

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

**Efecto de la humedad y temperatura sobre los patrones fenológicos de los hongos  
Agaricomycotina en el Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal,  
Purulhá, Baja Verapaz**

**JUAN PABLO HERRERA GARCÍA**

**BIÓLOGO**

Guatemala, noviembre de 2017

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

**Efecto de la humedad y temperatura sobre los patrones fenológicos de los hongos  
Agaricomycotina en el Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal,  
Purulhá, Baja Verapaz**

Presentado por

**JUAN PABLO HERRERA GARCÍA**

Para optar al título de

**BIÓLOGO**

Guatemala, Noviembre de 2017

## **MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

PhD. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
M.A. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza	Secretaria
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
PhD. Juan Francisco Pérez Sabido	Vocal II
Lic. Carlos Manuel Maldonado Aguilera	Vocal III
Br. Andreina Delia Irene López Hernández	Vocal IV
Br. Carol Andrea Betancourt Herrera	Vocal V

## **DEDICATORIA**

A mi familia, especialmente a mi madre por su eterno cuidado y apoyo durante toda mi vida, sin ella no hubiera podido llegar a este momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Maura Quezada por su fundamental asesoría y apoyo en el desarrollo de esta investigación.

A Jorge Jiménez por su apoyo para determinar los procedimientos estadísticos que fueron utilizados en el análisis de datos.

A Mayra Oliva por abrir las puertas del BUCQ, apoyar con la logística, personal, proporcionar el espacio físico para poder procesar las muestras y llevar a cabo esta investigación.

A los guarda recursos del BUCQ por su gran ayuda para establecer los transectos en los lugares necesarios.

A Renato Morales y Julio Soto por su apoyo durante la colecta y descripción de especímenes.

Al Herbario USCG por proveer el equipo necesario para poder preservar los especímenes y el espacio físico requerido para almacenarlos y procesarlos durante la fase de determinación.

# ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. ANTECEDENTES .....	3
Generalidades de los hongos .....	3
Phylum Basidiomycota.....	4
Agaricomycotina .....	5
Fenología .....	6
Factores que favorecen la producción del basidioma.....	8
Bosque nuboso.....	11
Área de estudio .....	13
Estudios previos relacionados .....	13
4. OBJETIVOS.....	15
General.....	15
Específicos.....	15
5. JUSTIFICACIÓN.....	16
6. HIPÓTESIS .....	18
7. MATERIALES Y MÉTODOS .....	19
Universo .....	19
Materiales .....	19
Obtención de datos .....	20
Descripción de hongos .....	22
Análisis Estadístico .....	22
8. RESULTADOS.....	23
9. DISCUSIÓN.....	30
10. CONCLUSIONES.....	35
11. RECOMENDACIONES.....	36
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37
13. ANEXOS .....	44

## 1. RESUMEN

La fenología es el estudio de eventos periódicos dados en organismos que se ven influenciados por el ambiente, sin embargo es un fenómeno que ha sido poco estudiado en relación a los hongos y es imprescindible hacerlo ya que está muy relacionado con el cambio climático. Para determinar la variación de la riqueza y describir el efecto de los factores climáticos sobre los patrones fenológicos de Agaricomycotina se colectaron especímenes de Agaricomycotina en cuatro transectos a dos altitudes, 1700 y 2180 msnm, durante los meses de julio, agosto y septiembre del año 2015, contabilizando los basidiomas durante cada muestreo. Además se midió la temperatura y humedad relativa de cada transecto diariamente con una frecuencia de una medición por hora. Las familias Russulaceae (27), Cortinariaceae (25), Marasmiaceae (18) y Mycenaceae (12) presentaron la mayor riqueza. Los sitios A y B presentaron una riqueza de 50 y 38 respectivamente. Las familias que presentaron la mayor producción de basidiomas fueron Omphalotaceae (234) e Hygrophoraceae (198). Se encontró una fuerte relación entre la abundancia de basidiomas y la temperatura ( $r=0.55$ ,  $p=0.001$ ), sin embargo, no se evidenció una relación aparente con la humedad relativa ( $r= 0.10$ ,  $p=0.074$ ). La familia Hygrophoraceae mostró una correlación alta con la temperatura ( $r= -0.69$ ,  $p=7.551e^{-10}$ ), además presentó una relación inversa con la temperatura ( $R^2= 0.44$ ,  $p=3.7633e^{-08}$ ) donde la abundancia de basidiomas disminuye conforme aumenta la temperatura del lugar.

## 2. INTRODUCCIÓN

Los hongos son un grupo de organismos eucarióticos que para poder sobrevivir han desarrollado varias adaptaciones que les proporcionan una plasticidad para habitar en una gran variedad de sustratos. Al igual que las plantas y animales se ven afectados por los factores bióticos y abióticos que se encuentran en su entorno. Entre algunos factores abióticos se puede mencionar la luz, humedad, pH, también se incluyen nutrientes o compuestos químicos que pueden encontrarse en el sustrato. En varios casos estos mismos factores pueden ser afectados por la biota que se encuentra alrededor (Treseder, 2005, p. 716).

La fenología es el estudio de eventos periódicos dados en organismos que se ven influenciados por el ambiente, especialmente cambios de temperatura ocasionados por el clima o el tiempo (Berlin y otros, 2000, p.90). Es crítico conocer los patrones fenológicos de los organismos para entender la función y estructura de los ecosistemas naturales (Parrado-Rosselli y otros, 2006, p.). La variación estacional en la historia de vida de los hongos se encuentra determinada principalmente por condiciones climáticas. Normalmente los macromicetos desarrollan cuerpos fructíferos durante la época del año que tenga la mayor precipitación y las temperaturas adecuadas. Estas condiciones abióticas varían anualmente y por lo tanto los patrones fenológicos de los hongos van cambiando con el tiempo. La mayor parte de los estudios fenológicos con hongos se han realizado en zonas templadas y las zonas tropicales aún se encuentran sin ser exploradas en esta rama (Munguia y otros, 2003, p.661).

El estudio de patrones fenológicos permite evaluar la respuesta de los organismos ante la variación climática (Diez y otros, 2013, p.3145), además que provee información útil para el manejo de cualquier área. En el presente estudio se evaluó el efecto de factores climáticos sobre los patrones fenológicos de hongos Agaricomycotina en el Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal, Mario Dary Rivera.



### 3. ANTECEDENTES

#### Generalidades de los hongos

Un hongo es un organismo eucariótico heterótrofo que en lugar de ingerir su alimento se nutre por medio de la absorción de los nutrientes que son liberados al secretar enzimas que degradan el sustrato donde se encuentran. Su cuerpo como tal se encuentra formado por células filamentosas llamadas hifas que en conjunto constituyen un micelio. La pared de las hifas tiene un contenido de polisacáridos como la quitina y otros glucanos (Webster & Weber, 2007, p.1-2). Tradicionalmente se dividen en cinco phyla: Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota y Basidiomycota (Carlile, Watkinson, Gooday, 2001, p.15).

Una de las características de los hongos es que a lo largo de su vida pueden alternar entre un estado haploide, diploide y dicariótico. Sin embargo, en la mayor parte de su vida se encuentran en un estado dicariótico y pasan a uno diploide, por cariogamia, únicamente al momento de reproducirse sexualmente, caso que dura poco tiempo hasta que la espora germine y reduzca su carga genética casi de inmediato. La formación y dispersión de las esporas se da por medio de cuerpos fructíferos que son el resultado de una diferenciación y reestructuración de las hifas vegetativas (Webster & Weber, 2007, p.3).

Este es un grupo bastante grande que está distribuido por todo el mundo y comprende aproximadamente 74,000 a 120,000 especies descritas, y basándose sobre datos de endemismo y la proporción de especies de hongo a planta en regiones bien estudiadas se estima de manera conservadora que pueden existir un mínimo de 600,000 especies de hongos (Hawksworth y Mueller, 2005, p.31), aunque bien podrían existir hasta 1.5 millones de especies (Carlile, Watkinson, Gooday, 2001, p.15). No importando el número final, no cabe duda que la magnitud del número de especies presente en estudios de comunidades presenta un gran problema, en que hay una alta probabilidad de encontrar especies nuevas,

en especial si se trabaja en nichos ecológicos o localidades geográficas poco exploradas (Hawksworth y Mueller, 2005, p.31).

### **Phylum Basidiomycota**

El phylum Basidiomycota es el segundo grupo más grande de hongos, después de los ascomicetos, con aproximadamente 30,000 especies descritas, aquí se incluyen varios de los macrohongos que se encuentran en los bosques, como los champiñones (*Agaricus bisporus*) o los hongos ostra (*Pleurotus ostreatus*) (Blackwell & Spatafora, 2004, p.15; Swann, & Hibbett, 2007). Una de las características principales de este grupo es la presencia del basidio, que es una estructura en forma de mazo donde se producen basidiosporas por meiosis. En el caso de los basidiomicetos las esporas suelen ser balitosporas, denominadas así porque son expulsadas activamente por los basidios (Carlile, Watkinson, Gooday, 2001, p.57). Otra característica distintiva de este grupo es que normalmente se encuentran en un estadio dicariótico, es decir, poseen hifas con dos núcleos que tienen material genético distinto, lo cual se puede evidenciar fácilmente con la presencia de estructuras denominadas fíbulas, que ayudan al organismo a mantenerse con su carga dicariótica (Carlile, Watkinson, Gooday, 2001, p.57; Webster & Weber, 2007, p.499).

Son organismos saprófitos que poseen una diversidad de hábitos muy evidente, unos pueden ser descomponedores de hojarasca, crecer en troncos muertos o vivos, humus, otros pueden ser parásitos o bien formar micorrizas con algunas plantas. Como descomponedores cumplen un papel muy importante en el reciclaje de nutrientes y formación de suelos. Normalmente tienen un crecimiento micelial y pueden llegar a ocupar grandes extensiones de suelo. Sin embargo, no todos se encuentran en esta forma, otros pueden presentar un crecimiento unicelular, como las levaduras, o alternar entre ambos, dimórficos (Webster & Weber, 2007, p.487).

## **Agaricomycotina**

Agaricomycotina es uno de los tres clados principales de Basidiomycota. Este clado contiene aproximadamente 20,000 especies descritas, las que componen cerca del 70% de los hongos Basidiomycota conocidos (Hibbett, 2007). Los miembros de Agaricomycotina presentan todo el rango de estrategias ecológicas que caracterizan a Basidiomycota como un todo. Para la obtención de carbono descomponen materia orgánica muerta o realizan diversas asociaciones con plantas, animales y otros hongos. Las asociaciones micorrícicas con plantas se encuentran presentes en muchos linajes de Agaricomycetes, incluyendo a algunos hongos gelatinosos. El micoparasitismo se encuentra ampliamente distribuido en Tremellomycetes, pero pocos tienen importancia en temas de salud, con la excepción de *Filobasidiella neoformans*, un serio patógeno para individuos con problemas inmunológicos (Hibbett, 2007). En Agaricomycotina también se encuentra la mayoría de hongos comestibles, muchos de ellos en Agaricomycetes (Hibbett, 2007).

Los hongos de Agaricomycotina tienen características macroscópicas y microscópicas muy variables. Una de las características más importantes de Basidiomycota es la forma del basidio y la presencia de septos en estos mismos (Hibbett, 2007). La mayoría de Agaricomycotina produce cuatro esporas por basidio, pero algunas especies pueden producir de una hasta ocho esporas por basidio. Un rasgo morfológico que une a Agaricomycotina es la presencia de doliporos, que son poros formados en las paredes entre células adyacentes que están rodeados por un margen parecido a un collar. Otros Basidiomycota también tienen poros en los septos pero su estructura es distinta (Hibbett, 2007).

La mayoría de especies conocidas de Agaricomycotina son filamentosas y producen un cuerpo fructífero multicelular, el cual no siempre toma la forma típica de sombrilla a la que normalmente se le llama “hongo”. En algunas especies resupinadas el cuerpo fructífero se

presenta como una estructura aplanada y delgada debajo de troncos u otros lugares menos conspicuos. Los cuerpos fructíferos de Agaricomycotina llegan a su mayor tamaño, diversidad y complejidad en Agaricomycetes (Hibbett, 2007).

## **Fenología**

Los estudios fenológicos tienen una larga historia en la literatura ecológica y principalmente se ha dedicado a explicar y describir su efecto en la composición de comunidades y cómo la fenología de las especies se ve afectada por factores abióticos. Ha servido como un indicador temprano del cambio climático ya que se ha evidenciado que una gran variedad de eventos fenológicos han sufrido cambios a lo largo del tiempo en respuesta de las tendencias climáticas (Encinas-Viso y otros, 2012, p.1; Richardson y otros, 2010, p.3228; Root y otros, 2005, p.7465; Menzel y otros, 2006, p.1970). Sin embargo, la mayoría de estos cambios fenológicos han sido documentados en plantas y animales, y la fenología de los hongos ha empezado a ser evaluada muy recientemente. Debido a la importancia de los roles que cumplen los hongos en el ciclo del carbono, fuente de alimento, a lo largo de muchas de sus asociaciones con plantas y patógenos, mutualistas y descomponedores, su respuesta al clima se debe comprender mejor si queremos predecir los cambios que se pueden dar en un futuro en los ecosistemas (Diez y otros, 2013, p.3145).

Estudios recientes en Europa han mostrado que el período de fructificación en algunas comunidades fúngicas ha cambiado durante el último siglo. Los hongos de otoño han mostrado un promedio de retrasos en su fructificación que van de 1.2 a 3.4 días por década en Noruega, Reino Unido, Austria y Suiza, y los hongos de primavera han estado fructificando 3.8 días antes por cada década en Noruega y Reino Unido (Büntgen y otros, 2012, p.14; Kausserud y otros, 2009, p.1169). Adicionalmente a estos cambios en las tendencias medias a lo largo del tiempo también se ha encontrado una variación considerable entre especies y entre regiones, y la temporada de fructificación parece ampliarse en estos cuatro países europeos (Kausserud y otros, 2012, p.14489). Sin embargo,

las tendencias históricas no pueden predecir con precisión los cambios climáticos en el futuro debido a que la tasa del cambio climático estimada en el pasado no ha sido constante. También, hay una variedad de factores adicionales al cambio climático, tales como la edad de los bosques, deposición de nitrógeno, uso de la tierra y concentraciones de CO<sub>2</sub> que se encuentran cambiando con el tiempo y pueden tener influencia sobre la fenología (Egli, 2011, p. 82). Por lo tanto, para entender las respuestas fenológicas futuras al cambio climático, se deben cuantificar directamente las relaciones entre fenología y el clima. Estudios previos han reportado algunos resultados que sugieren correlaciones entre la fenología de los hongos y la temperatura y precipitación, pero las interacciones entre temperatura y precipitación muy raras veces han sido cuantificadas (Straatsma y otros, 2001, p.515).

A diferencia de las plantas, las expectativas de cómo la fenología de los hongos debería responder al clima no están bien establecidas. En medios de cultivo las condiciones húmedas y cálidas favorecen el crecimiento del micelio, pero la relación entre el crecimiento del micelio y la fructificación en el campo es incierta y hay una variedad de factores nutricionales, ambientales y bióticos que tienen influencia sobre ella (Kües y Liu, 2000, p.145; Moore y otros, 2008, p.94). Sin embargo, existen algunas hipótesis plausibles que explican como el clima puede afectar el tiempo de fructificación de los hongos. Si la fructificación es dependiente de la acumulación de suficiente energía durante la temporada de crecimiento, entonces se esperaría que las especies fructificaran de forma temprana en años más cálidos y húmedos (Krebs y otros, 2008, p.1501). Alternativamente, si la fructificación es disparada por señales ambientales que indican el fin de condiciones climáticas adecuadas para el crecimiento del micelio, la fructificación debería darse de forma tardía en años más cálidos. Sin embargo, la combinación de los efectos directos e indirectos del clima en los hongos complica más estas predicciones (Krebs y otros, 2008, p.1501).

Los hongos podrían responder directamente a la temperatura y humedad del suelo o sustrato (hojarasca o madera), pero también de forma indirecta por medio de dinámicas de

recursos mediadas por plantas (carbono por asociaciones micorrícias o materia orgánica para especies saprófitas). Estas relaciones indirectas sugieren diferentes predicciones para especies saprófitas y micorrícicas. Una predicción es que la respuesta en especies de hongos micorrícicos debería seguir directamente la fenología de la planta hospedera porque dependen del carbono fijado cada año (Gange y otros, 2007, p.71). Por otra parte, las especies saprófitas usan carbono creado en años previos, sugiriendo que su fenología podría reflejar una relación directa con el clima en lugar de estar ligada a otro organismo mediador de recursos. En condiciones de laboratorio la fructificación de especies saprófitas algunas veces inicia cuando se agotan los recursos, sin embargo esto no quiere decir que la escasez de nutrientes promueve la fructificación, este proceso suele iniciar cuando el micelio ha acumulado los recursos necesarios (Moore y otros, 2008, p.89).

Si la fructificación es una respuesta a la disminución de recursos, entonces condiciones más cálidas y húmedas deberían resultar a una fructificación más temprana a medida que las especies agotan sus recursos más rápidamente. Por otro lado, las especies micorrícicas pueden continuar obteniendo recursos de las plantas hospederas, las cuales tienen una temporada de crecimiento extendida, y por lo tanto los hongos retrasan la fructificación reflejando la temporada de crecimiento extendida (Piao y otros, 2007, p.8).

### **Factores que favorecen la producción del basidioma**

Para poder crecer los hongos necesitan fuentes de carbono y nitrógeno, una fuente de energía y ciertos nutrientes esenciales como potasio y fósforo. El nitrógeno puede ser obtenido de proteínas y otros compuestos orgánicos o de sustancias inorgánicas simples como nitratos y sales de amonio. En cuanto a la energía y carbono requeridos para el crecimiento, deben ser obtenidos directamente de seres vivos o indirectamente de sus desechos o tejidos muertos. Estos dos últimos presentan un amplio rango de sustratos para la obtención de recursos para el crecimiento de hongos saprófitos, como heces animales, pelo, piel muerta, plumas, uñas y cuernos de vertebrados, exoesqueletos de artrópodos,

hojarasca, cadáveres de animales e incluso el micelio y cuerpos fructíferos de otros hongos (Dix y Webster, 1995, p.26).

Los tejidos animales contienen grasas y proteínas. El glucógeno puede ser hidrolizado a glucosa por los hongos, y este se encuentra en el músculo de los animales. La queratina se encuentra en pelaje, uñas, cuernos y otras estructuras dérmicas. En cambio la hojarasca presenta otros recursos como almidón, celulosa y hemicelulosas, las cuales pueden ser hidrolizadas por los hongos utilizando diferentes vías (Dix y Webster, 1995, p.27).

Los basidiomas son estructuras que permiten la diseminación aérea de las esporas sexuales (basidiosporas). Es en los basidiomas donde se encuentran los basidios que dan origen a las basidiosporas, estos se desarrollan a partir de un micelio vegetativo que se encuentra sumergido en un sustrato. Dicho micelio libera enzimas que degradan los componentes poliméricos del sustrato, asimilando sus productos que le son de utilidad al micelio como tal, y no únicamente a las hifas que realizan la descomposición. La translocación de agua y nutrientes, junto con el crecimiento hifal, son esenciales para el desarrollo de estructuras aéreas, en este caso el basidioma. El desarrollo de estas estructuras requiere una movilización muy grande de nutrientes que provienen del micelio (Wosten & Wessels, 2006, p. 393).

Los hongos tienen necesidades nutricionales que son relativamente simples y la mayoría podría sobrevivir con un suministro de glucosa, sales de amonio, iones inorgánicos y algunos factores de crecimiento. Entre los macronutrientes que necesitan en concentraciones milimolares se encuentran el carbono, nitrógeno, oxígeno, azufre, fósforo, potasio y magnesio. Los micronutrientes, necesarios en concentraciones micromolares, comprenden elementos traza como el calcio, cobre, hierro, manganeso y zinc, los cuales son requeridos para el crecimiento celular (Walker & White, 2005, p. 10).

Para suplir sus requerimientos de carbono y energía, los hongos necesitan de compuestos orgánicos fijados. Los carbohidratos que son utilizados ampliamente para el crecimiento

fúngico pueden ir desde hexosas simples, como la glucosa, hasta polisacáridos como el almidón o la celulosa (Walker & White, 2005, p. 13). Según algunos estudios, los carbohidratos simples tienden a favorecer la producción de esporas asexuales, mientras que los oligo- y polisacáridos favorecen la formación de cuerpos fructíferos. La glucosa en particular, incluso en bajas concentraciones, reprime la producción de cuerpos fructíferos. De hecho, la formación de estas estructuras parece estar determinada por la facilidad en la que pueden asimilarse los carbohidratos, de manera que mientras más fácil de usar es un carbohidrato, mejor promoverá la formación de cuerpos fructíferos (Moore, y otros, 2008, p. 86).

El nitrógeno no puede ser fijado por estos organismos, por lo que necesitan obtenerlo de compuestos inorgánicos como las sales de amonio, o de compuestos orgánicos como los aminoácidos. La mayoría de hongos pueden asimilar aminoácidos, aminas y amidas como fuentes de nitrógeno, muchos incluso utilizan urea (Walker & White, 2005, p. 13). En muchos casos las sales de amonio no pueden soportar el desarrollo de cuerpos fructíferos, para este fin se requieren aminoácidos y la inclusión de proteína puede favorecer más su producción (Moore, y otros, 2008, p. 86). Para la producción del cuerpo fructífero generalmente se necesita una concentración mayor de carbono que de nitrógeno, pero las proporciones óptimas van aproximadamente de 30:1 a 5:1 (Moore, y otros, 2008, p. 87).

El fósforo resulta esencial a los hongos para la biosíntesis de ácidos nucleicos, fosfolípidos, ATP y glucofosfatos. Razón por la cual el contenido de fosfatos es alto en estos organismos. La vacuola sirve como un lugar de reserva para los fosfatos en la forma de polifosfatos. La disponibilidad de ambos, el fósforo y el nitrógeno, puede ser un factor que limite el crecimiento de los hongos (Walker & White, 2005, p. 13).

Además de las variables nutricionales, también existen otras variables ambientales que tienen un efecto sobre el desarrollo y producción del cuerpo fructífero. Para obtener una fructificación exitosa se necesita tener una buena aireación, lo que implica la presencia de oxígeno y otros metabolitos volátiles donde se incluye el dióxido de carbono (Moore, y



otros, 2008, p. 91; Wosten & Wessels, 2006, p. 396). Los efectos del CO<sub>2</sub> parecen variar entre algunas especies, dado que cuando las concentraciones son elevadas, en algunos casos inhibe la producción del cuerpo fructífero mientras que en otros aumenta la longitud del estípite (Moore, y otros, 2008, p. 91).

La luz es otro factor que puede tener resultados distintos en el desarrollo de los basidios, aumentando o disminuyendo su número, determinando si se inicia o no su formación (Moore, y otros, 2008, p. 91). Las longitudes de onda que parecen tener más influencia en la formación del basidioma se encuentran entre 400-520 nm (azul) y 320-400 nm (cerca de ultravioleta) (Moore, y otros, 2008, p. 91). Según Walker y White, 2005, la luz ultravioleta incide en la diferenciación del micelio y la esporulación de ciertas especies. En algunos basidiomicetos la exposición de luz debe ser secuencial para regular la iniciación y morfogénesis del basidioma, por lo que los períodos de oscuridad son bastante importantes (Moore, y otros, 2008, p. 92; Wosten & Wessels, 2006, p. 397).

También la temperatura es un factor importante. Sin embargo, solo se cuenta con la información proporcionada por hongos comerciales que se han tomado como modelos de laboratorio. En general se sabe que debe haber un ligero descenso, entre 5 y 10° C, de la temperatura óptima para el desarrollo de los individuos (Moore, y otros, 2008, p. 92).

La humedad relativa influye en la producción del cuerpo fructífero, pero debe estar en un rango donde no sea demasiada para que interfiera en la aireación, ni muy escasa para que no pueda soportar su desarrollo. También se conoce que el pH óptimo para la producción de estas estructuras debe encontrarse entre un rango de 6-7 (Moore, y otros, 2008, p. 92).

### **Bosque nuboso**

Los bosques nubosos constituyen sistemas forestales que se caracterizan por la presencia de neblina o nubes bajas (Ataroff, 2001, p.404). Estos bosques se encuentran en distintas

regiones montañosas a diferentes altitudes dado que dependen de la topografía, orientación, tamaño y continentalidad de las masas montañosas, de los vientos predominantes, humedad relativa del aire y de la diferencia de temperatura entre superficie y atmósfera (Ataroff, 2001, p.404). Estos tipos de bosques presentan los menores valores de radiación solar; reducidos por la nubosidad y neblina características (Ataroff, 2001, p.404). La humedad atmosférica de estas zonas se suma a la precipitación lluviosa normal como “lluvia horizontal” y llega al interior del bosque al ser interceptada por la vegetación, su presencia aporta mucho a la protección de las cuencas hidrográficas de la región (Jiménez, 2009, p.13). En cuanto a la temperatura media anual de los bosques nubosos se estima que el gradiente térmico disminuye conforme aumenta la altitud, 0.6°C por cada 100 m de ascenso, siendo constante a lo largo del año (Ataroff, 2001, p.404).

Estos bosques se caracterizan por presentar una proporción alta de epífitas (briofitas, líquenes y helechos) y una reducción en las lianas leñosas (Véliz e Islebe, 2001, p.231). Los suelos en general son húmedos y presentan una capa gruesa de materia orgánica humificada (Véliz e Islebe, 2001, p.231). Los valores de biodiversidad de árboles, hierbas, arbustos y epífitas son altos, considerando su reducida superficie con relación a la selva tropical lluviosa, en la cual la alta riqueza específica se concentra principalmente en los árboles (Véliz e Islebe, 2001, p.231). Los valores de endemismo son también muy altos, ocurren en un rango muy amplio de precipitaciones, 500-10,000 mm anuales (Véliz e Islebe, 2001, p.231).

Según Véliz e Islebe (2001, p.231), en Guatemala, los bosques nubosos presentan alta biodiversidad, en un rango altitudinal entre los aproximadamente 1,200 y 2,400-2,600 msnm en las diferentes regiones montañosas. Se encuentran en los departamentos de Huehuetenango (Sierra de los Cuchumatanes), San Marcos (Cadena Volcánica), Quetzaltenango (Cadena Volcánica), Quiché, Alta Verapaz, Baja Verapaz y Zacapa (Sierra de las Minas) e Izabal. La extensión del bosque nublado comprende unas 50,000 ha, de las cuales 20,000 están protegidas. Estas zonas presentan una alta frecuencia de nubosidad durante todo el año, así como una alta precipitación pluvial neta y humedad atmosférica. La

temperatura media anual varía entre 12-23°C (para México), para el Volcán de Acatenango es de 12.5-18.5°C. El promedio anual de precipitación pluvial es de 2,000 a 5,000 mm, siendo el período de mayor precipitación entre los meses de mayo a octubre (Véliz e Islebe, 2001, p.231).

### **Área de estudio**

El objetivo fundamental del Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal (BUCQ) es proteger y conservar el Quetzal y por consiguiente el Bosque Nuboso, el cual constituye el hábitat de esta ave y el de muchas otras especies de plantas y animales. En esta área existe una gran diversidad de plantas, pero destacan helechos arborescentes del género *Cyathea* y *Alsophila*; además de una gran abundancia de musgos (CONAP, 2011, p.11). Está formado por las cumbres y laderas de las montañas Quisis y Cerro Carpintero, tiene una superficie aproximada de 1022 hectáreas, y un perímetro de 29 Km lineales (CONAP, 2011, p.72). Posee numerosas cascadas y riachuelos de agua pura y cristalina, su cubierta boscosa es densa y abundante. Su altitud oscila entre los 1500 y los 2350 m sobre el nivel del mar, su temperatura promedio anual es de 16 grados Celsius con un rango de 29.4 a 4.1 grados Celsius. La humedad relativa varía entre 80 y 100%, la lluvia se manifiesta generalmente durante todo el año, siendo los meses menos lluviosos Marzo y Abril, y los más lluviosos de Junio a Septiembre. En los meses de Octubre a Enero se desarrolla en el área una lluvia constante en forma de llovizna densa, localmente denominada como “chipi chipi” (CECON, 2011, p.6).

### **Estudios previos relacionados**

En el Parque Nacional Laguna Lachuá (PNLL) Sunum, 2013, realizó una evaluación del efecto de la temperatura, humedad relativa, precipitación, temporalidad y el tamaño del remanente boscoso sobre la producción de cuerpos fructíferos del género *Marasmius* Fr., durante la época lluviosa de los años 2010 y 2011. Se encontró que la humedad relativa, la

temporalidad, humedad relativa y precipitación tienen mayor influencia en la fructificación de *Marasmius*, mientras que el tamaño de remanente boscoso no presentó ningún efecto.

Papa, 2014, realizó previamente una evaluación del patrón de fructificación de hongos Basidiomycota asociados a *Quercus* sp. en el BUCQ. La evaluación se realizó durante 18 días consecutivos y se tomaron en cuenta datos de temperatura y precipitación. Los resultados muestran una riqueza de 27 morfoespecies pertenecientes a 11 familias, siendo Russulaceae la más abundante. Además se encontró que el 74.1% de las morfoespecies colectadas fructificaron en un solo día, mientras que el resto lo hizo en un intervalo de dos a seis días. Con la metodología utilizada no se pudo encontrar influencia de la temperatura sobre los patrones de fructificación de los hongos ectomicorrícicos.

Papa, 2015, realizó una evaluación de la relación entre la frecuencia de hongos ectomicorrícicos y la composición y estructura arbórea del BUCQ durante la época lluviosa abarcando los meses de junio a octubre del año 2014. Se colectaron 82 morfoespecies y 4 especies, siendo Russulaceae, Cortinariaceae y Boletaceae las familias más representativas del lugar. La variable que presentó mayor relación con la frecuencia de hongos fue el diámetro de la copa de los árboles, que funciona como medida de la incidencia de luz, siendo los sitios con árboles de copa pequeña los que evidenciaron más esta relación. También se encontró que la mayor productividad de basidiomas se evidenció en los sitios con mayor frecuencia de árboles. Finalmente no se encontró una variación consistente entre los ensambles de especies hongos y los ensambles de especies vegetales.

## **4. OBJETIVOS**

### **General**

- Describir el efecto de los factores climáticos sobre la fructificación de Agaricomycotina en el Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal, Mario Dary Rivera.

### **Específicos**

- Determinar la variación de la riqueza de los hongos Agaricomycotina en función de temperatura y humedad.
- Describir los patrones fenológicos de los hongos Agaricomycotina en función de la temperatura y humedad.
- Cuantificar la producción de basidiomas durante los meses de julio, agosto y septiembre 2015 en el Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal “Lic. Mario Dary Rivera”

## 5. JUSTIFICACIÓN

La fenología es el cambio estacional de eventos en la historia de vida de los organismos, que generalmente depende de condiciones climáticas y tiene implicaciones amplias para la interacción entre especies, procesos ecosistémicos y las estructuras ecológicas comunales (Gange y otros, 2007, p.71). Varios estudios proponen que la fenología es un indicador sensible de los cambios climáticos recientes, sin embargo, la respuesta fenológica ante estos cambios no es compartida por los miembros de una comunidad.

Los hongos se encuentran entre los organismos vivos más diversos que están presentes en ambientes terrestres y juegan un papel importante en los ecosistemas como simbioses mutualistas, parásitos, saprófitos y recicladores de nutrientes. Sin embargo, estos organismos no suelen ser tomados en cuenta en consideraciones previas para la respuesta de los ecosistemas ante el cambio climático global. Para los hongos, los eventos fenológicos incluyen la formación de basidiomas y el crecimiento vegetativo de las hifas. Este último evento hace difícil que se realicen estudios fenológicos con hongos pues suelen encontrarse debajo del suelo u otros sustratos, por lo que los basidiomas suelen utilizarse con este fin (Büntgen y otros, 2012, p 14). Los cambios fenológicos en la reproducción de los hongos pueden resultar en interacciones alteradas entre competidores, interrupción de la simbiosis micorrízica, y una alteración en la disponibilidad de alimento y hábitat para mamíferos, artrópodos, mohos micoparasíticos y bacterias (Sato y otros, 2012, p.1).

Se han realizado estudios recientes sobre el efecto del cambio climático sobre la fenología de los hongos en zonas boreales, específicamente en Europa. Estos estudios han establecido un cambio en los patrones fenológicos de los hongos. En años anteriores los hongos fructificaban en dos temporadas del año, en primavera y en otoño. Sin embargo, en los últimos 50 años se han reportado extensiones de la temporada de fructificación en especies que fructificaban únicamente en otoño y ahora lo hacen también en primavera (Kausserud y otros, 2009, p.1169). También se ha propuesto que la variación geográfica tenga un efecto en los patrones fenológicos de los hongos, aunque son pocos los estudios realizados

específicamente con este fin, se podrían asociar posibles cambios con los gradientes climáticos grandes que varían de una región a otra (Kausrud, 2012, p. 14488).

Esto hace imprescindible que se realicen estudios fenológicos de hongos en Guatemala, pues estos fenómenos aún no se encuentran bien descritos en el país y no se pueden realizar comparaciones para observar los efectos del cambio climático. Además dada la diversidad de ecosistemas encontrados en el país, los patrones fenológicos de los hongos probablemente varíen de una región a otra. La identificación de patrones fenológicos no solo puede ayudar a utilizarlos como indicadores del cambio climático, sino también pueden ser analizados para el aprovechamiento del recurso alimenticio que representan los hongos comestibles encontrados en el país.

## **6. HIPÓTESIS**

Los patrones fenológicos de hongos Agaricomycotina varían en función de la humedad relativa y temperatura.



## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

### Universo

- Población: basidiomas de Agaricomycotina presentes en el BUCQ
- Muestra: basidiomas de Agaricomycotina presentes en cuatro parcelas en el BUCQ, colectados en los meses julio, agosto y septiembre.
- Unidad experimental: Transectos de 50 x 5m ubicados a 1700 y 2180msnm en el Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal “Mario Dary Rivera”.

### Materiales

- Equipo de campo
- Libreta de campo
- Números de colecta
- Bolsas plásticas
- Cajas plásticas
- Boletas de descripción macroscópica
- Lupas
- Papel encerado
- Bolsas de papel kraft
- Tijeras para podar
- Cinta métrica
- Navaja
- Cámara fotográfica
- GPS

#### Equipo de herbario

- Secadoras
- Portaobjetos
- Cubreobjetos
- Ractivo Melzer
- Reactivo Rojo Congo
- Reactivo KOH 5%
- Agua destilada
- Aceite de inmersión
- Microscopio con cámara
- Balanza digital
- Estereoscopio

#### Materiales y equipo de oficina

- Libreta de campo
- Lápices
- Marcador indeleble
- Papel bond
- Computadora
- Impresora

#### **Obtención de datos**

La fase de campo comprendió la ubicación de los puntos de colecta, la descripción y preservación de los especímenes colectados. Los sitios de colecta fueron ubicados a dos altitudes, 1700 y 2180 msnm. Las altitudes fueron localizadas utilizando un GPS. En cada una de las altitudes se ubicaron dos transectos de 50 x 5m, separados uno del otro por una distancia de 50m para evitar autocorrelación espacial, y poder ser tomados como muestras independientes, siendo un total de cuatro transectos los que fueron monitoreados, ver anexo

2.

La colecta de los hongos fue realizada en cuatro transectos durante parte de la época lluviosa, comprendiendo los meses de julio, agosto y septiembre. Las colectas fueron realizadas con dos días de diferencia entre cada una para permitir el desarrollo de nuevos cuerpos fructíferos y así poder tener una mejor representación del sitio de colecta. En cada muestreo se registró la fecha y la presencia de cada hongo con el fin de determinar el inicio y la duración del período de fructificación. Además se contabilizó el número de cuerpos fructíferos colectados en cada muestreo para cada especie de hongo. Se colectaron únicamente los cuerpos fructíferos de hongos Agaricomycotina. Los cuerpos fructíferos fueron envueltos en papel encerado y almacenados en cajas plásticas para ser transportados.

Luego de la colecta a los hongos se les asignó un número de colecta. Se le tomó fotos a cada hongo colectado, tomando en cuenta estructuras como el píleo, himenio y estípite. Adicionalmente se tomó foto del hongo completo. Posteriormente el hongo fue descrito utilizando una boleta de descripción, en la cual se anotan características macroscópicas como la forma, el color, tamaño y textura de cada una de las estructuras que conforman el cuerpo fructífero, esto realizado en el mismo día de colecta ya que los hongos pierden características distintivas con el paso del tiempo. Finalmente las muestras fueron deshidratadas y almacenadas en bolsas de papel kraft para su traslado al herbario USCG, donde fueron descritas microscópicamente.

Además de la colecta de hongos se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa todos los días de los meses de julio, agosto y septiembre con una frecuencia de 1 medición por cada hora. Para realizar estas mediciones se utilizaron 4 Data Loggers (HOBO) que fueron colocados en el centro de cada uno de los transectos monitoreados. Se realizó un promedio de las mediciones de los dos días previos a cada colecta para determinar su relación con la formación de cuerpos fructíferos.

## **Descripción de hongos**

Para la descripción y determinación de los hongos, se les realizaron cortes a las diferentes estructuras del cuerpo fructífero (píleo, himenio y estípote), las cuales fueron observadas en un microscopio óptico utilizando montajes con agua destilada y con diferentes reactivos como KOH al 5%, Melzer y algunos colorantes como rojo congo, azul de algodón y azul de lactofenol. Luego los hongos fueron determinados a nivel de familia utilizando claves dicotómicas como Singer (1986) y Largent (1988). Los ejemplares fueron depositados en el Herbario USCG y se entregaron duplicados de los ejemplares en el Herbario BIGU.

## **Análisis Estadístico**

Se determinó el efecto de las variables ambientales, humedad relativa y temperatura, sobre la fructificación de Agaricomycotina en los cuatro transectos situados en dos estratos altitudinales del BUCQ. Se determinó la riqueza de Agaricomycotina utilizando índices de diversidad, además se estimó el esfuerzo de muestreo mediante el cálculo de la proporción de cobertura muestreada total (Chao y Jost, 2012, p. 2537). Se realizó una matriz de distancias utilizando los datos de densidad de los cuerpos fructíferos de cada familia, luego se realizó un escalamiento dimensional métrico común con la distancia de Bray-Curtis. Este es un método de ordenación que ofrece una redescipción de un conjunto de datos complejos y se recomienda para una reducción en la dimensionalidad de los datos (Kenkel y Orlóci, 1986, p. 920). Posteriormente se extrajeron los puntos de los sitios obtenidos del escalamiento multidimensional para realizar pruebas de correlación de Pearson para determinar la relación de las variables ambientales con la densidad de cuerpos fructíferos. Finalmente se realizaron regresiones lineales con las familias seleccionadas para describir su relación con las variables ambientales. Estos procedimientos computacionales fueron realizados utilizando el lenguaje de programación R (R Core Team, 2017) y el paquete asociado iNEXT, (Chao y otros, 2014; Hsieh y otros, 2016).

## 8. RESULTADOS

### Riqueza de Agaricomycotina

Se colectaron 228 ejemplares de hongos los cuales comprenden un total de 4 especies (*Lactarius indigo* L., *Hygrocybe cantharellus* (Schwein.) Murrill, *Marasmius siccus* Schwein. ex Fr. y *Laccaria major*) y 116 morfoespecies que representan a 18 familias del clado Agaricomycotina. Las familias Russulaceae, Cortinariaceae, Marasmiaceae y Mycenaceae fueron las que presentaron una mayor riqueza con 27, 25, 18 y 12 morfoespecies respectivamente (figura 1).

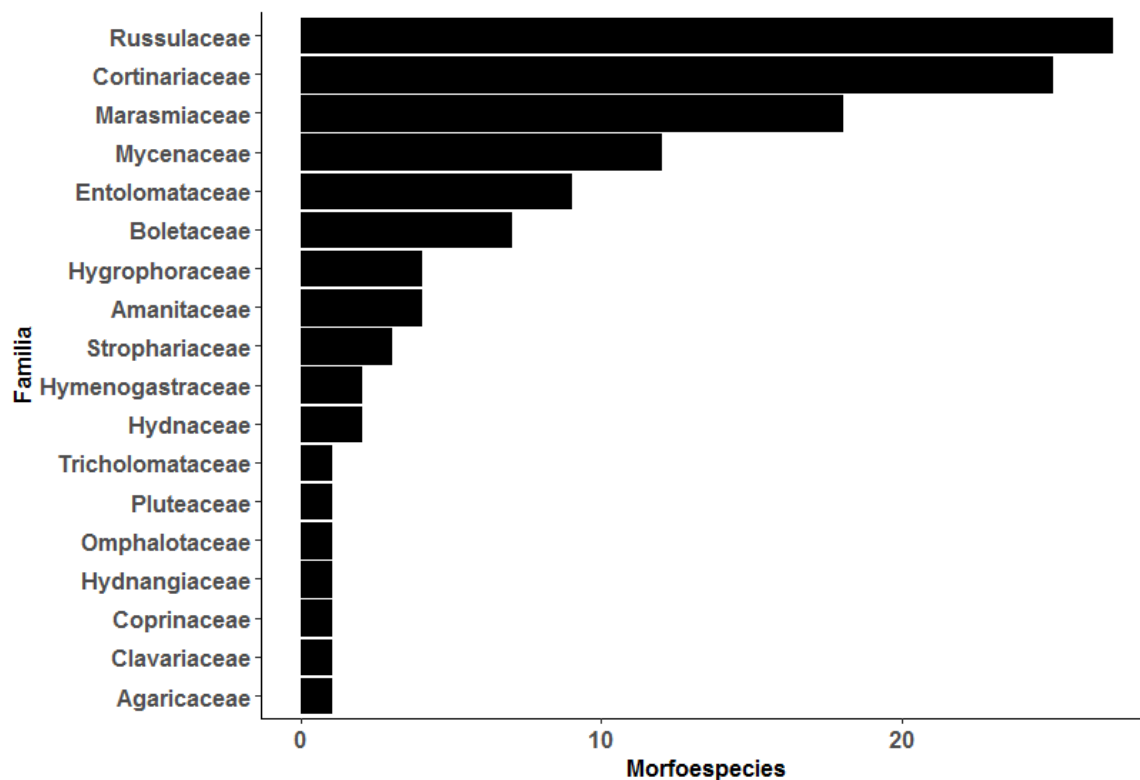


Figura 1. Riqueza de hongos por familia en cuatro sitios de colecta en el BUCQ.

Los sitios de colecta A y B fueron los que presentaron la mayor riqueza de morfoespecies con 50 y 38 respectivamente, mientras que los sitios C y D presentaron 36 y 20, respectivamente (figura 2). Los sitios A y B se encuentran a una altitud de 2180 msnm, mientras que los sitios C y D se encuentran a 1700 msnm.

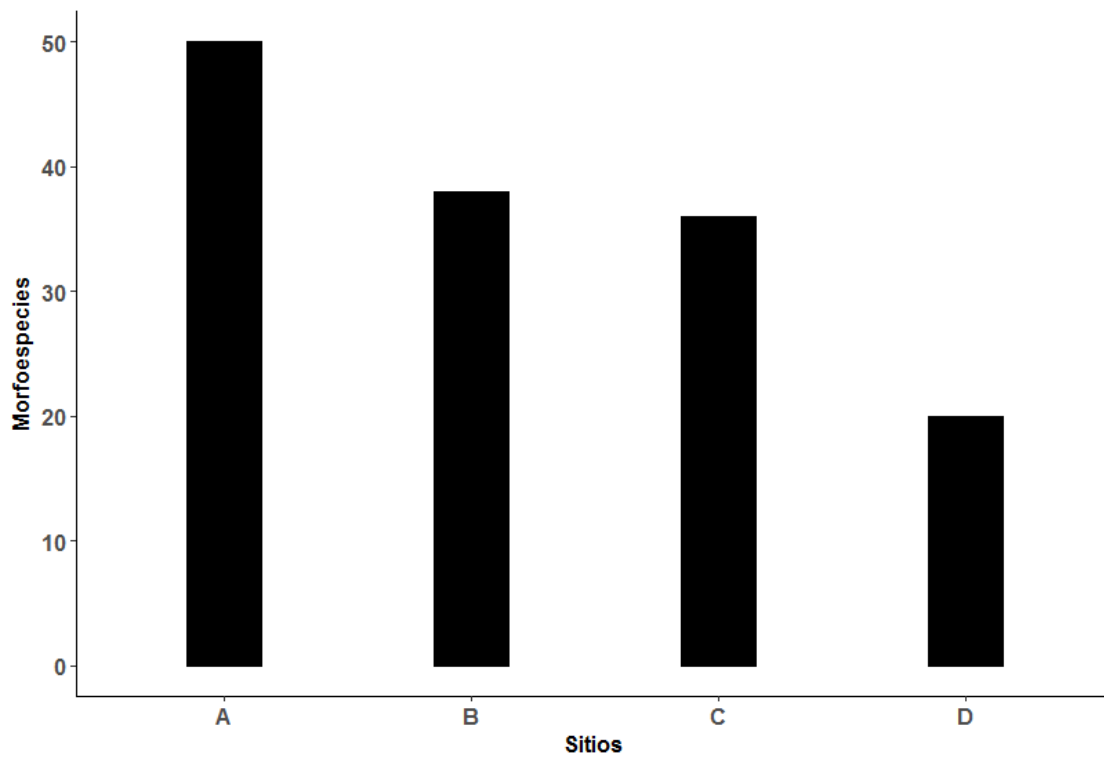


Figura 2. Riqueza de hongos Agaricomycotina en cada sitio de colecta. Los sitios A y B tienen una altitud de 2180 msnm, los sitios C y D tienen una altitud de 1700 msnm.

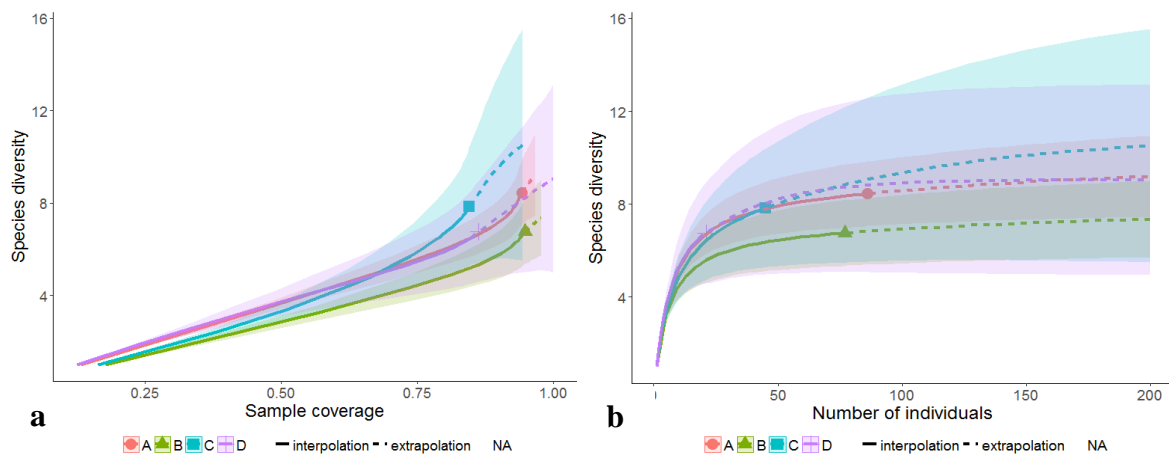


Figura 3. (a) Cobertura de muestreo de Agaricomycotina en los sitios A, B, C y D. (b) Curva de acumulación de especies de Agaricomycotina en los sitios A, B, C, y D.

El esfuerzo de muestreo realizado en el campo parece ser apropiado ya que se obtuvo un valor de 0.94, 0.95, 0.85 y 0.86 de cobertura de muestreo para los sitios A, B, C y D

respectivamente (figura 3a). Esto también se ve reflejado en la curva de acumulación de especies en la figura 3b ya que en los sitios A y B se llegó a una asíntota representando el máximo de especies esperadas. Esto no se cumplió del todo en los sitios C y D, mostrando una mayor dispersión de datos por lo que aún se necesita realizar un mayor esfuerzo de muestreo para llegar al máximo de especies esperadas.

### Cuantificación de basidiomas de Agaricomycotina

Las familias Omphalotaceae e Hygrophoraceae presentaron la mayor producción de basidiomas. Únicamente se encontró una morfoespecie del género *Omphalotus* representando a la familia Omphalotaceae con 234 basidiomas. La familia Hygrophoraceae está representada por tres morfoespecies del género *Hygrocybe* y una especie del mismo género, *H. cantharellus*, que en conjunto suman 198 basidiomas (figura 4).

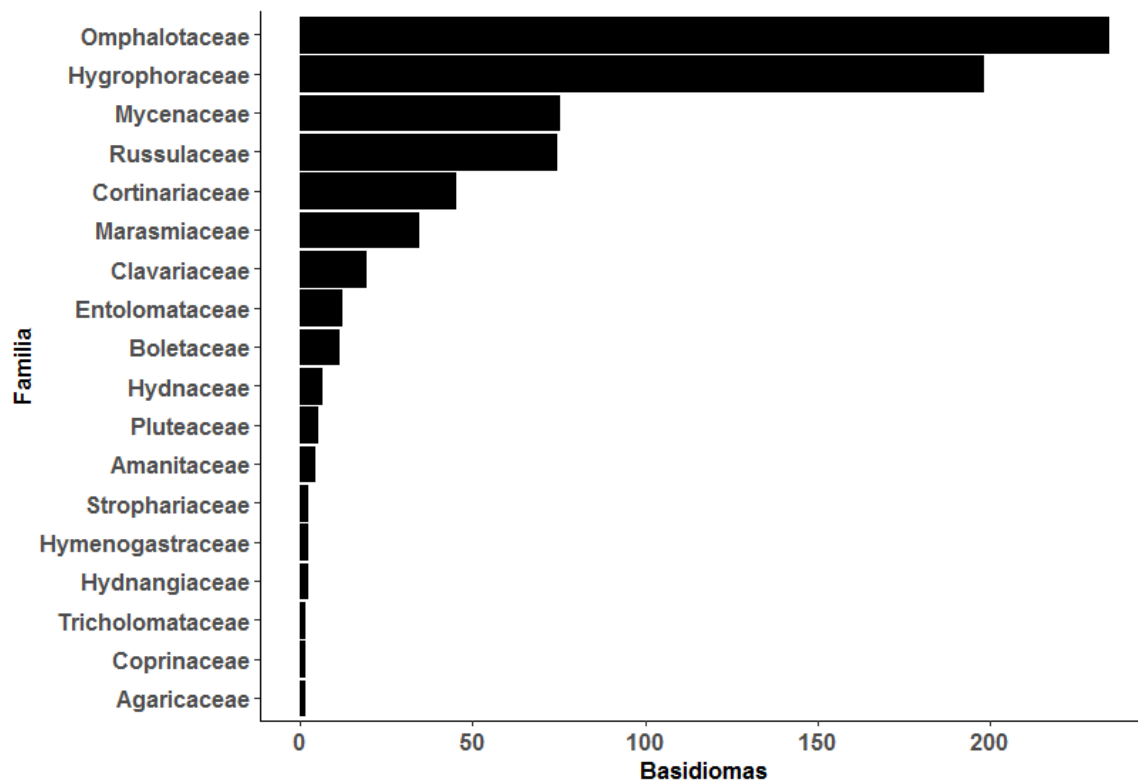


Figura 4. Basidiomas producidos por familias de Agaricomycotina durante el período de muestreo en el BUCQ.

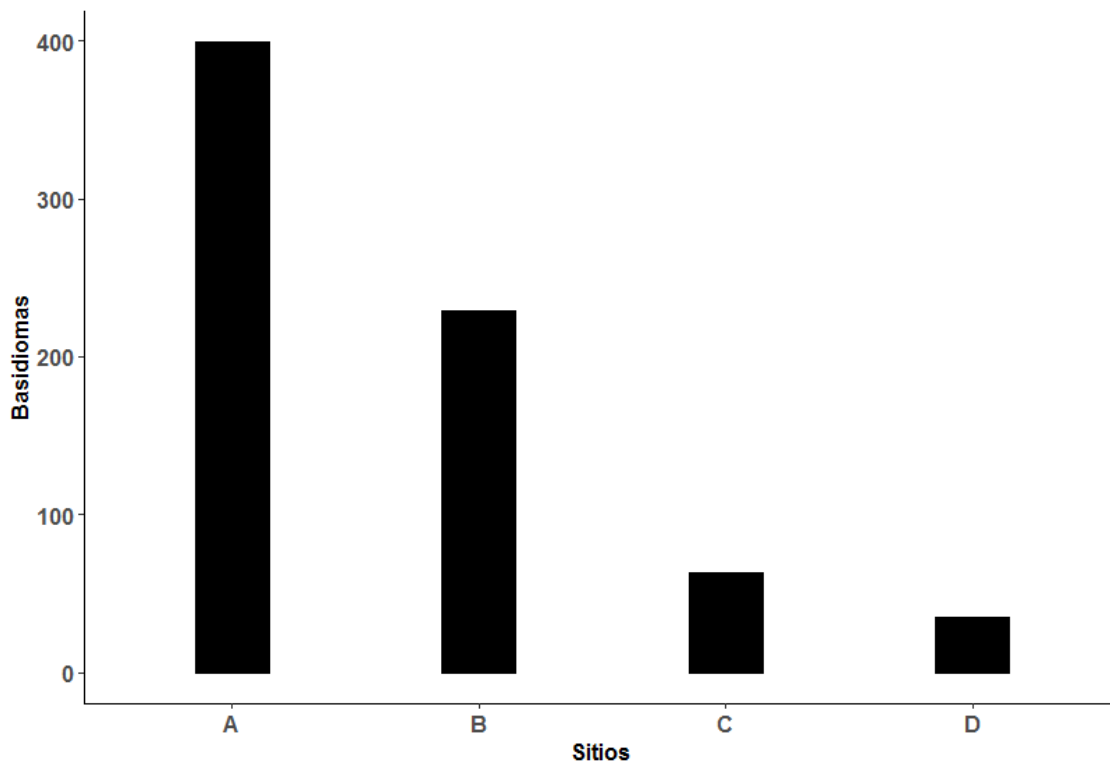


Figura 5. Basidiomas producidos por hongos de Agaricomycotina en cada sitio de colecta durante el período de muestreo.

Los sitios A y B presentaron la mayor cantidad de basidiomas producidos durante el muestreo con un total de 399 y 229 basidiomas respectivamente. En cambio los sitios C y D presentaron una producción muy baja con un total de 63 y 35 basidiomas respectivamente (figura 5).



## VARIABLES AMBIENTALES

A lo largo del período de muestreo se realizaron mediciones de temperatura y humedad relativa en los cuatro transectos. La humedad relativa varió de forma similar en los sitios de colecta, excepto en el sitio B cuya variación fue mucho menor (figura 6a), mientras que la temperatura se separó en dos rangos bien diferenciados (figura 6b). Los sitios de mayor altitud (A y B) presentaron un rango de temperatura más frío, mientras que los sitios de menor altitud (C y D) presentaron un rango de temperatura más cálido.

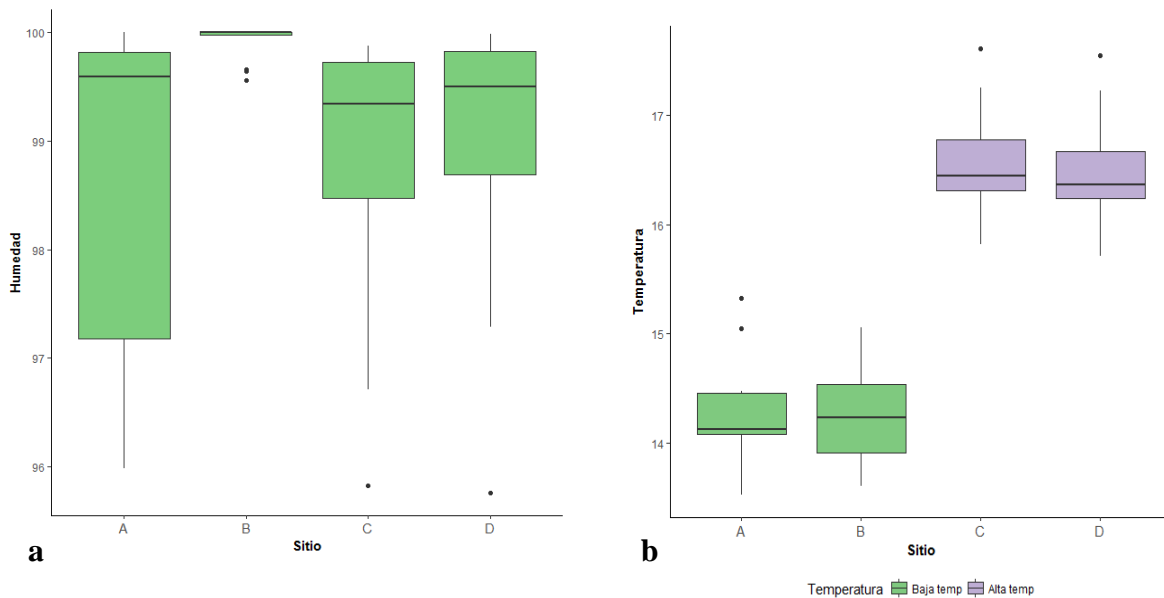


Figura 6. Diagramas de caja. (a) Distribución de los datos de humedad relativa en los cuatro sitios de colecta durante el período de muestreo. (b) Distribución de los datos de temperatura en los cuatro sitios de colecta durante el período de muestreo.

### Relación entre variables ambientales y patrones fenológicos de Agaricomycotina

En el análisis de ordenación se puede observar que la abundancia de basidiomas mostró una fuerte relación con la temperatura ( $r= 0.55$ ,  $p=0.001$ ), sin embargo presenta una relación débil con la humedad relativa ( $r= 0.10$ ,  $p=0.074$ ), ver figura 7.

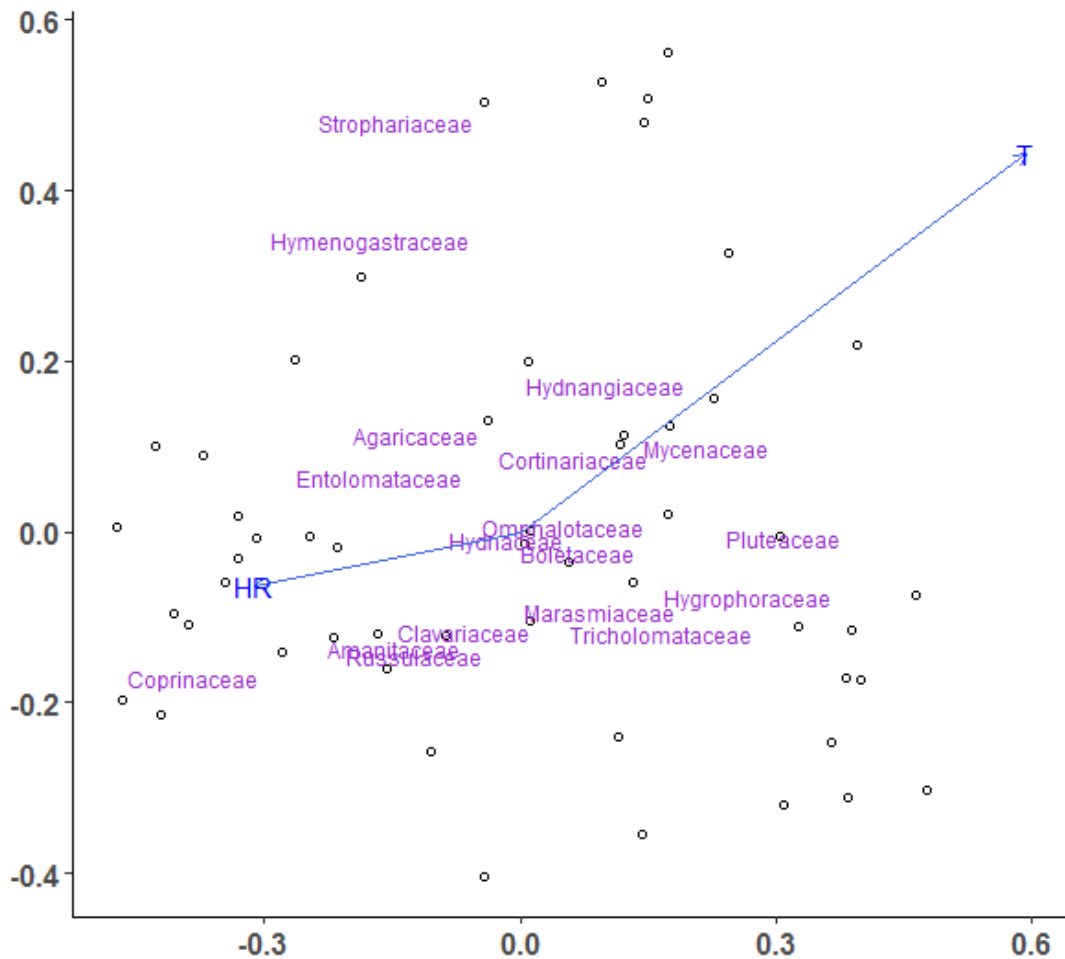


Figura 7. Escalamiento dimensional métrico común. Los vectores representan la relación entre la abundancia de basidiomas y las variables ambientales. El largo del vector indica la correlación existente entre la variable ambiental (T = Temperatura, HR = Humedad relativa) y la abundancia de basidiomas. El vector de temperatura presentó un valor  $p < 0.05$ , mientras que el vector de humedad relativa obtuvo un valor  $p > 0.05$ .

También se encontró que de las 18 familias muestreadas la familia Hygrophoraceae presenta una mayor correlación con la temperatura ( $r = -0.69$ ,  $p = 7.551e^{-10}$ ). La familia Hygrophoraceae mostró una relación inversa con la temperatura (figura 8), indicando que la abundancia de basidiomas disminuye conforme aumenta la temperatura del lugar.

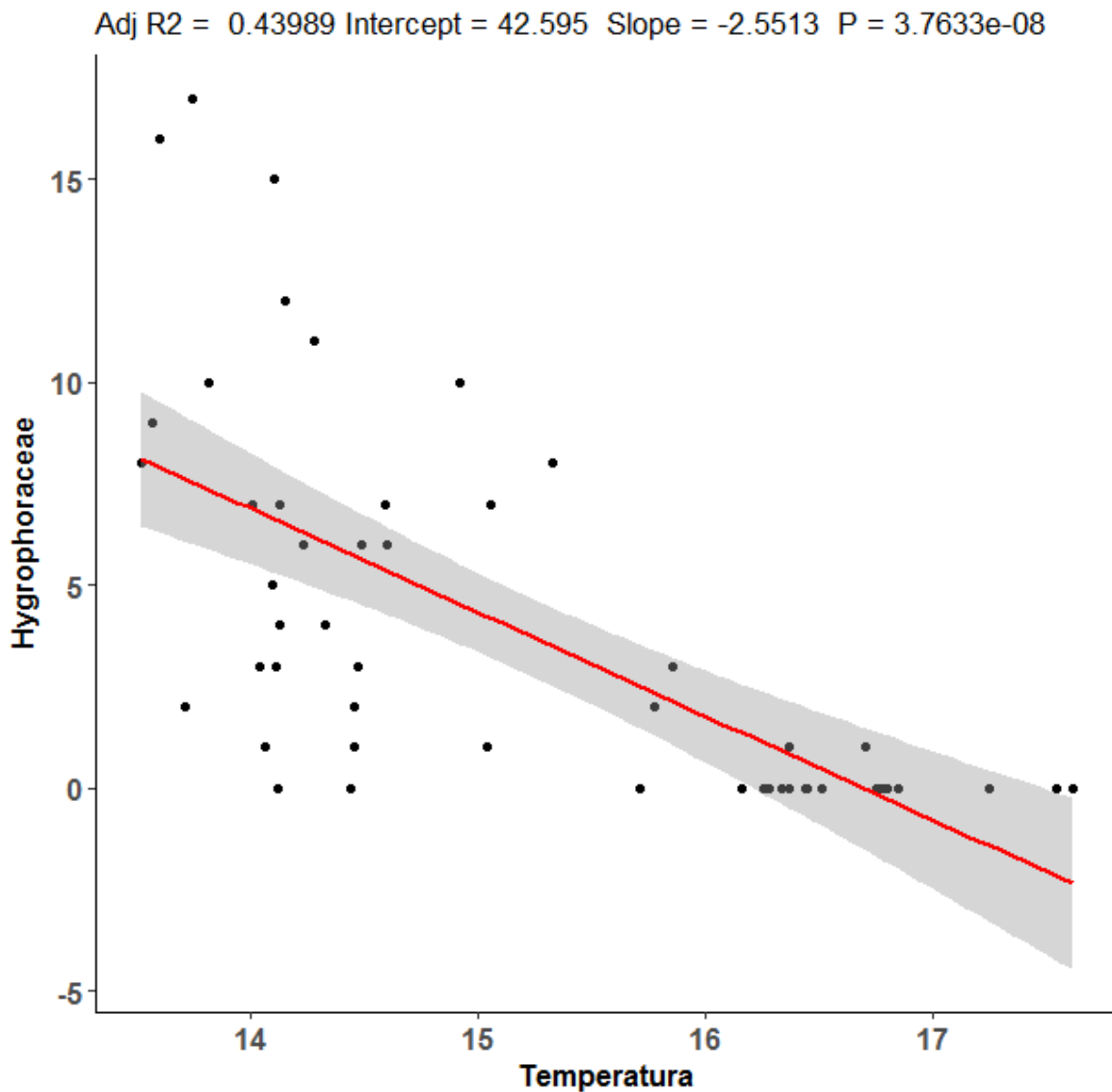


Figura 8. Modelo de regresión lineal de la abundancia de basidiomas de Hygrophoraceae con la temperatura.

## 9. DISCUSIÓN

### Riqueza de Agaricomycotina

Los hongos son un grupo de organismos muy diverso y se estima que el número de especies puede llegar hasta 1.5 millones en el mundo (Carlile, Watkinson, Gooday, 2001, p.15). En el área muestreada del BUCQ durante el presente estudio se pudieron registrar 228 ejemplares de hongos los que comprenden 4 especies y 116 morfoespecies. Las familias con mayor representación fueron Russulaceae, Cortinariaceae, Marasmiaceae y Mycenaceae. De las cuatro especies determinadas *L. indigo* se reporta de uso local como alimento (Flores, Comandini y Rinaldi, 2012, p.16).

Los sitios A y B presentaron la mayor riqueza y el sitio D fue el que presentó la menor de los cuatro sitios muestreados. Cabe mencionar que los cuatro sitios se dividen en dos estratos altitudinales, los sitios A y B presentan una mayor altitud de 2180 msnm, mientras que los sitios C y D tienen una menor altitud de 1700. Esta diferencia altitudinal pudo haber afectado la riqueza encontrada en los cuatro sitios ya que el cambio de altitud tiene influencia sobre factores como la cantidad precipitación, humedad relativa y la temperatura (Geml y otros, 2014, p.2468). En la región de los Yungas Geml y otros, 2014, p.2452, se encontró que la composición fúngica se ve correlacionada con la elevación, mostrando que muchos hongos muestran una preferencia por algún tipo de bosque altitudinal. También menciona que los hongos ectomicorrícicos fueron altamente diversos en bosques nubosos, particularmente en sitios dominados por *Alnus acuminata*, mientras que la diversidad para grupos saprófitos fue mayor en elevaciones más bajas. Esto concuerda con lo encontrado en el presente estudio, donde la mayor riqueza fue presentada por familias que forman ectomicorrizas que en este caso se encuentran asociadas a *Quercus* sp. (Papa, 2014, p.26). Este estudio también coincide con Papa, 2014; Papa, 2015, donde se encontró que las familias Russulaceae y Cortinariaceae fueron las que presentaron una mayor riqueza.

Se obtuvo una cobertura de muestreo de 0.94, 0.95, 0.85 y 0.86 para los sitios A, B, C y D respectivamente, lo cual sugiere que el esfuerzo fue adecuado y la curva de acumulación mostrada anteriormente en la figura 3b indica que se obtuvo un alto número de especies esperadas ya que casi llega a una asíntota en la mayor parte de los sitios. Sin embargo, es necesario hacer notar que para realizar una evaluación exhaustiva de los hongos de un sitio, en este caso el bosque nuboso, es necesario estudiar un rango muy amplio de hábitats, se requiere el uso de diferentes técnicas y además la asistencia de micólogos especializados. Hawksworth, 2001, p. 1422, estima que para completar el inventario fúngico de un lugar es necesario realizar estudios intensivos a largo plazo y probablemente estos esfuerzos requieran más de 20 años para cumplir con este objetivo.

### **Relación entre variables ambientales y patrones fenológicos de Agaricomycotina**

Los resultados sugieren que la fructificación de los hongos Agaricomycotina se encuentra relacionada con la temperatura ( $r= 0.55$ ,  $p=0.001$ ), esta relación también se ve reflejada en la riqueza ya que según se pudo observar, los sitios más fríos (A y B) fueron los que presentaron un mayor número de morfoespecies durante los 3 meses de muestreo. En cambio no se encontró una relación con la humedad ( $r= 0.10$ ,  $p=0.074$ ) probablemente porque esta variable permanece relativamente constante en los cuatro sitios de muestreo.

La familia que presentó la mayor relación entre la temperatura y la producción de basidiomas fue la familia Hygrophoraceae ( $R^2= 0.44$ ,  $p=3.7633e^{-08}$ ), esto probablemente se debe a que muy pocas especies de esta familia suelen formar micorrizas (Seitzman y otros, 2011, p.280) y las predicciones fenológicas son distintas entre organismos saprófitos y micorrícicos (Gange y otros, 2007, p.71). De forma independiente los hongos saprófitos utilizan el carbono fijado en años previos mientras que los hongos micorrícicos pueden verse afectados de forma indirecta ante la respuesta de las plantas ante los factores climáticos ya que estos tienen un efecto sobre su fijación de carbono anual (Moore y otros, 2008, p.89; Gange y otros, 2007, p.71). Según Piao y otros, 2007, p.8, las especies

micorrícicas pueden continuar obteniendo recursos de las plantas hospederas, las cuales tienen una temporada de crecimiento extendida y por lo tanto los hongos asociados ajustan su ciclo para reflejar esta extensión. Esto podría explicar la baja relación entre las variables ambientales y familias abundantes como Russulaceae y Cortinariaceae ya que estas tienden a formar micorrizas (Jacquemyn y otros, 2013, p.616).

Según lo observado por Boddy y otros, 2013, p.6, los hongos responden de diferente forma a la variación climática dependiendo de la especie, en algunos casos los ciclos de fructificación pueden expandirse mientras que en otros pueden contraerse. Esta variación podría dar una posible explicación de porqué otras familias como Omphalotaceae y Mycenaceae que fueron abundantes durante el estudio no presentaron relación alguna con las variables ambientales y probablemente es necesario realizar observaciones de campo en distintas fechas para controlar cualquier desfase fenológico. En el caso de Marasmiaceae, que presentó una alta riqueza en el presente trabajo, el estudio de Sunum, 2013, p.73, encontró indicios de que la temperatura, humedad relativa y precipitación tienen un impacto sobre la abundancia de cuerpos fructíferos del género *Marasmius*. Se coincide con el presente estudio al relacionar la temperatura con la abundancia de cuerpos fructíferos, sin embargo, se difiere con la humedad relativa lo cual podría deberse a que las condiciones climáticas son bastante distintas entre el BUCQ y el PNLL. En el BUCQ la humedad relativa se mantiene alta y relativamente constante mientras que en el PNLL la humedad es más variable y probablemente los hongos dependan más de ella.

Según Papa, 2015, p. 48, se encontró una relación entre la riqueza de hongos con el diámetro de la copa de los árboles donde lugares con un menor diámetro de la copa de los árboles presentaban una mayor riqueza de hongos, sin embargo, esto difiere a los resultados encontrados en el presente estudio. Los sitios C y D presentaron una menor cobertura arbórea y áreas más grandes con un mayor ingreso de radiación solar en comparación con los sitios A y B, donde la cobertura fue más densa. La temporalidad en la que fueron realizados ambos estudios pudo haber causado una diferencia entre los resultados, así como pudo haber sido diferente la evapotranspiración y la frecuencia de precipitación entre un

año y otro. Estos son factores que deben tomarse en cuenta en futuros monitoreos.

La temperatura del suelo es el balance entre las pérdidas y ganancias de calor. La radiación solar es la principal fuente de calor y las pérdidas son ocasionadas por factores como conducción, convección y el calor latente de la volatilización consumida durante la evaporación de agua. Cuando se encuentra un dosel bien desarrollado, la temperatura de las capas superiores del suelo varían más o menos de acuerdo con la temperatura del aire que se encuentra inmediatamente arriba de ellas. En el caso de una ausencia del dosel la temperatura superficial del suelo puede ser mucho mayor que la temperatura del aire debido a la absorción directa de radiación solar (Binkley y Fisher, 2012, p. 212). Esto da soporte a la relación encontrada entre la temperatura y la fructificación de los hongos ya que para fructificar los hongos necesitan un descenso de 5 a 10° C de la temperatura óptima, mientras que una temperatura alta promueve el crecimiento del micelio (Moore y otros, 2008, p.92). Esto podría explicar por qué se encontró menos riqueza y un menor número de cuerpos fructíferos en los sitios C y D, los hongos presentes simplemente podrían haberse encontrado en una fase vegetativa por estar expuestos a temperaturas mayores y por lo tanto, no haber recibido el estímulo suficiente para fructificar. Cabe mencionar que la temperatura del suelo generalmente disminuye al aumentar la elevación, además es afectada por la latitud y por la dirección de la pendiente, en el hemisferio norte los suelos reciben más radiación solar en pendientes que dan hacia el sur, mientras que en el hemisferio sur reciben más en pendientes que dan hacia el norte (Binkley y Fisher, 2012, p. 213), por lo que es necesario mantener un control de estos factores al momento de realizar evaluaciones.

Debido a la fuerte relación encontrada entre la familia Hygrophoraceae y la temperatura se propone que la especie *H. cantharellus* (Schwein.) Murrill sea utilizada para monitoreos posteriores ya que representa más del 80% de los registros para esta familia. Esta especie se encontró principalmente en los sitios más fríos (A y B) y se ausentó casi por completo en los sitios más cálidos (C y D), por lo que parece reflejar mejor sus patrones de fructificación con los cambios de temperatura. Aunque se ha encontrado que está emparentada con otras especies que forman asociaciones no micorrícicas con briofitas

(Seitzman y otros, 2011, p.281), aún no hay evidencia clara de que esta especie forme asociaciones con otros organismos por lo que puede eliminarse cualquier interacción biológica que afecte sus patrones fenológicos. Otra ventaja es que es una especie abundante y fácil de identificar en el campo (ver anexo 1).

En conclusión, este estudio provee más indicios de la influencia de la temperatura sobre la producción de basidiomas en el campo. Aunque fue mayormente evidente en la familia Hygrophoraceae se muestra la importancia de los factores abióticos sobre los ciclos fenológicos de los hongos y su potencial uso como indicadores del cambio climático que se ha ido evidenciando con el paso de los años.



## 10. CONCLUSIONES

- Las familias de Agaricomycotina que presentaron la mayor riqueza fueron Russulaceae (27), Cortinariaceae (25), Marasmiaceae (18) y Mycenaceae (12).
- Los sitios A y B, los cuales corresponden a una misma altitud, presentaron la mayor riqueza de Agaricomycotina con un total de 50 y 38 morfoespecies respectivamente
- Las familias que presentaron la mayor producción de basidiomas durante los meses de julio, agosto y septiembre fueron Omphalotaceae con 234 basidiomas e Hygrophoraceae con 198 basidiomas.
- Los sitios se dividieron en dos estratos de temperatura, siendo los sitios A y B los más fríos y los sitios C y D los más cálidos, esto concuerda también con la diferencia altitudinal entre ambos dos estratos, el estrato frío se encuentran a 2180 msnm y el cálido a 1700 msnm, por otro lado no se encontró una diferenciación de la humedad relativa entre los sitios. Se encontró una fuerte relación entre la abundancia de basidiomas y la temperatura ( $r=0.55$ ,  $p=0.001$ ), sin embargo, no se evidenció una relación aparente con la humedad relativa ( $r= 0.10$ ,  $p=0.074$ ).
- La familia Hygrophoraceae mostró una correlación alta con la temperatura ( $r= -0.69$ ,  $p=7.551e^{-10}$ ), además presentó una relación inversa con la temperatura ( $R^2= 0.44$ ,  $p=3.7633e^{-08}$ ) donde la abundancia de basidiomas disminuye conforme aumenta la temperatura del lugar.

## 11. RECOMENDACIONES

- Estudiar con más detalle la ecología de la especie *Hygrocybe cantharellus* (Schwein.) Murrill para fortalecer su uso como indicador de cambio climático en futuros monitoreos del área ya que en el presente estudio sus patrones fenológicos han mostrado ser sensibles a los cambios de temperatura, no parece tener alguna relación simbiótica con otros organismos, es abundante, fácil de encontrar y su identificación es sencilla.
- Realizar muestreos en distintas épocas del año ya que a pesar de existir una época lluviosa, la humedad relativa del lugar permanece en un rango constante y no mostró tener relación con los patrones fenológicos de los hongos, además que no todos los hongos suelen reaccionar de la misma manera a los cambios climáticos y sus ciclos fenológicos podrían entrar o salir del período de tiempo de la época lluviosa.
- Efectuar una metodología donde solamente se colecten hongos dos veces por semana para evaluar su cobertura de muestreo. En el presente estudio se realizaron colectas con dos días de por medio entre colecta, es decir un día sí, dos días no, y se obtuvo una buena cobertura de muestreo, pero es posible que se pueda encontrar una frecuencia de colecta más eficiente y factible para ser ejecutada en monitoreos de largo plazo.
- En estudios posteriores hacer énfasis en la certeza taxonómica de los hongos colectados para poder fortalecer la interpretación de los resultados obtenidos.

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ataroff, M. (2001). Venezuela. En: Kappelle, M., Brown, A. (Eds). *Bosques Nublados del Neotrópico*. Editorial IMBIO, Costa Rica, pp. 397-442.
- Berlin, K., Pratt, T., Simon, J., Kowalsky, J. (2000). *Plant Phenology in a Cloud Forest on the Island of Maui, Hawaii*. *Biotropica*, 32, 90-99.
- Binkley, D., Fisher, R. (2012). *Ecology and Management of Forest Soils*. USA: John Wiley & Sons.
- Blackwell, M., Spatafora, J.W. (2004). *Fungi and Their Allies*. En Mueller, G.M., Bills, G.F., Foster, M.S. *Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods*. (pp. 7-21). California: Elsevier Academic Press.
- Boddy, L., Büntgen, U., Egli, S., Gange, C.A., Heegaard, E., Kirk, P.M., Mohammad, A., Kauserud, H. *Climate variation effects on fungal fruiting*. *Fungal Ecology*, 30, 1-14.
- Burnham, K., & Anderson, D. (2002). *Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach*. New York: Springer.
- Büntgen, U., Kauserud, H., Egli, S. (2012). *Linking climate variability to mushroom productivity and phenology*. *Front Ecol Environ*, 10 (1), 14-19.
- Carlile, M.J., Watkinson, S.C., Gooday, G.W. (2001). *The Fungi* (2<sup>a</sup> ed.). Reino Unido: Academic Press.
- CECON. (2011). *Plan Maestro Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal “Mario Dary Rivera” (BUCQ) 2011-2015*. Guatemala: CECON.

- Chao, A., Frost, L. (2012). *Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size*. *Ecology*, 93(32), 2533-2547.
- Chao, A., Gotelli, N.J., Hsieh, T.C., Sander, E.L., Ma, K.H., Colwell, R.K. & Ellison, A.M. (2014). *Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies*. *Ecological Monographs*, 84, 45–67.
- Claridge, A., Cork, S., Trappe, J. (2000). *Diversity and habitat relationships of hypogeous fungi. I. Study design, sampling techniques and general survey results*. *Biodiversity and Conservation*, 9, 151-173.
- Crawley, M. (2006). *The R Book*. United Kingdom: John Wiley & Sons.
- CONAP. (2011). *El Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas: Base fundamental para el bienestar de la sociedad guatemalteca*. Guatemala: CONAP.
- Diez, J., James, T., Mcmunn, M., Ibáñez, I. (2013). *Predicting species-specific responses of fungi to climatic variation using historical records*. *Global Change Biology*, 19, 3145-3154.
- Dix, N., Webster, J. (1995). *Fungal Ecology*. United Kingdom: Chapman & Hall.
- Egli, S. (2011). *Mycorrhizal mushroom diversity and productivity - An indicator of forest health?* *Annals of Forest Science*, 68, 81–88.
- Encinas-Viso, F., Revilla, T., Etienne, R. (2012). *Phenology drives mutualistic network structure and diversity*. *Ecology Letters*, 15, 198–208.

- Flores, A., Comandini, O., Rinaldi, A. (2012). *A preliminary checklist of macrofungi of Guatemala, with notes on edibility and traditional knowledge*. *Mycosphere*, 3(1), 1-21.
- Gange, A., Gange, E., Sparks, T., Boddy, L. (2007). *Rapid and Recent Changes in Fungal Fruiting Patterns*. *Science*, 316, 71.
- Geml, J., Pastor, N. Fernandez, L., Pacheco, S., Semenova, T., Becerra, A., Wicaksono C, Nouhra, E. (2014). *Large-scale fungal diversity assessment in the Andean Yungas forests reveals strong community turnover among forest types along an altitudinal gradient*. *Mol Ecol.*, 23(10), 2452-2472.
- Gibergans, J. (2003). *Regresión Lineal Simple*. Recuperado de <http://materials.cv.uoc.edu/cdocent/15TB1WIOWYUI8NVB52CU.pdf>
- Google Inc. (2015). Google Earth (Versión 6.2.2.6613) [Software]. Disponible en: <https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html>
- Hawksworth, D. (2001). *The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited*. *Mycol. Res.*, 105(12), 1422-1432.
- Hawksworth, D., Mueller, G. (2005). Fungal Communities: Their Diversity and Distribution. En Dighton, J., White, J., Oudemans, P. *The Fungal Community: Its Organization and Role in the Ecosystem* (27-37). USA: Taylor & Francis Group.
- Hibbet, D. S. (2007). *Agaricomycotina. Jelly Fungi, Yeasts, and Mushrooms*. Disponible en: <http://tolweb.org/Agaricomycotina/20531/2007.04.20>.
- Hsieh, T.C., Ma, K.H. & Chao, A. (2016). *iNEXT: An R package for interpolation and extrapolation of species diversity (Hill numbers)*. To appear in *Methods in Ecology and Evolution*.

- Jacquemyn H., Brys, R., Merckx, V., Waud, M., Lievens, B., Wiegand, T. (2013). *Coexisting orchid species have distinct mycorrhizal communities and display strong spatial segregation*. *New Phytologist*, 202, 616-627.
- Jiménez, J. (2009). *Diversidad de helechos (Monilophyta) en las áreas protegidas del Corredor del Bosque Nuboso, en Purulhá, Baja Verapaz*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Kauserud, H., Heegaard, E., Büntgen, U., Halvorsen, R., Egli, S., Senn-Irlet, B., Krisai-Greilhuber, I., Dämon, W., Sparks, T., Norden, J., Hoiland, K., Kirk, P., Semenov, M., Boddy, L., Stige, L., Stenseth, N. (2012). *Warming-induced shift in European mushroom fruiting phenology*. *PNAS*, 109 (36), 14488-14493.
- Kauserud H., Heegaard, E., Semenov, M., Boddy, L., Halvorsen, R., Stige, L., Sparks, T., Gange, C., Stenseth, N. (2009). *Climate change and spring-fruited fungi*. *Proc. R. Soc. B.*, 227, 1169-1177.
- Kenkel, N.C., Orłóci, L. (1986). *Applying metric and nonmetric multidimensional scaling to ecological studies: some new results*. *Ecology*, 67(4), 919-928.
- Krebs, C., Carrier, P., Boutin, S., Boonstra, R., Hofer, E. (2008). *Mushroom crops in relation to weather in the southwestern Yukon*. *Botany*, 86, 1497–1502.
- Kües, U., Liu, Y. (2000). *Fruiting body production in Basidiomycetes*. *Applied microbiology and biotechnology*, 54, 141–152.
- Menzel, A., Sparks, T., Estrella, N., Koch, E., Aasas, A., Ahas, R., Alm-Küber, A., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, Å, Defila, *et al.* (2006). *European phenological response to climate change*

*matches the warming pattern*. *Global Change Biology*, 12, 1969–1976.

- Moore, D. (1998). *Fungal Morphogenesis*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Moore, D., Gange, A., Gange, E., Boddy, L. (2008). Fruit bodies: their production and development in relation to environment. En Boddy, L, Frankland, J., Van West P. *Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes* (79–102). London: Elsevier.
- Munguia, P., Guzmán-Dávalos, L., Rodríguez, O. (2003). *Macromycete Phenological Approximations In Western Mexican Forests*. *The Southwestern Naturalist*, 48 (4), 661-728.
- Papa, M. E. (2014). *Patrones de fructificación de macrohongos asociados a Quercus sp en el Biotopo Universitario para la conservación del Quetzal “Lic. Mario Dary Rivera”*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Papa, M. E. (2015). *Relación de la frecuencia de hongos ectomicorrícicos con la estructura y composición de especies arbóreas en el Biotopo Universitario para la conservación del Quetzal “Mario Dary Rivera”*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Parrado-Roselli, A., Machado, J., Prieto-López, T. (2006). *Comparison between two methods for measuring fruit production in a Tropical Forest*. *Biotropica* 38(2), 267-271.
- Piao, S., Friedlingstein, P., Ciais, P., Viovy, N., Demarty, J. (2007). *Growing season extension and its impact on terrestrial carbon cycle in the Northern Hemisphere over the past 2 decades*. *Global Biogeochemical Cycles*, 21, 1–11.

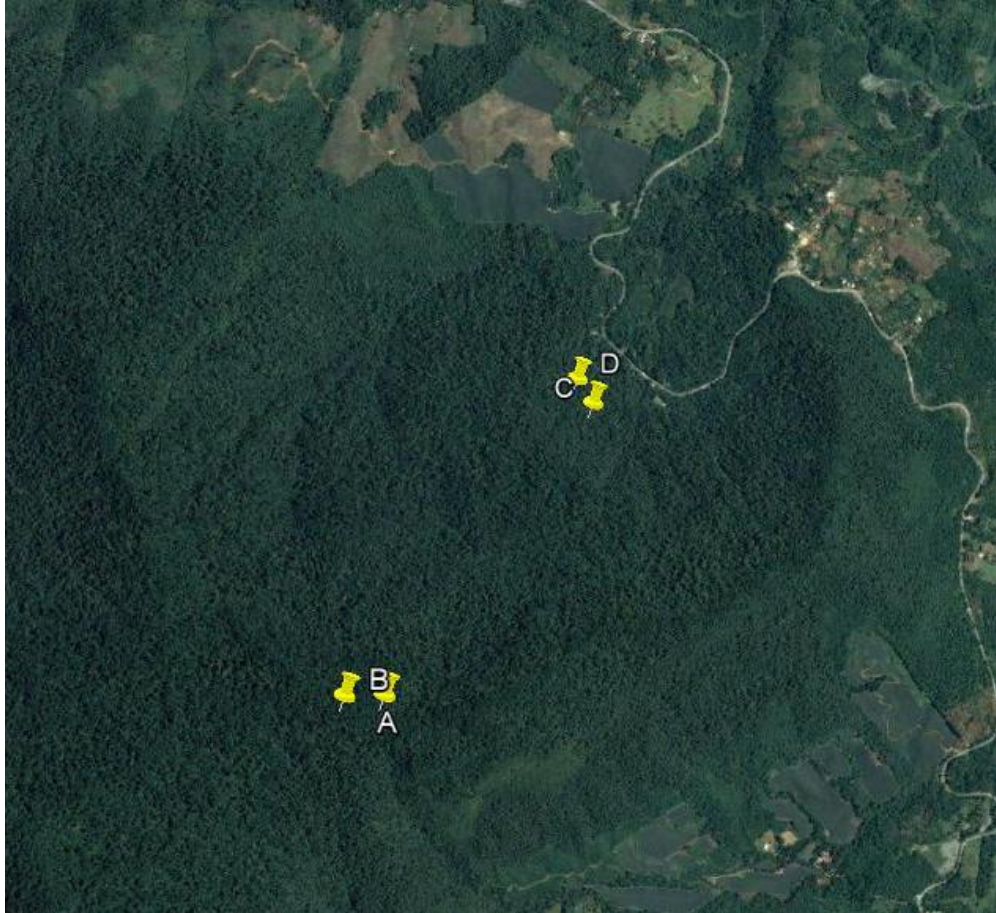
- R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Richardson, A. Black, T., Ciais, P. *et al.* (2010). *Influence of spring and autumn phenological transitions on forest ecosystem productivity*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 3227.
- Root, T., Macmynowski, D., Mastrandrea, M., Schneider, S. (2005). *Human-modified temperatures induce species changes: Joint attribution*. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America*, 102, 7465–7469.
- Sato, H., Morimoto, S., Hattori, T. (2012). *A Thirty-Year Survey Reveals That Ecosystem Function of Fungi Predicts Phenology of Mushroom Fruiting*. *PLoS ONE*, 7 (11), 1-8.
- Seitzman, B.H., Ouimette, A., Mixon, R.L., Hobbie, E.A., Hibbett, D.S. (2011). *Conservation of biotrophy in Hygrophoraceae inferred from combined stable isotope and phylogenetic analyses*. *Mycologia*, 103(2), 280–290.
- Straatsma, G., Ayer, F., Egli, S. (2001). *Species richness, abundance, and phenology of fungal fruit bodies over 21 years in a Swiss forest plot*. *Mycological Research*, 105, 515–523
- Sunum, R. D. (2013). *Efectos de los factores climáticos en la producción de cuerpos fructíferos de Marasmius Fr. (Marasmiaceae: Agaricales) en ocho remanentes de bosque en la Ecorregión Lachuá, Cobán, Alta Verapaz*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.



- Swann, E., Hibbett, D.S. (2007). *Basidiomycota. The Club Fungi*. Recuperado de: <http://tolweb.org/Basidiomycota/20520>.
- Treseder, K. (2005). Nutrient Acquisition Strategies of Fungi and Their Relation to Elevated Atmospheric CO<sub>2</sub>. En Dighton, J., White, J., Oudemans, P. *The Fungal Community: Its Organization and Role in the Ecosystem* (713-731). New York: CRC Press.
- Tsujino, R., Sato, H., Imamura, A., & Yumoto, T. (2009). *Topography emergence of fungal fruiting bodies in warm temperate evergreen broadleaved forests on Yakushima Island, Japan*. *Mycoscience*, 5, 388-399.
- Véliz, M., Islebe, G. (2001). Guatemala. En: Kappelle, M., Brown, A. (Eds). *Bosques Nublados del Neotrópico*. Editorial IMBIO, Costa Rica, pp. 85-123.
- Walker, G.M., White, N.A. (2005). Introduction to Fungal Physiology. En Kavanagh, K. *Fungi Biology and Applications* (1-34). England: John Wiley & Sons Ltd.
- Webster, J., Weber, R. (2007). *Introduction to Fungi* (3<sup>a</sup> ed.). New York: Cambridge University Press.
- Wösten, H., Wessels, J. (2006). The Emergence of Fruiting Bodies in Basidiomycetes. En Esser K., Kües, U., Fischer, R. *The Mycota: Growth, differentiation and sexuality* (393-414). Germany: Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

### 13. ANEXOS

Anexo 1. Mapa de la ubicación de los cuatro transectos seleccionados dentro del Biotopo Universitario para la Conservación del Quetzal.



Fuente: Google Inc., 2015.

Anexo 2. Georeferenciación de los cuatro transectos seleccionados en el BUCQ

Transecto	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
A	15.20339	-90.22762	2180
B	15.20339	-90.2289	2180
C	15.21252	-90.21993	1700
D	15.21332	-90.22046	1700

Anexo 3. Especies y morfoespecies encontradas en el BUCQ.

1. *Lactarius indigo* L.



2. *Lactarius* sp. 1



3. *Hygrocybe cantharellus*  
(Schwein.)Murrill



4. *Tylopilus* sp. 1



5 *Mycena* sp.1



6 *Russula sp1*



9 *Marasmius sp. 1*



7 *Cortinarius sp. 1*



10 *Lactarius sp. 2*



8 *Cortinarius sp. 2*



11 *Clavaria sp. 1*





12 *Marasmius siccus* Schwein. ex Fr.



14 *Russula sp. 2*



15 *Lactarius sp. 3*



15 *Laccaria major*



16 *Russula sp. 3*



17 *Omphalotus sp. 1*



20 *Phylloporus sp. 1*



18 *Lactarius sp. 4*



21 *Tylopilus sp. 2*



19 *Hydnum sp. 1*



22 *Lactarius* sp. 5



24 *Mycena* sp. 2



23 *Lactarius* sp. 6



25 *Naucoria* sp. 1

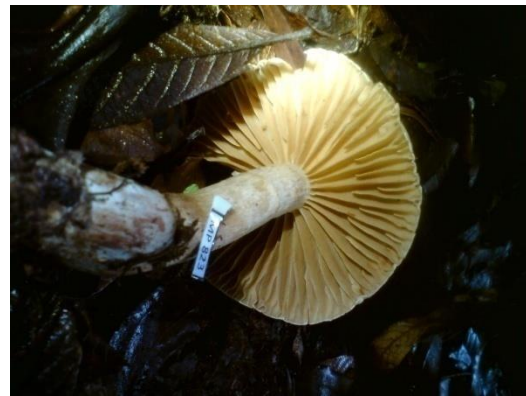


26 *Amanita* sp. 1





27 *Cortinarius* sp. 3



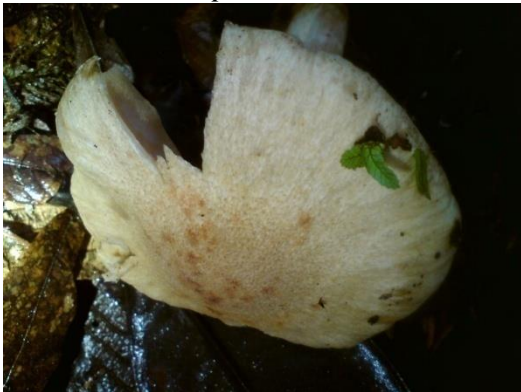
30 *Mycena* sp. 3

28 *Roridomyces* sp. 1



31 *Cortinarius* sp. 5

29 *Cortinarius* sp. 4





33 *Entoloma* sp. 1



35 *Lactarius* sp. 7



33 *Gymnopus* sp. 1



36 *Marasmius* sp. 2



34 *Marasmiellus* sp. 1



37 *Marasmius* sp. 3



38 *Marasmius* sp. 4



40 *Hygrocybe* sp. 1



39 *Galerina* sp. 1



41 *Cortinarius* sp. 6



42 *Marasmius* sp. 5





43 *Naucoria* sp. 2



46 *Lactarius* sp. 8



44 *Mycena* sp. 4



45 *Mycena* sp. 5



47 *Mycena* sp. 6



48 *Naucoria* sp. 3



51 *Pholiota* sp. 2



49 *Pholiota* sp. 1



52 *Boletus* sp. 1



50 *Entoloma* sp. 2





53. *Cortinarius* sp. 7



55 *Simocybe* sp. 1



54 *Agaricus* sp. 1



56 *Cortinarius* sp. 8



57 *Hygrocybe* sp. 2



60 *Russula* sp. 4



58 *Leucopaxillus* sp. 1



61 *Gymnopus* sp. 2



59 *Naucoria* sp. 4



62 *Lactarius* sp. 9





63 *Naucoria* sp. 5



66 *Cortinarius* sp. 9



64 *Marasmiellus* sp. 2



67 *Marasmius* sp. 7



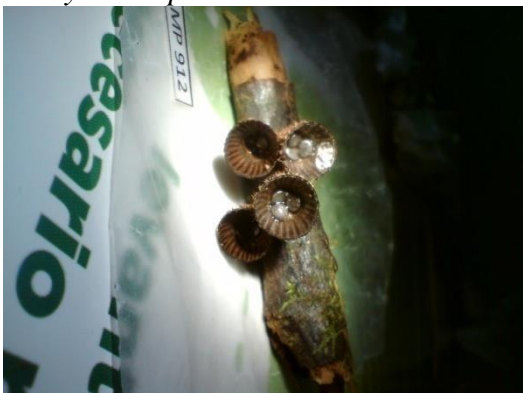
65 *Marasmius* sp. 6



68 *Pluteus* sp. 1



69 *Cyathus sp. 1*



72 *Entoloma sp. 3*



70 *Lactarius sp. 10*



73 *Cortinarius sp. 10*



71 *Lactarius sp. 11*



74 *Cortinarius sp. 11*





75 *Phaeogalera* sp. 178 *Cortinarius* sp. 1276 *Gymnopus* sp. 379 *Eccilia* sp. 177 *Galerina* sp. 280 *Naucoria* sp. 6

81 *Mycena* sp. 7



84 *Mycena* sp. 8



82 *Marasmiellus* sp. 3



85 *Mycena* sp. 9



83 *Gymnopus* sp. 4



86 *Lactarius* sp. 12





87 *Russula sp. 5*



90 *Pachyleprrium sp. 1*



88 *Lactarius sp. 13*



91 *Russula sp. 7*



89 *Russula sp. 6*



92 *Boletus sp. 2*



93 *Hydnum* sp. 2



96 *Cortinarius* sp. 13



94 *Hygrocybe* sp. 3



97 *Boletus* sp. 3



95 *Russula* sp. 8



98 *Cortinarius* sp. 14





99 *Russula sp.* 9



102 *Entoloma sp.* 4



100 *Russula sp.* 10



103 *Cortinarius sp.* 15



101 *Amanita sp.* 2



104 *Mycena sp.* 10



105 *Coprinaceo sp. 1*



108 *Amanita sp. 3*



106 *Gymnopus sp. 5*



109 *Marasmius sp. 8*



107 *Lactarius sp. 14*



110 *Cortinarius sp. 16*

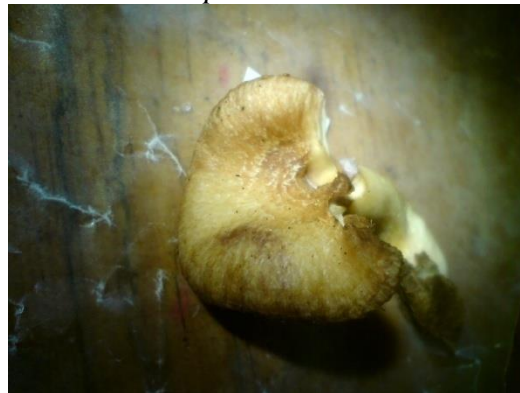




111 *Entoloma* sp. 5



114 *Lactarius* sp. 16



112 *Lactarius* sp. 15



115 *Cortinarius* sp. 17



113 *Gymnopus* sp. 6



116 *Entoloma* sp. 6



117 *Marasmiellus* sp. 4



119 *Boletus* sp. 4



118 *Entoloma* sp. 7



120 *Amanita* sp. 4

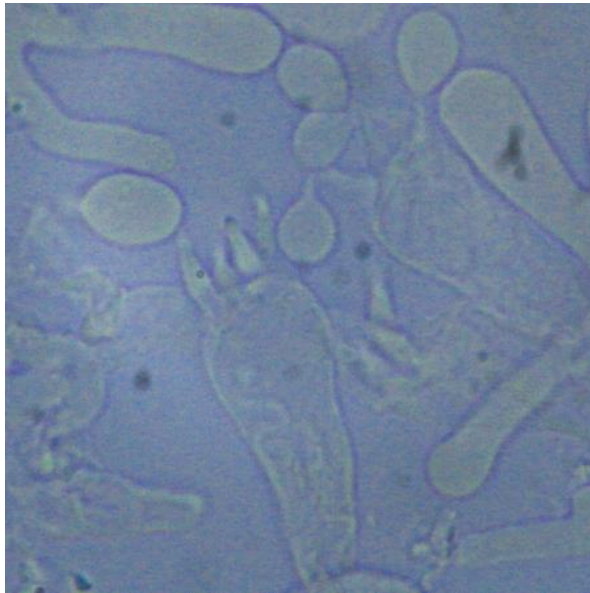


121 *Entoloma* sp. 8





Anexo 4. Ficha descriptiva de *Hygrocybe cantharellus* (Schwein.) Murrill



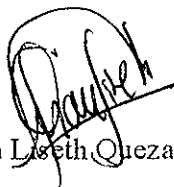
Píleo naranja borde claro, 16mm de diámetro, contexto naranja 1mm; hemisférico, escuamuloso, margen agrietado. Estípite naranja 80mm de largo, cilíndrico, superficie lisa, consistencia cartilaginosa, 3mm ápice y base, unión central, almohadilla de micelio escasa. Himenio regular blanco, 3mm, triangular, decurrente, margen entero, 2 series de lamélulas, subdistantes. Solitario a gregario, húmico.

Monomítico, pared delgada, fíbulas presentes, septos presentes, hifa especial ausente. Pilipelis paralelocutis, trama entrelazada. Cistidios ausentes Basidios tetrasporicos, 5.5 $\mu$ m, esterigmas 0.6  $\mu$ m clavados; basidiolos clavados. Esporas 1-1.1 $\mu$ m largo, 0.6-0.8 $\mu$ m ancho, ovadas, pared lisa, verde olivo, reacción inamiloide.



Juan Pablo Herrera García

Tesista




Dra. Maura Liseth Quezada Aguilar

Asesora



Lic. Mario Cifuentes Gil

Revisor



MSc. Ana Rosalito Barrios de Kodas

Directora Escuela



Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda

Decano Facultad