



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**DG** Dirección General  
de Investigación  
Universidad de San Carlos de Guatemala

---

**Informe final de Proyecto de Investigación**

**DIGI-PUI-004**

**Informe final de proyecto de investigación**

**Universidad de San Carlos de Guatemala**

**Dirección General de Investigación**

**Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente**

Impacto de *Ganoderma* spp. sobre el arbolado urbano de tres municipios de Guatemala y generación de propuestas para el manejo

**Unidad avaladora: Facultad de Agronomía**

**Partida presupuestaria: 4.8.63.0.83**

**Nombre del coordinador: Ing. Agr. Gustavo Adolfo Alvarez Valenzuela**

**Guatemala 03 de noviembre del año 2025.**



## Informe final de Proyecto de Investigación

Contraportada

Autoridades de la Dirección General de Investigación

Dra. Alice Patricia Burgos Paniagua

Directora General de Investigación

MSc. Andrea Rodas Morán

Coordinadora del Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente (PUIRNA).

### Equipo de investigación

Ing. Agr. Gustavo Adolfo Alvarez Valenzuela, Coordinador, No. Registro de Personal: 12,935

Ing. Agr. José Miguel Escobar Sandoval, Investigador, No. Registro de Personal: 20151645

P. Agr. Soren Sherwood Ramírez Esquivel, Auxiliar de Investigación, No. Registro de Personal: 20250713

El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la DIGI de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de la partida presupuestaria número: **4.8.63.0.83** en el Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente (PUIRNA).

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.

Este informe está licenciado bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).

Puede copiarse, distribuirse y adaptarse con la condición de dar crédito a los autores, no usarlo con fines comerciales y compartir cualquier obra derivada bajo la misma licencia.

Para más información, visite: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 1 Índice general

Contenido

<b>1 Índice general</b> .....	1
<b>Resumen</b> .....	5
<b>Palabras clave</b> .....	5
<b>Abstract</b> .....	6
<b>Keywords</b> .....	6
<b>2 Introducción</b> .....	7
<b>3 Contexto de la investigación</b> .....	8
<b>4 Revisión de literatura</b> .....	9
4.1 El género <i>Ganoderma</i> .....	10
4.2 Características morfológicas .....	11
4.3 Ciclo de vida del género <i>Ganoderma</i> .....	11
4.4 Hábitat .....	12
4.5 Distribución geográfica .....	12
4.6 Ecología y Biología de del género <i>Ganoderma</i> : .....	12
4.7 Importancia económica .....	12
4.8 Importancia ecológica .....	13
<b>5 Planteamiento del problema</b> .....	14
<b>6 Objetivos</b> .....	16
<b>7 Hipótesis</b> .....	16
<b>8 Método</b> .....	16
8.1 Tipo de investigación. ....	16
8.2 Enfoque y alcance de la investigación. ....	17
8.3 Diseño de la investigación.....	17
8.4 Población, muestra y muestreo.....	18
8.5 Técnicas.....	19
Observación directa en campo, mediante recorridos sistemáticos en áreas urbanas y registro fotográfico de árboles con síntomas compatibles con la presencia de <i>Ganoderma spp.</i> .....	19



## Informe final de Proyecto de Investigación

8.6	Resumen de las variables o unidades de análisis. ....	21
8.7	Procesamiento y análisis de la información. ....	23
<b>9</b>	<b>Aspectos éticos y legales</b> .....	<b>24</b>
<b>10</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>25</b>
10.1	Municipio de Guatemala .....	28
10.2	Municipio de Mixco .....	29
10.3	Municipio de Villa Nueva .....	30
10.4	Especies de <i>Ganoderma</i> .....	31
<b>11</b>	<b>Beneficiarios directos e indirectos</b> .....	<b>51</b>
<b>12</b>	<b>Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.</b> .....	<b>55</b>
<b>13</b>	<b>Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)</b> .....	<b>56</b>
<b>14</b>	<b>Otras contribuciones del proyecto al desarrollo.</b> .....	<b>57</b>
<b>15</b>	<b>Vinculación</b> .....	<b>58</b>
<b>16</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>60</b>
<b>17</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	<b>61</b>
<b>18</b>	<b>Referencias</b> .....	<b>63</b>
<b>19</b>	<b>Apéndice</b> .....	<b>72</b>
<b>20</b>	<b>Declaración del coordinador del proyecto de investigación</b> .....	<b>106</b>
<b>21</b>	<b>Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario</b> .....	<b>106</b>
<b>22</b>	<b>Recepción de la Dirección General de Investigación</b> .....	<b>107</b>



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Índice de Tablas

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Tabla 1. Objetivos, variable, instrumentos y unidad de medida o cualificación utilizada en la investigación. ....	21
Tabla 2. Lineamientos técnicos para la contención y manejo preventivo de <i>Ganoderma</i> spp. en el arbolado urbano. ....	39
Tabla 3. Beneficiarios directos e indirectos de la investigación.....	51
Tabla 4. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.....	55

### Índice de Figuras

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Mapa de calor de la distribución espacial de <i>Ganoderma</i> spp. en los municipios de Guatemala, elaborado a partir de registros georreferenciados de árboles afectados durante el mes de febrero a noviembre. ....	26
Figura 2. Prevalencia de <i>Ganoderma</i> spp. en árboles urbanos con y sin infestación por muérdago. ....	27
Figura 3. Distribución porcentual de especies arbóreas afectas por <i>Ganoderma</i> spp. en el arbolado urbano.....	28
Figura 5. Distribución porcentual de los reportes de <i>Ganoderma</i> spp. por zonas del municipio de Guatemala .....	29
Figura 6. Distribución porcentual de los reportes de <i>Ganoderma</i> spp. en el municipio de Mixco, con un total de 17 registros concentrados en cinco zonas.....	29
Figura 7. Distribución porcentual de la incidencia de <i>Ganoderma</i> spp. por zonas del municipio de Villa Nueva. ....	30
Figura 8. Caracteres macro- y micromorfológicos de <i>Ganoderma subincrustatum</i> (Grupo 1). (A) Basidioma perenne con superficie pileal intensamente lacada, tonalidades castaño-vinosas y margen blanquecino activo; (B) Vista lateral del carpóforo mostrando hábito dimidiado y textura fibroso-corchosa del contexto; (C) Detalle microscópico de la pileipellis conformada por una palisada compacta de elementos terminales claviformes, fuertemente pigmentados; (D) Basidiosporas ganodermoides, elipsoides, de pared doble y ápice obtuso a subtruncado, características diagnósticas del complejo subincrustatum. ....	31
Figura 10. Caracteres macro- y micromorfológicos de <i>Ganoderma applanatum</i> (Grupo 3). (A) Basidioma perenne, sésil y aplanado, con hábito de repisa, superficie pileal mate, no lacada, de color pardo grisáceo a pardo claro, con fisuras radiales y aspecto costroso característico; (B) Vista	

## Informe final de Proyecto de Investigación

- lateral del carpóforo mostrando perfil aplanado y contexto homogéneo, corchoso–fibroso, de color pardo castaño, sin presencia de bandas resinosas basales; (C) Detalle microscópico de la pileipellis formada por una palisada de elementos terminales cilíndricos a claviformes, de paredes engrosadas y pigmentación pardo–anaranjada; (D) Basidiosporas ganodermoides, elipsoides, de pared doble, pardo amarillentas, relativamente cortas y compactas, consistentes con el complejo *G. applanatum–australe*. ..... 35
- Figura 11. Caracteres macro- y micromorfológicos de *Ganoderma weberianum* (Grupo 4). (A) Basidioma perenne, semicircular a irregular, con superficie pileal intensamente lacada, de tonalidades pardo oscuro a negro-azuladas, con bandas concéntricas de crecimiento bien definidas, rasgo diagnóstico del linaje *weberianum*; (B) Vista lateral del carpóforo mostrando un contexto amarillo-ocre a pardo claro, de textura corchoso–fibrosa, con zonación interna tenue y ausencia de bandas resinosas basales; (C) Detalle microscópico de la pileipellis constituida por una palisada de elementos terminales cilíndricos a estrechamente claviformes, de paredes engrosadas y pigmentación pardo–anaranjada; (D) Basidiosporas ganodermoides, elipsoides, de pared doble, pardo amarillentas, de tamaño relativamente pequeño y compacto, consistentes con las descripciones morfológicas de *G. weberianum* en regiones neotropicales. .... 37
- Figura 12. *Casuarina* sp. del arbolado urbano con infección activa por *Ganoderma* spp. Se observa el hospedante en pie y, en detalle, la presencia de carpóforos desarrollados en la base del fuste (flecha), indicativos de pudrición basal y degradación estructural del sistema radical y del tronco. 72
- Figura 13. Árbol de *Jacaranda* spp. afectado por *Ganoderma* spp. en área urbana. Se observa el hospedero en pie y, en detalle, el desarrollo de un basidioma de *Ganoderma* spp. (flecha) en el tronco, indicador de pudrición interna avanzada y deterioro estructural del árbol. .... 73



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Resumen

La mortalidad de árboles asociada al hongo *Ganoderma* spp. (Basidiomycota: Polyporales) en los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva es una problemática creciente. El estudio tuvo como objetivos determinar la prevalencia, distribución espacial y especies arbóreas susceptibles, determinar las especies de *Ganoderma* presentes y generar información técnica para el manejo del problema. Se desarrolló investigación aplicada de enfoque mixto y diseño descriptivo–correlacional. Se realizaron recorridos de campo, georreferenciación de árboles afectados, colecta, análisis de morfometría macro y microscópica de basidiomas y basidiosporas, aislamiento in vitro. Por medio del análisis espacial mediante sistemas de información geográfica se generaron mapas de calor que evidenciaron mayor concentración en el municipio de Guatemala. Del total de árboles evaluados el 17 % mostró coinfección con muerdago. Se estableció que los hospederos comunes son *Jacaranda mimosifolia* 20 %, *Casuarina* sp. 33 % y *Swietenia macrophylla* 1%. El análisis taxonómico detectó cuatro especies: *G. subincrustatum* 31.18 %, *G. resinaceum* 61.29 %, *G. applanatum* 4.30 % y *G. weberianum* 3.23 %. Los resultados fueron divulgados mediante charlas técnicas, materiales impresos, redes sociales y medios de comunicación universitarios. La información generada beneficiará directamente a municipalidades, unidades de gestión ambiental, instituciones académicas y ciudadanía, al proporcionar bases técnicas para la detección temprana, manejo y toma de decisiones en el arbolado urbano.

### Palabras clave

1. Hongo Xilolítico
2. Arbolado urbano
3. Mortalidad de arboles
4. Basidiocarpo
5. Patógeno forestal



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Abstract

Tree mortality associated with the fungus *Ganoderma* spp. (Basidiomycota: Polyporales) in the municipalities of Guatemala City, Mixco, and Villa Nueva is a growing problem. This study aimed to determine the prevalence, spatial distribution, and susceptible tree species, identify the *Ganoderma* species present, and generate technical information for managing the problem. Applied research with a mixed-methods approach and a descriptive-correlational design was conducted. Field surveys, georeferencing of affected trees, collection, macro- and microscopic morphometric analysis of basidiomata and basidiospores, and in vitro isolation were performed. Spatial analysis using geographic information systems generated heat maps that showed a higher concentration in the municipality of Guatemala City. Of the total trees evaluated, 17 % showed coinfection with mistletoe. Common hosts were identified as *Jacaranda mimosifolia* 20 %, *Casuarina* sp. 33 % y *Swietenia macrophylla* 1 %. The taxonomic analysis identified four species: *G. subincrustatum* 31.18 %, *G. resinaceum* 61.29 %, *G. applanatum* 4.30 %, and *G. weberianum* 3.23 %. The results were disseminated through technical presentations, printed materials, social media, and university media outlets. The information generated will directly benefit municipalities, environmental management units, academic institutions, and the public by providing a technical basis for early detection, management, and decision-making regarding urban trees.

### Keywords

1. Xylolytic Fungus
2. Tree Mortality
3. Basidiocarps
4. Forest Pathogen
5. Urban Trees



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 2 Introducción

El arbolado urbano constituye un componente esencial de los ecosistemas de las ciudades, al proveer servicios ambientales como la regulación térmica, la purificación del aire, la captura de carbono y la reducción del ruido (Nowak & Dwyer, 2007). En la región metropolitana de Guatemala, conformada por los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva, este recurso se encuentra bajo amenaza por el incremento de enfermedades fúngicas, entre ellas las causadas por especies del género *Ganoderma*, (Polyporales, *Ganoderma* taceae) que provocan pudrición blanca en raíces y bases de troncos (Ryvarden, 2004).

En los últimos años, se ha observado la presencia de carpóforos de *Ganoderma* spp. en especies ornamentales y forestales urbanas como *Jacaranda mimosifolia*, *Eucalyptus* sp., *Casuarina* sp., y *Swietenia macrophylla*, generando un deterioro progresivo del arbolado y riesgo de caída de individuos (Álvarez, 2007; Cappello-García et al., 2023). Factores como el estrés hídrico, la compactación del suelo y el cambio climático favorecen su diseminación y patogenicidad (Michalíková et al., 2021).

La presente investigación tuvo como propósito determinar la incidencia, dispersión y especies de *Ganoderma* que afectan el arbolado urbano, así como establecer el rango de hospedantes y generar información técnica que sirva de base para estrategias de manejo y sustitución de árboles.

Los conocimientos generados incluyen la identificación de especies hospedantes, la delimitación espacial de los focos de infección mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), la caracterización morfológica de los aislamientos y la elaboración de propuestas técnicas para su contención. Estos aportes fortalecen la gestión del arbolado urbano y proporcionan herramientas para la planificación ambiental municipal y la mitigación de riesgos asociados al colapso de árboles infectados.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 3 Contexto de la investigación

El proyecto se desarrolló en la región metropolitana de Guatemala, comprendiendo los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva, considerados de primer orden dentro de la estructura urbana nacional por su densidad poblacional, conectividad vial y desarrollo económico (Morán, 1998). Estas áreas concentran la mayor proporción de espacios verdes urbanos del país, parques, bulevares y avenidas arboladas los cuales cumplen funciones ecológicas esenciales, como la regulación microclimática, la absorción de contaminantes y la provisión de hábitats para fauna urbana.

La delimitación espacial del estudio abarcó zonas de alta circulación vehicular y áreas de ornato público con presencia significativa de arbolado urbano. Se efectuaron recorridos sistemáticos en calzadas principales, parques y bulevares, donde se identificaron ejemplares afectados por *Ganoderma* spp., tomando registros fotográficos, georreferencias y muestras de carpóforos para su análisis en laboratorio.

La delimitación temporal comprendió de febrero a noviembre de 2025, período que incluyó las fases seca y lluviosa, con el propósito de registrar variaciones en la manifestación de carpóforos y condiciones ambientales que favorecen la proliferación del hongo. Las temperaturas medias durante el período de estudio oscilaron entre 18 °C y 27 °C, con precipitaciones anuales promedio de 1,200 a 1,800 mm, según datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (2024), condiciones que facilitan la descomposición de materia orgánica y el desarrollo de hongos lignícolas como *Ganoderma* spp.

Desde el punto de vista social y ambiental, la investigación responde a una problemática de interés público: la pérdida progresiva del arbolado urbano y el riesgo de caída de árboles enfermos sobre infraestructura o transeúntes. La población beneficiada incluye a los habitantes de los tres municipios, las unidades municipales de medio ambiente, las alcaldías auxiliares y los Cocodes, quienes participaron en la identificación de árboles afectados y recibieron materiales de divulgación y capacitaciones sobre manejo y monitoreo de *Ganoderma* spp.



## Informe final de Proyecto de Investigación

El estudio contó con la participación del Centro de Diagnóstico Parasitológico (CDP) y la Unidad de Vinculación y Gestión de Recursos (UVIGER) de la Facultad de Agronomía, USAC, y se desarrolló bajo el acompañamiento de la Dirección General de Investigación (DIGI). De manera interinstitucional, se promovió la ciencia ciudadana, utilizando redes sociales y campañas educativas para que la población reportara la presencia de carpóforos, contribuyendo así a la detección temprana y mapeo del problema.

### 4 Revisión de literatura

El género *Ganoderma* se caracteriza por su distribución cosmopolita, con especies que se encuentran tanto en zonas templadas como en regiones tropicales de todo el mundo (Bolaños et al., 1948).

Según Ryvarden (2004), citado por Torres-Torres et al. (2012), el género *Ganoderma* está presente en el Neotrópico con al menos 20 especies, muchas de las cuales solo se conocen por su localidad. A pesar de que se han registrado numerosas especies de *Ganoderma* en Brasil, algunos registros de especies encontradas en Brasil son: *G. amazonense*, *G. annulare*, *G. applanatum*, *G. australe*, *G. bibadiostriatum*, *G. brownii*, *G. citriporum*, *G. chalceum*, *G. colossus*, *G. concinnum*, *G. curtisii*, *G. dorsale*, *G. eleganteum*, *G. lobatoideum*, *G. lobatum*, *G. lucidum*, *G. multicornum*, *G. multiplicatum*, *G. multiplicatum* var. *vitalii*, *G. neurosporum*, *G. nitens*, *G. nitidum*, *G. oerstedii*, *G. opacum*, *G. orbiforme*, *G. parvulum*, *G. perturbatum*, *G. pygmoideum*, "*G. reniformis*" [*Elfvigia reniformis*], *G. resinaceum*, *G. sessile*, *G. sessiliforme*, *G. stipitatum*, *G. subamboinense*, *G. subfornicatum*, *G. testaceum*, *G. tornatum*, *G. tropicum*, *G. vivianimercedianum* y *G. zonatum*.

Según Mendoza et al., (2011), en México se han registrado aproximadamente 16 especies del género *Ganoderma*, entre las cuales se encuentran *Ganoderma adpersum*, *G. applanatum*, *G. lucidum* y *G. sessiliforme*.

En Colombia, el estudio de *Ganoderma* aún no ha alcanzado un nivel profundo, pero investigaciones basadas en la morfología y trabajos previos sobre la diversidad de macrohongos en el país han identificado hasta trece especies de *Ganoderma*.



## Informe final de Proyecto de Investigación

Actualmente en Costa Rica se han reportado nueve especies en Costa Rica: *G. amazonense* Weir, *G. applanatum*, *G. australe*, *G. colossus* (Fr.) CF Baker, *G. lucidum* sensu lato (sl), *G. oerstedii* (Fr.) Torrend, *G. orbiforme*, *G. parvulum*, *G. stipitatum* (Murrill) Murrill y *G. tuberculosum* (Mardones, Carranza Velázquez, & Mata Hidalgo, 2023).

En Estados Unidos se identificaron 13 especies de *Ganoderma* las cuales son: *G. curtisii*, *G. lucidum* sensu estricto, *G. martinicense*, *G. oregonense*, *G. policromo*, *G. ravenelii*, *G. sésil*, *G. Tsugae*, *G. tuberculosis*, *G. weberianum*, *G. zonatum* y *Tomophagus colossus* (sin. *G. colossus*). La especie *G. meredithiae* se considera sinónimo de *G. curtisii* y se la reconoce como una variante fisiológica especializada en la descomposición de pinos. Se propone la designación de *G. curtisii* f.sp. *meredithiae* forma *specialis* nov. Especies como *G. curtisii* y *G. sésil*, alguna vez consideradas parte de *G. lucidum* sensu lato, resultaron ser divergentes entre sí y muy diferentes de *G. lucidum* en sentido estricto (Loyd, y otros, 2018).

Claramente, los *Ganoderma* juegan un papel ecológicamente indispensable en los ecosistemas, sin embargo, algunos de ellos actúan como patógenos y pueden desencadenar enfermedades en los árboles forestales. Además, la mayoría de las especies de *Ganoderma* con tienen componentes biológicamente activos con efectos nutricionales y medicinales significativos, lo que les confiere una importancia económica considerable (He, y otros, 2022).

### 4.1 El género *Ganoderma*

Taxonomía:

Dominio	Eukaryota
Súper Reino:	Opisthokonta
Reino	Fungi
Sub reino	Dikarya
Filum	Basidiomycota
División:	Agaricomycotina
Clase:	Agaricomycetes



## Informe final de Proyecto de Investigación

Orden	Polyporales
Familia	Polyporaceae
Género	<i>Ganoderma</i>

(NCBI 2024)

### 4.2 Características morfológicas

El género consta de unas 200 especies conformadas en dos sub géneros, *Elfvíngia* de superficie sin brillo y *Ganoderma* con cuerpo fructífero colores brillantes (Lopez-Peña et al 2016, Ryvardeen, 2004, Tello, 2010, Torres & Guzman, 2015). Emergenza de carpóforos cada año o perennes, con pie o sentados, carpóforo con cutícula densa, opaca cereo tenue o brillante laqueada, células claviformes. El contexto marrón claro a oscuro, con dos o más regiones, consistencia blanda, esponjada a hebroso y consistente. Himenio de tonalidad blanquecina, conformado por cuatro a siete poros/mm, cilindros conformados por una o varias bandas. Hifas dimíticas, las generativas translucidas a tono amarillo y presenta hebilla micelial. Hifas esqueléticas bifurcadas, transparentes o marrón, no septadas y regiones con más ramificaciones. Basidiomas elipsoides y se estrechan fuertemente en la base y sin cistidios. Las basidiósporas semi a muy elipsoides, extremo distal aplanado o cortado presenta poro germinal. la pared celular se conforma de dos capas: endosporio marron y exosporio translucido (López-Peña et al 2016, Ryvardeen 2015, Suárez-Medellín et al 2012).

### 4.3 Ciclo de vida del género *Ganoderma*

Los basidiomicetos se reproducen de dos formas: esporas sexuales y micelio vegetativo. En el caso de *Ganoderma* las basiodiosporas son la fuente principal de inóculo y son fácilmente dispersadas por el viento o por vectores animales. Una vez que llega a un sustrato adecuado o un espécimen arbóreo donde pueda penetrar por medio de heridas se produce la germinación de las basiodiosporas y genera micelio vegetativo monocariótico que crece de forma saprofita hasta que se encuentra con otro micelio compatible y se produce el intercambio nuclear la formación de micelio dicariótico, el cual invade y se establece dentro



## Informe final de Proyecto de Investigación

de la planta huésped. El micelio dicariótico posteriormente genera los carpóforos cuando las condiciones ambientales son apropiadas (Bharudin et al., 2022) (apéndice 18.2)

### 4.4 Hábitat

Crece sobre madera y en especies arbóreas y arbustivas, así como en diversos tipos de vegetación perennifolia, subperennifolia, humedales, pastizales y en especies arbóreas zonas urbanas, casi todo el año (Ramos et al., 2009).

### 4.5 Distribución geográfica

### 4.6 Ecología y Biología de del género *Ganoderma*:

Suele encontrarse en la naturaleza de manera solitaria o gregaria, sobre madera en descomposición, tanto en especies de hoja caduca como en coníferas o bosques mixtos (Du et al., 2019). Este hongo actúa como un parásito facultativo que se propaga a través del suelo mediante clamidosporas y basidiosporas, viviendo como saprófito en raíces y tocones en descomposición (Kumar et al., 2022). Se le puede hallar en diversos tipos de vegetación, como selvas perennifolias y subperennifolias, humedales, pastizales y áreas urbanas, casi todo el año restos de árboles donde crece en troncos muertos, madera caída y podrida, así como en raíces y tocones (Du et al., 2019). También provoca pudrición blanca y forma canchales de diferentes tamaños en la base del tallo, además de causar la pudrición de raíces, muerte regresiva de las ramas y defoliación (Moreno Rico, et al., 2010).

### 4.7 Importancia económica

Como fitopatógeno, *Ganoderma* causa importantes daños en una amplia variedad de cultivos, lo que resulta en pérdidas significativas para la producción agrícola. Este hongo puede infectar árboles frutales como el cacao y el durazno, además de especies forestales y otros cultivos, provocando la pudrición en la base del tronco y, eventualmente, la muerte de la planta. Estas infecciones impactan directamente en los ingresos de los agricultores y en la economía local, por las pérdidas en volumen y calidad, lo que genera importantes pérdidas



## Informe final de Proyecto de Investigación

financieras para los productores y la comunidad. En particular, afecta la producción de cacao y café, perjudicando a productores, exportadores y a toda la cadena de suministro. En las plantaciones de palma aceitera, *Ganoderma* provoca graves daños al causar la pudrición del tronco y la muerte de los árboles. Además, deteriora la madera al generar veteados que disminuyen su calidad (Ramos Sosa & Cappello García, 2009). Los costos asociados con el control y manejo de *Ganoderma* incluyen la eliminación de árboles infectados, la aplicación de fungicidas y la implementación de prácticas agronómicas para prevenir su propagación, lo que reduce la rentabilidad agrícola y aumenta los precios para los consumidores (Flood et al., 2022; Mawar et al., 2020).

### 4.8 Importancia ecológica

*Ganoderma* desempeña un papel ecológicamente indispensable en los ecosistemas, aunque también puede actuar como patógeno, desencadenando enfermedades en los árboles forestales. Además, muchas especies contienen componentes biológicamente activos con efectos nutricionales y medicinales significativos, lo que les otorga una importancia económica considerable (He et al., 2022).

Diversas investigaciones reportan la presencia en áreas urbanas. Algunos informes indican que las esporas de este hongo pueden causar alergias en personas sensibles, y se ha identificado la incidencia de varias especies, como *G. applanatum*, *G. brownii*, *G. curtisii*, *G. lobatum* y *G. lucidum* en estas zonas (Cid Martínez et al., 2019; Rocha-Estrada et al., 2020; Hasnain et al., 2004). Aunque no siempre se especifican los hospedantes, la incidencia de estas especies confirma su presencia en áreas urbanas. En algunas ciudades, *Ganoderma* ha sido reportado como causante de la muerte de especies arbóreas. Por ejemplo, Moreno-Rico (2010) y Swiecki y Bernhardt (1990) documentaron la incidencia de *G. lucidum* sobre *Q. potosina* en áreas urbanas de California. Hickman y Perry (2003) lo reportan en especies frutales y forestales, con periodo de muerte promedio de tres a cinco años. Downer (2006) también reporta el declive de *Q. agrifolia* y *Q. lobata* causada por *G. lucidum* y *G. applanatum* en ciudades de California. En Arizona, Mississippi, Florida y Arkansas, *G.*



## Informe final de Proyecto de Investigación

lucidum ha sido registrado como causante de la muerte de *Q. nigra* y *Q. phellus* (Lewis, 1981; Olsen, 1999).

En Guatemala, aunque no se han realizado estudios específicos sobre la presencia de *Ganoderma* en áreas urbanas, hay informes sobre su impacto en cultivos como la palma africana, donde causa pudrición basal (Albertazzi, 2017). Otros estudios han identificado la presencia de *Ganoderma* en diversas localidades del país. Por ejemplo, Barrios de Rodas et al. (2007) reportaron su presencia en el parque ecológico Lachuá. De manera similar, en México, varios estudios han documentado la presencia de este hongo en áreas silvestres. En Tabasco et al. (2009) reportaron seis especies, de las cuales tres fueron registradas por primera vez: *G. colossum*, *G. resinaceum* y *G. curtisii*. En Hidalgo, Morelos y Tlaxcala, Valenzuela et al. (2004) identificaron 12 especies que causan pudrición, incluyendo *G. applanatum* y *G. tsugae*, encontradas en Abies y Tsuga. Recientemente, Capello-García et al. (2023) documentaron la presencia de 21 especies de *Ganoderma* en Tabasco, México.

### 5 Planteamiento del problema

El género *Ganoderma* (Polyporales) es reconocido a nivel mundial como un grupo de hongos xilófagos responsables de pudrición basal y estructural en árboles forestales y ornamentales, generando debilitamiento progresivo y eventual colapso del hospedante (Pirone, 1957; Ryvarden, 2004). Diversos estudios internacionales han documentado su impacto en arbolado urbano, asociándolo con riesgos para la seguridad pública, pérdida de cobertura arbórea y deterioro de los servicios ecosistémicos en ciudades (Hasnain et al., 2004; Rojas et al., 2018; Michalíková et al., 2021).

En Guatemala, si bien existen antecedentes del impacto de *Ganoderma* spp. en sistemas productivos como la palma aceitera (Albertazzi, 2017) y reportes puntuales en áreas naturales (Barrios de Rodas et al., 2007), no se contaba con estudios sistemáticos enfocados en el arbolado urbano, particularmente en la región metropolitana. La literatura disponible previo al inicio de esta investigación evidenciaba una brecha de conocimiento relacionada con: la identificación de las especies de *Ganoderma* presentes en áreas urbanas, el patrón espacial de dispersión del patógeno, el rango de especies arbóreas hospederas susceptibles, y la



## Informe final de Proyecto de Investigación

ausencia de lineamientos técnicos específicos para su manejo en contextos urbanos de Guatemala.

Durante la ejecución del proyecto, la revisión bibliográfica se amplió con estudios recientes sobre ecología, biología y distribución del género *Ganoderma*, así como investigaciones sobre su incidencia en ciudades de América y Europa (Capello-García et al., 2023; Cid Martínez et al., 2019; Rocha-Estrada et al., 2020). Posterior al trabajo de campo, esta revisión permitió contrastar los resultados obtenidos con patrones descritos en otros países, reforzando la interpretación de los datos y la formulación de propuestas de manejo adaptadas al contexto local.

La ausencia de información técnica específica para Guatemala planteó la necesidad de responder las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuál es la prevalencia y el patrón de dispersión de *Ganoderma* spp? en el arbolado urbano de los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva?

¿Qué especies arbóreas urbanas presentan mayor susceptibilidad a la infección por *Ganoderma*?

¿Qué especies del género *Ganoderma* están presentes en el arbolado urbano metropolitano?

¿Qué factores ambientales y de manejo urbano se asocian con una mayor incidencia del patógeno?

Responder estas preguntas permitió generar información científica inédita para el país, orientada a la toma de decisiones por parte de municipalidades, unidades de parques y áreas verdes, y actores académicos, contribuyendo al manejo sostenible del arbolado urbano y a la reducción de riesgos para la población.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 6 Objetivos

#### Objetivo General

5.1 Determinar la presencia del género *Ganoderma*, conocer la distribución, especies predominantes, hospedantes susceptibles y así obtener información para la implementación de planes de manejo, en los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva.

#### Objetivos específicos

5.1.1 Establecer la incidencia y el patrón de dispersión de *Ganoderma* en el arbolado ornamental.

5.1.2 Determinar el rango de hospedantes susceptibles.

5.1.3 Determinar las especies del hongo *Ganoderma* que afectan especies arbóreas.

5.1.4 Generar información técnica para la contención y control de la plaga.

### 7 Hipótesis

Se espera el predominio de una o pocas especies del género *Ganoderma* asociadas al arbolado urbano de los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva, con preferencia por determinados hospederos.

### 8 Método

#### 8.1 Tipo de investigación.

De acuerdo con los criterios establecidos en el Manual de Frascati (OCDE, 2015), la investigación desarrollada corresponde a una investigación aplicada, ya que generó nuevos conocimientos científicos sobre la incidencia, distribución espacial y especies asociadas al hongo *Ganoderma* spp. en el arbolado urbano, orientados explícitamente a un objetivo práctico: apoyar la toma de decisiones para el manejo, contención y mitigación del impacto de esta plaga en los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva. Los resultados obtenidos son aplicables a la gestión del arbolado urbano, la planificación



## Informe final de Proyecto de Investigación

municipal, la prevención de riesgos y el diseño de estrategias de manejo sostenible, por lo que trascienden el ámbito teórico y tienen utilidad directa.

### 8.2 Enfoque y alcance de la investigación.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, mediante la medición de variables relacionadas con la presencia de *Ganoderma* spp. en el arbolado urbano. Se evaluó la prevalencia del hongo, la frecuencia de árboles afectados, la distribución espacial y la incidencia por especie arbórea.

Asimismo, se registraron características morfológicas de los basidiocarpos y el estado fitosanitario de los árboles hospederos, así como variables ambientales y de manejo asociadas a la presencia del patógeno.

El alcance del estudio fue exploratorio y correlacional. Exploratorio, debido a la limitada información previa sobre la presencia de *Ganoderma* spp. en el arbolado urbano de Guatemala; y correlacional, al analizar la relación entre la presencia del hongo y variables ambientales, de manejo urbano y características de los hospederos.

### 8.3 Diseño de la investigación.

Desde el enfoque cuantitativo, el estudio se desarrolló bajo un diseño no experimental, ya que no se manipuló ninguna variable, sino que se observaron y registraron los fenómenos tal como ocurrieron en su contexto natural. El diseño fue transversal, debido a que la información se recolectó en un período definido (febrero–noviembre de 2025), lo que permitió caracterizar la situación del hongo durante ese intervalo temporal.

Asimismo, se realizaron observaciones directas y análisis descriptivos, mediante la evaluación macroscópica y microscópica de los carpóforos, así como la caracterización del estado fitosanitario de los árboles afectados y otras variables asociadas a la presencia de *Ganoderma* spp.



## Informe final de Proyecto de Investigación

Ambos enfoques se integraron de manera concurrente, permitiendo contrastar la información espacial, biológica y ambiental obtenida en campo y laboratorio.

Desde el enfoque cuantitativo, el estudio se desarrolló bajo un diseño no experimental, ya que no se manipuló ninguna variable, sino que se observaron y registraron los fenómenos tal como ocurrieron en su contexto natural. El diseño fue transversal, debido a que la información se recolectó en un período definido (febrero–noviembre de 2025), lo que permitió caracterizar la presencia de *Ganoderma* spp. durante dicho intervalo temporal.

El estudio incluyó observación directa y análisis descriptivo, mediante la evaluación macroscópica y microscópica de los carpóforos, así como la caracterización del estado fitosanitario de los árboles afectados y otras variables asociadas a la presencia del patógeno.

### 8.4 Población, muestra y muestreo.

La población de estudio estuvo constituida por el arbolado urbano presente en parques, bulevares, avenidas y áreas verdes públicas de los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva.

El muestreo dirigido puede introducir sesgos asociados a la detección (mayor probabilidad de registrar árboles con síntomas visibles), localización (concentración en áreas accesibles o previamente identificadas) y accesibilidad (limitación a espacios públicos o de fácil ingreso). Para reducir estos sesgos, se establecieron rutas de muestreo predefinidas en distintos sectores urbanos, se incluyeron diferentes tipos de áreas verdes (parques, bulevares y avenidas), y se aplicaron criterios homogéneos de evaluación en campo. Asimismo, se realizó registro fotográfico y georreferenciación de cada individuo evaluado, permitiendo la verificación de la información y su análisis espacial mediante SIG, lo cual contribuye a mejorar la representatividad y consistencia de los datos obtenidos.

La muestra correspondió a los árboles que presentaron síntomas visibles de deterioro o presencia de carpóforos de *Ganoderma* spp. durante los recorridos de campo. El muestreo fue no probabilístico, de tipo dirigido o intencional, justificado por el objetivo específico de localizar y documentar focos activos de la enfermedad.



## Informe final de Proyecto de Investigación

Dado el carácter diagnóstico y aplicado del estudio, este tipo de muestreo permitió priorizar la detección de individuos afectados; sin embargo, puede introducir sesgos de detección, localización y accesibilidad, al favorecer el registro de árboles con síntomas visibles, ubicados en áreas accesibles o previamente identificadas. Para mitigar estos sesgos, se establecieron rutas de muestreo predefinidas en distintos sectores urbanos, se incluyeron diversas tipologías de áreas verdes (parques, bulevares y avenidas), y se aplicaron criterios homogéneos de evaluación en campo. Asimismo, se realizó georreferenciación y registro fotográfico de cada árbol evaluado, permitiendo la verificación de la información y su análisis espacial mediante Sistemas de Información Geográfica.

Criterios de inclusión: árboles ubicados en espacios públicos urbanos, presencia de carpóforos, pudrición basal o síntomas compatibles con *Ganoderma* spp.

Criterios de exclusión: árboles sin síntomas visibles y árboles en propiedad privada sin autorización de acceso.

Este tipo de muestreo fue adecuado debido al carácter diagnóstico y aplicado del estudio, ya que el objetivo fue localizar árboles que presentaran síntomas visibles de la enfermedad. En estudios de patología forestal y diagnóstico de enfermedades en arbolado urbano es común emplear muestreos dirigidos hacia individuos sintomáticos para confirmar la presencia del patógeno y documentar su distribución (Agrios, 2005; Sinclair & Lyon, 2005).

### 8.5 Técnicas.

Observación directa en campo, mediante recorridos sistemáticos en áreas urbanas y registro fotográfico de árboles con síntomas compatibles con la presencia de *Ganoderma* spp.

Georreferenciación de árboles afectados, utilizando dispositivos GPS y aplicaciones móviles, registrando coordenadas geográficas para su posterior análisis espacial mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Colecta de carpóforos, obteniendo fragmentos de estructuras basidiomáticas presentes en la base del tronco o en raíces expuestas de árboles afectados. Las muestras fueron colocadas en



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

bolsas de papel estériles, debidamente etiquetadas y transportadas al laboratorio para su análisis.

Análisis de laboratorio, incluyendo aislamiento del patógeno mediante fragmentos de tejido provenientes de carpóforos, los cuales fueron sometidos a desinfección superficial utilizando soluciones desinfectantes. Posteriormente se sembraron en medio de cultivo Potato Dextrose Agar (PDA) y Agar-Agua, incubándose a temperaturas aproximadas de 25–28 °C durante varios días hasta observar crecimiento micelial. Se realizaron subcultivos para obtener colonias puras.

Microscopía, utilizando microscopio óptico y estereoscópico para la observación de estructuras microscópicas como basidios, basidiosporas e hifas. Para facilitar la observación se emplearon colorantes como azul de algodón en lactofenol, permitiendo la caracterización morfológica de las estructuras fúngicas.

Identificación taxonómica, mediante la comparación de características macroscópicas y microscópicas de los carpóforos con claves taxonómicas y literatura especializada en hongos lignícolas del género *Ganoderma*.

Análisis espacial, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (QGIS), permitiendo la elaboración de mapas de distribución de árboles afectados y mapas de calor para identificar zonas con mayor concentración del patógeno.

Revisión bibliográfica especializada, utilizada como apoyo para la identificación taxonómica y la interpretación de los resultados obtenidos.

El proyecto contó con el apoyo técnico del Centro de Diagnóstico Parasitológico (CDP-USAC), donde se realizaron actividades de análisis de laboratorio y observación microscópica de las muestras recolectadas. Asimismo, se contó con el acompañamiento institucional de las municipalidades involucradas y de la Dirección General de Investigación (DIGI-USAC), quienes brindaron avales y respaldo institucional para el desarrollo del estudio.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 8.6 Resumen de las variables o unidades de análisis.

Tabla 1. Objetivos, variable, instrumentos y unidad de medida o cualificación utilizada en la investigación.

Objetivo específico	Variable	Instrumentos	Unidad de medida o cualificación
Establecer la incidencia y el patrón de dispersión de <i>Ganoderma</i> en el arbolado ornamental.	Prevalencia de <i>Ganoderma</i> spp. Distribución espacial de árboles afectados.	La ficha de campo estructurada y los dispositivos GPS se emplearon como instrumentos de recolección de datos en campo. El Sistema de Información Geográfica (QGIS) se utilizó como herramienta de procesamiento y análisis espacial para la elaboración de mapas de distribución y mapas de calor.	Número y porcentaje de árboles afectados por zona y municipio. Coordenadas geográficas (Latitud/longitud). Mapas de calor y mapas de distribución.
Determinar el rango de hospedantes susceptibles.	Especies arbóreas hospederas. Condición sanitaria del árbol.	Ficha de identificación botánica. Registro fotográfico	Número de árboles afectados por especie.



### Informe final de Proyecto de Investigación

			Clasificación cualitativa del estado fitosanitario (sano, afectado, muerto).
Determinar las especies del hongo <i>Ganoderma</i> que afectan especies arbóreas.	Especie de <i>Ganoderma</i> presente.  Características morfológicas del carpóforo.	Observación macroscópica.  Microscopio óptico y estereoscopio.  Medios de cultivo PDA, Agar agua.  Cámara fotográfica.	Identificación taxonómica a nivel de especie.  Descripción cualitativa de estructuras macro y microscópicas.
Generar información técnica para la contención y control de la plaga	Factores asociados a la incidencia.  Lineamientos de manejo.	Revisión bibliográfica especializada.  Análisis comparativos de casos. Registro de campo y SIG.	Clasificación cualitativa de factores de riesgo (compactación, residuos, estrés hídrico).  Documentos técnicos y materiales divulgativos elaborados.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 8.7 Procesamiento y análisis de la información.

La información recolectada en campo y laboratorio fue organizada en una base de datos estructurada, en la cual cada registro correspondió a un árbol evaluado. Las variables incluyeron: municipio, zona, coordenadas geográficas, especie arbórea hospedante, presencia o ausencia de *Ganoderma* spp., número de carpóforos, estado fitosanitario del árbol, y observaciones ambientales asociadas (presencia de residuos sólidos, podas previas, entre otros).

Los datos espaciales fueron procesados y validados para su consistencia geográfica antes de ser incorporados a los Sistemas de Información Geográfica (SIG). El registro fotográfico y las observaciones de laboratorio fueron sistematizados mediante fichas técnicas y archivos digitales debidamente codificados.

El análisis cuantitativo tuvo un enfoque descriptivo y exploratorio, acorde con la naturaleza aplicada y no experimental del estudio. Se calcularon frecuencias absolutas y relativas para determinar la prevalencia de *Ganoderma* spp. por municipio, por especie arbórea y por tipo de área urbana.

Se realizó análisis espacial utilizando QGIS, mediante: mapas de distribución puntual de árboles afectados, mapas de calor (kernel density) para identificar zonas de alta concentración.

El propósito de este análisis fue identificar focos de incidencia y patrones de dispersión, más que establecer relaciones causales. No se aplicaron pruebas de hipótesis ni modelos de regresión, debido a que el muestreo fue dirigido y no probabilístico, por lo cual no se asumieron niveles de significancia estadística ni intervalos de confianza inferenciales. Este enfoque es consistente con estudios diagnósticos y de vigilancia fitosanitaria en entornos urbanos.

El análisis cualitativo se centró en la interpretación de: características morfológicas macroscópicas y microscópicas de los carpóforos, estado fitosanitario de los árboles, condiciones ambientales y de manejo urbano asociadas a la presencia del hongo.



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

Las observaciones fueron registradas mediante notas de campo, descripciones técnicas y documentación fotográfica. La información se organizó en matrices analíticas que permitieron identificar patrones recurrentes y relaciones entre la presencia del hongo y factores como estrés mecánico, compactación del suelo y acumulación de residuos.

La confiabilidad del análisis se fortaleció mediante triangulación de información, integrando: datos de campo, resultados de laboratorio, análisis espacial en SIG, revisión de literatura científica actualizada, reportes ciudadanos validados en campo.

Los resultados obtenidos fueron contrastados con investigaciones previas realizadas en contextos urbanos similares, lo que permitió una interpretación sólida y contextualizada.

### **Herramientas de análisis**

Se utilizaron los siguientes programas y herramientas: Microsoft Excel® para organización y análisis descriptivo de datos, QGIS® para análisis espacial y elaboración de mapas, microscopio óptico y estereoscópico para análisis morfológico, cámara fotográfica digital para documentación científica.

El uso de estos programas y equipos se realizó conforme a las licencias institucionales disponibles y a los protocolos del Centro de Diagnóstico Parasitológico de la Facultad de Agronomía, USAC.

## **9 Aspectos éticos y legales**

La investigación no involucró experimentación con seres humanos ni con animales, por lo que no requirió dictamen de un comité de bioética. Asimismo, el estudio no se desarrolló en áreas protegidas ni realizó colecta de flora o fauna silvestre sujeta a normativas de conservación, ya que se trabajó exclusivamente en espacios urbanos, parques municipales, bulevares y áreas verdes públicas de los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva.

Las actividades de colecta se limitaron a recolectar carpóforos de hongos presentes en árboles urbanos ya afectados, lo cual no requiere permisos del CONAP según su normativa vigente para biodiversidad cuando no se interviene vegetación nativa dentro de áreas protegidas. Todas las acciones realizadas contaron con coordinación y aval de las municipalidades, a



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

través de sus unidades de medio ambiente y alcaldías auxiliares, quienes autorizaron el ingreso a las áreas verdes y acompañaron los recorridos de campo.

No se manejó información sensible de personas ni se registraron datos que comprometan privacidad o confidencialidad. Las imágenes tomadas se utilizaron exclusivamente con fines científicos y de divulgación del proyecto.

### **10 Resultados**

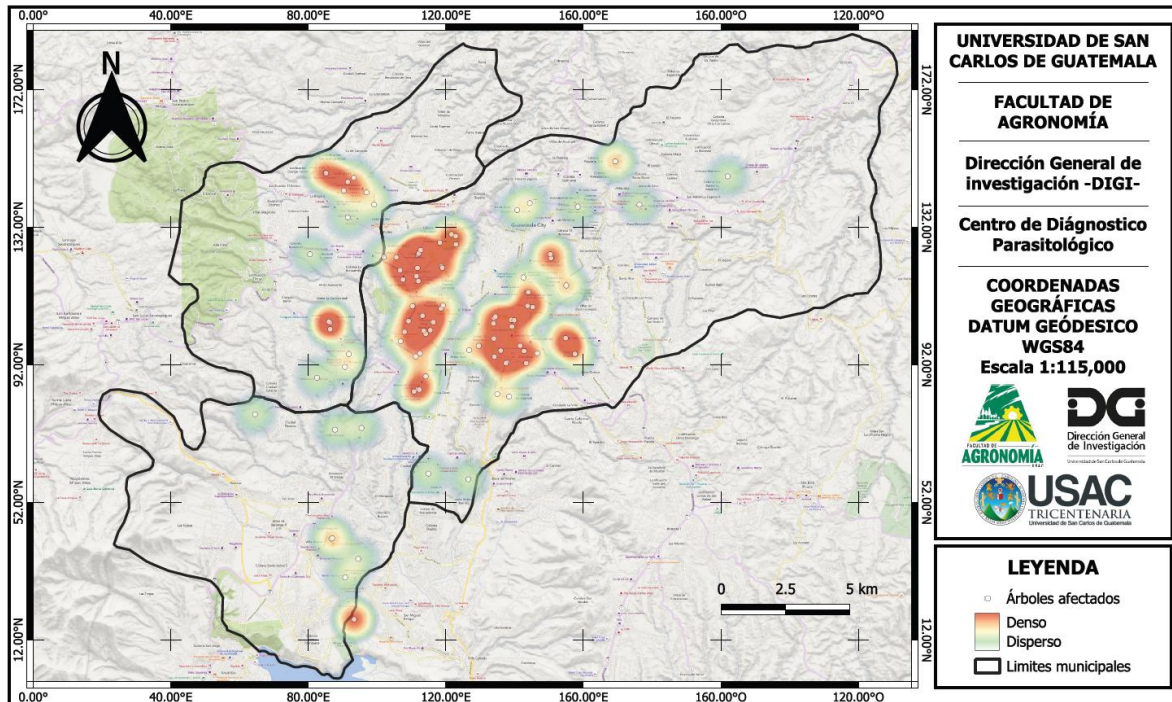
El mapa de calor de la distribución espacial de *Ganoderma* spp. en los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva evidencia una concentración heterogénea de casos, con áreas claramente definidas de alta densidad de árboles afectados (zonas rojas), zonas de densidad media (tonos amarillos) y sectores con casos dispersos (tonos verdes).

Las mayores concentraciones de reportes se localizan principalmente en el municipio de Guatemala, especialmente en áreas con alta densidad urbana, infraestructura vial consolidada y presencia de arbolado maduro en bulevares, avenidas principales y áreas verdes urbanas. En Mixco y Villa Nueva, los focos de calor se presentan de manera más dispersa, asociados a corredores viales, áreas residenciales y sectores con antecedentes de intervención antrópica del suelo (Figura 1).

El patrón espacial observado en los mapas de distribución muestra una concentración de árboles afectados en determinadas zonas urbanas. Esta distribución podría estar asociada a condiciones ambientales y de manejo presentes en el entorno urbano.

## Informe final de Proyecto de Investigación

Figura 1. Mapa de calor de la distribución espacial de *Ganoderma* spp. en los municipios de Guatemala, elaborado a partir de registros georreferenciados de árboles afectados durante el mes de febrero a noviembre.



Del total de 107 árboles evaluados, el 17 % presentó afectación simultánea por *Ganoderma* spp. y muérdago, mientras que el 83 % presentó *Ganoderma* spp. sin presencia de muérdago (Figura 2). Estos datos evidencian que, en la mayoría de los árboles evaluados, la presencia de *Ganoderma* spp. no estuvo asociada con muérdago; sin embargo, también se registraron casos donde ambas condiciones se presentaron de forma simultánea.

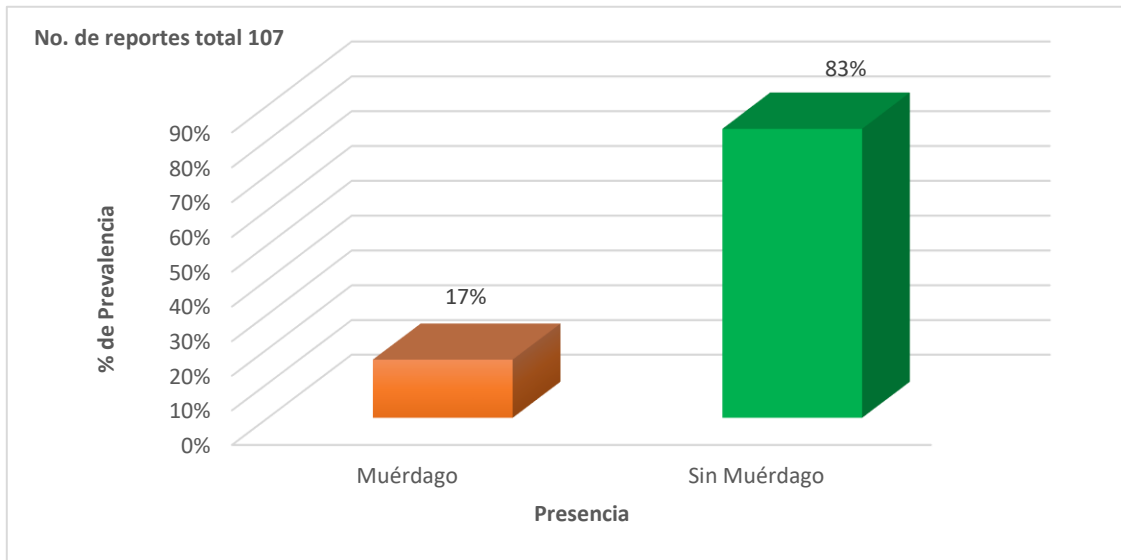
La presencia simultánea de *Ganoderma* spp. y muérdago se registró principalmente en árboles con signos visibles de estrés fisiológico, reducción de follaje y antecedentes de podas severas o inadecuadas, lo que sugiere una condición predisponente del hospedero frente a ambos agentes bióticos.

La presencia simultánea de *Ganoderma* spp. y muérdago se observó principalmente en árboles con signos visibles de estrés fisiológico, reducción de follaje y antecedentes de podas

### Informe final de Proyecto de Investigación

severas o inadecuadas, lo que sugiere una posible condición predisponente del hospedero frente a ambos agentes bióticos.

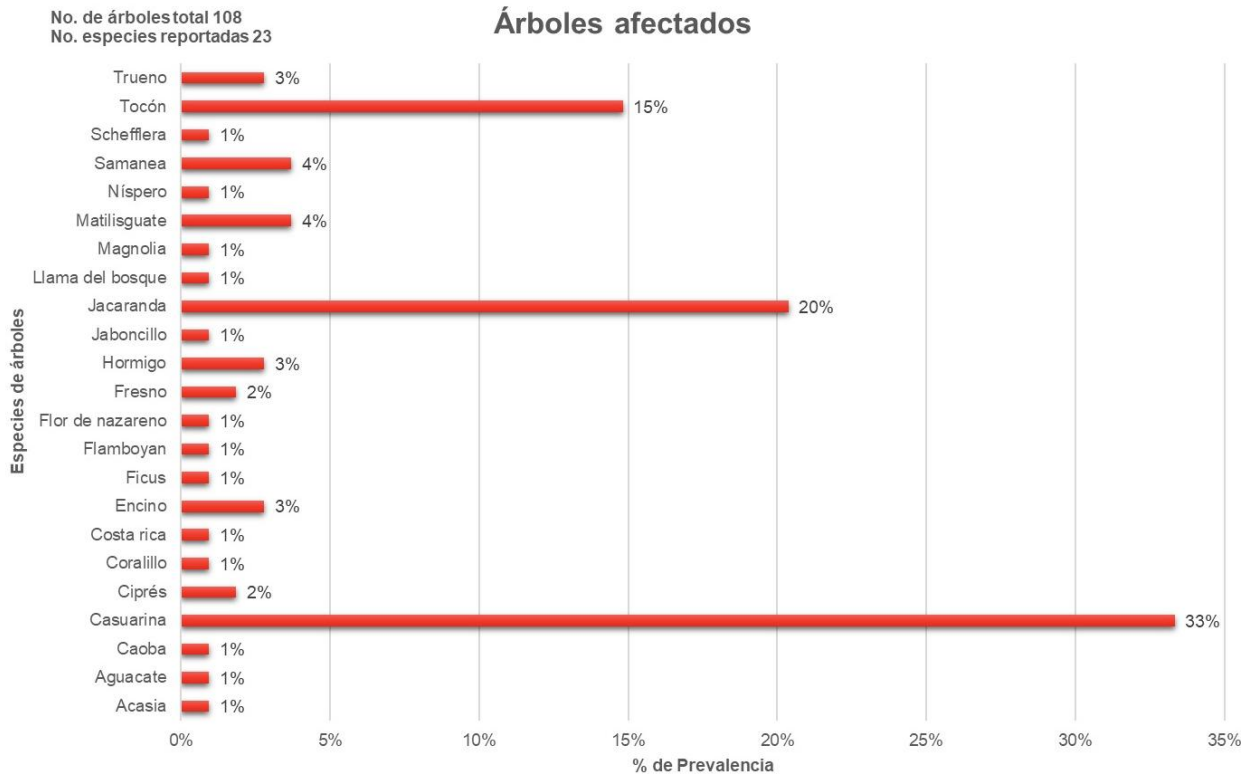
Figura 2. Prevalencia de *Ganoderma* spp. en árboles urbanos con y sin infestación por muérdago.



Las especies con mayor prevalencia fueron *Casuarina* sp. (33%), *Jacaranda mimosifolia* (20%) y *Trueno* (*Ligustrum* sp.) (15%). Otras especies como *Samanea saman* y *Swietenia macrophylla* presentaron valores menores pero constantes de afectación, mientras que varias especies mostraron prevalencias iguales o inferiores al 1% (Figura 3).

### Informe final de Proyecto de Investigación

Figura 3. Distribución porcentual de especies arbóreas afectadas por *Ganoderma* spp. en el arbolado urbano.



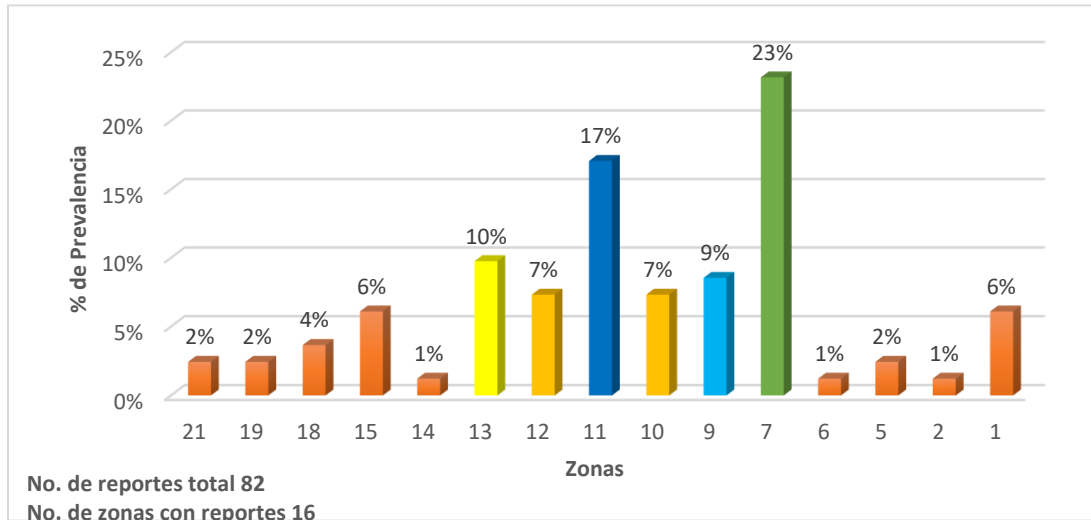
El municipio de Guatemala concentró el mayor porcentaje de árboles afectados (77%), seguido de Mixco (16%) y villa Nueva (7%). Estos resultados evidencian una distribución heterogénea del patógeno en el área metropolitana, con mayor concentración de reportes en el municipio central.

#### 10.1 Municipio de Guatemala

La mayor prevalencia se registró en la zona 7 (23%), seguida de la zona 11 (17%) y la zona 13 (10%). Otras zonas como la 10, 9 y 12 presentaron prevalencias intermedias, mientras que zonas periféricas como la 4, 5 y 6 mostraron porcentajes bajos de afectación (Figura 5).

### Informe final de Proyecto de Investigación

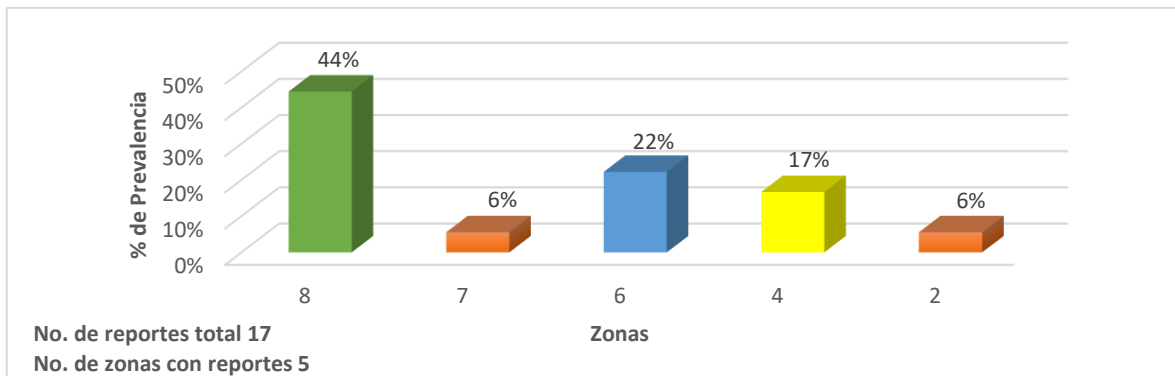
Figura 4. Distribución porcentual de los reportes de *Ganoderma* spp. por zonas del municipio de Guatemala



#### 10.2 Municipio de Mixco

La mayor prevalencia se observó en la zona 8, que concentró el 44% de los reportes, seguida por la zona 6 con un 22% y la zona 4 con un 17%. Las zonas 7 y 2 presentaron menores porcentajes de afectación, con un 6% cada una. Estos resultados evidencian una distribución heterogénea del patógeno dentro del municipio.

Figura 5. Distribución porcentual de los reportes de *Ganoderma* spp. en el municipio de Mixco, con un total de 17 registros concentrados en cinco zonas.

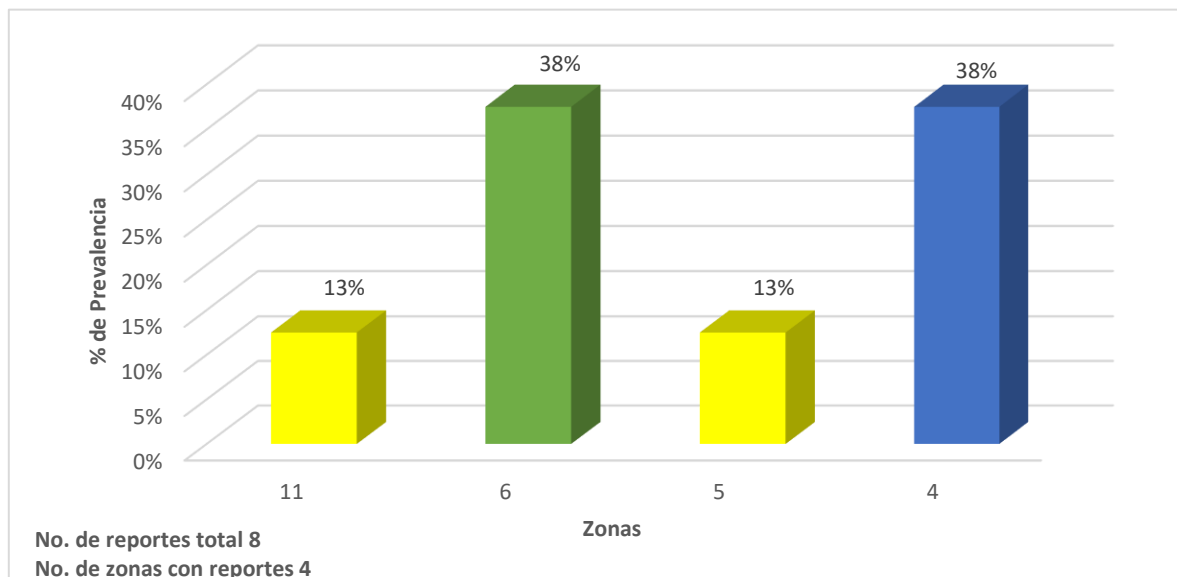


## Informe final de Proyecto de Investigación

### 10.3 Municipio de Villa Nueva

La mayor prevalencia se concentró en las zonas 6 y 4, con un 38% cada una, evidenciando una distribución focalizada del patógeno en sectores específicos del municipio.

Figura 6. Distribución porcentual de la incidencia de *Ganoderma* spp. por zonas del municipio de Villa Nueva.



La distribución espacial de *Ganoderma* spp. en los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva evidenció patrones diferenciados de incidencia y concentración, asociados a la estructura urbana, características del arbolado y condiciones de manejo fitosanitario. A nivel general, el municipio de Guatemala presentó la mayor proporción de árboles afectados (77%), seguido de Mixco (16%) y Villa Nueva (7%), lo que refleja una relación directa entre densidad del arbolado urbano, longevidad de las plantaciones y presión antrópica sobre los sistemas radiculares.

## Informe final de Proyecto de Investigación

### 10.4 Especies de *Ganoderma*

Con base en la evaluación integral los caracteres, los basidiomas fueron agrupados preliminarmente en cuatro conjuntos. La caracterización detallada de cada uno de estos grupos se presenta a continuación, acompañada de su respectiva discusión taxonómica y fundamentación comparativa con la literatura especializada.

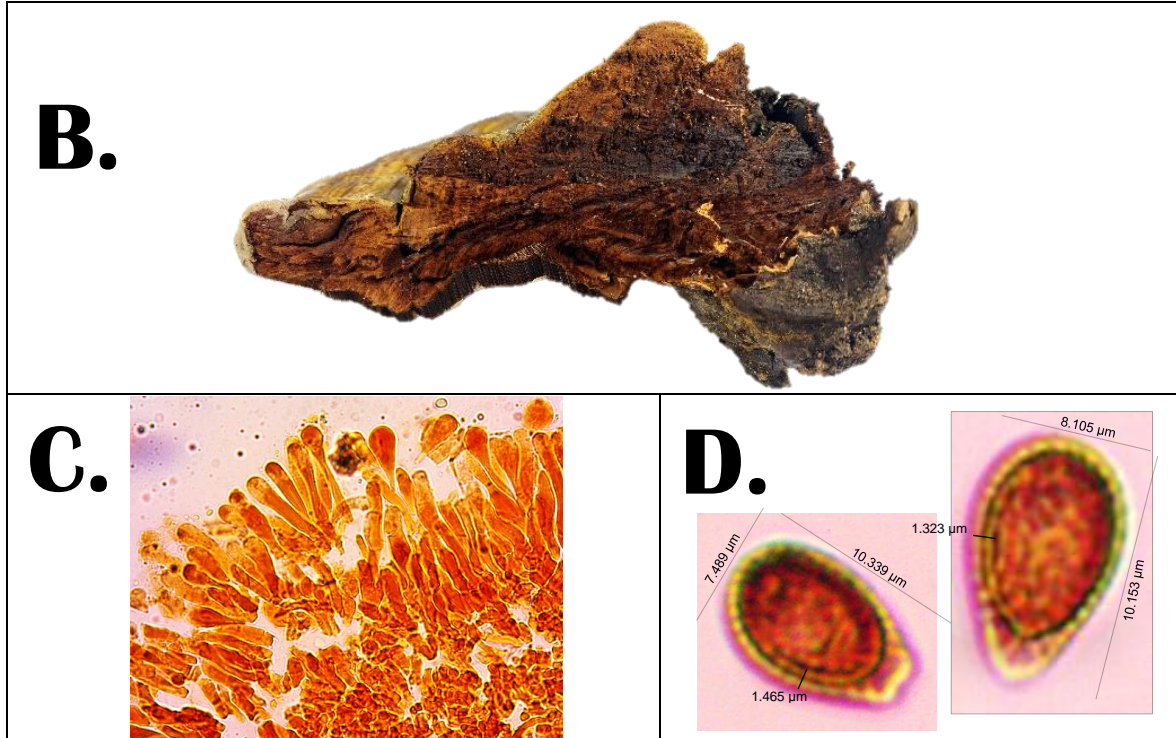
#### **Grupo 1 - *Ganoderma subincrustatum***

*Figura 7. Caracteres macro- y micromorfológicos de Ganoderma subincrustatum (Grupo 1).*

*(A) Basidioma perenne con superficie pileal intensamente lacada, tonalidades castaño-vinosas y margen blanquecino activo; (B) Vista lateral del carpóforo mostrando hábito dimidiado y textura fibroso-corchosa del contexto; (C) Detalle microscópico de la pileipellis conformada por una palisada compacta de elementos terminales claviformes, fuertemente pigmentados; (D) Basidiosporas ganodermoides, elipsoides, de pared doble y ápice obtuso a subtruncado, características diagnósticas del complejo subincrustatum.*



## Informe final de Proyecto de Investigación



Basidiomas perennes con dimensiones máximas registradas de 27.5 cm de ancho, 16.4 cm de proyección desde el hospedante y 6.5 cm de espesor total. La superficie pileal es intensamente lacada, con tonalidades que van de castaño oscuro a rojo vinoso y un margen blanco–amarillento conspicuamente engrosado; en ejemplares senescentes se observó una pérdida progresiva del lacado, dejando superficies mates y opacas. El contexto es fibroso–corchoso, pardo a pardo rojizo, con una zona basal más compacta y oscura; en cortes longitudinales se distinguen incrustaciones resinosas basales dispuestas en bandas discontinuas que se proyectan hacia el interior del carpóforo, generando una zonación clara del tejido.

La pileipellis está formada por una palizada compacta de elementos terminales claviformes, fuertemente pigmentados, con longitudes entre 15.8 y 59.3 µm, ápices ligeramente ensanchados y presencia ocasional de pequeñas protuberancias. El sistema hifal es trimitico: las hifas generativas son hialinas, con fíbulas bien desarrolladas (1.3–3.4 µm de diámetro);

## Informe final de Proyecto de Investigación

las hifas esqueléticas, de paredes gruesas, alcanzan diámetros de 2.2–7.3  $\mu\text{m}$ ; hifas ligantes finas y muy ramificadas.

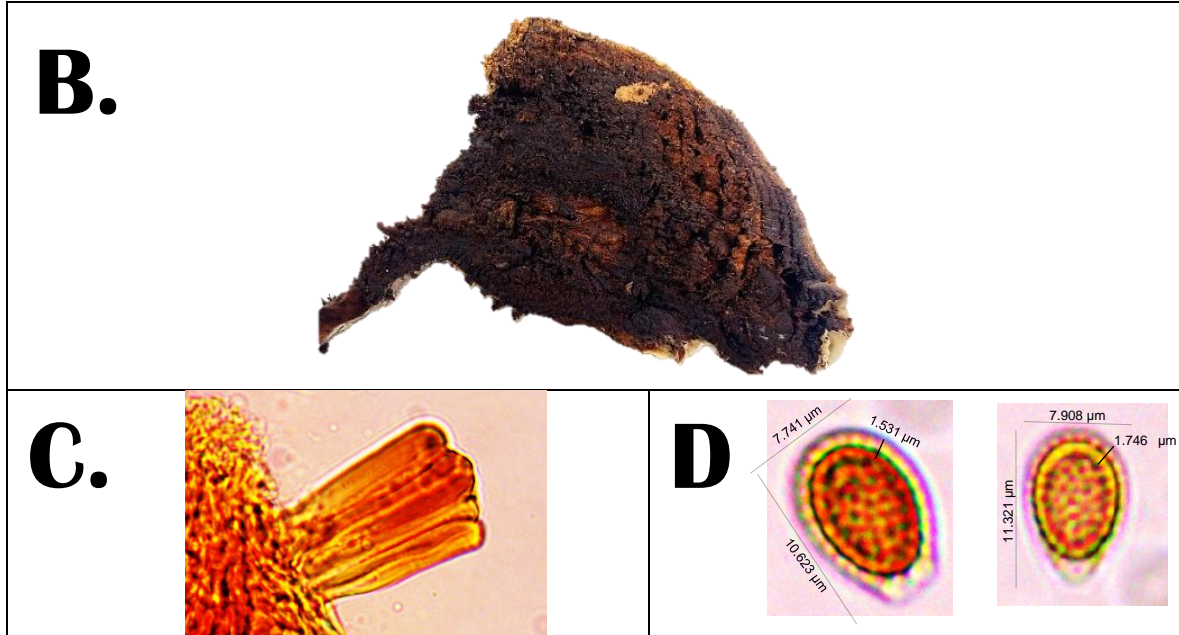
Las basidiosporas son ganodermoides, pared doble con un espesor medido de 1.22–1.56  $\mu\text{m}$ , pardo rojizas en masa, elipsoides a elipsoides oblongas, con ápice obtuso o subtruncado; miden 9.395–12.4975  $\times$  6.7325–8.4575  $\mu\text{m}$  (medias aproximadas: L  $\approx$  11.02  $\mu\text{m}$ ; A  $\approx$  7.92  $\mu\text{m}$ ) y presentan valores de Q entre 1.2307 y 1.5903 (media  $\approx$  1.39).

### Grupo 2 - *Ganoderma resinaceum*

*Figura 9. Caracteres macro y micromorfológicos de Ganoderma resinaceum (Grupo 2). (A) Basidioma perene con superficie pileal intensamente lacada, de tonalidades ámbar a pardo miel, con margen blanco bien definido; (B) Vista lateral del carpóforo mostrando hábito dimidiado y contexto homogéneo, fibroso–esponjoso, de color pardo oscuro, sin presencia de bandas resinosas basales; (C) Detalle microscópico de la pileipellis constituida por una palisada de elementos terminales claviformes a subcilíndricos, de paredes engrosadas e intensa pigmentación naranja–parda; (D) Basidiosporas ganodermoides, elipsoides, de pared doble, pardo amarillentas, con dimensiones compatibles con el rango diagnóstico de la especie.*



## Informe final de Proyecto de Investigación



Basidiomas perennes, dimidiados, con superficies pileales fuertemente lacadas, de tonalidades que varían entre ámbar-anaranjado, miel y pardo rojizo, presentando un margen blanco bien diferenciado. Las dimensiones registradas en el material estudiado muestran un ancho de 14.9–26.3 cm, una proyección desde el hospedante de 13.4–15.2 cm y un espesor total de 2.5–5.5 cm. Los carpóforos jóvenes presentan brillo evidente, mientras que los ejemplares senescentes tienden a perder parcialmente el lacado, especialmente hacia el margen. El contexto es pardo muy oscuro a casi negro, homogéneo y de textura fibroso–esponjosa, sin bandas resinosas basales. La pileipellis consiste en una palizada densa de elementos terminales claviformes a subcilíndricos, de longitudes entre 14.515 y 43.65  $\mu\text{m}$  (promedio  $\approx$  30.4  $\mu\text{m}$ ), con paredes engrosadas e intensa pigmentación naranja–parda. El sistema hifal es trimitico. Las hifas generativas son hialinas, con fíbulas, de 1.69–4.25  $\mu\text{m}$  de diámetro hifal. Las hifas esqueléticas son amarillentas a pardas, fuertemente engrosadas, y alcanzan 3.19–7.09  $\mu\text{m}$ . Las hifas ligantes son delgadas y ramificadas, entrecruzando los haces esqueléticos. Las basidiosporas de pared doble (espesor 1.45–1.84  $\mu\text{m}$ ), pardo amarillentas a pardo rojizas, elipsoides. Presentan un rango de 9.22–12.3175  $\mu\text{m}$  de longitud

### Informe final de Proyecto de Investigación

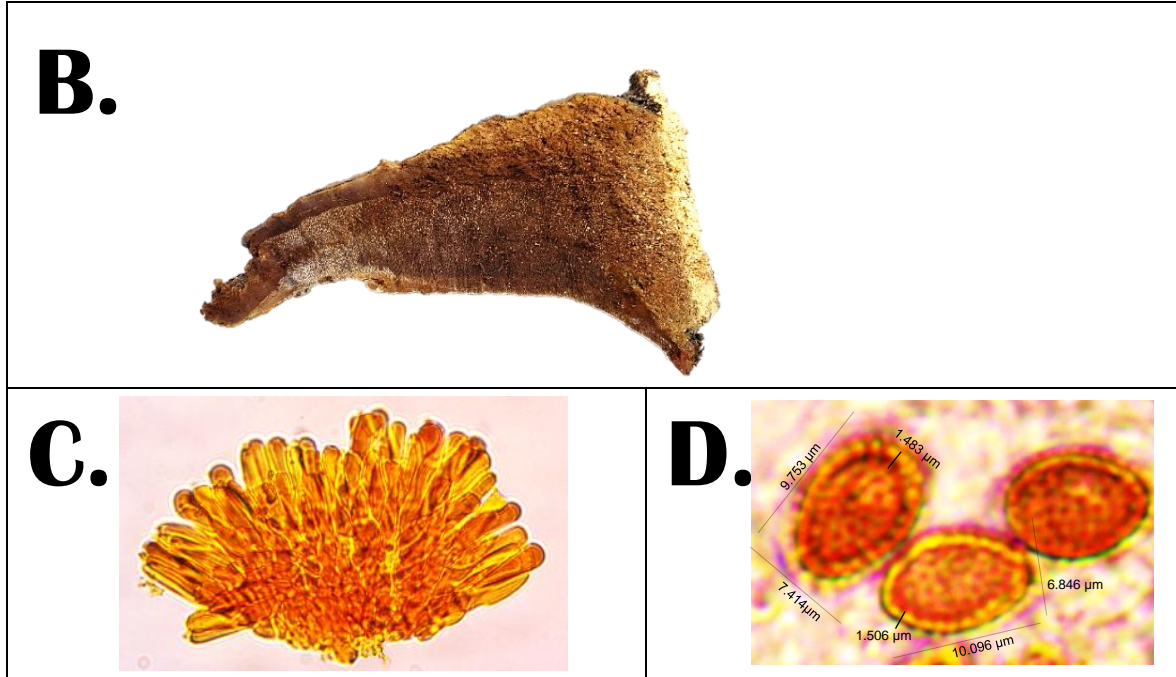
(promedio  $\approx 10.799 \mu\text{m}$ ) y  $6.10\text{--}8.4075 \mu\text{m}$  de anchura (promedio  $\approx 7.624 \mu\text{m}$ ). Los valores de Q oscilan entre  $1.3135\text{--}1.5677$  (promedio  $\approx 1.421$ ).

#### Grupo 3 - *Ganoderma applanatum*

*Figura 8. Caracteres macro- y micromorfológicos de Ganoderma applanatum (Grupo 3). (A) Basidioma perenne, sésil y aplanado, con hábito de repisa, superficie pileal mate, no lacada, de color pardo grisáceo a pardo claro, con fisuras radiales y aspecto costroso característico; (B) Vista lateral del carpóforo mostrando perfil aplanado y contexto homogéneo, corchoso-fibroso, de color pardo castaño, sin presencia de bandas resinosas basales; (C) Detalle microscópico de la pileipellis formada por una palisada de elementos terminales cilíndricos a claviformes, de paredes engrosadas y pigmentación pardo-anaranjada; (D) Basidiosporas ganodermoides, elipsoides, de pared doble, pardo amarillentas, relativamente cortas y compactas, consistentes con el complejo G. applanatum-australe.*



## Informe final de Proyecto de Investigación



Basidiomas perennes, sésil-aplanados, con hábito de repisa y contornos redondeados a reniformes, mostrando una superficie superior mate, no lacada, de color pardo claro a pardo grisáceo, frecuentemente con fisuras radiales, cuarteaduras y aspecto costroso. Las dimensiones registradas en el material indican 13.7–34.8 cm de ancho máximo, 8.9–20.6 cm de proyección desde el hospedante y 3.8–3.9 cm de espesor del carpóforo. El contexto es corchoso-fibroso, pardo castaño homogéneo, sin bandas resinosas basales.

La pileipellis está constituida por una palisada de elementos terminales cilíndricos a claviformes, de paredes engrosadas y pigmentación naranja-pardo. Resina superficial está completamente perdida. Las longitudes de los elementos terminales se encuentran entre 10.22 y 15.15 μm.

El sistema hifal es trimitico. Las hifas generativas son hialinas, con fíbulas, y diámetros de 1.63–1.72 μm. Las hifas esqueléticas presentan diámetros de 4.38–6.6 μm. Hifas ligantes son finas, abundantes y ramificadas.

Las basidiosporas son de pared doble con espesor 1.45–1.52 μm, de color pardo amarillentas, de forma elipsoide, con longitudes de 8.76–11.2975 μm (promedio  $\approx$  9.90 μm) y anchuras

### Informe final de Proyecto de Investigación

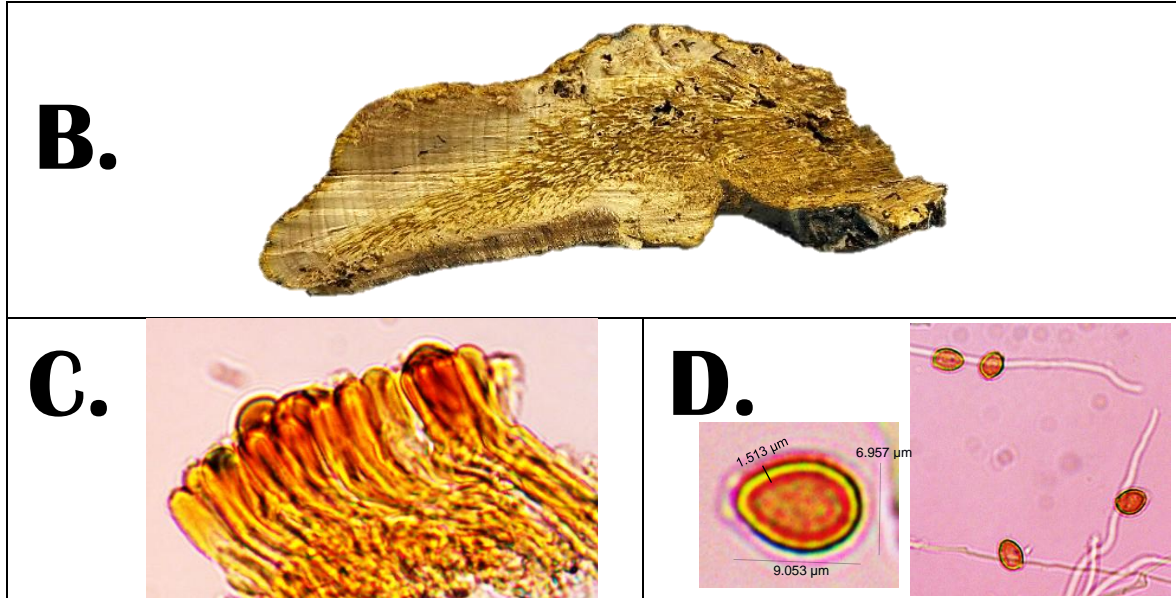
de 6.2625–8.12  $\mu\text{m}$  (promedio  $\approx 7.06 \mu\text{m}$ ). Los valores de Q oscilan entre 1.39 y 1.42, lo que indica esporas compactas.

#### Grupo 4 - *Ganoderma weberianum*

*Figura 9. Caracteres macro- y micromorfológicos de Ganoderma weberianum (Grupo 4). (A) Basidioma perenne, semicircular a irregular, con superficie pileal intensamente lacada, de tonalidades pardo oscuro a negro-azuladas, con bandas concéntricas de crecimiento bien definidas, rasgo diagnóstico del linaje weberianum; (B) Vista lateral del carpóforo mostrando un contexto amarillo-ocre a pardo claro, de textura corchoso-fibrosa, con zonación interna tenue y ausencia de bandas resinosas basales; (C) Detalle microscópico de la pileipellis constituida por una palisada de elementos terminales cilíndricos a estrechamente claviformes, de paredes engrosadas y pigmentación pardo-anaranjada; (D) Basidiosporas ganodermoides, elipsoides, de pared doble, pardo amarillentas, de tamaño relativamente pequeño y compacto, consistentes con las descripciones morfológicas de G. weberianum en regiones neotropicales.*



## Informe final de Proyecto de Investigación



Basidiomas perennes, con sombreros semicirculares de contorno irregular, provistos de un estípote corto con parámetros entre 2.3–3.4 cm y una superficie pileal lacada, de tonalidades pardo oscuro a negro-azulado, con bandas de crecimiento concéntricas bien definidas. Se registró un rango dimensional amplio, con 4.6–16.3 cm de ancho, 1.43–10.2 cm de proyección desde el hospedero y 2.45–2.65 cm de espesor del carpóforo. En corte longitudinal, el contexto es amarillo-ocre a pardo claro, con una textura corchoso-fibrosa y zonación interna tenue constituida por estrías paralelas de compactación, sin evidencia de bandas resinosas oscuras.

Cutícula con elementos terminales cilíndricos a estrechamente claviformes, pigmentación naranja-parda, con longitudes que varían entre 31.46 y 49.42 μm, lo cual representa una capa gruesa y continua. El sistema hifal es trimitico: las hifas generativas, hialinas, presentan diámetros de 2.12–7.04 μm; las hifas esqueléticas, amarillentas a pardas con parámetros que miden 4.61–6.41 μm; mientras que las hifas ligantes son finas, muy ramificadas y abundantes en el contexto.

Las basidiosporas son de pared doble con espesor 1.44–1.59 μm, pardo amarillentas, elipsoides, y miden 8.95–9.445 × 6.0875–7.3467 μm, con valores de Q entre 1.26 y 1.47.



## Informe final de Proyecto de Investigación

Tabla 2. Lineamientos técnicos para la contención y manejo preventivo de *Ganoderma* spp. en el arbolado urbano.

Componente de manejo	Práctica técnica recomendada	Justificación técnica	Referencia
Prevención fitosanitaria	Evitar heridas mecánicas en troncos y raíces durante podas, excavaciones y obras urbanas	<i>Ganoderma</i> spp. ingresa principalmente a través de heridas en raíces y base del tronco	Schwarze et al., 2000; Downer, 2006
Manejo de podas	Realizas podas técnicas adecuadas respetando el collar de la rama y evitando cortes excesivos	Podas inadecuadas debilitan estructuralmente al árbol y facilitan infecciones fúngicas	Gilman, 2011; Smiley et al., 2017
Eliminación de focos de inóculo	Retiro oportuno de árboles muertos o con carpóforos activos	Los carpóforos continúan liberando basidiosporas incrementan la dispersión del patógeno	Schwarze, 2008; Torres-Torres et al., 2015
Manejo de residuos vegetales	No reutilizar madera, tocones o restos de árboles infectados como acolchado o relleno	El hongo puede sobrevivir saprofiticamente y mantener el inóculo en el sitio	Flood et al., 2022
Higiene de herramientas	Desinfección de herramientas entre árboles durante podas y tala	Reduce la dispersión pasiva de patógenos entre sitios	Smiley et al., 2017
Manejo del suelo	Reducir compactación del suelo, mejorar drenaje y aireación radicular	Árboles estresados por compactación son más susceptibles a infecciones por <i>Ganoderma</i> .	Coder, 2015; Downer, 2006



### Informe final de Proyecto de Investigación

Monitoreo y diagnóstico	Inspección periódica del arbolado susceptible y registro georreferenciado	Permite detección temprana y priorización de árboles con riesgo estructural	ISA, 2019
Evaluación de riesgo	Evaluar estabilidad estructural de árboles infectados	La pudrición basal incrementa el riesgo de volcamiento y caída	Smiley et al., 2017
Planificación urbana	Selección de especies menos susceptibles y diversificación del arbolado	Reduce la propagación de patógenos especializados y pérdidas masivas	Gilman et al., 2018
Capacitación institucional	Capacitación a personal municipal en identificación de síntomas y signos	Mejora la respuesta temprana y la toma de decisiones	ISA, 2019
Participación ciudadana	Implementación de mecanismos de reporte ciudadano y divulgación	Facilita la detección temprana y promueve corresponsabilidad social	FAO, 2016

## Discusión de resultados

### Mapa de calor de la distribución espacial de *Ganoderma* spp.

La distribución espacial de *Ganoderma* spp. observada en el mapa de calor para los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva evidencia un patrón no aleatorio, asociado principalmente a zonas urbanas con alta intervención antrópica. Estudios previos han documentado que especies del género *Ganoderma* actúan como patógenos oportunistas, cuya incidencia se incrementa en árboles sometidos a estrés fisiológico, compactación del suelo, y alteraciones en el sistema radicular (Pilotti, 2005; Schwarze et al., 2000).

Las áreas con mayor densidad de casos coinciden con sectores caracterizados por alta impermeabilización del suelo, tránsito vehicular intenso y manejo inadecuado del arbolado urbano, condiciones que favorecen la infección y colonización por hongos causantes de pudrición basal y estructural (Stenlid et al., 2011). *Ganoderma* spp. ha sido ampliamente



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

reportado como agente causal de fallas estructurales en árboles urbanos, incrementando el riesgo de volcamiento, especialmente durante eventos climáticos extremos (Luley et al., 2009).

La mayor concentración de focos en el municipio de Guatemala puede estar relacionada con la longevidad del arbolado urbano, la presencia de especies susceptibles y el uso intensivo del espacio urbano, factores que han sido señalados como determinantes clave en la epidemiología de enfermedades forestales urbanas (Tubby & Webber, 2010). En contraste, la distribución más dispersa registrada en Mixco y Villa Nueva sugiere diferencias en la estructura urbana, densidad arbórea y prácticas de manejo municipal.

Adicionalmente, la coexistencia de *Ganoderma* spp. con plantas parásitas como el muérdago en ciertos sectores podría intensificar el deterioro fisiológico de los hospedantes, generando sinergias negativas que aceleran los procesos de declive del arbolado, como ha sido señalado en estudios sobre estrés múltiple en ecosistemas urbanos (Manion, 1991; Rigling & Prospero, 2018).

En conjunto, los resultados confirman que la presencia y dispersión de *Ganoderma* spp. en el arbolado urbano está estrechamente vinculada a factores ambientales y de manejo, resaltando la necesidad de estrategias preventivas, monitoreo sistemático y planes de arboricultura urbana basados en evidencia científica, especialmente en zonas identificadas como críticas mediante análisis espaciales.

### **Prevalencia de *Ganoderma* spp. en árboles urbanos con y sin infestación por muérdago.**

La coexistencia de *Ganoderma* spp. y muérdago en el 17 % de los árboles evaluados sugiere una posible sinergia indirecta asociada al debilitamiento estructural y fisiológico del hospedero, más que una relación causal directa entre ambos organismos. El muérdago, al ser una planta hemiparásita, reduce la disponibilidad de agua y nutrientes, lo que puede acelerar el deterioro del árbol y favorecer la colonización y expresión patogénica de *Ganoderma* spp., especialmente en sistemas radicales y bases del tronco.



### **Informe final de Proyecto de Investigación**

Sin embargo, la mayor proporción de árboles con *Ganoderma* spp. sin muérdago (83 %) evidencia que el hongo actúa como un patógeno primario del arbolado urbano, asociado a factores como compactación del suelo, heridas mecánicas, estrés hídrico y manejo inadecuado del arbolado, independientemente de la presencia de plantas parásitas. Resultados similares han sido reportados en estudios de patología forestal urbana, donde *Ganoderma* spp. se asocia principalmente a condiciones de estrés antrópico y degradación del sitio.

Estos hallazgos resaltan la necesidad de abordar el manejo del arbolado urbano de forma integral, considerando tanto el control del muérdago como la prevención de factores que favorecen la infección por *Ganoderma* spp., especialmente en árboles de alto valor paisajístico y riesgo potencial en zonas urbanas.

#### **Distribución porcentual de especies arbóreas afectadas por *Ganoderma* spp**

La alta prevalencia de *Ganoderma* spp. observada en Casuarina sp. y Jacaranda mimosifolia concuerda con lo reportado en estudios realizados en arbolado urbano de regiones tropicales y subtropicales, donde estas especies han sido identificadas como hospedantes frecuentes de hongos del género *Ganoderma*, asociados principalmente a pudrición basal y degradación estructural del sistema radicular (Adaskaveg & Gilbertson, 1986; Flood et al., 2000).

En particular, la susceptibilidad de Jacaranda mimosifolia ha sido relacionada con prácticas de poda inadecuadas, compactación del suelo y estrés urbano, factores que facilitan la colonización del patógeno (Sinclair & Lyon, 2005). De forma similar, la presencia de *Ganoderma* spp. en Casuarina spp. ha sido ampliamente documentada en ambientes urbanos y forestales, debido a la longevidad de los árboles y la acumulación progresiva de infecciones en la base del tronco (Pilotti et al., 2014). La detección de *Ganoderma* spp. en especies como Eucalyptus spp., Samanea saman y Swietenia macrophylla coincide con reportes previos que indican un amplio rango de hospedantes para este género, lo cual refuerza su carácter de patógeno generalista con alto impacto en la estabilidad mecánica del arbolado urbano (Moncalvo & Ryvardeen, 1997; Schwarze et al., 2000). Estos resultados evidencian la necesidad de implementar programas de monitoreo fitosanitario diferenciados por especie,



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

priorizando aquellas con mayor prevalencia, a fin de reducir el riesgo de caída de árboles y pérdidas de servicios ecosistémicos en zonas urbanas.

### **Prevalencia de *Ganoderma* spp. en el arbolado urbano de los municipios evaluados**

La mayor prevalencia de *Ganoderma* spp. registrada en el municipio de Guatemala puede atribuirse a la alta densidad del arbolado urbano, la longevidad de muchas especies ornamentales y el mayor nivel de estrés ambiental asociado a la urbanización intensiva, tales como compactación del suelo, contaminación y podas recurrentes. Diversos estudios han señalado que estos factores predisponen a los árboles urbanos a infecciones por hongos de pudrición basal y del tronco, particularmente especies del género *Ganoderma* (Schwarze et al., 2000; Sinclair & Lyon, 2005).

En contraste, los municipios de Mixco y Villa Nueva presentaron menores porcentajes de daño, lo cual podría relacionarse con diferencias en la estructura del arbolado, manejo municipal, edad promedio de los árboles y características edáficas locales. Investigaciones previas han demostrado que la incidencia de *Ganoderma* spp. suele incrementarse en zonas urbanas consolidadas, donde los árboles han estado expuestos por largos periodos a heridas mecánicas y condiciones de estrés crónico (Adaskaveg & Gilbertson, 1986; Moncalvo & Ryvarden, 1997). La distribución observada concuerda con reportes internacionales que indican que la incidencia de *Ganoderma* spp. no es uniforme dentro de una misma región urbana, sino que responde a gradientes de manejo, edad del arbolado y presión antrópica (Pilotti et al., 2014). Estos resultados refuerzan la necesidad de priorizar acciones de monitoreo, diagnóstico y manejo fitosanitario en el municipio de Guatemala, donde el riesgo de fallas estructurales y caída de árboles es potencialmente mayor.

### **Municipios**

En el municipio de Guatemala, la alta concentración de reportes se distribuyó principalmente en zonas centrales y de alta circulación vehicular, donde se observó una mayor frecuencia de árboles maduros sometidos a compactación del suelo, sellado superficial y podas recurrentes. Estos factores han sido ampliamente documentados como predisponentes para la colonización de hongos de pudrición basal y estructural, particularmente del género



### **Informe final de Proyecto de Investigación**

*Ganoderma* (Schwarze et al., 2000; Sinclair & Lyon, 2005). La presencia de focos intensos en zonas específicas confirma un patrón de distribución agregada, típico de patógenos asociados a estrés urbano crónico (Schwarze, 2008).

En Mixco, aunque la proporción total de reportes fue menor, se identificaron zonas con alta prevalencia relativa, destacando la zona 8 (44%), seguida de las zonas 6 (22%) y 4 (17%). Este comportamiento sugiere que, aun en municipios con menor densidad arbórea, *Ganoderma* spp. puede establecerse de forma focalizada en áreas donde confluyen árboles susceptibles, suelos compactados y deficiencias en el manejo del arbolado. Estudios previos han señalado que la incidencia localizada de *Ganoderma* está asociada a microambientes urbanos específicos, más que a una distribución homogénea a escala municipal (Pilotti et al., 2014).

Por su parte, Villa Nueva presentó el menor número absoluto de reportes; sin embargo, la distribución porcentual por zonas evidenció concentraciones relevantes en las zonas 6 y 4, ambas con un 38% de prevalencia. Este patrón indica que, pese a contar con menor cobertura arbórea urbana, la presencia de árboles maduros y la limitada gestión fitosanitaria favorecen el desarrollo del patógeno en sectores puntuales. La literatura coincide en que *Ganoderma* spp. actúa como patógeno oportunista, cuya severidad se incrementa cuando los árboles hospedantes presentan heridas, estrés fisiológico o deterioro del sistema radicular (Adaskaveg & Gilbertson, 1986; Schwarze, 2008).

En conjunto, los resultados confirman que la incidencia de *Ganoderma* spp. en el arbolado urbano de los tres municipios responde a una interacción compleja entre factores biológicos, ambientales y de manejo urbano. La mayor afectación en el municipio de Guatemala puede atribuirse a la longevidad del arbolado y a una mayor presión urbana, mientras que en Mixco y Villa Nueva la enfermedad se manifiesta de forma más localizada pero potencialmente riesgosa. Estos hallazgos resaltan la necesidad de implementar estrategias diferenciadas de monitoreo, evaluación de riesgo y manejo preventivo del arbolado urbano, adaptadas a las condiciones particulares de cada municipio, con el fin de reducir la pérdida de cobertura arbórea y los riesgos asociados a fallas estructurales de los árboles.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Especies de *Ganoderma*

Para cada grupo determinado se presenta la descripción gráfica compuesta por fotografías y micrografías y sus dimensiones elaboradas en el Centro de Diagnóstico Parasitológico de los especímenes colectados en los arbolados de los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva. Durante el estudio se analizaron macroscópicamente y microscópicamente un conjunto de basidiomas pertenecientes al género *Ganoderma*, recolectados en árboles urbanos y periurbanos de los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva. Los ejemplares fueron evaluados mediante criterios estandarizados de morfología, arquitectura del contexto, grosor y estructura de la cutícula, características del sistema hifal y morfometría esporal, siguiendo los lineamientos propuestos para la delimitación tradicional del género en regiones tropicales y neotropicales (Torres-Torres & Guzmán-Dávalos, 2012; Torres-Torres et al., 2013; Cabarroi-Hernández et al., 2019).

El análisis comparado de estos caracteres permitió reconocer cuatro entidades morfológicas diferenciables, cada una con patrones diagnósticos consistentes. Estas diferencias abarcan variaciones en la textura del pileo, presencia o ausencia de lacado, tipo de zonación en el contexto, espesor cuticular, calibre relativo de hifas esqueléticas y generativas, y dimensiones de las basidiosporas. Dichos rasgos, tradicionalmente empleados para la separación de especies dentro de *Ganoderma*, mantienen relevancia taxonómica incluso en la era molecular, particularmente en contextos donde el material proviene de muestreos urbanos o de árboles de gran porte, en los cuales la obtención de ADN de buena calidad puede resultar limitada (Moncalvo, 2000; Niemelä & Miettinen, 2008; Luangharn et al., 2021).

### Grupo 1 - *Ganoderma subincrustatum*

La asignación del Grupo 1 a *Ganoderma subincrustatum* Murrill se sustenta en una combinación de caracteres morfo anatómicos que coinciden estrictamente con las descripciones neotropicales recientes del complejo *subincrustatum*, ampliamente documentado en México, Brasil y el Caribe. El rasgo diagnóstico más consistente es la presencia de bandas resinosas basales oscuras, que se proyectan de manera discontinua hacia el contexto y generan una zonación interna perceptible en cortes longitudinales. Este patrón,



### Informe final de Proyecto de Investigación

descrito como distintivo de *G. subincrustatum* y ausente en especies del linaje *resinaceum-weberianum*, constituye uno de los caracteres más informativos para separar taxones dentro de *Ganoderma laccado* (Torres-Torres & Guzmán-Dávalos, 2012; Torres-Torres et al., 2015).

Los basidiomas del Grupo 1 presentan además una cutícula excepcionalmente gruesa, cuyos elementos terminales claviformes alcanzan longitudes de 15.8–59.3  $\mu\text{m}$ , ubicándose en el rango superior reportado para la especie en la revisión morfológica de México y Centroamérica (Torres-Torres et al., 2015). La forma claviforme, el engrosamiento apical y la ligera irregularidad en la superficie de los elementos terminales representan una coincidencia notable con las ilustraciones clásicas del complejo *subincrustatum*, donde la pileipellis es una palisada compacta de células fuertemente pigmentadas con ornamentación discreta en el ápice (Torres-Torres & Guzmán-Dávalos, 2012).

La morfometría esporal respalda sólidamente esta identificación. Las esporas del Grupo 1 (9.4–12.5  $\times$  6.7–8.5  $\mu\text{m}$ ;  $Q \approx 1.39$ ) se alinean con los valores reportados para *G. subincrustatum*, que posee esporas relativamente grandes dentro del conjunto de especies lacadas en el Neotrópico (López-Peña et al., 2019). El espesor de la doble pared (1.22–1.56  $\mu\text{m}$ ) es consistente con el tipo ganodermóide descrito para esta especie, y contrasta con las esporas más compactas y ligeramente más pequeñas de *G. resinaceum* y *G. weberianum* (Cabarroí-Hernández et al., 2019).

El sistema hifal del grupo con hifas esqueléticas de 2.2–7.3  $\mu\text{m}$  de diámetro, e hifas ligantes profusamente ramificadas coincide con el patrón robusto típico de *G. subincrustatum*, considerado uno de los taxones con mayor desarrollo de hifas estructurales dentro de los *Ganoderma lacados* (Torres-Torres et al., 2015). Esta arquitectura, junto con el grosor de la cutícula, explica la textura fibroso-corchosa de los basidiomas y su notable resistencia mecánica.

En cuanto a la ecología, *G. subincrustatum* es una de las especies lacadas más frecuentes en árboles urbanos y forestales en el Neotrópico, especialmente en hospederos debilitados por estrés hídrico, heridas o compactación del suelo (Torres-Torres et al., 2015).



## Informe final de Proyecto de Investigación

### Grupo 2 - *Ganoderma resinaceum*

La asignación del Grupo 2 a *Ganoderma resinaceum* Boud. se fundamenta en la presencia de un conjunto consistente de caracteres morfológicos que coinciden cuidadosamente con la circunscripción de esta especie en estudios neotropicales y holárticos. El rasgo macroscópico más distintivo es la superficie pileal lacada de tonalidades ámbar-anaranjadas a pardo miel, con brillo vítreo uniforme y un margen blanco notablemente engrosado. Este patrón cromático y la ausencia de tonalidades vinosas o negro-azuladas separan con claridad al Grupo 2 tanto de *G. subincrustatum* (cuyos pileos son castaño-vinosos con resinificación interna marcada) como de *G. weberianum* (caracterizado por pileos muy oscuros a negro-azulados) (Torres-Torres & Guzmán-Dávalos, 2012; Torres-Torres et al., 2013).

A diferencia del Grupo 1, el contexto del Grupo 2 es homogéneo, fibroso-esponjoso y marcadamente oscuro, sin presencia de bandas resinosas basales. La homogeneidad interna del contexto es uno de los caracteres más estables de *G. resinaceum*, y representa un punto de separación clave respecto a las especies del complejo *subincrustatum*, donde la resinificación basal es un rasgo diagnóstico inequívoco (Torres-Torres et al., 2015). La ausencia completa de bandas oscuras en el material estudiado refuerza esta distinción.

La cutícula, constituida por una palisada de elementos terminales claviformes a subcilíndricos, con paredes engrosadas y pigmentación naranja-parda, muestra un espesor intermedio (14.5–43.9  $\mu\text{m}$ ) dentro del rango de especies lacadas. Este espesor moderado y la regularidad de los elementos diferencian al Grupo 2 de *G. subincrustatum*, cuya cutícula es típicamente más gruesa y con elementos terminales más inflados, y también de *G. weberianum*, donde los elementos cuticulares son más estrechos, cilíndricos y fuertemente pigmentados (Cabarroí-Hernández et al., 2019).

Los caracteres micromorfológicos del sistema hifal concuerdan igualmente con *G. resinaceum*. Las hifas generativas, hialinas y con fíbulas, se encuentran dentro del rango de 1.69–4.25  $\mu\text{m}$ , mientras que las hifas esqueléticas, de paredes gruesas y tonalidades amarillo-pardas, presentan diámetros de 3.19–7.09  $\mu\text{m}$ . Este calibre esquelético coincide con los valores descritos para *G. resinaceum* en revisiones morfológicas y filogenéticas recientes,



### **Informe final de Proyecto de Investigación**

donde se destaca su arquitectura compacta, pero sin la robustez extrema del complejo *subincrustatum* (Torres-Torres et al., 2012; Cabarroi-Hernández et al., 2019).

La morfometría esporal del Grupo 2 ( $9.22\text{--}12.31 \times 6.10\text{--}8.40 \mu\text{m}$ ;  $Q \approx 1.42$ ) se superpone plenamente con los rangos reportados para *G. resinaceum* en el Neotrópico. Las esporas son elipsoides a suboblongas, con doble pared bien definida y color pardo amarillento; su tamaño es consistentemente menor que el observado en *G. subincrustatum* y ligeramente mayor que el registrado para *G. weberianum*, lo cual coincide con el gradiente esporal descrito para el linaje *weberianum*–*resinaceum* (Cabarroi-Hernández et al., 2019).

Desde una perspectiva ecológica, *G. resinaceum* es una especie frecuente en ambientes urbanos y periurbanos, donde coloniza árboles vivos debilitados, tocones y madera muerta, con especial afinidad por sustratos sometidos a altos niveles de humedad o estrés fisiológico. Su presencia en el arbolado urbano de Guatemala coincide con lo documentado para la especie en México, Brasil, Europa y Norteamérica, donde se ha reportado como un agente de pudrición blanca en especies leñosas tanto nativas como introducidas (Torres-Torres et al., 2013; Cabarroi-Hernández et al., 2019).

### **Grupo 3 - *Ganoderma applanatum***

La identidad del Grupo 3 se corresponde morfológicamente con el complejo *Ganoderma applanatum*–*australe*, tal como se ha definido en estudios morfológicos y filogenéticos a escala global. La superficie pileal mate, no lacada, de tonalidades pardo-grisáceas, con frecuentes fisuras radiales y cuarteamiento, constituye uno de los rasgos distintivos de este complejo, y separa inequívocamente al Grupo 3 de todas las especies lacadas identificadas en los otros grupos de este estudio. El aspecto corchoso, opaco y costrado del pileo, ampliamente reportado para *G. applanatum* sensu lato, coincide plenamente con los caracteres observados en el material guatemalteco (Moncalvo, 2000; Niemelä & Miettinen, 2008).

La textura del contexto, homogénea, fibrosa y de color pardo-ocre, sin evidencia de resinificación oscura, refuerza esta asignación. En cortes longitudinales no se observaron bandas resinosas ni pigmentaciones internas definidas, sino un tejido uniformemente



## Informe final de Proyecto de Investigación

corchoso, patrón consistente con la descripción clásica del complejo *applanatum–australe*, donde el contexto se caracteriza por ser “maderoso a corchoso, café mate, sin depósitos resinosos” (Niemelä & Miettinen, 2008). Este carácter es crítico para distinguirlo de especies lacadas del linaje *subincrustatum–resinaceum*, las cuales presentan resinificación basal o contextos pigmentados.

La morfometría esporal aporta una línea adicional de evidencia. Las basidiosporas del Grupo 3 ( $8.76\text{--}11.30 \times 6.26\text{--}8.12 \mu\text{m}$ ; Q 1.36–1.42) coinciden de manera estrecha con los rangos reportados para *G. applanatum* sensu lato, cuyas esporas suelen ser más cortas y compactas que las de las especies lacadas tropicales (Kaliyaperumal et al., 2008; Luangharn et al., 2021).

Las especies del complejo *applanatum–australe* son saprobias comunes en madera muerta o debilitada, presentes en parques urbanos, bosques secundarios y ambientes perturbados, ocupando nichos similares a los observados en el material estudiado. Su aparición en árboles urbanos de Guatemala es congruente con lo documentado en regiones tropicales donde estos taxones se comportan como descomponedores tardíos o agentes de pudrición blanca avanzada (Luangharn et al., 2021).

### Grupo 4 - *Ganoderma weberianum*

La combinación de caracteres macroscópicos, micromorfológicos y contextuales del Grupo 4 se ajusta de manera precisa al concepto taxonómico de *Ganoderma weberianum* (Bres. & Henn. ex Sacc.) Steyaert, uno de los miembros más distintivos y ampliamente distribuidos del linaje *weberianum–resinaceum* en la región neotropical. El rasgo macroscópico más notable es la superficie pileal lacada de tonalidades muy oscuras, que varían de pardo-negrusco a azul-pizarra, con presencia de bandas concéntricas bien marcadas, característica recurrentemente citada como diagnóstica de *G. weberianum* (Torres-Torres & Guzmán-Dávalos, 2012; Torres-Torres et al., 2013). Este patrón cromático contrasta de manera inequívoca con las tonalidades ámbar-anaranjadas de *G. resinaceum* y con los matices vinosos o rojizos de *G. subincrustatum*, separando netamente al Grupo 4 de los otros taxones lacados registrados en este estudio.



### Informe final de Proyecto de Investigación

El contexto interno representa otro elemento clave de la identificación. En el Grupo 4 es amarillo-ocre, homogéneo a débilmente zonado, con estrías de compactación fibrosa visibles en cortes longitudinales, pero sin evidencia de bandas resinosas oscuras. Este patrón coincide de manera exacta con las descripciones de *G. weberianum* en estudios morfológicos de Brasil y Mesoamérica, donde se enfatiza que la especie presenta zonación fibrosa tenue, pero carece completamente de resinificación interna, rasgo útil para diferenciarla del complejo *subincrustatum* (Torres-Torres & Guzmán-Dávalos, 2012; Torres-Torres et al., 2013).

La cutícula gruesa, compuesta por elementos terminales cilíndricos a estrechamente claviformes, pigmentados y de longitudes entre 31.46–49.42  $\mu\text{m}$ , refuerza esta interpretación. En el análisis comparativo del linaje *weberianum*–*resinaceum*, Cabarroi-Hernández et al. (2019) demostraron que *G. weberianum* exhibe una pileipellis bien desarrollada, con elementos terminales más estrechos y elongados que los de *G. subincrustatum*, pero más robustos que los observados en *G. resinaceum*. El patrón observado en el Grupo 4 coincide exactamente con esta caracterización intermedia.

La morfometría esporal constituye una evidencia adicional particularmente importante. Las basidiosporas del Grupo 4, con dimensiones 8.76–11.30  $\times$  6.26–8.12  $\mu\text{m}$ , relación  $Q \approx 1.40$  y doble pared de 1.44–1.59  $\mu\text{m}$ , se ubican exactamente en el rango reportado para *G. weberianum*, cuyas esporas suelen ser ligeramente más pequeñas y compactas que las de *G. subincrustatum*, pero algo más elongadas que las de *G. resinaceum* (Cabarroi-Hernández et al., 2019).

La ecología observada coincide con lo reportado para *G. weberianum*. Este taxón es ampliamente distribuido en regiones tropicales húmedas, donde coloniza madera muerta, tocones, y árboles vivos debilitados. Su presencia en árboles urbanos de Guatemala concuerda plenamente con los registros de la especie en México, Brasil, Panamá y el Caribe (Torres-Torres et al., 2013), donde es considerado un agente común de pudrición blanca y descomposición avanzada.



**Informe final de Proyecto de Investigación**

**11 Beneficiarios directos e indirectos**

*Tabla 3. Beneficiarios directos e indirectos de la investigación*

<b>Resultados, productos o hallazgos</b>	<b>Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)</b>	<b>Número de beneficiarios directos</b>	<b>Beneficiarios indirectos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)</b>	<b>Número de Beneficiarios indirectos</b>
Incidencia y ubicación de árboles infectados por <i>Ganoderma</i> spp.	Municipalidades, cooperantes	3	Municipalidades de Guatemala y sus pobladores	2,320,000
Identificación de árboles y elaboración de mapa de calor sobre la distribución de <i>Ganoderma</i> spp. en la región Metropolitana	Departamento de Medio Ambiente, Parques y Áreas Verdes de las Municipalidades de Guatemala, Mixco y Villa Nueva.	72	Población urbana que habita o transita en zonas con arbolado afectado	1,200,000



### Informe final de Proyecto de Investigación

<b>Resultados, productos o hallazgos</b>	<b>Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)</b>	<b>Número de beneficiarios directos</b>	<b>Beneficiarios indirectos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)</b>	<b>Número de Beneficiarios indirectos</b>
a, Mixco y Villa Nueva				
Determinación de la especie de <i>Ganoderma</i> spp.	Facultad de Agronomía, Dirección General de Investigación.	2	Estudiantes que cursan la carrera de Ingeniero Agrónomo	1,500
Registro de especies arbóreas hospedantes y detección de árboles con presencia simultánea de muerdago y <i>Ganoderma</i> spp.	Unidades técnicas municipales encargadas del monitoreo y mantenimiento del arbolado urbano.	58	Comunidad científica (fitopatólogos, estudiantes de agronomía, biólogos).	3,800
Material divulgativo	Personal municipal capacitado,	80	Ciudadanía que recibió	10,000



**Informe final de Proyecto de Investigación**

<b>Resultados, productos o hallazgos</b>	<b>Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)</b>	<b>Número de beneficiarios directos</b>	<b>Beneficiarios indirectos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)</b>	<b>Número de Beneficiarios indirectos</b>
afiches, trifoliales, campaña en redes sociales y capacitación formal al personal municipal en auditorium - UVIGER-	alcaldías auxiliares de las zonas muestreadas.		información y puede reportar casos (vía Whatsapp y Facebook)	
Propuesta de lineamientos de manejo y contención del hongo basados en evidencia científica.	Municipalidades de los tres municipios involucrados y sus unidades técnicas	58	Sector privado (jardinería, arboricultura, viveros urbanos, residenciales, condominios y otros).	5,000
Base de datos de	Municipios, CDP-FAUSAC, DIGI y	30	Investigadores futuros,	1,200-1,500



**Informe final de Proyecto de Investigación**

<b>Resultados, productos o hallazgos</b>	<b>Beneficiarios directos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)</b>	<b>Número de beneficiarios directos</b>	<b>Beneficiarios indirectos (institución, organización, sector académico o tipo de personas)</b>	<b>Número de Beneficiarios indirectos</b>
georreferenciada para futuros estudios y para toma de decisiones municipales	Unidades de investigación.		estudiantes y tesis relacionadas con patología urbana.	



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 12 Estrategia de divulgación y difusión de los resultados.

Tabla 4. Estrategia de divulgación y difusión de los resultados

	Sí	No
Presentación TV	X	
Entrevistas radiales	X	
Podcast	X	
Entrevista DIGI	X	
Recursos audiovisuales	X	
Congresos científicos nacionales o internacionales	X	
Talleres	X	
Publicación de libro		X
Publicación de artículo científico	X	
Divulgación por redes sociales institucionales	X	
Presentación pública	X	
Presentación autoridades USAC		X
Presentación a beneficiarios directos	X	
Entrega de resultados	X	
Docencia en grado	X	



### Informe final de Proyecto de Investigación

	Sí	No
Docencia postgrado		X
Póster científico	X	
Trifoliales	X	
Conferencias	X	
Otro (describa)	Participación ciudadana	

### 13 Contribución a las Prioridades Nacionales de Desarrollo (PND)

Los resultados obtenidos en la presente investigación contribuyen de manera directa a la Prioridad Nacional de Desarrollo vinculada al Eje 4: Recursos naturales hoy y para el futuro, específicamente al área estratégica de Conservación y uso sostenible de los bosques y la biodiversidad, establecida en el Plan Nacional de Desarrollo (PND).

La investigación generó información científica y técnica inédita sobre la distribución espacial, incidencia, especies de *Ganoderma* spp. presentes y rango de hospedantes susceptibles en el arbolado urbano de los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva. Este conocimiento constituye un insumo fundamental para la gestión sostenible del arbolado urbano, el cual forma parte integral de la cobertura forestal nacional y de los sistemas verdes urbanos.

En particular, la identificación de cuatro especies de *Ganoderma* asociadas a procesos de pudrición basal y estructural permite fortalecer las capacidades institucionales para la prevención de la pérdida de cobertura arbórea, la reducción del riesgo por caída de árboles y la protección de los servicios ecosistémicos urbanos, tales como la regulación microclimática, captura de carbono, purificación del aire y conservación de la biodiversidad urbana.



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

Asimismo, la generación de mapas de calor, registros georreferenciados y lineamientos técnicos de manejo aporta herramientas concretas para la toma de decisiones basadas en evidencia, favoreciendo la planificación, restauración y sustitución de árboles bajo criterios de sostenibilidad, resiliencia y adaptación al cambio climático.

De esta manera, el proyecto contribuye de forma concreta al cumplimiento de la meta del PND orientada a conservar, restaurar y gestionar sosteniblemente los recursos forestales, promoviendo el uso responsable de la biodiversidad y fortaleciendo la gobernanza ambiental en contextos urbanos y periurbanos.

### **14 Otras contribuciones del proyecto al desarrollo**

La investigación realizada sobre el impacto de *Ganoderma* spp. en el arbolado urbano de los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva genera aportes adicionales relevantes para el desarrollo nacional, más allá del ámbito estrictamente académico, al constituirse como base técnica para el diseño de políticas públicas, programas de gestión urbana y lineamientos normativos en materia ambiental.

En primer lugar, los resultados del proyecto pueden sustentar la formulación de lineamientos técnicos municipales para el manejo fitosanitario del arbolado urbano, incluyendo criterios para la detección temprana, evaluación de riesgo, manejo preventivo, eliminación segura y sustitución de árboles afectados por pudriciones basales causadas por *Ganoderma* spp. Estos lineamientos pueden incorporarse a los reglamentos de parques, áreas verdes y ordenamiento territorial de las municipalidades involucradas.

Asimismo, la información generada permite proponer el desarrollo de un programa permanente de monitoreo fitosanitario del arbolado urbano, basado en herramientas de georreferenciación, ciencia ciudadana y análisis espacial, como parte de las estrategias de adaptación al cambio climático y reducción del riesgo urbano, contribuyendo a la seguridad pública y a la conservación de la cobertura vegetal en ciudades altamente urbanizadas.

El proyecto también aporta insumos técnicos para la actualización de políticas públicas relacionadas con la gestión integral de áreas verdes urbanas, promoviendo el uso de especies



## **Informe final de Proyecto de Investigación**

arbóreas menos susceptibles a patógenos de pudrición, fortaleciendo la resiliencia ecológica urbana y reduciendo los costos económicos asociados a la caída de árboles y la pérdida de servicios ecosistémicos.

Adicionalmente, los resultados sientan las bases para el desarrollo futuro de protocolos técnicos estandarizados, manuales de buenas prácticas y materiales de capacitación dirigidos a personal municipal, técnicos ambientales y comunidades organizadas, alineándose con la Acción 4 del Objetivo 2 de Investigación de la USAC, orientada a la generación de soluciones aplicadas para el desarrollo sostenible del país.

Si bien el proyecto no contempla el registro de patentes, sí constituye un aporte estratégico para la innovación en la gestión del arbolado urbano, al integrar investigación científica, transferencia de conocimiento y participación ciudadana como herramientas clave para el desarrollo ambiental y urbano sostenible.

### **15 Vinculación**

El proyecto mantuvo una vinculación activa con diversas instituciones municipales, académicas, comunitarias y mediáticas, lo que permitió fortalecer su alcance técnico, educativo y social. Se trabajó de manera coordinada con las unidades de Medio Ambiente y las alcaldías auxiliares de las municipalidades de Guatemala, Mixco y Villa Nueva, quienes brindaron acompañamiento en los recorridos de campo, facilitaron el acceso a parques y áreas verdes, colaboraron en la identificación de árboles afectados y participaron en sesiones de capacitación impartidas por el equipo investigador. Paralelamente, se integró a la comunidad universitaria mediante el apoyo de UVIGER, estudiantes voluntarios y pasantes, quienes contribuyeron en actividades de muestreo, registro de datos y divulgación.

A nivel ciudadano, se implementaron mecanismos de ciencia participativa a través de redes sociales para que la población reportara casos de árboles con presencia de carpóforos, lo que amplió significativamente la detección de puntos críticos. Asimismo, el Centro de Diagnóstico Parasitológico (CDP-FAUSAC) fungió como plataforma técnica para el procesamiento de muestras y análisis morfológico, con apoyo de especialistas en micología. La divulgación científica del proyecto se fortaleció mediante la participación en TV USAC



---

### **Informe final de Proyecto de Investigación**

y Radio Universidad, espacios en los que se comunicaron los avances, riesgos y recomendaciones para la gestión del arbolado urbano, contribuyendo a la sensibilización pública y a la difusión del conocimiento generado.

Los resultados finales serán entregados formalmente a las municipalidades involucradas mediante informes técnicos, presentaciones presenciales y material divulgativo, asegurando su utilidad para la toma de decisiones, la mitigación de riesgos y el desarrollo de estrategias de manejo y sustitución del arbolado urbano.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 16 Conclusiones

- Se estableció que la incidencia de *Ganoderma spp.* en el arbolado ornamental de los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva es significativa, presentando un patrón de dispersión agregado, con mayor concentración en el municipio de Guatemala, seguido de Mixco y Villa Nueva. Las áreas con mayor incidencia se asociaron a condiciones de estrés urbano como compactación del suelo, déficit hídrico y manejo inadecuado del arbolado.
- Se determinó que el rango de hospedantes susceptibles está constituido principalmente por *Jacaranda mimosifolia*, *Casuarina sp.* y *Swietenia macrophylla*, especies que presentan mayor vulnerabilidad ante la presencia del hongo, especialmente cuando existen factores predisponentes como heridas mecánicas, podas inadecuadas y debilitamiento fisiológico.
- Se determinó la presencia de cuatro especies de *Ganoderma*: *G. subincrustatum*, *G. resinaceum*, *G. applanatum* y *G. weberianum*, identificadas mediante características morfológicas y anatómicas, evidenciando la diversidad del género en el arbolado urbano evaluado.
- Se generó información técnica para la contención y control de la problemática, incluyendo la elaboración de mapas de distribución y mapas de calor, así como criterios técnicos para la identificación, monitoreo y manejo de árboles afectados por *Ganoderma spp.* Asimismo, se evidenció que *Ganoderma* actúa mayoritariamente como agente primario, ya que el 83 % de los árboles evaluados presentaron infección sin asociación con muérdago.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 17 Recomendaciones

- Profundizar en estudios moleculares. Se recomienda realizar análisis genéticos (ITS, TEF1, LSU) para confirmar con precisión las especies de *Ganoderma* presentes en el arbolado urbano, especialmente en casos donde la morfología no permite diferenciación clara. Esto permitirá generar un mapa filogenético del patógeno en la región metropolitana.
- Implementar un monitoreo anual sistematizado del arbolado urbano. Es necesario que las municipalidades establezcan un programa permanente de monitoreo que incluya inspecciones trimestrales, evaluación de vigor, registro de síntomas iniciales y georreferenciación de nuevos casos, garantizando la detección temprana.
- Realizar estudios de dinámica de dispersión. Se recomienda profundizar en investigaciones sobre el comportamiento de las esporas de *Ganoderma*, su rango de dispersión y el papel de factores ambientales (viento, humedad, tipo de suelo) en la severidad del daño, aspectos que van más allá del alcance del presente estudio.
- Evaluar la interacción *Ganoderma* –Muérdago u otros estresores urbanos. Muchos árboles presentaron infestación simultánea de muérdago (*Struthanthus sp.*) y *Ganoderma* spp. Se sugiere investigar si existe sinergia entre estas amenazas que aceleren la mortalidad del árbol, lo cual permitiría mejorar las estrategias de manejo integral.
- Desarrollar protocolos municipales de manejo y sustitución de árboles. Se recomienda que los municipios elaboren lineamientos actualizados para: retiro seguro de árboles infectados, selección de especies resistentes, disposición adecuada de residuos infectados (para evitar dispersión), restauración del arbolado urbano con enfoque de resiliencia climática.
- Implementar campañas permanentes de ciencia ciudadana. Dado el éxito de los reportes ciudadanos durante este proyecto, se recomienda formalizar una plataforma



### **Informe final de Proyecto de Investigación**

municipal para notificación de árboles enfermos, integrando aplicaciones móviles, QR y redes sociales.

- Evaluar el impacto socioeconómico del daño en el arbolado urbano. La pérdida de árboles afecta la calidad del aire, la seguridad pública y el valor inmobiliario. Un estudio específico sobre estos impactos permitiría cuantificar el costo real de la epidemia de *Ganoderma* en las ciudades afectadas.
- Investigar la eficacia de agentes de control biológico. Aunque *Trichoderma* spp. muestra potencial en estudios internacionales, se requieren ensayos locales para evaluar su efectividad sobre las especies de *Ganoderma* presentes en Guatemala.
- Fortalecer la regulación sobre el uso y disposición de carpóforos comerciales (Reishi). Se recomienda trabajar con autoridades sanitarias y agrícolas para establecer lineamientos sobre el manejo de residuos de hongos medicinales, pues pueden contribuir a la dispersión del patógeno en áreas urbanas.



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 18 Referencias

- Adams, D. H., Frankel, S. J., & Lichter, J. M. (1993). Considerations when using ethephon for suppressing dwarf and leafy mistletoe infestations in ornamental landscapes. *Journal of Arboriculture*, 19(4), 351–357.
- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology* (5th ed.). Department of Plant Pathology, University of Florida.
- Albertazzi L., H. (2017). *Pudriciones basales del estípite en palma aceitera*. Gremial de Palmicultores de Guatemala (GREPALMA). <https://www.grepalma.org/wp-content/uploads/2018/09/D1-C4-Pudriciones-Basales-del-Estipite-en-Palma-Aceitera.pdf>
- Barrios de Rodas, R., Quezada Aguilar, M. L., López Mayorga, R. F., & Fuentes Velásquez, A. J. (2007). *Fortalecimiento en el conocimiento taxonómico de macrohongos tropicales de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (DIGI). <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2007-011.pdf>
- Bharudin, I., Ab Wahab, A. F., Abd Samad, M. A., Xin Yie, N., Zairun, M. A., Abu Bakar, F. D., & Abdul Murad, A. M. (2022). Review update on the life cycle, plant–microbe interaction, genomics, detection and control strategies of the oil palm pathogen *Ganoderma boninense*. *Biology*, 11(2), 251. <https://www.mdpi.com/2079-7737/11/2/251>
- Bolaños, A. C., Ramos Bononi, V. L., de Mello Guliotta, A., & Muñoz, J. E. (1948). New records of *Ganoderma multiplicatum* (Mont.) Pat. (Polyporales, Basidiomycota) from Colombia and its geographic distribution in South America. *Check List: The Journal of Biodiversity Data*, 12(4). <https://doi.org/10.15560/12.4.1948>



### Informe final de Proyecto de Investigación

- Cabarroi-Hernández, M., Villalobos-Arámbula, A. R., Torres-Torres, M. G., Decock, C., & Guzmán-Dávalos, L. (2019). The *Ganoderma weberianum*–*resinaceum* lineage: Multilocus phylogeny and morphology confirm *G. mexicanum* and *G. parvulum* in the Neotropics. *MycKeys*, 59, 45–84. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.59.33182>
- Cappello-García, S., García-García, M., Rivas-Acuña, M., Carreño-Ruiz, S., & Cifuentes-Blanco, J. (2023). Registros nuevos del género *Ganoderma* (Agaricomycetes: Polyporales) para México y Tabasco. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 94, e945013. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2023.94.5013>
- Cid Martínez, M. A., Gallardo Velázquez, K., Rosique Gil, J. E., Domínguez Rodríguez, V. I., & Focil Monterrubio, R. L. (2019). Cuantificación de las esporas de *Ganoderma* del aire exterior en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(2), 501–508. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.02.20>
- Coder, K. D. (2015). *Tree health care systems*. University of Georgia Extension.
- Nowak, D. J., & Dwyer, J. F. (2007). Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. En J. E. Kuser (Ed.), *Urban and community forestry in the Northeast* (pp. 25–46). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4289-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4289-8_2)
- Downer, A. J. (2006). Managing *Ganoderma* butt rot in landscape trees. *Arborist News*, 15(2), 24–28.
- Downer, J. (2006). Diagnosing your oak tree: Part 1 “Diseases”. *Landscape Notes*, 19(4), 1–12.
- Du, Z., Dong, C. H., Wang, K., & Yao, Y. J. (2019). Classification, biological characteristics and cultivations of *Ganoderma*. En *Springer Nature Singapore* (pp. 15–58). [https://doi.org/10.1007/978-981-13-9867-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-9867-4_2)
- FAO. (2016). *Urban forestry and green infrastructure*. FAO.



## Informe final de Proyecto de Investigación

- FIPRODEFO. (2024). *Hongo de la raíz (Ganoderma oerstedii)*. Recuperado el 8 de marzo de 2024, de <https://geoportal.fiprodefo.gob.mx/pofmet/gpfu/enfermedades/ganoderma-oerstedii/>
- Flood, J., Bridge, P. D., & Pilotti, C. A. (2022). Basal stem rot of oil palm revisited. *Annals of Applied Biology*, 181, 160–181. <https://doi.org/10.1111/aab.12772>
- Flood, J., Bridge, P. D., & Pilotti, C. A. (2022). *Ganoderma diseases of perennial crops*. CABI.
- Gilbertson, R. L., & Ryvardeen, L. (1986). *North American polypores* (Vol. 1: Abortiporus–Lindtneria). Fungiflora.
- Gilbertson, R. L., & Ryvardeen, L. (1987). *North American polypores* (Vol. 2: Megasporoporia–Wrightoporia). Fungiflora.
- Gilman, E. F. (2011). *An illustrated guide to pruning*. Delmar Cengage Learning.
- Gilman, E. F., et al. (2018). Tree species selection and diversity for urban landscapes. *Urban Forestry & Urban Greening*, 30, 244–252.
- Hasnain, S. M., Al-Frayh, A., Khatija, F., & Al-Sedairy, S. (2004). Airborne *Ganoderma* basidiospores in a country with desert environment. *Grana*, 43(2), 111–115. <https://doi.org/10.1080/00173130410019613>
- He, J., Han, X., Luo, Z. L., Xian, L., Tang, S. M., Luo, H. M., Niu, K. Y., Su, X. J., & Li, S. H. (2022). Species diversity of *Ganoderma* (Ganodermataceae, Polyporales) with three new species and a key to *Ganoderma* in Yunnan Province, China. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1035434. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1035434>
- INSIVUMEH. (2024). *Boletín meteorológico anual 2024: Condiciones climáticas promedio para la región metropolitana de Guatemala*. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.



### Informe final de Proyecto de Investigación

- International Society of Arboriculture (ISA). (2019). *Best management practices: Tree risk assessment*. ISA.
- Kaliyaperumal, M., & Kalaichelvan, P. T. (2008). *Ganoderma australe* from southern India. *Microbiological Research*, 163(3), 286–292. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2007.01.003>
- Kumar, A., Sarkar, M., Darshan, K., Ghoshal, T., Kavya, B., Bashay, B. M., & Berry, N. (2022). The *Ganoderma*: Biodiversity and significance. En V. R. Rajpal, I. Singh, & S. S. Navi (Eds.), *Fungal diversity, ecology, and control management* (pp. 255–291). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-8877-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-16-8877-5_12)
- Kuo, M. (2019). *The genus Ganoderma*. MushroomExpert.Com. <http://www.mushroomexpert.com/Ganoderma.html>
- Largent, D. L., Johnson, D., & Watling, R. (1977). *How to identify mushrooms to genus III: Microscopic features*. Mad River Press.
- Lewis, R., Jr. (1981). Hypoxylon, *Ganoderma lucidum* and *Agrilus bilineatus* in association with drought-related oak mortality in the South (Abstract). *Phytopathology*, 71(8), 890.
- López-Peña, D., Gutiérrez, A., Hernández-Navarro, E., Valenzuela, R., & Esqueda, M. (2016). Diversidad y distribución de *Ganoderma* (Polyporales: Ganodermataceae) en Sonora, México. *Botanical Sciences*, 94(2), 431–439. <https://doi.org/10.17129/botsci.463>
- López-Peña, D., Samaniego-Rubiano, C., Morales-Estrada, I., Gutiérrez, A., Gaitán-Hernández, R., & Esqueda, M. (2019). Morphological characteristics of wild and cultivated *Ganoderma subincrustatum* from Sonora, Mexico. *Scientia Fungorum*, 49, e1213. <https://doi.org/10.33885/sf.2019.49.1213>



### **Informe final de Proyecto de Investigación**

- Lloyd, A. L., Barnes, C. W., Held, B. W., Schink, M. J., Smith, M. E., Smith, J. A., & Blanchette, R. A. (2018). Elucidating “lucidum”: Distinguishing the diverse laccate *Ganoderma* species of the United States. *PLOS ONE*, 13(7), e0199738. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199738>
- Lloyd, A. L., Smith, J. A., Richter, B. S., Blanchette, R. A., & Smith, M. E. (2017). The laccate *Ganoderma* of the southeastern United States: A cosmopolitan and important genus of wood decay fungi. University of Florida IFAS Extension.
- Luongharn, T., Karunarathna, S. C., Dutta, A. K., Paloi, S., Promputtha, I., Hyde, K. D., Xu, J., & Mortimer, P. E. (2021). *Ganoderma* (Ganodermataceae, Basidiomycota) species from the Greater Mekong subregion. *Journal of Fungi*, 7(10), 819. <https://doi.org/10.3390/jof7100819>
- Luley, C. J., Nowak, D. J., & Greenfield, E. J. (2009). Tree risk assessment in urban areas. *Arboriculture & Urban Forestry*, 35(5), 256–264.
- Manion, P. D. (1991). *Tree disease concepts* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Maps of World. (2021). Mapa del departamento de Guatemala. <https://espanol.mapsofworld.com/continentes/norteamerica/guatemala/departamentos/guatemala.html>
- Mardones, M., Carranza Velázquez, J., & Mata Hidalgo, M. (2023). Taxonomy and phylogeny of the genus *Ganoderma* (Polyporales, Basidiomycota) in Costa Rica. *MycoKeys*, 100(1), 5–47. <https://doi.org/10.3897/mycokeys.100.106810>
- Mawar, R., Ram, L., Mathur, T., & Deepesh. (2020). *Ganoderma*. En N. Amaresan, M. Senthil Kumar, K. Annapurna, K. Kumar, & A. Sankaranarayanan (Eds.), *Beneficial microbes in agro-ecology* (pp. 625–649). Elsevier.



### Informe final de Proyecto de Investigación

- Mendoza, G., Guzmán, G., Ramírez Guillén, F., Luna, M., & Trigos, Á. (2011). *Ganoderma oerstedii* (Fr.) Murrill (Higher Basidiomycetes), a tree parasite species in Mexico: Taxonomic description, rDNA study, and review of its medical applications. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 13(6), 545–552. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v13.i6.60>
- Michalíková, A., Beck, T., Gáper, J., Prištáš, P., & Gáperová, S. (2021). Can wood-decaying urban macrofungi be identified by using fuzzy inference system? An example in Central European *Ganoderma* species. *Scientific Reports*, 11, 13222. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92237-5>
- Moncalvo, J. M. (2000). Systematics of *Ganoderma*. En J. Flood, P. D. Bridge, & M. Holderness (Eds.), *Ganoderma diseases of perennial crops* (pp. 23–45). CABI. <https://doi.org/10.1079/9780851993881.0023>
- Morán, A. (1998). *Área metropolitana de la ciudad de Guatemala: A propósito del proyecto de ley de creación del distrito metropolitano*. Centro de Estudios Urbanos y Regionales, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Morán, G. (2013). *Obtención y caracterización de los extractos de los hongos ostra (*Pleurotus ostreatus*), shiitake (*Lentinula edodes*) y reishi (*Ganoderma lucidum*)* (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Morán, G. (1998). *Estructura y jerarquización urbana del área metropolitana de Guatemala*. Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Moreno Rico, O., Velásquez Valle, R., Sánchez Martínez, G., Siqueiros Delgado, M. E., de la Cerda Lemus, M., & Díaz Moreno, R. (2010). Diagnóstico fitopatológico de las principales enfermedades en diversas especies de encinos y su distribución en la sierra fría de Aguascalientes, México. *Polibotánica*, 29, 165–189. <https://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n29/n29a9.pdf>



### Informe final de Proyecto de Investigación

- Morera, G., Lupo, S., Alaniz, S., & Robledo, G. (2021). Diversity of the *Ganoderma* species in Uruguay. *Neotropical Biodiversity*, 7(1), 570–585. <https://doi.org/10.1080/23766808.2021.1986329>
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). (2024). *Ganoderma* (Taxonomic Browser). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi>
- Niemelä, T., & Miettinen, O. (2008). The identity of *Ganoderma applanatum*. *Taxon*, 57, 963–966. <https://doi.org/10.1002/tax.573024>
- North Spore. (2024). *Mushroom extracts: The mycelium vs. fruiting body dispute*. <https://northspore.com/blogs/the-black-trumpet/mushroom-extracts-the-mycelium-vs-fruiting-body-dispute>
- Olsen, M. (1999). *Diseases of urban plants in Arizona*. Cooperative Extension, College of Agriculture and Life Sciences, The University of Arizona.
- Pilotti, C. A. (2005). Stem rots of forest trees caused by *Ganoderma* species. *Australasian Plant Pathology*, 34(4), 463–474. <https://doi.org/10.1071/AP05063>
- Pirone, P. (1957). *Ganoderma lucidum*, a parasite of shade trees. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 84(6), 424–428. <https://doi.org/10.2307/2482973>
- Ramos Sosa, D. O., & Cappello García, S. (2009). Revisión del género *Ganoderma* (Basidiomycota) para el estado de Tabasco. *Kuxulkab'*, 16(29), 69–75. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a16n29.431>
- Rigling, A., & Prospero, S. (2018). Fungal diseases of forest trees under climate change. *Current Forestry Reports*, 4, 129–141. <https://doi.org/10.1007/s40725-018-0073-7>
- Rocha-Estrada, A., Alvarado-Vázquez, M., & Guzmán-Lucio, M. (2020). Aeromicrofungi del área metropolitana de Monterrey. *Scientia Fungorum*, 50. <https://doi.org/10.33885/sf.2020.50.1291>



### Informe final de Proyecto de Investigación

- Rojas, A. C. B., Silva, L. Q. O., Gugliotta, A. M., et al. (2018). Diversity of *Ganoderma* and falls of urban trees in Brazil and Colombia. *Biodiversity International Journal*, 2(2), 178–179. <https://doi.org/10.15406/bij.2018.02.00060>
- Ryvarden, L. (2004). *Neotropical polypores* (Vols. 1–2). Fungiflora.
- Ryvarden, L. (2004). *Neotropical polypores: Part 1 – Introduction, Ganoderma taceae & Hymenochaetaceae*. Fungiflora.
- Schwarze, F. W. M. R. (2008). Diagnosis and prognosis of decay in trees. *Arboricultural Journal*, 31, 1–22.
- Schwarze, F. W. M. R., Engels, J., & Mattheck, C. (2000). *Fungal strategies of wood decay in trees*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03707-5>
- Smiley, E. T., Matheny, N., & Lilly, S. (2017). *Tree risk assessment*. International Society of Arboriculture (ISA).
- Stenlid, J., Oliva, J., Boberg, J. B., & Hopkins, A. J. M. (2011). Emerging diseases in European forest ecosystems and responses in society. *Forest Ecology and Management*, 262(4), 691–700. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.05.024>
- Steyaert, R. L. (1972). Species of *Ganoderma* (Polyporaceae) mainly of the Bogor and Leiden herbaria. *Persoonia*, 7, 55–118.
- Suárez-Medellín, J., Luna-Rodríguez, M., Mendoza, G., Salinas, A., & Trigos, Á. (2012). Caracterización morfológica y molecular de una cepa silvestre mexicana perteneciente al género *Ganoderma*. *Revista Mexicana de Micología*, 36. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmm/v36/v36a6.pdf>



### Informe final de Proyecto de Investigación

- Torres-Torres, M. G., Guzmán-Dávalos, L., & de Mello Gugliotta, A. (2012). *Ganoderma* in Brazil: Known species and new records. *Mycotaxon*, *121*, 93–132. <https://doi.org/10.5248/121.93>
- Torres-Torres, M. G., & Guzmán-Dávalos, L. (2012). Taxonomy of *Ganoderma* in Mexico. *Mycotaxon*, *121*, 1–45.
- Torres-Torres, M. G., & Guzmán-Dávalos, L. (2012). The morphology of *Ganoderma* species with a laccate surface. *Mycotaxon*, *119*, 201–216. <https://doi.org/10.5248/119.201>
- Torres-Torres, M. G., et al. (2015). Diversity and ecology of *Ganoderma* in urban environments. *Fungal Biology*, *119*, 1–15.
- Torres-Torres, M. G., Guzmán-Dávalos, L., & de Mello Gugliotta, A. (2013). *Ganoderma* in Brazil: Known species and new records. *Mycotaxon*, *121*, 93–132. <https://doi.org/10.5248/121.93>
- Torres-Torres, M. G., Ryvardeen, L., & Guzmán-Dávalos, L. (2015). *Ganoderma* subgenus *Ganoderma* in Mexico. *Revista Mexicana de Micología*, *41*, 27–45.
- Tubby, K. V., & Webber, J. F. (2010). Pests and diseases threatening urban trees under a changing climate. *Forestry*, *83*(4), 451–459. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpq027>
- Valenzuela, R., Raymundo, T., & Palacios, M. R. (2004). Macromicetos que crecen sobre *Abies religiosa* en el eje neovolcánico transversal. *Polibotánica*, *18*, 33–51.

## Informe final de Proyecto de Investigación

### 19 Apéndice



*Figura 10. Casuarina sp. del arbolado urbano con infección activa por Ganoderma spp. Se observa el hospedante en pie y, en detalle, la presencia de carpóforos desarrollados en la base del fuste (flecha), indicativos de pudrición basal y degradación estructural del sistema radical y del tronco.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 11. Árbol de Jacaranda spp. afectado por Ganoderma spp. en área urbana. Se observa el hospedero en pie y, en detalle, el desarrollo de un basidioma de Ganoderma spp. (flecha) en el tronco, indicador de pudrición interna avanzada y deterioro estructural del árbol.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 14. Carpóforo de Ganoderma spp. desarrollados sobre el tronco de Koelreuteria paniculata, evidenciando colonización fúngica activa y daño estructural del tejido leñoso.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 15. Árbol de Jacaranda spp. con abundante formación de carpóforos de Ganoderma spp. en la base del tronco, indicativo de infección avanzada y pudrición basal.*



*Figura 16. Tronco de Casuarina spp. en tronco residual de Casuarina spp., demostrando la capacidad saprobria y parasítica del hongo tras la remoción del árbol.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 17. Capacitación técnica impartida por el Ing. Agr. Gustavo Adolfo Alvarez Valenzuela al personal del departamento de Medio Ambiente de la Municipalidad de Mixco, enfocada en la identificación, diagnóstico y manejo del hongo *Ganoderma* spp. en el arbolado urbano, como parte de las actividades de la divulgación y transferencia de resultados del proyecto de investigación.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 18. Manejo y poda de árbol urbano de gran porte con antecedentes de deterioro estructural asociado a Ganoderma spp., realizado como medida de mitigación del riesgo en infraestructura y transeúntes.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 19. Carpóforo de Ganoderma spp. desarrollado sobre raíces expuestas de Casuarina spp., evidenciando infección activa y procesos de pudrición basal asociados al deterioro estructural del hospedero.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



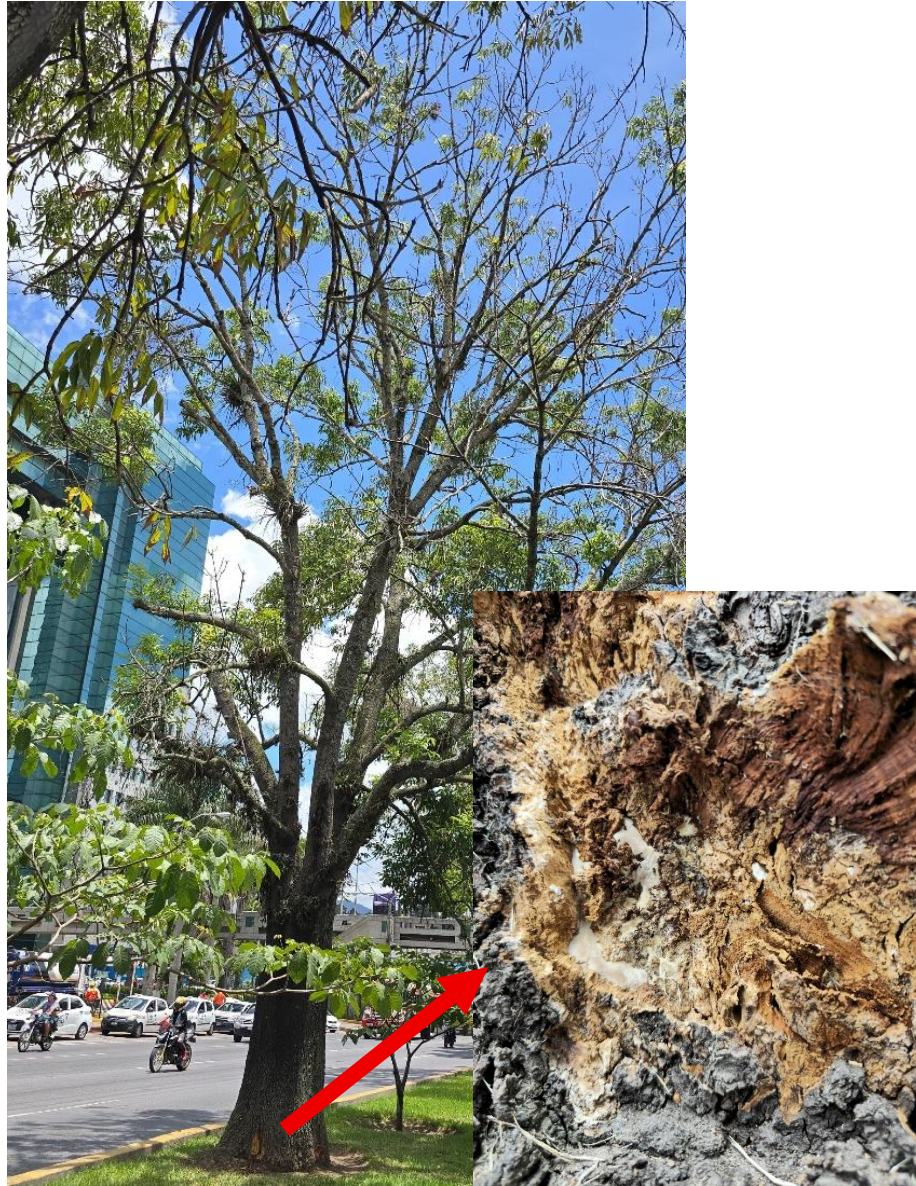
*Figura 20. Carpóforos de Ganoderma spp., presentes en la base del tronco de Casuarina spp., recolectados como parte del muestreo sistemático del arbolado urbano afectado.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 21. Jacaranda spp. con presencia de carpóforos de Ganoderma spp. en el fuste, indicativos de colonización fúngica activa y pudrición interna asociada al deterioro estructural del hospedero.*

## Informe final de Proyecto de Investigación

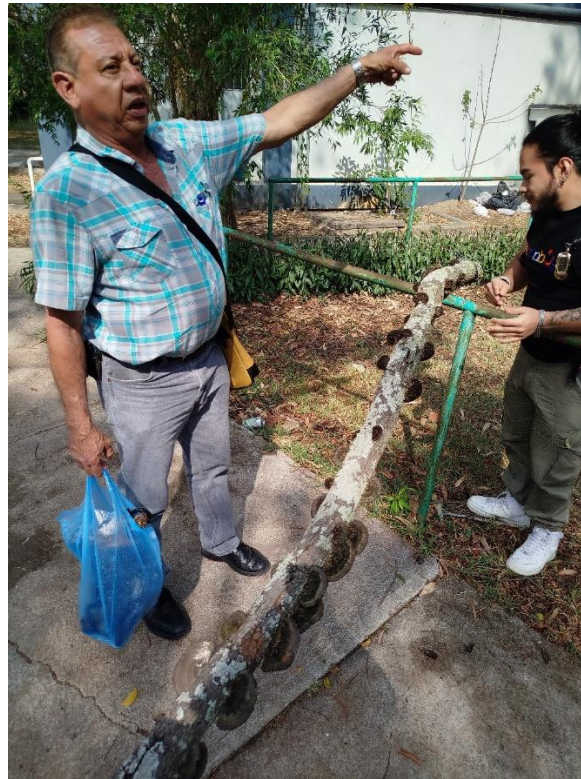


*Figura 22. Fraxinus spp. con daño estructural y tejido leñoso degradado asociado a infección por Ganoderma spp. , evidenciando por pudrición avanzada en el tronco.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 23. Tronco de Casuarina spp. con brotación de carpóforo Ganoderma spp, posterior a la remoción del árbol por deterioro estructural asociado a pudrición basal.*



*Figura 24. Seguimiento y supervisión técnica del muestreo de Ganoderma spp. en arbolado urbano. El Ing. Agr. Gustavo Adolfo Alvarez Valenzuela verifica en campo el material colectado y el procedimiento de muestreo durante las actividades de evaluación fitosanitaria del arbolado*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 25. Cupressus spp. que presenta manifestaciones incipientes de colonización basal por Ganoderma spp., evidenciadas por la formación inicial de carpóforos y signos de degradación lignocelulósica.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 26. Jacaranda mimosifolia en estado de mortalidad, presentando múltiples carpóforos de Ganoderma spp. en la zona basal, asociados a pudrición blanca avanzada y pérdida de integridad estructural."*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 27. Árbol de Casuarina spp. con presencia de carpóforos de Ganoderma spp. en la base del fuste, indicativos de infección activa y procesos de pudrición basal asociados al deterioro estructural del hospedero.*



## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 28. Participación en entrevista televisiva realizada en coordinación con la Municipalidad de Guatemala, orientada a la divulgación de los resultados del proyecto y a la sensibilización de la población sobre la problemática del hongo *Ganoderma spp.* y su impacto en el lado urbano del municipio de Guatemala.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 29. Tala controlada de un árbol de Casuarina spp. con muerte estructural asociada a la infección por Ganoderma spp., realizada como medida de mitigación del riesgo de caída en vía pública, en coordinación con personal operativo de la Municipalidad de Guatemala.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



Figura 30. Captura de video en áreas afectadas por *Ganoderma spp.*, como parte de la documentación para entrevista con el Ing. Agr. Gustavo Alvarez, enfocada en la mortalidad de árboles del arbolado metropolitano.

## Informe final de Proyecto de Investigación



Figura 31. *Caoba* (*Swietenia macrophylla*) afectada por *Ganoderma* spp., con presencia de carpóforo en la base del tronco.

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 32. Jacaranda mimosifolia ubicado en la zona 11 de la Ciudad de Guatemala, que presenta una infección avanzada por Ganoderma spp.. En la copa se observa una defoliación superior al 70 %, pérdida de vigor y ramas secas, evidenciando el colapso progresivo del sistema vascular. En la base del fuste se identifican múltiples carpóforos desarrollados, dispuestos alrededor del tronco.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 33. Árbol de *Platymiscium dimorphandrum* (Hormigo) parcialmente afectado por *Ganoderma* spp., ubicado en área urbana. Se observa pérdida foliar en más del 50% de la copa, indicando avance del deterioro interno de la xilema. En la base del fuste y raíces superficiales se evidencian múltiples carpóforos activos del hongo, los cuales rodean parcialmente el tronco, sugiriendo una infección avanzada y riesgo de colapso estructural del individuo.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 34. Jacaranda mimosifolia ubicado en la zona 11 de la Ciudad de Guatemala, con signos visibles de afectación por Ganoderma spp.. El árbol presenta una copa parcialmente podada por labores municipales, sin embargo, en la base del fuste se observan carpóforos emergentes, lo que confirma la presencia activa del hongo.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 35. Revisión de cultivos fúngicos de *Ganoderma spp.* en medios selectivos tipo PDA (Papa Dextrosa Agar) en el cuarto estéril del laboratorio del Centro de Diagnóstico Parasitológico (CDP), Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Los cultivos se mantienen en incubadora a temperatura controlada (25–28 °C) para favorecer el desarrollo micelial y permitir su posterior evaluación morfológica y purificación. Este proceso forma parte de la fase de aislamiento e identificación de las especies presentes en el arbolado urbano de los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 36. Observación microscópica de estructuras morfológicas de Ganoderma spp. en el laboratorio del Centro de Diagnóstico Parasitológico (CDP), Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Las muestras provienen de carpóforos colectados en campo durante los muestreos realizados en los municipios de Guatemala, Mixco y Villa Nueva. El proceso incluye la preparación de montajes húmedos y observación bajo microscopio estereoscópico para identificar características diagnósticas como hifas generativas, esporas basidiales y poros.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 37. Carpóforos del hongo Ganoderma spp. en árboles urbanos del área metropolitana. Su presencia indica descomposición avanzada en la base del tronco y representa una amenaza para la estabilidad del arbolado.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 38. Presencia de Ganoderma spp. en el hospedero de Casuarina sp.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



Figura 39. *Ganoderma spp.* en raíces expuestas del Hospedero Matiliguatze (*Tabebuia rosea*).



## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 40. Se trabajó con el equipo de TV USAC para dar a conocer el proyecto denominado: “Impacto de Ganoderma spp. sobre el arbolado urbano de tres municipios de Guatemala y generación de propuestas para el manejo”*

## Informe final de Proyecto de Investigación



Figura 41. Elaboración de agujas de vidrio para aislamientos de cultivos monospóricos.



Figura 42. Limpieza de contaminantes para el secado del espécimen en la deshidratadora del laboratorio de la Micoteca perteneciente Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, USAC.

## Informe final de Proyecto de Investigación

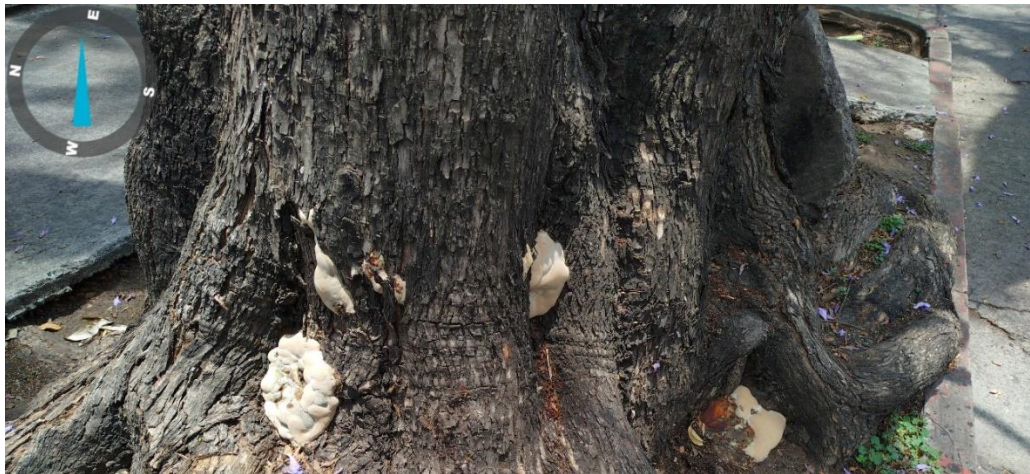


*Figura 43. Actividades conjuntas de campo realizadas con cuadrillas municipales para el manejo del arbolado urbano afectado, incluyendo poda, retiro de material vegetal y evaluación de árboles con presencia de patógenos.*

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 44. Capacitación y sensibilización dirigida a cuadrillas de poda municipales, orientada al reconocimiento de carpóforos de *Ganoderma spp.* y a la identificación de signos asociados a la pudrición basal en árboles urbanos.*



*Figura 45. Casuarina con daño de *Ganoderma spp.**

## Informe final de Proyecto de Investigación



*Figura 46. Colecta de carpóforos de Ganoderma spp., en hospedero Jacaranda spp.*

**Informe final de Proyecto de Investigación**

# ¡Nuestros árboles están muriendo!

**Ayudemos a detener el avance de *Ganoderma spp.***



*Ganoderma spp.* se ha detectado en diferentes zonas. Es importante la colaboración de la ciudadanía para reportar casos similares.

**Facultad de Agronomía**

**Reportá casos al WhatsApp: 4496-1552**

Figura 47. Publicación informativa difundida en redes sociales (Facebook e Instagram) como estrategia de participación ciudadana, orientada a la identificación y reporte de árboles urbanos con presencia de *Ganoderma spp.*, lo que permitió ampliar la cobertura espacial del muestreo y fortalecer las actividades de vigilancia fitosanitaria del arbolado urbano.

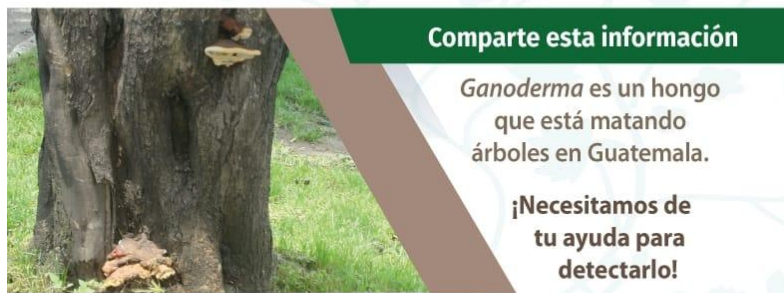


## Informe final de Proyecto de Investigación



La ciudad  
y su arbolado

**¡Te necesitan!**



Comparte esta información

Ganoderma es un hongo que está matando árboles en Guatemala.

¡Necesitamos de tu ayuda para detectarlo!

Si ves un árbol con este hongo, repórtalo. Escanea el código QR para más información o escribe al whatsapp **Ganoderma 4496 - 1552**.

Tu colaboración será de ayuda para la investigación y así proteger el arbolado metropolitano.



Ing. Agr. Gustavo Adolfo Álvarez Valenzuela  
Profesor investigador FAUSAC - DIGI

Figura 48. Material de divulgación y sensibilización dirigido a la población guatemalteca sobre la problemática del arbolado urbano afectado por *Ganoderma spp.* La campaña fue difundida mediante redes sociales y medios digitales, incentivando la participación ciudadana para la detección temprana, reporte y localización de árboles con síntomas de deterioro, lo que contribuyó al fortalecimiento del muestreo y la vigilancia fitosanitaria del arbolado metropolitano.

## Informe final de Proyecto de Investigación

### ¿Qué es el hongo *Ganoderma*?

- Es un hongo patógeno que ataca los árboles, provocando su debilitamiento y muerte.
- Se desarrolla en madera viva o muerta y se identifica por sus cuerpos fructíferos con forma de repisa.
- Puede propagarse a través del aire mediante sus esporas.
- Afecta la estructura interna del árbol, debilitándolo desde adentro hacia afuera.

### ¿Cómo identificarlo?

- Cuerpos fructíferos:
- Forma: Repisa o abanico.
- Color: Marrón, rojizo, con bordes amarillos o blancos.
- Textura: Leñosa y resistente.
- Ubicación: Crece en la base del árbol, en troncos o raíces expuestas.

### ¿Por qué es un problema?

- Debilita la estructura interna hasta causar la muerte del árbol.
- Puede provocar la caída de ramas y troncos, generando riesgos.
- Se propaga rápidamente en zonas boscosas y urbanas.
- Afecta la biodiversidad y el equilibrio ecológico.
- Puede causar la pérdida de especies arbóreas importantes.

### Ciclo de Vida del *Ganoderma*

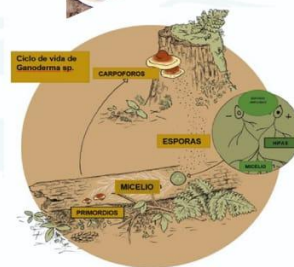


Figura 49. Infografía educativa diseñada para informar a la población sobre la problemática del hongo *Ganoderma* spp. en el arbolado urbano, destacando sus características, formas de identificación, impacto ecológico y riesgos asociados a la pérdida de estabilidad estructural de los árboles.



### Informe final de Proyecto de Investigación

#### 20 Declaración del coordinador del proyecto de investigación

El coordinador de proyecto de investigación con base en el Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación cofinanciados por medio del Fondo de Investigación, artículo 20, elaboró este informe en función de los datos recabados en el proyecto.

<b>Ing. Agr. Gustavo Adolfo Alvarez Valenzuela</b>	<b>Firma</b>
Nombre del coordinador del proyecto de investigación	
Fecha: <b>08/01/2026</b>	

#### 21 Aval del director (a) del instituto, centro, unidad o departamento de investigación o coordinador de investigación del centro regional universitario

De conformidad con el artículo 19 del Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación cofinanciados por medio del Fondo de Investigación otorgo el aval al presente informe final de las actividades realizadas en el proyecto “Impacto de *Ganoderma* spp. sobre el arbolado urbano de tres municipios de Guatemala y generación de propuestas para el manejo” en mi calidad de Director del Instituto de Investigaciones Agrícolas y Ambientales –IIA- de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

<b>Vo.Bo. Dr. Eddi Alejandro Vanegas Chacón</b>	<b>Firma</b>
<b>Director del Instituto de Investigaciones Agrícolas y Ambientales (IIA)</b>	
Fecha: <b>08/01/2026</b>	



## Informe final de Proyecto de Investigación

### 22 Recepción de la Dirección General de Investigación

<p><b>Vo.Bo. MSc. Andrea Eunica Rodas Morán</b></p> <p><b>Nombre coordinadora del programa universitario de investigación</b></p>	<p><b>Firma</b></p>
<p>Fecha: <b>08/01/2026</b></p>	

/Digi2025