figura 4C, 4D)

Características macroscópicas: Colonia elevada, algodonosa, margen filiforme, consistencia dura, color marfil en el anverso y naranja en el reverso con pigmento color amarillo restringido.

Crecimiento: Crecimiento rápido, colonia madura de 4.4 cm de diámetro en PDA y 4.1 cm en agar Sabouraud a los 4 días de incubación a 26°C.

Aislamientos: 6(6), 10(9)(10)

6. *Chaetomium* (Figura 4E, 4F)

Características macroscópicas: Colonia plana, algodonosa, margen filiforme, borde irregular, consistencia blanda, color marfil en el anverso y reverso.

Crecimiento: Crecimiento rápido, colonia madura de 3.9 cm de diámetro en PDA y 3.2 cm en agar Sabouraud a los 5 días de incubación a 26°C.

Aislamiento: 8(1)(5)



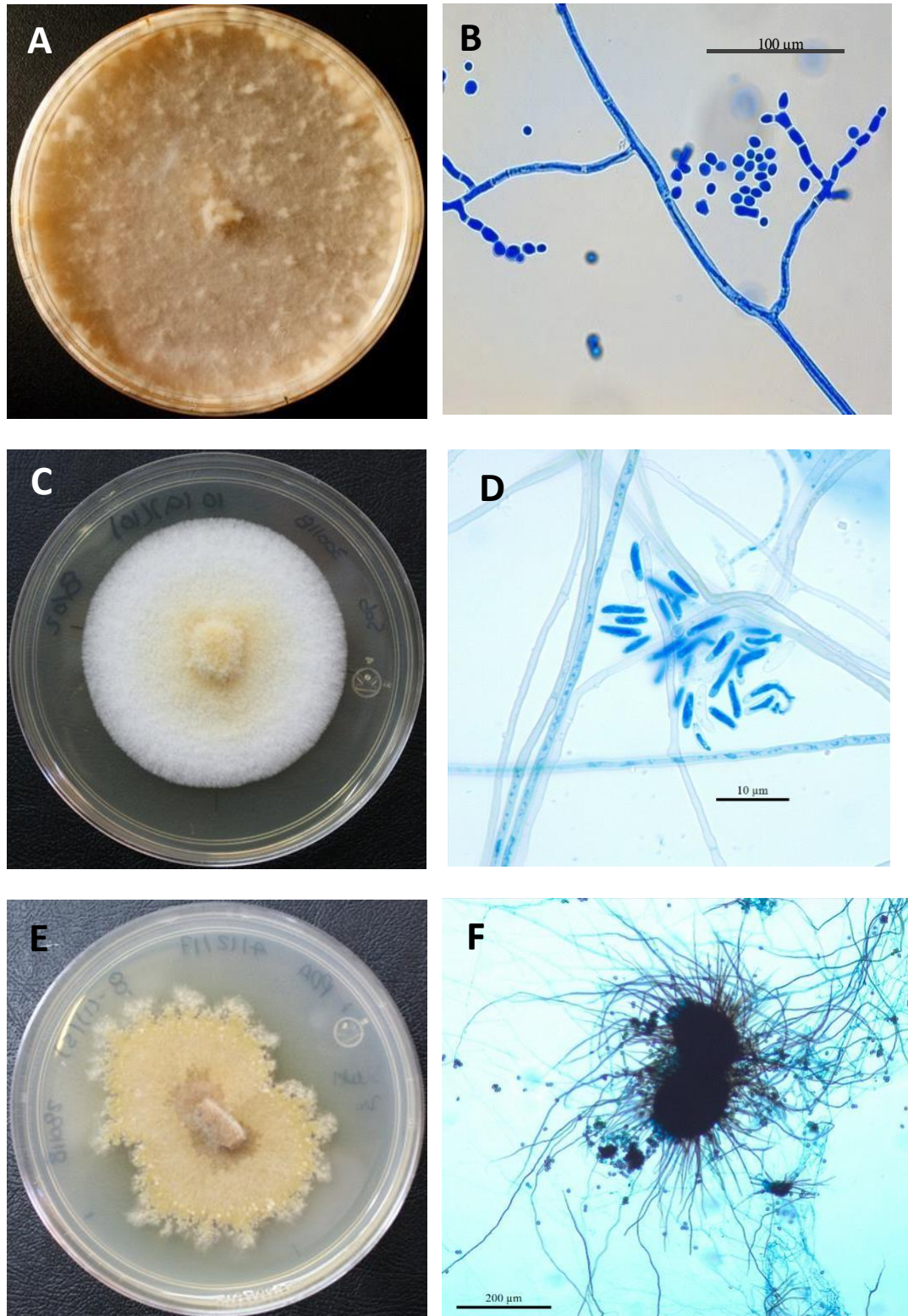


Figura 3. Características macroscópicas y microscópicas de los hongos aislados. A-B. *Neurospora* sp. A. Colonia. B. Conidióforo (tinción con azul de lactofenol, 40x). C-D. *Fusarium* sp. C. Colonia. D. Conidióforo (tinción con azul de lactofenol, 40x). E-F. *Chaetomium* sp. E. Colonia. F. Peritecio.

7. *Trichoderma* (Figura 5A, 5B)

Características macroscópicas: Colonia plana, algodonosa, margen filiforme, consistencia blanda, color blanco en el anverso y reverso.

Crecimiento: Crecimiento rápido, >8 cm de diámetro a los 4 días de incubación a 26°C en agar Sabouraud y PDA.

Aislamiento: 13(3)

8. *Paecilomyces* (Figura 5C, 5D)

Características macroscópicas: Colonia elevada, algodonosa, margen filiforme, consistencia dura, colonia blanca anverso y reverso con pigmento amarillo difusible.

Crecimiento: Crecimiento intermedio, colonia madura de 2.4 cm de diámetro en PDA y 2.3 en agar Sabouraud a los 7 días de incubación a 26°C.

Aislamiento: 13(6)

9. *Bipolaris* (Figura 5E, 5F)

Características macroscópicas: Colonia elevada, algodonosa, margen filiforme, consistencia dura, color gris en el anverso y periferia blanca y negra en el reverso con pigmento negro restringido.

Crecimiento: Crecimiento rápido, colonia madura de 5.4 cm de diámetro en PDA y 4.7 cm en agar Sabouraud a los 5 días de incubación a 26°C.

Aislamiento: 15(1)

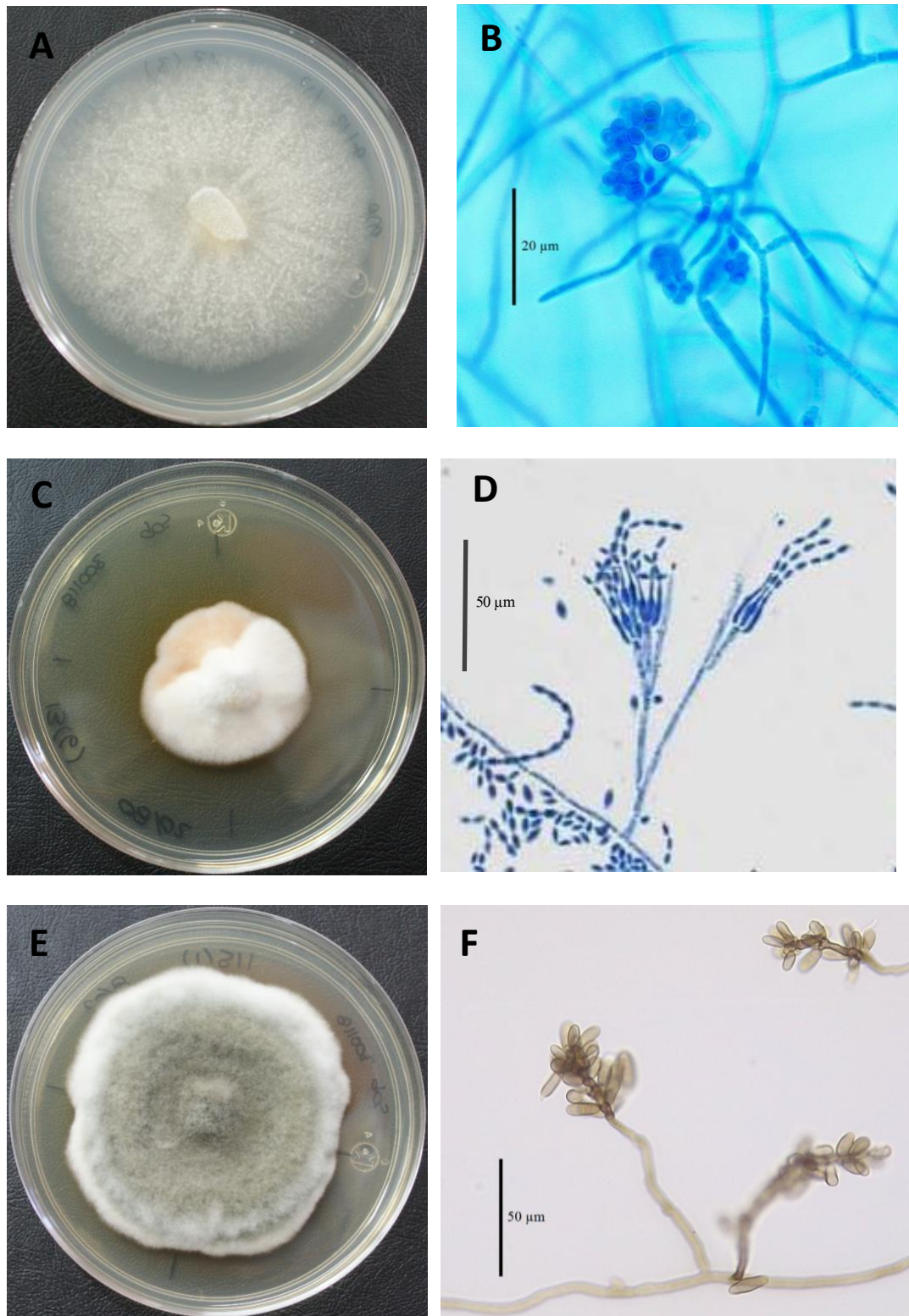


Figura 4. Características macroscópicas y microscópicas de los hongos aislados A-B. *Trichoderma* sp. A. Colonia. B. Conidióforo (tinción con azul de lactofenol, 40x). C-D. *Paecilomyces* sp. C. Colonia. D. Conidióforo (tinción con azul de lactofenol, 40x). E-F. *Bipolaris* sp. E. Colonia. F. Conidióforo (en alcohol polivinílico, 40x).

Características macroscópicas: Colonia con forma cerebriforme, elevada, textura aterciopelada con pliegues visibles de ambos lados, borde ondulado, consistencia dura, color blanco en el anverso y amarilla en el reverso.

Crecimiento: Crecimiento intermedio, 2 cm de diámetro en PDA y 1.8 cm en agar Sabouraud a los 7 días de incubación a 26°C.

Aislamiento: 8(9)

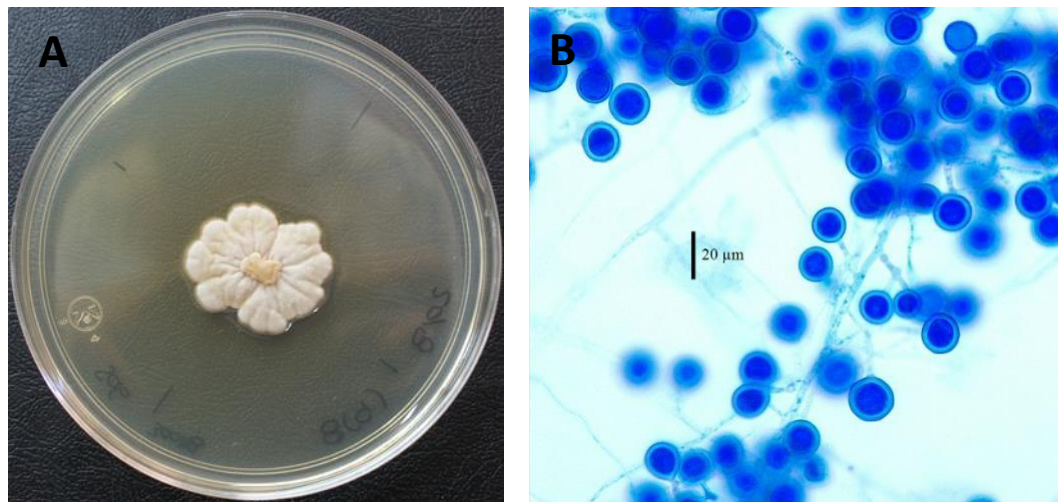


Figura 5. Características macroscópicas y microscópicas de los hongos aislados. A-B. *Sepedonium* sp. A. Colonia. B. Conidióforo (tinción con azul de lactofenol, 40x).

## IX. DISCUSIÓN

El mural al fresco “Tierra fértil” está localizado en el vestíbulo del salón mayor del MUSAC, el cual cuenta con una salida hacia la 10 calle de la zona 1 de la ciudad de Guatemala. Al ingresar, el mural se puede apreciar al lado derecho, ensamblado sobre la pared con una fachada de madera que lo enmarca. Según las autoridades del MUSAC el mural ha presentado oscurecimiento en varias áreas a través del tiempo, sin embargo, no se cuenta con registro fotográfico que evidencie los puntos exactos (G. Barrios, comunicación personal, 14 de junio de 2017). El museo cuenta con un sensor de temperatura y humedad en la habitación que marcaba 24°C y 60% respectivamente.

Durante la evaluación para la toma de muestra se pudo observar que la parte superior derecha del mural era la más afectada ya que esta área presentaba mayor decoloración de los pigmentos y presencia de manchas oscuras (Anexo 1).

En el análisis micológico realizado fue posible el aislamiento e identificación de 10 géneros de hongos filamentosos de los cuales los más frecuentes fueron el género *Cladosporium* sp. seguido de *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp. Lo anterior se relacionó con respecto a la distribución de los géneros en las áreas muestreadas, lo cual evidenció una gran diversidad en el lado derecho del mural que corresponde al área más expuesta a la humedad y polvo debido a encontrarse a un costado de las puertas del vestíbulo.

*Cladosporium* sp. es un género frecuentemente encontrado en el ambiente (Borrego, 2012). Es uno de los géneros que con mayor frecuencia se relaciona con el biodeterioro de objetos de valor histórico ya que bajo condiciones adecuadas de temperatura y humedad puede crecer y colonizar una amplia variedad de sustratos como papel, madera, tela, metales, plásticos y hormigón, es capaz de sobrevivir en condiciones de baja humedad por lo que se le puede encontrar en materiales calcáreos como los murales (Borrego, 2012).

Por otra parte, *Cladosporium* es un hongo filamentosos demateáceo, que produce pigmentos de tonalidades oscuras que son la causa de daño estético en muchas de las obras en las que se encuentra, ya que ocasiona manchas negras. El área afectada puede ser desinfectada y el micelio removido pero los daños causados por los pigmentos son muy difíciles de corregir ya que muchos de los tratamientos de decoloración ponen el riesgo la pérdida de los pigmentos propios de la obra (Ma et al., 2020; Monssef, Hassan y Ramadan, 2016).

*Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* producen pigmentos amarillos a rojos y producen muchas enzimas que les permiten degradar variedad de materiales, al igual que *Cladosporium* suelen encontrarse principalmente en ambientes interiores en especial en áreas tropicales donde el calor y la humedad favorecen su crecimiento y esporulación. Las esporas de estos géneros son transportadas con facilidad por corrientes de aire lo que permite que lleguen a muchos lugares. Muchas pueden ser las vías de contaminación en una sala de exposición, sin embargo, la principal es la presencia de polvo (Rojas, Aira, Batista, Cruz y González, 2012; Borrego, 2012).

El polvo en museos puede variar en cantidad y calidad, según la localidad, estación del año y las actividades que ocurran en el interior de las salas. Este constituye una forma de transporte de diferentes partículas como esporas de hongos y fuentes de nutrientes. Las esporas en el polvo representan un problema que se convierte en daño real cuando las condiciones ambientales exceden los niveles de riesgo, temperatura de 20°C y humedad relativa 65% en los materiales, lo que les permite que germinen y crezcan generando daños superficiales o estructurales. La calidad del aire que ingresa a las instalaciones y la carga microbiana de las salas de exposición será siempre un factor importante que considerar para la preservación de las obras, por lo que el control microbiológico de los ambientes es una herramienta de gran valor (Borrego, 2012).

La mayoría de los géneros encontrados en el ambiente suelen causar alergias e irritación en las vías respiratorias después de una exposición prolongada en una persona saludable, sin embargo, algunos otros menos frecuentes como *Bipolaris* puede llegar a causar

daños graves como infecciones en el sistema nervioso central, sinusitis, infecciones en hueso y otras enfermedades diseminadas a las que ha sido asociado principalmente en personas inmunocomprometidas. Por lo tanto, la presencia de estos en una sala de exposición no solo representa un riesgo para las obras sino también para sus visitantes (Khan, Hussain, Hasan, McEvoy y Sarwarl, 2000).

El aislamiento de los diferentes géneros de hongos filamentosos de la superficie del mural “Tierra Fértil” evidencia la viabilidad de estos, la alta presencia en el ambiente y sin duda, indican el alto riesgo de biodeterioro que existe, sin embargo, estos resultados no dimensionan el poco o mucho daño que puedan estar ocasionando en el mural. Para esto es necesario evaluar el crecimiento de los hongos en medios de cultivo con componentes orgánicos e inorgánicos que emulen un mural al fresco para determinar su potencial biodegradativo (Ma et al., 2020).

Otros análisis microbiológicos como, el realizado a los murales al seco de la iglesia de San Martín, en Greene–Kreienzen, Alemania, muestra que los principales agentes de deterioro son hongos productores de exudados pigmentados como *Acremonium*, *Aspergillus*, *Cladosporium* y *Fusarium* lo que coincide con los resultados obtenidos en este estudio. Sin embargo, es importante considerar la técnica de elaboración de los murales ya que los materiales y la forma de aplicación varía. En un mural al fresco los pigmentos forman parte del soporte y no están tan expuestos como en el caso de una pintura al seco (Gorbushina et al., 2004).

Además, no todos los signos de biodegradación son visibles a simple vista, la mayoría ocurren en el interior por lo que es importante realizar estudios que permitan conocer el estado en el que se encuentra la estructura interna del mural. Los principales daños son el aumento del volumen y agrietamiento, lo que posteriormente da lugar a la colonización por varios microorganismos, que en última instancia producen un daño superficial. Una radiografía permitiría conocer daños en la estructura interna que de no ser diagnosticados y tratados pueden ser catastróficos para la obra (Moreno y Sedano, 2006).

El mural “Tierra Fértil” es sin duda una obra digna de admirar y cuidar. En el plan de trabajo de restauración y conservación será de gran importancia evaluar todos los factores anteriormente descritos. El aislamiento de la obra de contaminantes como el polvo, control de humedad, temperatura, limpieza de superficies y posibles daños estructurales.

Los géneros de hongos filamentosos aislados podrían tener la capacidad de degradar el mural o ser únicamente oportunistas, en este último caso es altamente probable que puedan encontrar un sustrato más digerible dentro de las instalaciones y ser un grave problema para otras obras, en especial aquellos hongos con un crecimiento rápido como *Neurospora*, *Chaetonium* y *Trichoderma*.

Los resultados de esta investigación pretenden ser un aporte para el desarrollo de un plan de conservación del mural al fresco “Tierra Fértil” y sumarse a futuros estudios en diferentes disciplinas que brinden los elementos científicos necesarios para su restauración y conservación.

Por otro lado, también se resalta la importancia del estudio de los microorganismos causantes de biodeterioro en los bienes culturales, en especial los hongos filamentosos lo cual es de suma utilidad en la conservación del arte guatemalteco.



## X. CONCLUSIONES

1. Los hongos aislados de la superficie del mural tierra fértil causantes de biodeterioro corresponden a los siguientes géneros: *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Neurospora* sp., *Fusarium* sp., *Chaetomium* sp., *Trichoderma* sp., *Paecilomyces* sp., *Bipolaris* sp. y *Sepedonium* sp.
2. Se identificaron 10 géneros diferentes de hongos filamentos con alto potencial de biodeterioro de los cuales el mayor porcentaje correspondió a *Cladosporium* con un 34%, seguido de *Penicillium* con 25% y *Aspergillus* con 9%.

## **XI. RECOMENDACIONES**

1. Realizar análisis de calidad microbiológica del aire de la sala de exposición para relacionar con los resultados obtenidos y determinar la carga de hongos filamentosos en el ambiente.
2. Realizar un muestreo posterior a la limpieza superficial del mural y así determinar si los hongos aislados de la superficie persisten.
3. Realizar una radiografía para evaluar posibles daños internos en la estructura del mural

## XII. REFERENCIAS

- Acosta, S., y Andrade, V. (2008). *Manual de esterilización para centros de salud*. Washington: Organización Panamericana de la Salud.
- Anzueto, F. (2019). Rina Lazo: *Muralista mesoamericana. Una historia sobre tierras fértiles*. Ciudad de México: Offset Reboasán, S. A. de C. V.
- Barton, L., & Northup, D. (2011). *Microbial Ecology*. New Jersey: Wiley-Blackwell.
- Borrego, S. (2012). *Cladosporium*: género fúngico que deteriora soportes documentales y afecta a la salud del hombre. *Boletín del Archivo Nacional*, 1(2012), 104-108.
- Carlile, M., Watkinson, S., & Gooday, G. (2001). *The Fungi*. London: Academic Press.
- Cepero, M., Restrepo, S., Franco, A., Cárdenas, M., y Vargas, N. (2012). *Biología de hongos*. Bogotá: Ediciones Unlandes.
- Deacon, J. (2006). *Fungal Biology*. Massachusetts: Blackwell Publishing
- Estrada, M., y Penados, B. (2013). Santo Domingo La Antigua Guatemala, Guatemala, cripta de El Calvario: conservación y restauración. *Revista de Historia y Religión*, 3, 73-99.
- García, P. (2011). *El patrimonio cultural. Conceptos básicos*. Zaragoza: Pressas Universitarias de Zaragoza.
- Giraldo, M., Torres, C., y Díaz, J. (2009). Aislamiento de hongos celulolíticos causantes del biodeterioro de la Biblioteca Central de la Universidad del Valle (Cali-Colombia). *Revista Mexicana de Micología*, 29, 9-14.
- Gorbushina, A., Heyrman, J., Dornieden, T., Gonzalez, M., Krumbein, W., Laiz, L., ... Swings, J. (2004). Bacterial and fungal diversity and biodeterioration problems in mural painting environments of St. Martins church (Greene-Kreiensen, Germany). *International Biodeterioration & Biodegradation*, 53(1), 13-24.
- Khan, J. A., Hussain, S. T., Hasan, S., McEvoy, P. & Sarwari, A. (2000). Disseminated bipolaris infection in an immunocompetent host: an atypical presentation. *Journal of Pakistan Medical Association*, 50(2), 68-71.
- Larone, D. (2002). *Medically important fungi: A guide to identification* 4th ed. Washington, DC: ASM Press.
- Lorenzana, I. (1994). *El mural en Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

- Ma, W., Wu, F., Tian, T., He, D., Zhang, Q., Gu, J., Duan, Y., ... Feng, H. (2020). Fungal diversity and its contribution to the biodeterioration of mural paintings in two 1700-year-old tombs of China. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 152, 104972.
- Mandel, C. (2007). Muralismo mexicano: Arte público, identidad, memoria colectiva. *Revista ESCENA*, 30(61), 37-54.
- Martiarena, X. (1992). Conservación y restauración. *Artes Plásticas y Documentales*, 1(10), 177-224.
- Martínez, A., Speranza, M., Ruiz, F., Ferreira, P., Camarero, S., Guillén, F., ... Del Rin, J. (2005). Biodegradation of lignocelluloses: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. *International Microbiology*, 8(3), 195-204.
- Mier, T., Toriello, C., y Ulloa, M. (2002). *Hongos microscópicos saprobios y parásitos: métodos de laboratorio*. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Monssef, R., Hassan, E. & Ramadan, E. (2016). Production of laccase enzyme for their potential application to decolorize fungal pigments on aging paper and parchment. *Annals of Agricultural Science*, 61(1), 145-154.
- Moreno, M., y Sedano, P. (2006). La investigación en los laboratorios de restauración de museos históricos. *Arbor*, 182(717), 87 – 97.
- Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala –MUSAC-. (2017). *Mural Tierra Fértil de Rina Lazo*. Recuperado de <http://musacenlinea.org/museo/mural-tierra-fertil-de-rina-lazo/>.
- Museo Nacional de Antropología. (2019). *Murió Rina Lazo, autora de las réplicas de los murales de Bonampak*. Recuperado de [https://mna.inah.gob.mx/detalle\\_huella.php?pl=Fallece\\_Rina\\_Lazo\\_autora\\_de\\_las\\_replicas\\_de\\_los\\_murales\\_de\\_Bonampak](https://mna.inah.gob.mx/detalle_huella.php?pl=Fallece_Rina_Lazo_autora_de_las_replicas_de_los_murales_de_Bonampak).
- Negroni, M. (2009). *Microbiología estomatológica: fundamentos y guía práctica*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- Pepe, O., Sannino, L., Palomba, S., Anastasio, M., Blaiotta, G., Villani, F., y Moschetti, G. (2008). Heterotrophic microorganisms in deteriorated medieval wall paintings in southern Italian churches. *Microbiological Research*, 165(1), 21-32.

- Rojas, T., Aira, M., Batista, A., Cruz, I. & González, S. (2012). Fungal biodeterioration in historic buildings of Havana (Cuba). *Grana*, 51(1), 44-51.
- Sagastume, I. (2003). *El Palacio Nacional de Guatemala y su pintura decorativa y mural* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Saiz, C., y Samson R. (1981). Biodegradación de obras de arte. Hongos implicados en la degradación de los frescos del Monasterio de la Rabida (Huelva). *Botánica Macaronésica*, 8(9), 255-264.
- Sameño, M., y García, J. (1994). Biodeterioro. Alteración biológica de monumentos y obras de Arte. *Boletín Informativo del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 10, 26-27.
- Sánchez, A. (2012). Restauración de obras de arte: Pinturas de caballete. Madrid: Ediciones Akal, S. A.
- Saturno, W., Stuart, D., & Beltrán, B. (2006). Early Maya writing at San Bartolo, Guatemala. *Science*, 311(5765), 1281- 1283.
- Seifert, K., Morgan-Jones, G., Gams, W., & Kendrick, B. (2011). *The genera of Hyphomycetes*. Hong Kong: APS Press.
- Sterflinger, K., & Pinzari, F. (2012). The revenge of time: fungal deterioration of cultural heritage with particular reference to books, paper and parchment. *Environmental Microbiology*, 14(3), 559 – 566.
- Sterflinger, K., & Piñar, G. (2013). Microbial deterioration of cultural heritage and works of art – tilting at windmills? *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(22), 9637-9646.
- University of Natural Resources and Life Sciences. (2014). *Wall paintings*. Retrieved from: <http://www.biotec.boku.ac.at/arbeitsgruppenresearch-groups/research-group->
- Urquizú, M., y Hurst, H. (2003). *Las pinturas murales de San Bartolo: Una ventana al arte y cosmovisión del hombre prehispánico*. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología.
- Žraňka, J., Radnicka, K., Banach, M., Asicona, L., Vázquez de Ágredos-Pascual, M., Vidal-Lorenzo, C., Frühsorge, L., ...Velásquez, J. (2020). The Maya wall paintings from Chajul, Guatemala. *Antiquity*, 94 (375), 760–779.

### XIII. ANEXOS

*Figura 1. Áreas de muestreo del mural al fresco “Tierra Fértil”*



Puntos seleccionados según los signos de capas pictóricas. Cada hongo filamentoso aislado fue codificado con el número de cuadrante, letra de muestra (algunos cuadrantes requirieron de dos o más tomas de muestra, se identificaron como: Toma única solamente el número de cuadrante, la segunda toma se identificó como toma “a” y la tercera como toma “b”) y en paréntesis el número de microorganismo aislado de cada muestra. Ej: 1a(2) corresponde al cuadrante uno, muestra dos, segundo aislamiento.

Alison Emilse Pérez Guerra  
Estudiante

MSc. Osberth Isaac Morales Esquivel  
Asesor

Licda. María Del Carmen Bran González  
Asesora

Licda. Isabel Cristina Gaitán Fernández  
Revisora

MSc. Osberth Isaac Morales Esquivel  
Director  
Escuela de Química Biológica

M.A. Pablo Ernesto Oliva Soto  
Decano  
Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia