

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CÁTOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**  
**CARRERA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Caracterización biológica de la diversidad de La Cueva de los Tayos, Morona  
Santiago, Ecuador.**

**Disertación previa a la obtención del título de Licenciada  
en Ciencias Biológicas**

**MARIA AUGUSTA SALAZAR DUQUE**

**Quito, 2024**

## **Certificación de la finalización de la monografía**

Certifico que la Monografía de la carrera de Biología, de la Srta. MARIA AUGUSTA SALAZAR DUQUE ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Santiago F. Burneo', with a stylized flourish extending to the right.

Firma del director de la Monografía

Santiago F. Burneo

Quito, 23 de octubre de 2024

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre, por su amor incondicional y por siempre estar a mi lado, especialmente en los momentos más difíciles, cuando la debilidad parecía abrumarme. Gracias por tu fortaleza y por ser mi apoyo constante.

A mis hermanos, por enseñarme el verdadero significado de la perseverancia y la valentía. Su ejemplo me ha inspirado a seguir adelante, aun en los momentos más desafiantes.

A Micaela Duque, quien estuvo conmigo cada instante de este proceso, brindándome su apoyo y compañía de manera incansable. No puedo agradecer lo suficiente todo lo que has hecho por mí.

A mi padre, por su apoyo y confianza. Sin su respaldo esto no sería posible.

A Mauro Montalvo, quien me brindo su apoyo, amor y ayuda incondicional al final de este camino. Tu consejo siempre fue oportuno y de gran importancia.

A Santiago Burneo, por su paciencia, entrega y dedicación a este proyecto. Tú contribución ha sido invaluable para poder levantar este logro.

Finalmente, a Iliana Alcocer, por ser siempre una voz de aliento y una ayuda constante a lo largo de este camino. Tu apoyo ha sido una fuente de fuerza para mí.

## INDICE

1. Introducción .....	8
2. Área de estudio.....	13
3. Metodología general .....	17
3.1 Microbiología .....	17
3.1.1 Muestreo .....	17
3.1.2 Identificación taxonómica.....	18
3.1.3 Resultados.....	19
3.1.4 Discusión .....	20
3.2 Hongos endófitos y plantas hospederas .....	21
3.2.1 Muestreo.....	21
3.2.3 Aislamiento y clasificación .....	22
3.2.4 Resultados.....	23
3.2.5 Discusión .....	27
3.3 Invertebrados.....	28
3.3.1 Materiales y métodos.....	28
3.3.2 Muestreo.....	28
3.3.3 Resultados.....	29
3.3.4 Discusión .....	30
3.4 Vertebrados .....	31
3.4.1 Materiales y métodos.....	31
3.4.2 Resultados.....	32
3.4.3 Discusión .....	33
Bibliografía.....	37

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Equipo de investigadores a la Expedición Biológica a la Cueva de los Tayos 2018 .	12
<b>Figura 2.</b> Ubicación de la Cueva de los Tayos.	13
<b>Figura 3.</b> Mapa completo de la Cueva de los Tayos, realizado en la expedición inglesa de 1976	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Figura 4.</b> Mapa del interior de la Cueva de los Tayos e identificación de las zonas específicas de sitios de colecta. La descripción de cada sitio consta en la Tabla 1. ...	15
<b>Figura 5.</b> Equipo de Microbiología tomando muestras en el domo de la cueva. ....	18
<b>Figura 6.</b> Zona del <i>Daylight</i> que recibe entre una y dos horas de sol diariamente.....	22
<b>Figura 7.</b> Fotografías de las plantas de la Cueva de los Tayos	24
<b>Figura 8.</b> Murciélago nectario de Handley ( <i>Lonchophylla handleyi</i> ), en el Bosque de estalactitas y estalagmitas. ....	32
<b>Figura 9.</b> Esteban Baus y el equipo de asistentes de la salida obteniendo fotos en vivo de uno de los individuos de peces con síndrome troglobio. ....	33

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Identificación de sitios de colecta dentro de la cueva con descripción de las zonas de la cueva .....	16
<b>Tabla 2.</b> Base de datos bacterias identificadas dentro de la Cueva de los Tayos. ....	19
<b>Tabla 3.</b> Identificación de plantas hospederas de hongos endófitas encontradas dentro de la Cueva De Los Tayos. ....	25
<b>Tabla 4.</b> Identificación de hongos endófitos, por resultados obtenidos usando la herramienta BLAST .....	25
<b>Tabla 5.</b> Identificación de invertebrados de la Cueva de los Tayos .....	29

## **Resumen**

La Cueva de los Tayos, ubicada en Morona Santiago, Ecuador, es un entorno subterráneo extremo caracterizado por la ausencia de luz y la disponibilidad limitada de nutrientes. La caracterización biológica de esta cueva documenta una amplia diversidad organismos, incluidos microorganismos, invertebrados y vertebrados que habitan la cueva. Se identificaron hongos endófitos asociados a las plantas presentes, una comunidad microbiana dominada por el filo Pseudomonadota, además de diversas especies de invertebrados y vertebrados con diferentes adaptaciones específicas a las condiciones desafiantes de la cueva. El estudio destaca la importancia ecológica de la conservación de este frágil ecosistema y la necesidad de continuar investigando para profundizar en la comprensión de adaptaciones biológicas y las dinámicas ecológicas en ambientes subterráneos.

**Palabras clave:** Adaptaciones, biodiversidad, conservación, cueva.

## **Abstract**

The Cave of Tayos, located in Morona Santiago, Ecuador, is an extreme underground environment characterized by the absence of light and limited availability of nutrients. The biological characterization of this cave documents a wide diversity of organisms, including microorganisms, invertebrates, and vertebrates that inhabit it. Endophytic fungi associated with the present plants were identified, a microbial community dominated by the phylum Pseudomonadota, as well as various species of invertebrates and vertebrates with different adaptations specific to the challenging conditions of the cave. The study highlights the ecological importance of conserving this fragile ecosystem and the need to continue researching to deepen the understanding of biological adaptations and ecological dynamics in subterranean environments.

**Keywords:** Adaptations, biodiversity, cave, conservation.

## 1. Introducción

Debajo de la superficie de la Tierra existen cavidades, a las que denominamos cuevas, espacios que pueden llegar a tener grandes dimensiones y comparten una característica en común: la ausencia de luz solar (Culver y Pipan 2019). Existen diferentes tipos de cuevas dependiendo de su conformación: glaciares, marinas, volcánicas, kársticas o no kársticas y de coral (Banks, 1847; Galán y Arrieta, 2014; Gulley y Fountain, 2019; López et al, 2021; Pardo y Robledo, 2016;). En Ecuador hay dos tipos de cuevas, dependiendo de su formación: volcánicas, formadas por flujos de lava como la Cueva del Cascajo en la Región Insular de Galápagos; y, kársticas, cuevas compuestas por roca caliza tanto en la Región Amazónica (Jumandi, Logroño y Los Tayos) como en el Litoral (Cueva del Diablo, Cueva de Palestina; Toulkeridis y Rengifo, 2018).

La falta de luz dentro de las cuevas no permite que los organismos fotosintéticos se desarrollen normalmente, en consecuencia, la oferta vegetal es escasa (Mulec, 2018; Ortuño et al, 2011), la vegetación dentro de las cuevas responde solamente al crecimiento de plántulas a partir de los nutrientes de sus cotiledones y no permite el desarrollo en las partes reproductivas (Culver y Pipan 2019). Existe una mortalidad temprana de plantas, no existe un brote de primordios vegetativos por este motivo existen organismos autótrofos que habitan en la entrada a las cuevas como la Lampenflora presente como una pared verde dentro de las cuevas formado por algas y cianobacterias (Baquedano et al, 2019).

Aprovechando la poca luz existente, exponiendo adaptaciones, asociada con la vida presente dentro de las cuevas, siendo un problema ecológico ya que se da por efecto del uso de iluminación artificial, provocando la contaminación de las aguas subterráneas (Mulec, 2018).

En cuanto a abundancia animal existen limitaciones para la supervivencia asociadas a la falta de luz y la resultante escasez de nutrientes (Culver, 1982). A pesar de estas dificultades se ha encontrado fauna en el interior de las cuevas, con adaptaciones importantes tales como la pérdida de pigmentación, albinismo o hipo pigmentación, reducción parcial o pérdida total de la vista como respuesta a la falta de luz, desarrollo de órganos sensoriales como incremento de pelos o antenas, cambios en la alimentación, la movilidad y comunicación en ambientes oscuros (Culver, 1982). Se han reportado, como organismos con poblaciones en cuevas a invertebrados de los filos Plathelminthes, Nemertina, Gastrotrichia, Tardigrada, Annelida, Mollusca,

Arthropoda que incluye las clases Insecta, Arachnida, y los subfilos Myriapoda y Crustacea (Kocot-Zalewska y Domagala, 2020; Peck, 1985). Se han registrado especies del filo Chordata (varios grupos de peces de los órdenes Percopsiformes, Siluriformes, Kurtiformes y Characiformes que prosperan en hábitats subterráneos), además de especies de las clases Amphibia, Reptilia, Aves y Mammalia (comúnmente del orden Chiroptera) (Toulkeridis y Rengifo, 2018; Constantin y Addison, 2015; Constantin et al, 2019; Ortuño et al, 2011).

La biodiversidad existente en el interior de las cuevas se clasifica, de acuerdo a Culver y Pipan (2019) en:

- **Organismos visitantes subterráneos temporales:** organismos que caen en las cuevas, son llevados por las corrientes de aire o agua, organismos que escapan de las altas o bajas temperaturas, quienes ingresan a las cuevas a buscar alimento,
- **Residentes de las entradas:** organismos que anidan en las entradas, organismos con adaptaciones a zonas de penumbra, organismos que buscan protección de la depredación, también se encuentran colonias de cianobacterias y briofitas,
- **Especialistas en cuevas:** organismos que han desarrollado adaptaciones en sus características morfológicas, fisiológicas y ecológicas para habitar los ambientes subterráneos se clasifican en troglobios, troglófilos y troglóxenos.

La clasificación que se seguirá en el presente artículo es la de Trajano y Carvalho (2017) sobre los organismos especialistas de cuevas que se dividen del sistema Schiner-Racovitza, los cuales son:

- **Troglobio:** residente permanente y obligado de ambientes subterráneos, no tiene la capacidad de desarrollarse en la superficie,
- **Troglófilo:** residente obligado o facultativo de ambientes subterráneos, con asociación a su ciclo vital en la superficie,
- **Troglóxeno:** ocupante esporádicamente en ambientes subterráneos, para completar su ciclo de vida, buscar refugio y alimento.

Existen varios factores ambientales importantes relacionados a la obscuridad total que afectan la supervivencia de los organismos dentro de cuevas como la humedad, la estabilidad estacional, la ventilación y la topografía como los sustratos de los que se compone la cueva o el tipo de cueva: oligotrófica (pobre de recursos tróficos), eutrófica (con abundancia de restos de origen animal) o distrófica (pobres de restos de origen

animal, ricas de restos de origen vegetal; Galán, 1993; Ortuño et al., 2011; Niemiller y Soares, 2015).

Para sobrevivir pese a estos retos ecológicos producto de los factores ambientales únicos de este entorno, los organismos subterráneos han desarrollado adaptaciones altamente especializadas dando lugar a un proceso evolutivo complejo, la comprensión de estos factores y su complejidad es importante para la preservación de estos ecosistemas frágiles, continuar con los estudios permiten conocer mejor estas comunidades biológicas y la supervivencia en este entorno adverso (Galán, 1993).

Como ejemplos de adaptaciones altamente, se puede contextualizar un estudio sobre evolución regresiva. En los animales de cuevas, lo que más resalta es la pérdida de ciertas características por adaptación. Un caso notable es la salamandra de cuevas, *Proteus anguinus*, ya que al vivir en absoluta oscuridad ha perdido la pigmentación de su piel, esta adaptación se da en animales que viven dentro de las cuevas ya que no necesitan protección contra la luz solar, por la misma razón sus ojos se han reducido y están cubiertos por piel (Vörös et al., 2017).

Otro caso relevante dentro de la evolución regresiva es el de *Astyanax mexicanus*, en este pez, los ojos de los individuos que pertenecen a poblaciones troglóbias tienden a reducirse o desaparecer debido a la oscuridad total de su entorno, esto ha sido estudiado mediante loci cuantitativo (QTL), encontrando que los alelos presentes en las poblaciones de cuevas en todos los QTL relacionados con los ojos causan una reducción ocular, esto demuestra que la regresión ocular está impulsada por la selección natural (Protas et al., 2007).

Existe poca información sobre la diversidad microbiana en cuevas, limitada por la falta de exploración, pero es interesante como los organismos microbianos a pesar de la falta de luz existente pueden obtener energía de los enlaces químicos de las moléculas inorgánicas (Barton, 2006; Debut et al, 2015), ya que se han encontrado colonizaciones fúngicas en las heces de los animales que habitan dentro o en materia en descomposición, donde el sustrato se convierte en la fuente de nutrientes para estos organismos (Hermosín et al, 2010). Los microorganismos existentes en las cuevas, conspicuos a simple vista, tienen la capacidad de formar colonias en el interior de estas gracias a su capacidad de cambiar las condiciones de su entorno mediante las propiedades químicas de los minerales presentes en la roca (Barton, 2006). El hábitat estable de las cuevas influye significativamente en la microbiología, ya que este nicho no experimenta cambios drásticos por las condiciones ambientales (Hershey y Barton, 2019).

En Ecuador la investigación en cuevas ha tenido hallazgos únicos como fósiles, nuevas especies de biota y microorganismos (Rodríguez y Toulkeridis, 2019). Los estudios de cuevas de la Amazonía han demostrado la existencia de una importante diversidad, se han encontrado comunidades de invertebrados del filo Mollusca, una abundancia significativa del filo Arthropoda y comunidades de vertebrados como peces de las familias Astroblepidae y Characidae, anfibios, reptiles de la familia Boidae, aves de la familia Steatornithidae, mamíferos de los órdenes Chiroptera y Rodentia (Espinasa et al, 2018; Rodríguez y Toulkeridis, 2019; Constantin et al, 2019). La mayoría de estos estudios se han realizado en cuevas de menor longitud en diferentes provincias de la Amazonía ecuatoriana; la Cueva de los Tayos, en el suroriente del país, no había sido caracterizada previamente en su composición biótica.

La Cueva de los Tayos, ubicada al sureste de la Cordillera del Cóndor a la altitud aproximada de 800 m, en el cantón Limón Indanza en la provincia de Morona Santiago, Ecuador, es una formación natural subterránea de 200 millones de años de geotipo kárstico (Pazmiño et al, 2017). Tschopp (1953) explicó que las cuevas kársticas de la Amazonía ecuatoriana formadas principalmente por caliza, dolomita, argilita y arenisca. La roca caliza y la dolomita al disolverse fácilmente en agua ligeramente ácida, dan lugar a la formación de cuevas. Aunque la argilita y la arenisca son menos propensas a disolverse, también están presentes en el entorno geológico de estas cuevas, contribuyendo a la diversidad de las formaciones subterráneas. El nombre de esta cueva tiene origen en las aves que la habitan *Steatornis caripensis* (Caprimulgiformes: Steatornithidae) comúnmente conocido en Ecuador como "tayo". Alrededor de la cueva se observa un Bosque siempreverde piemontano sobre afloramiento de roca caliza de las cordilleras amazónicas, caracterizado como Bosque siempreverde piemontano de las cordilleras del Cóndor-Kutukú (Guevara y Josse, 2013). Aunque se han realizado varias expediciones importantes a esta cueva, han tenido énfasis en su compleja geología, antropología, arqueología e incluso, investigación paranormal, por mitos de la comunidad Shuar y supuestos artefactos encontrados en su interior (Toulkeridis et al, 2015).

El ecosistema externo de la Cueva de Los Tayos, se forma por un bosque denso por sus prevalentes precipitaciones y perseverantes condiciones climáticas, en el suelo se hallan altos niveles de carbonato de calcio y su pH es neutro o débilmente ácido (Guevara y Josse, 2013; Silva, 2020).

El conocimiento de la biodiversidad del interior de esta cavidad subterránea se ha visto limitado por el difícil acceso hacia la cueva que se realiza por una abertura con una

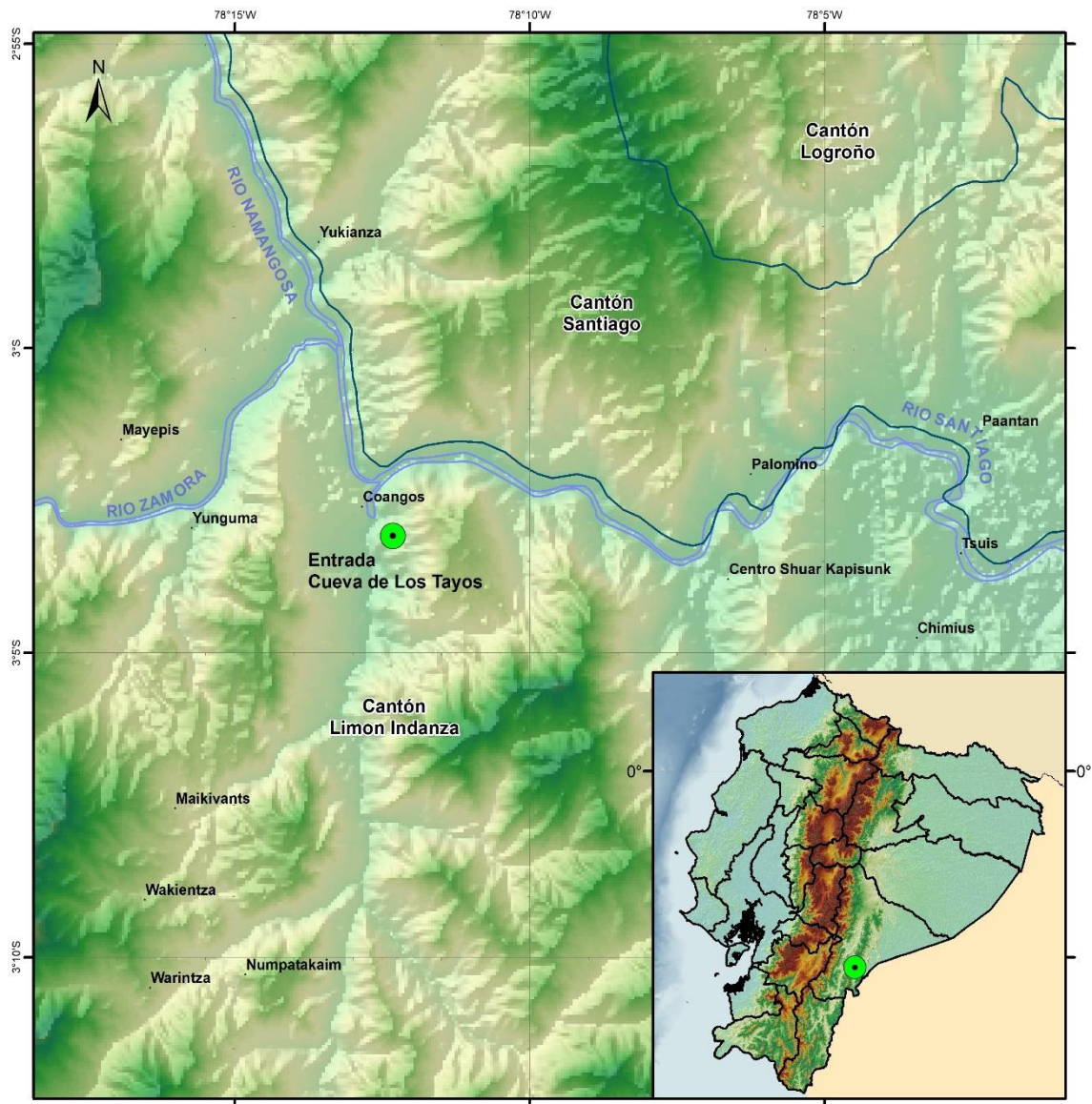
caída vertical de 70 m. Por esta razón, en noviembre de 2019, se llevó a cabo una expedición biológica en la Cueva de Los Tayos por parte personal de la Escuela de Ciencias Biológicas de la PUCE (Figura 1). El presente trabajo busca sistematizar y divulgar los resultados de dicha expedición.



**Figura 1.** Equipo de investigadores a la Expedición Biológica a la Cueva de los Tayos 2018 (Fotografía: Esteban Baus).

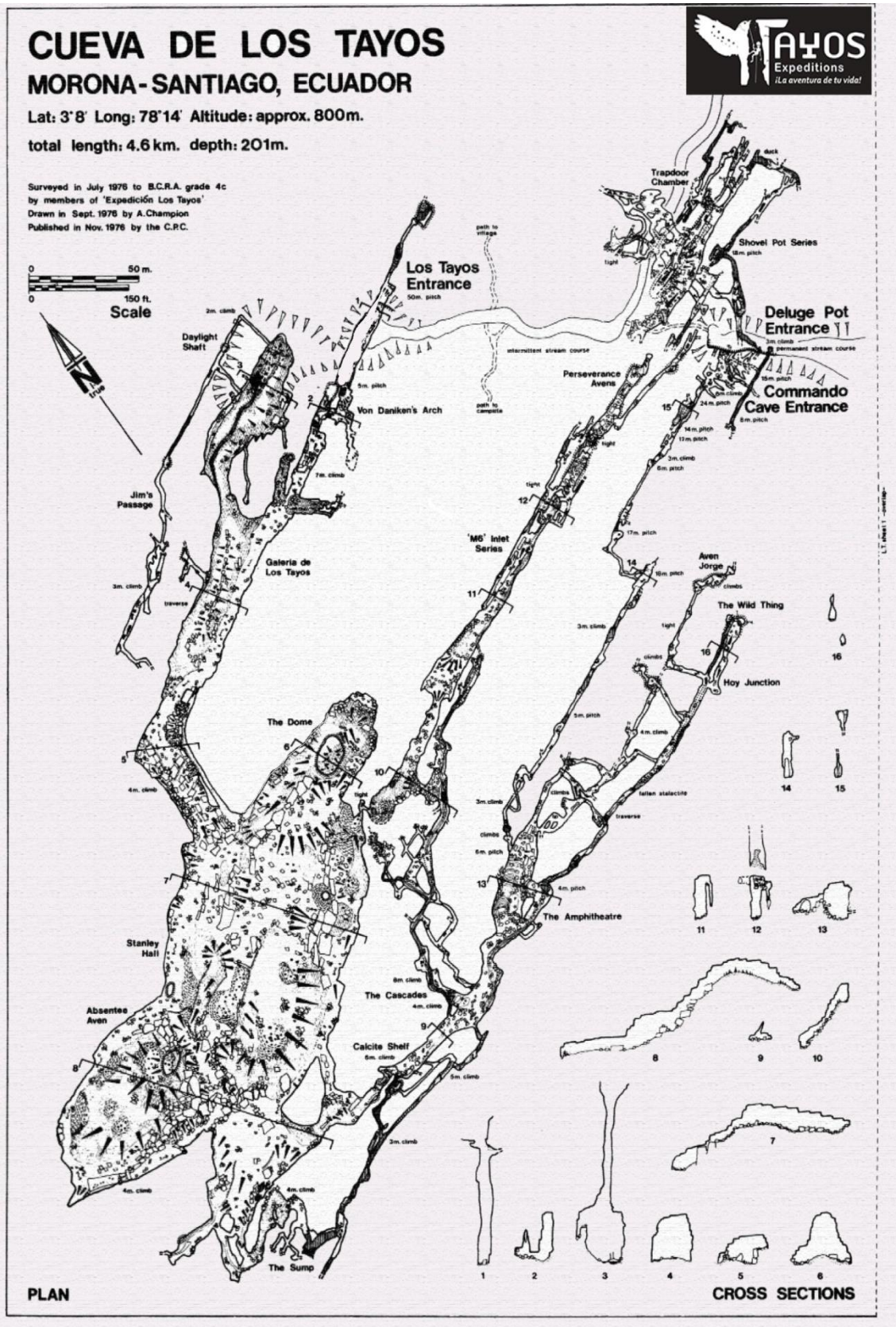
## 2. Área de estudio

El estudio se realizó con la expedición científica del proyecto de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador “Cueva de los Tayos” en el año 2019. La Cueva de los Tayos se ubica en la provincia de Morona Santiago, en el cantón Limón Indanza, en la parte septentrional de la cordillera del Cóndor, Ecuador. La entrada se ubica cerca a la Comunidad de Coangos en los  $3^{\circ} 3' 4.9''$  de latitud sur y  $78^{\circ} 12' 19.1''$  de longitud oeste (Figura 2).



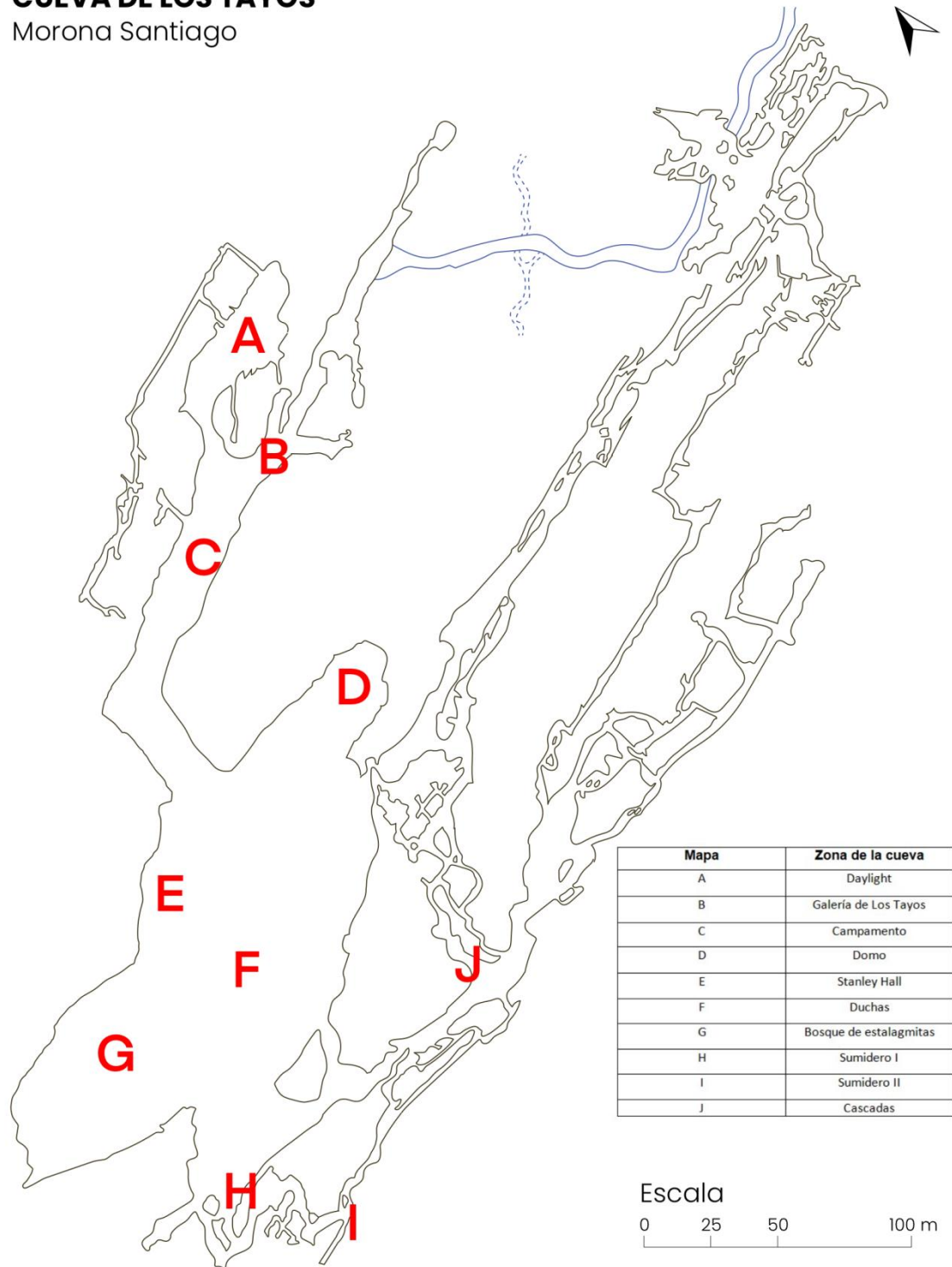
**Figura 2.** Ubicación de la Cueva de los Tayos.

El interior de la cueva fue mapeado originalmente por una expedición de un equipo de espeleólogos ingleses en 1976 (Figura 3). Los sitios de colecta fueron marcados sobre la base del mapa realizado por la expedición inglesa de 1976 (Figura 4, Tabla 1).



**Figura 3.** Mapa completo de la Cueva de los Tayos, realizado en la expedición inglesa de 1976 (Toulkeridis, et al., 2015).

**CUEVA DE LOS TAYOS**  
Morona Santiago



**Figura 4.** Mapa del interior de la Cueva de los Tayos e identificación de las zonas específicas de sitios de colecta. La descripción de cada sitio consta en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Identificación de sitios de colecta dentro de la cueva (Figura 2) con descripción de las zonas de la cueva.

<b>Mapa</b>	<b>Zona</b>	<b>Descripción</b>
A	<i>Daylight</i>	Uno de los orificios de entrada a la cueva, permite el paso de luz de sol al interior por pocas horas al día
B	Galería de Los Tayos	Galería principal y domo más alto de la cueva, incluye un flujo de agua de arroyos del exterior que ingresan a la cueva
C	Campamento	Porción de la Galería de Los Tayos, donde se montó el campamento de la presente expedición
D	Domo	Porción de techos elevados
E	Stanley Hall	Zona de acumulación de rocas que comunica la Galería de Los Tayos con el Domo, la zona de Duchas y el Bosque de estalagmitas
F	Duchas	Zona de filtración de agua del exterior que se usaba para aseo personal y reposición del agua para el campamento
G	Bosque de estalagmitas	Galería dominada por estalagmitas y algunas estalactitas
H	Sumidero I	Zona por la cual el arroyo interno desembocaba a una cavidad de la cueva
I	Sumidero II	Luego del Sumidero I, el arroyo se vuelve a formar para continuar con un cauce descendente
J	Cascadas	Zona de formación de un arroyo interno y cascadas provenientes de otra fuente de agua exterior

### **3. Metodología general**

“La Cueva de los Tayos” es un área es de gran importancia por su valor cultural, arqueológico, y espeleológico, pero que no ha tenido una apropiada caracterización de su biodiversidad, por lo que el presente trabajo aporta datos de importancia científica en vertebrados (aves, mamíferos y peces), invertebrados, bacterias y hongos endófitos. El valor de estos datos no solo se relaciona con la información de nuevas especies y registros, sino también en la información asociada con las adaptaciones desarrolladas para la supervivencia de ambientes extremos. A continuación, se presentará la metodología, los resultados y las discusiones correspondientes a cada componente estudiado.

#### **3.1 Microbiología**

##### **3.1.1 Muestreo**

Para la toma de muestras microbianas, se tomaron en cuenta diversos factores, como el sustrato, las paredes de las cuevas, guano, entre otras, mediante hisopado y toma de muestras en flora procedente de la cueva. La toma de muestras fue realizada por la M. Sc. Camila Cilveti y el Ph.D. Jaime Costales, siguiendo la metodología general reportada en Suárez (2020). Las muestras fueron tomadas mediante hisopados, muestras líquidas en diferentes lugares de la cueva (domo, paredes y suelo del sumidero, el *Daylight*, el bosque de estalagmitas; Figura 5). Las muestras de ambiente fueron obtenidas del suelo y agua filtrada dentro de la cueva. El transporte de las muestras se realizó en recipientes herméticos preservados de la incidencia de la luz solar y el calor. Al llegar a la PUCE fueron refrigerados por el fin de semana hasta enviarlos a análisis en el DISerLAB).



**Figura 5.** Equipo de Microbiología tomando muestras en el domo de la cueva.  
Fotografía: Esteban Baus.

### **3.1.2 Identificación taxonómica**

Las muestras tomadas se enviaron a DISerLAB donde se realizaron análisis microbiológicos como recuento de moho, levaduras, mesófilos aerobios, coliformes totales y bacterias fijadoras de nitrógeno (Suárez, 2020). Las placas que presentaron crecimiento bacteriano se enviaron al Laboratorio de Microbiología de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador para su identificación (Suárez, 2020). Los aislados bacterianos fueron enviados para la identificación se reactivaron en agar sangre con una incubación por 24 horas en 37 °C. Los aislados obtenidos fueron aislados nuevamente en agar nutriente para identificar las especies por espectrometría de masas (MALDI-TOF) prueba realizada por el Dr. Henry Parra, en Guayaquil. Los aislados fueron preservados en agar nutriente con crecimiento por 24 horas a 37 °C en tubos con tapa de caucho hermética, estos

cultivos fueron posteriormente preservados a temperatura ambiente. Además, algunos aislados fueron preservados por congelamiento, para esta técnica se cultivaron los aislados en 5 ml de infusión cerebro corazón (BHI) a 37 °C por 24 horas, posteriormente se agregó 30 % de glicerol estéril, para obtener seis copias en alícuotas de 1ml que fueron transferidas a microtubos estériles, tres fueron preservadas a -20 °C y tres copias a -85 °C (Suárez, 2020).

### 3.1.3 Resultados

En el interior de la cueva se obtuvieron muestras viables para la identificación de las bacterias en los diferentes sitios de colecta dentro de la Cueva de los Tayos. Cada muestra ha sido asignada con un código del Laboratorio de Microbiología de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Católica. Los resultados de las muestras se encuentran en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Base de datos bacterias identificadas dentro de la Cueva de los Tayos. BHI: Muestra de caldo infusión cerebro corazón; NF: Muestra no fermentadora.

Sitio de colecta	Tipo de muestra	Muestras	Identificación	Filo
Sumidero Suelo	Hisopado	BHI (6)	<i>E. coli</i>	Pseudomonadota
Sumidero Suelo	Hisopado	BHI (1)	<i>P. agglomerans</i>	Pseudomonadota
Sumidero Suelo	Hisopado	BHI (1)	<i>K. pneumoniae</i>	Pseudomonadota
Sumidero Suelo	Hisopado	BHI (1)	<i>K. oxytoca</i>	Pseudomonadota
Sumidero Pared	Hisopado	BHI (1)	<i>S. marcescens</i>	Pseudomonadota
Bosque de Estalagmitas	Hisopado	BHI (1)	<i>C. freundii</i>	Pseudomonadota
Bosque de Estalagmitas	Hisopado	BHI (1)	<i>H. alvei</i>	Pseudomonadota
Bosque de Estalagmitas	Hisopado	BHI (3)	<i>E. coli</i>	Pseudomonadota
Bosque de Estalagmitas	Hisopado	BHI (2)	<i>S. marcescens</i>	Pseudomonadota
Bosque de Estalagmitas	Hisopado	BHI (2)	<i>E. aerogenes</i>	Pseudomonadota

Sitio de colecta	Tipo de muestra	Muestras	Identificación	Filo
Bosque de Estalagmitas	Hisopado	BHI (1)	<i>K. pneumoniae</i>	Pseudomonadota
Bosque de Estalagmitas	Agua Filtrada 100 ml	NF (1)	<i>P. aeruginosa</i>	Pseudomonadota
Daylight Roca	Hisopado	BHI (2)	<i>E. coli</i>	Pseudomonadota
Brea	Muestra líquido	BHI (2)	<i>C. freundii</i>	Pseudomonadota
Brea	Muestra líquido	BHI (2)	<i>E. coli</i>	Pseudomonadota
Brea	Muestra líquido	BHI (1)	<i>P. mirabilis</i>	Pseudomonadota
Brea	Muestra líquido	BHI (1)	<i>P. agglomerans</i>	Pseudomonadota
Domo pared	Hisopado	BHI (1)	<i>C. freundii</i>	Pseudomonadota
Domo pared	Hisopado	BHI (1)	<i>P. aeruginosa</i>	Pseudomonadota
Domo pared	Hisopado	BHI (2)	<i>S. marcescens</i>	Pseudomonadota
Domo pared	Hisopado	BHI (1)	<i>C. koserii</i>	Pseudomonadota
Domo pared	Hisopado	BHI (1)	<i>K. pneumoniae</i>	Pseudomonadota

### 3.1.4 Discusión

La cueva de Los Tayos, a pesar de ser un ecosistema subterráneo de ambientes extremos, posee una colonización microbiana importante ya que han sido capaces de prosperar (Kosznik-Kwasnicka, et al., 2022), como se evidencia por su presencia en distintas zonas de la cueva. Un factor importante para la microbiología de cuevas es que este es un ecosistema estático, es decir hay carencia de los procesos dinámicos, y estable, las condiciones ambientales podrían no cambiar en un tiempo indeterminado, promoviendo la diversidad microbiana de la cueva ya que el número de colonias presentes depende de las variables presentes en el entorno y naturaleza de la cueva (Ortiz *et al.* 2013).

La heterogeneidad y el mecanismo implícito de la diversidad microbiana de las cuevas se vincula a la conexión con la superficie (Wu *et al.*, 2015). Existen diversos filos bacterianos en las cuevas por medio de la secuenciación de genes ARNr 16s como: Proteobacteria (Pseudomonadota), Actinobacteria, Firmicutes y Acidobacteria (Turrini et al., 2020; Wu et al. 2015). Las bacterias dominantes de la Cueva de los Tayos corresponden al filo Proteobacteria (Pseudomonadota) (Pozo, 2023).

Las comunidades bacterianas de las cuevas han demostrado tener capacidades evolutivas importantes a pesar de las condiciones adversas, teniendo una diversidad importante (Tomczyk-Żak, y Zielenkiewicz, 2016).

De las 35 muestras obtenidas en la presente expedición, el filo más abundante encontrado fue Pseudomonadota, llamado anteriormente Proteobacterias, demostrando ser uno de los filos más abundantes presentes en cuevas alrededor del mundo, con diferentes géneros presentes en distintas cuevas, siendo el género *Pseudomonas* particularmente el más abundante, como se muestra en el presente estudio (Biagioli, et al., 2023). Siendo importante la composición y la actividad humana presente, por la relación de la actividad microbiana con el exterior, dando como resultado la Cueva de los Tayos una actividad microbiana baja convenientemente por la poca actividad humana presente en su interior.

### **3.2 Hongos endófitos y plantas hospederas**

#### **3.2.1 Muestreo**

Se colectaron muestras de las plantas presentes dentro de la cueva, estas fueron colectadas por el biólogo Fernando Marín. Se tomaron dos muestras de tallos y hojas que no presentaban signos de herbivoría y muestras de todas las plantas con herbivoría. Se colectaron 14 especies de plantas. Las muestras fueron tomadas dentro de la cueva en diferentes zonas (Figura 2, Tabla 1), aunque la mayor parte fue de las plantas de crecimiento lento en la zona del *Daylight* (Figura 6). La primera planta colectada de cada especie se prensó como registro de Herbario QCA para su identificación. El Mtr. Álvaro Pérez del Herbario QCA identificó taxonómicamente las plántulas. Con la identificación correspondiente se les designó código y fueron ingresadas al Herbario QCA (Silva, 2020).



**Figura 6.** Zona del *Daylight* que recibe entre una y dos horas de sol diariamente, lo que permite el crecimiento lento de ciertas plantas. Fotografía: Santiago F. Burneo.

### 3.2.2 Aislamiento y clasificación

Las muestras colectadas se sometieron a esterilización mediante lavados con etanol al 95 %, cloro al 5 % y etanol al 70 %, respetando el protocolo del laboratorio de Biotecnología Vegetal de la PUCE (Strobel, 2003; Portero, 2013; Silva, 2020). Con las muestras estériles se cortaron las hojas en pequeñas porciones y los tallos en trozos. Los tejidos de las hojas se colocaron en cajas Petri con el medio de cultivo agar extracto de malta en concentración 1 en 10 (MEA 1:10), los tallos se colocaron en cajas Petri con el medio de cultivo agar papa dextrosa en concentración 1 en 10 (PDA 1:10), se incubaron a temperatura ambiente ( $\sim 23^{\circ}\text{C}$ ) y se observaron cada 24 horas para observar el crecimiento del micelio (Rodríguez, et al., 2009), se dio la revisión individual de las placas con micelio en el estereomicroscopio para evitar la contaminación. A los 7 y 14 días se fotografiaron las partes superior e inferior de las cajas (Silva, 2020).

Los endófitos aislados fueron asignados con códigos y se siguió el protocolo del Laboratorio de la PUCE y se ingresaron a la colección de hongos endófitos Quito Católica (CEQCA; Portero, 2013). Las clasificaciones de los morfotipos se dieron tomando en cuenta características morfológicas de los hongos, como color, forma,

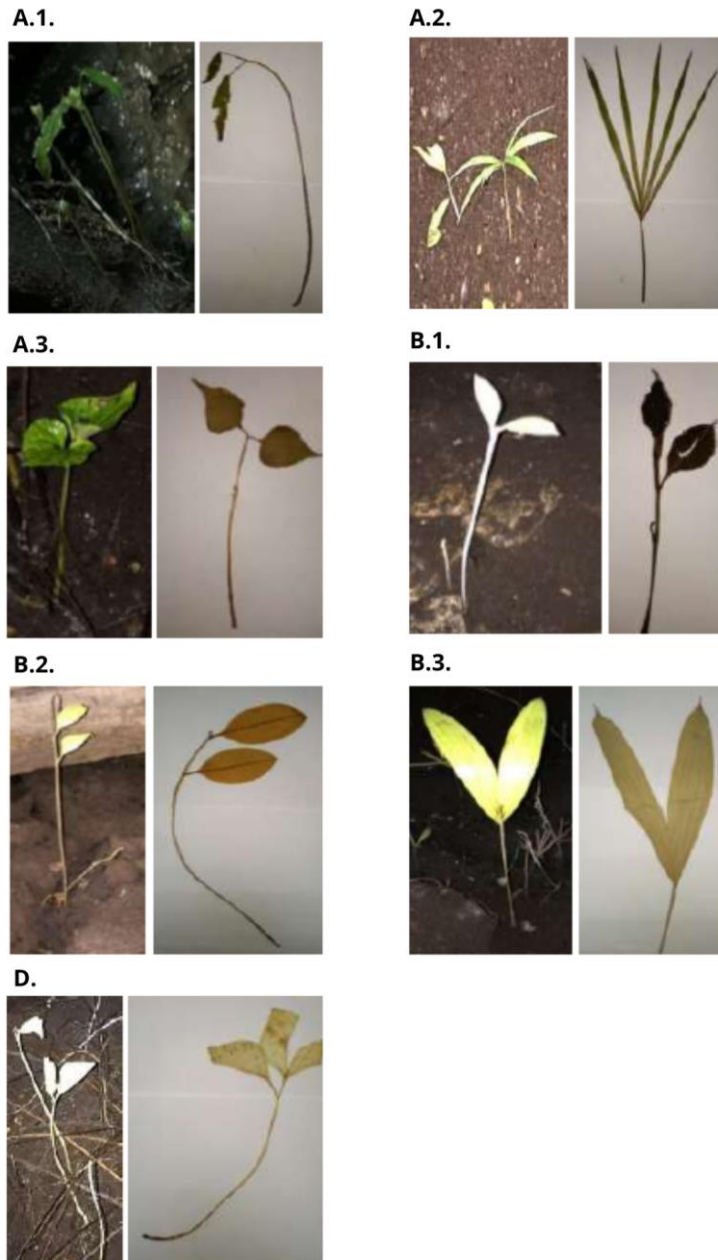
elevación, textura, crecimiento, producción de metabolitos propagado en el agar (Lacap, et al., 2003; Portero, 2013;). Las identificaciones taxonómicas fueron obtenidas con secuencias disponibles en el GenBank usando la herramienta BLAST (Arnold y Lutzoni, 2007), se identificaron según el taxón reportado para el resultado con mejor porcentaje de similitud en BLAST. La identificación fue tentativa ya que las secuencias presentaron una cobertura de ~98 % y un valor E de 0.0, indicando una alta probabilidad de coincidencia entre la secuencia y la base de datos.

Un valor E bajo muestra una mayor correspondencia entre las secuencias. La cobertura representa la proporción de la secuencia de referencia cubierta por la muestra, un porcentaje de cobertura cercana al 100 sugiere que la muestra abarca toda la secuencia de referencia. El porcentaje máximo de identidad es el porcentaje de nucleótidos o aminoácidos idénticos entre la muestra y la secuencia de referencia, el 100% de identidad significa que ambas secuencias coinciden perfectamente en las posiciones alineadas (Silva, 2020; Portero 2013).

### **3.2.3 Resultados**

#### **Plantas hospederas de hongos endófitos**

Se colectaron siete especies vegetales (Figura 7), las cuales fueron clasificadas como estadio de plántulas conforme a sus características vegetativas y el tamaño presentado, ninguna de las plantas colectadas presentó órganos sexuales desarrollados (Silva, 2020).



**Figura 7.** Fotografías de las plantas de la Cueva de los Tayos obtenidas de Silva, 2020. (A,B y D) espécimen vivo (izq), espécimen seco (der). A: *Daylight*, A.1., *Trema* sp; A.2., *Euterpe precatória*; A.3., Sp. 3. B: Galería de los Tayos, B.1., Sp. 1; B.2. *Virola* sp.; B.3., *Oenocarpus bataua*. D: Domo, Sp. 2.

A nivel de especie se identificaron dos muestras de la familia *Arecaceae* (*Oenocarpus bataua* y *Euterpe precatória*), a nivel de género se identificaron dos muestras, *Trema* sp. de la familia *Cannabaceae* y *Virola* sp. de la familia *Myristicaceae* y tres especies no se pudieron identificar como género y especie y se tomaron en cuenta como sp1 de la familia *Asteracea*, sp2 sin familia y sp3 sin familia reportada en (Tabla 2; Suarez, 2020).

**Tabla 3.** Identificación de plantas hospederas de hongos endófitas encontradas dentro de la Cueva de los Tayos. Tomado de Silva (2020).

<b>Sitio de colecta</b>	<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Género y especie</b>
Galería	Magnoliales	Myristicaceae	<i>Virola</i> sp.
Galería	Arecales	Areceaceae	<i>Oenocarpus bataua</i>
Galería	Asterales	Asteraceae	Sp. 1
Domo	No identificada	No identificada	Sp. 2
Daylight	No identificada	No identificada	Sp.3
Daylight	Arecales	Areceaceae	<i>Euterpe precatoria</i>
Daylight	Rosales	Cannabaceae	<i>Trema</i> sp.

### Clasificación e identificación de hongos endófitos

De entre los siete especímenes de plantas colectadas, se aislaron 69 hongos endófitos, dentro de los cuáles se encontraron 42 morfotipos, 16 exclusivos de tejidos de hojas, 21 exclusivos de tejido de tallo y cinco comparten tejidos (Tabla 3, Silva, 2020).

**Tabla 4.** Identificación de hongos endófitos, por resultados obtenidos usando la herramienta BLAST. El porcentaje de cobertura, máxima identidad (Max ID) y el valor de E que es 0.0 para la secuencia con mayor similitud (Silva, 2020).

<b>Planta hospedera</b>	<b>Tejido</b>	<b>Morfotipo</b>	<b>Taxón</b>	<b>Valor E</b>	<b>% cobertura</b>	<b>% Max ID</b>
<i>Virola</i> sp.	Tallo	33	<i>Colletotrichum</i> sp1.	0	99 %	100
<i>Virola</i> sp.	Tallo	22	<i>Diaporthe</i> sp1.	0	98 %	97.59
<i>Virola</i> sp.	Tallo	7	<i>Diaporthe</i> sp2.	0	100 %	98.90
<i>Virola</i> sp.	Tallo	7	<i>Diaporthe</i> sp3.	0	100%	98.73%
<i>Virola</i> sp.	Tallo	19	<i>Mucor</i> sp.	0	100%	98.50%
<i>Virola</i> sp.	Hoja	28	<i>Mycoleptodiscus</i> sp1.	0	98%	100%
<i>Virola</i> sp.	Tallo	28	<i>Mycoleptodiscus</i> sp1.	0	98%	100%
<i>Virola</i> sp.	Tallo	23	<i>Penicillium</i> sp1.	0	99%	97.56%
<i>Virola</i> sp.	Hoja	20	<i>Phomopsis</i> sp.	0	100%	99.64%
<i>Virola</i> sp.	Tallo	24	<i>Talaromyces</i> sp.	0	90%	89.10%
<i>Virola</i> sp.	Hoja	5	<i>Xylaria</i> sp1.	0	83%	96.94%
<i>Virola</i> sp.	Tallo	31	<i>Xylaria</i> sp1.	0	83%	97.81%

Planta hospedera	Tejido	Morfotipo	Taxón	Valor E	% cobertura	% Max ID
<i>Virola</i> sp.	Tallo	36	<i>Xylaria</i> sp1.	0	83%	97.18%
<i>Virola</i> sp.	Tallo	32	<i>Xylaria</i> sp2.	0	100%	99.64%
<i>Virola</i> sp.	Tallo	11	<i>Xylaria</i> sp3.	8.00 E-46	52%	79.86%
<i>Euterpe prectoria</i>	Hoja	3	<i>Mycoleptodiscus</i> sp1.	0	99%	100%
<i>Euterpe prectoria</i>	Tallo	29	<i>Mycoleptodiscus</i> sp1.	0	98%	100%
<i>Euterpe prectoria</i>	Hoja	11	<i>Xylaria</i> sp1.	0	93%	97.13%
<i>Euterpe prectoria</i>	Hoja	11	<i>Xylaria</i> sp1.	0	96%	97.66%
<i>Euterpe prectoria</i>	Hoja	10	<i>Xylaria</i> sp1.	0	100%	97.70%
<i>Euterpe prectoria</i>	Hoja	6	<i>Xylaria</i> sp1.	0	83%	97.18%
<i>Euterpe prectoria</i>	Hoja	27	<i>Xylaria</i> sp1.	0	89%	97.13%
<i>Euterpe prectoria</i>	Hoja	6	<i>Xylaria</i> sp1.	0	92%	94.01%
<i>Euterpe prectoria</i>	Hoja	36	<i>Xylaria</i> sp1.	0	100%	98.15%
<i>Euterpe prectoria</i>	Hoja	5	<i>Xylaria</i> sp1.	0	92%	92.58%
<i>Euterpe prectoria</i>	Tallo	38	<i>Xylaria</i> sp5.	0	71%	92.52%
<i>Oenocarpus bataua</i>	Tallo	2	<i>Xylaria</i> sp1.	0	96%	97.35%
<i>Oenocarpus bataua</i>	Hoja	6	<i>Xylaria</i> sp1.	0	100%	94.01%
<i>Oenocarpus bataua</i>	Hoja	13	<i>Xylaria</i> sp1.	0	100%	96.55%
<i>Oenocarpus bataua</i>	Tallo	11	<i>Xylaria</i> sp1.	0	91%	93.91%
<i>Oenocarpus bataua</i>	Hoja	21	<i>Xylaria</i> sp4.	0	100%	99.31%
<i>Trema</i> sp.	Tallo	25	<i>Colletotrichum</i> sp2.	0	100%	99.76%
<i>Trema</i> sp.	Tallo	8	<i>Dactylonectria</i> sp2.	0	100%	99.81%
<i>Trema</i> sp.	Hoja	24	<i>Fusarium</i> sp.	0	100%	99.81%
<i>Trema</i> sp.	Tallo	12	<i>Xylaria</i> sp1.	0	84%	97.18%
Sp1.	Tallo	39	<i>Dactylonectria</i> sp2.	0	100%	99.81%
Sp1.	Tallo	9	<i>Neonectria</i> sp.	0	100%	97.79%
Sp1.	Tallo	11	<i>Xylaria</i> sp1.	0	99%	96.05%
Sp1.	Tallo	11	<i>Xylaria</i> sp1.	0	83%	96.71%
Sp1.	Hoja	27	<i>Xylaria</i> sp1.	0	83%	96.94%
Sp1.	Tallo	12	<i>Xylaria</i> sp1.	0	99%	96.64%
Sp1.	Tallo	11	<i>Xylaria</i> sp1.	0	100%	96.28%
Sp2.	Tallo	17	<i>Hypoxylon</i> sp1.	0	100%	98.25%

Planta hospedera	Tejido	Morfotipo	Taxón	Valor E	% cobertura	% Max ID
Sp2.	Tallo	40	<i>Hypoxylon</i> sp1.	0	100%	98.55%
Sp2.	Tallo	1	<i>Penicillium</i> sp1.	0	100%	98.41%
Sp3.	Hoja	35	<i>Sporothrix</i> sp.	0	100%	99.80%
Sp3.	Hoja	5	<i>Xylaria</i> sp1.	0	100%	97.91%
Sp3.	Hoja	11	<i>Xylaria</i> sp1.	0	99%	98.13%

### 3.2.4 Discusión

La diversidad de hongos en las cuevas suele ser menor en comparación con la diversidad de hongos encontrada en hábitats naturales. En el interior de las cuevas, las especies más abundantes pertenecen al filo *Ascomycota* (~70%), seguido por *Basidiomycota* (~20%) y *Zygomycota* (~7%) (Vanderwolf *et al.*, 2013). Además, se observa una mayor diversidad de hongos en el suelo exterior a las cuevas a comparación con el ambiente interior (Hsu & Agoramorthy, 2001). Se han hallado más de 1150 especies de hongos en cuevas y minas del mundo (Zhang, *et al.*, 2018).

Dentro de la Cueva de los Tayos los filos presentes son *Ascomycota* y *Zygomycota*, siendo el filo *Ascomycota* el filo más abundante, con géneros como *Penicillium* y *Talaromyces* importantes productores de una amplia gama de metabolitos secundarios importantes para el hombre y su desarrollo (Frisvad, 2015).

Los taxones encontrados en esta expedición tienen similitud con los taxones identificadas en cuevas a nivel mundial. Según Zhang *et al.* (2017), en las cuevas kársticas de China se identificaron alrededor de 45 taxones, de los cuales seis coinciden con los resultados expuestos de esta expedición. Estos taxones compartidos son *Penicillium*, *Fusarium*, *Phomopsis*, *Xylaria*, *Diaporthe* y *Hypoxylon*.

Gracias al estudio de Silva (2020) se dio a conocer la relación de hongos endófitos con la vegetación presente al interior de la cueva. El número de aislados fue de 69 hongos endófitos en hojas y tallos de siete especies vegetales, dando como resultado 42 morfotipos por sus características macroscópicas, las especies de hongos endófitos en tejidos vegetales encontrados dentro de la Cueva de los Tayos fue comparativamente bajo en comparación con otros estudios.

### **3.3 Invertebrados**

#### **3.3.1 Materiales y métodos**

Los invertebrados se recolectaron mediante el uso de varios tipos de trampas complementado con búsqueda activa de invertebrados terrestres. Las trampas fueron colocadas sistemáticamente en seis lugares con distintas características geomorfológicas: *Daylight*, Domo, Bosque de estalagmitas, Galería de los Tayos, Duchas y Stanley Hall, permitiendo la comparación entre las comunidades de invertebrados. La colecta fue realizada por el Biol. Francisco Romero.

#### **3.3.2 Muestreo**

Cada estación de muestreo tenía una combinación de trampas en función de las características del terreno, y fueron colocadas a 20 – 40 m de distancia entre ellas, para maximizar la colecta. Los tipos de trampa usados fueron:

- Pitfall, para invertebrados de mayor tamaño, colocadas en agujeros cavados en terrenos blandos (guano), se cebaron con queso en descomposición y se usó etanol al 70 % como perseverante (Martin, 1977).
- Latas y placas de metal, con estas trampas se busca atrapar invertebrados diminutos que no se encuentran en trampas de caída o pitfall. Se montan en terrenos duros o que en su topografía no se puede montar pitfall. Como cebo se usó carne en descomposición con y sin gusanos. Se usan los dos cebos de forma aleatoria. Se usó la variante de placas y latas ya que en las placas ingresan invertebrados de mayor tamaño. Se colocó con en búsqueda de invertebrados de la familia Carabidae.

Para complementar las colectas con el método de trampeo y maximizar el esfuerzo de muestreo, se realizaron búsquedas activas de invertebrados terrestres. En lo posible estas búsquedas se llevaron a cabo durante la noche. Asimismo, se aprovecharon las visitas a lugares únicos y la oportunidad de realizar recolectas oportunistas. Dentro de este método podemos señalar un sub método conocido como “extracción selectiva de sustrato” que consiste en recoger una muestra de sedimento con un potencial de albergar una diversidad considerable de especies de invertebrados, que en este caso eran depósitos de guano y materia orgánica (Wynne et al., 2018). Se separaron los especímenes más grandes con la ayuda de pinzas entomológicas, y se procedió a

separar a los micro-artrópodos más pequeños en el museo de Zoología de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sección Invertebrados (QCAZ-I).

### 3.3.3 Resultados

En el interior de la cueva fueron colectados 618 especímenes, dentro de estos individuos la clase con mayor riqueza de morfoespecies fue Insecta (262), seguida por Arachnida (191), Isopoda (90), Gastropoda (13), Clitellata (9), Diplopoda (4) y Malacostraca (2; Tabla 3).

**Tabla 5.** Identificación de invertebrados de la Cueva de los Tayos.

Sitio de colecta	Tipo de colecta	Phylum	Clase	# de individuos
Bosque de estalagmitas	Colecta manual	Arthropoda	Arachnida	2
Bosque de estalagmitas	Colecta manual	Arthropoda	Insecta	1
<i>Daylight</i>	Colecta manual	Arthropoda	Insecta	31
<i>Daylight</i>	Colecta manual	Arthropoda	Malacostraca	1
<i>Daylight</i>	Colecta manual	Arthropoda	Arachnida	57
<i>Daylight</i>	Colecta manual	Mollusca	Gastropoda	1
<i>Daylight</i>	Placa	Arthropoda	Insecta	30
<i>Daylight</i>	Placa	Arthropoda	Arachnida	4
<i>Daylight</i>	Placa	Arthropoda	Malacostraca	22
<i>Daylight</i>	Trampa de lata	Arthropoda	Malacostraca	2
<i>Daylight</i>	Trampa de lata	Arthropoda	Insecta	57
<i>Daylight</i>	Trampa de caída	Arthropoda	Insecta	65
<i>Daylight</i>	Trampa de caída	Arthropoda	Malacostraca	46
<i>Daylight</i>	Trampa de caída	Arthropoda	Arachnida	5
Domo	Colecta manual	Arthropoda	Malacostraca	1
Galería de Los Tayos				
Tayos	Colecta manual	Arthropoda	Arachnida	1
Duchas	Colecta manual	Arthropoda	Arachnida	7
Duchas	Colecta manual	Arthropoda	Insecta	3

<b>Sitio de colecta</b>	<b>Tipo de colecta</b>	<b>Phylum</b>	<b>Clase</b>	<b># de individuos</b>
Stanley Hall	Colecta manual	Arthropoda	Diplopoda	4
Stanley Hall	Colecta manual	Arthropoda	Arachnida	113
Stanley Hall	Colecta manual	Mollusca	Gastropoda	12
Stanley Hall	Colecta manual	Arthropoda	Malacostraca	46
Stanley Hall	Colecta manual	Arthropoda	Insecta	71
Stanley Hall	Colecta manual	Annelida	Clitellata	9
Stanley Hall	Placa	Arthropoda	Insecta	1
Stanley Hall	Placa	Arthropoda	Arachnida	2
Stanley Hall	Trampa de caída	Arthropoda	Malacostraca	20
Stanley Hall	Trampa de caída	Arthropoda	Insecta	4

### 3.3.4 Discusión

En el estudio de Souza, et al. (2011) se ha destacado la importancia de la geología de las cuevas en la diversidad y distribución de las comunidades de invertebrados, como ejemplo el estudio realizado en las cuevas del bosque Atlántico brasileño muestran como la roca madre influye en la distribución de las comunidades de invertebrados, donde la roca caliza hospeda la mayor diversidad en comparación a formaciones de arenisca. Los organismos invertebrados habitantes troglobios de cuevas suelen tener adaptaciones como falta de pigmentación, ojos reducidos, menos desarrollados o ausentes y extremidades alargadas (Culver y Pipan ,2019).

La clase Insecta es la más diversa descrita hasta la actualidad, con más de un millón de especies descritas hasta el momento, siendo también relevante en las cuevas, con alrededor de más de 30 órdenes y casi 700 familias (Romero, 2009). En el presente estudio los organismos de la clase Insecta son los más abundantes colectados con un total de 262 individuos en diferentes zonas dentro de la cueva y tipos de colectas. La siguiente clase más diversa encontrada al interior de la cueva fue la clase Arachnida con 191 morfoespecies, siendo uno de los grupos con mayor diversidad con al menos 93 000 especies identificadas (Coddington, 2005; Romero, 2009), Malacostraca con 138 morfotipos colectados en la cueva (Romero, 2009).

Dentro de las cuevas las clases más abundantes son Malacostraca y Arachnida (Romero, 2009). Siendo un indicador importante dentro del presente estudio al ser de las clases con mayores morfotipos colectados en la Cueva de los Tayos.

Comparando los resultados obtenidos con estudios previos en cuevas de otras provincias del país, como el realizado en la provincia de Napo por Romero (2020), se observa una mayor riqueza y abundancia de invertebrados en la Cueva de los Tayos, ya que se han registrado 618 especímenes, distribuidos principalmente en las clases Insecta, Arachnida y Malacostraca. En contraste, en las cuevas del Napo se registró un mayor número de especímenes con 3004 individuos, siendo las clases Arachnida y Malacostraca las dominantes, pero con menor presencia de especies con adaptación típica de vida subterránea, como troglobios, la importancia de las adaptaciones de los invertebrados es importantes en las clases encontradas. La Cueva de los Tayos tiene la ventaja de que, por la baja actividad humana, se ha conservado de mejor manera su biodiversidad. Por otro lado, las cuevas en la provincia de Napo, a pesar de tener influencia de presencia humana, permiten la persistencia de la fauna local gracias a los refugios naturales presentes en dichas cuevas, es importante continuar con los estudios de invertebrados para mejorar la comprensión y conservación de estos ecosistemas subterráneos, de gran valor biológico y frágil.

### **3.4 Vertebrados**

#### **3.4.1 Materiales y métodos**

Además de los tayos, reportados previamente para la cueva y cuya presencia fue constatada, se usaron métodos de captura activa y pasiva en el interior, en busca de vertebrados troglobios, troglófilos o troglógenos. Se usaron métodos de captura activa y pasiva:

- Captura activa. Se usaron redes de mano y redes de neblina para la captura de murciélagos, redes manuales para la captura de peces en las zonas de agua corriente subterránea y búsqueda de individuos en el *Daylight* y zonas aledañas.
- Captura pasiva. Se usaron trampas tipo Sherman en zonas del *Daylight* y túneles cercanos para la captura de vertebrados pequeños que pudieran caer en la cueva, estas trampas además podrían servir para el registro de insectos e invertebrados grandes.

### 3.4.2 Resultados

Se constató la presencia de grandes cantidades de tayos o guácharos (*Steatornis caripensis*, Steatornithiformes: Steatornithidae), en el interior de la cueva, especialmente en la Galería de los Tayos y las paredes del *Daylight*. Debido a que esta especie usa la textura de las paredes verticales para hacer sus nidos en zonas altas, no se pudo acceder a ninguno de ellos para constatar la presencia de huevos o polluelos.

Las redes de neblina permitieron capturar individuos del murciélago nectarario de Handley (*Lonchophylla handleyi*, Chiroptera: Phyllostomidae), en agrupaciones ubicadas en el Bosque de estalagmitas (Figura 8). Se pudo constatar por redes en otros sitios y observaciones directas, que es la única especie de murciélago que habita la cueva.



**Figura 8.** Murciélago nectarario de Handley (*Lonchophylla handleyi*), en el Bosque de estalactitas y estalagmitas. Fotografía: Rubén Jarrín.

Se encontró una especie de pez que presenta adaptaciones a cuevas, que no se reporta en el presente trabajo ya que está siendo analizado para una publicación científica (Figura 9).



**Figura 9.** Esteban Baus y el equipo de asistentes de la salida obteniendo fotos en vivo de uno de los individuos de peces con síndrome troglobio. Fotografía: Santiago F. Burneo.

### 3.4.3 Discusión

Los estudios sobre la fauna de cuevas en Sudamérica han arrojado importantes datos sobre mamíferos especializados en ambientes subterráneos, como el ave denominado Tayo (*Steatornis caripensis*), varias especies de murciélagos e incluso se encontró una especie de pez subterráneo.

Se observó que los Tayos anidan en zonas de difícil acceso dentro de las cuevas, lo que reduce el riesgo de depredación y asegura la protección de sus crías. Estos hallazgos refuerzan la importancia de las cuevas como hábitats críticos para la biodiversidad de bosques piemontanos y sugieren que las especies cavernícolas de los Andes tienen adaptaciones altamente especializadas que les permiten prosperar en entornos desafiantes.

Un estudio en Colombia reveló que los tayos pueden desplazarse hasta 112 km en una sola noche (Cárdenas et al., 2020). Sin embargo, la capacidad de los Tayos para encontrar y explotar nichos en estas áreas de montaña, como las cavidades verticales

para anidar, demuestra su notable flexibilidad ecológica y adaptación a hábitats extremos. Esto coincide con observaciones de otros estudios en Perú, donde los tayos también mostraron preferencia por anidar en cuevas inaccesibles (Samaniego, 2020), lo que subraya la importancia de las cuevas en la ecología reproductiva de esta especie.

En la Cueva de los Tayos, además, se encontró la presencia del murciélago nectarívoro de Handley (*Lonchophylla handleyi*, Chiroptera: Phyllostomidae). Esta especie también está presente en otras cuevas del Ecuador, como la cueva El Togado, en Tena, donde se identificaron otras especies de murciélagos como *Carollia brevicauda*, *Carollia perspicillata*, *Desmodus rotundus* y *Lonchorhina aurita* (Lopez, 2018; Ribadeneira, 2017). A pesar de ser una cueva más pequeña, con aproximadamente 500 metros de longitud, El Togado presenta una mayor diversidad de murciélagos (Sánchez et al., 2018).

En la provincia de Napo, Ecuador, se identificaron diversas especies de murciélagos en varias cuevas de los cantones de Tena y Archidona. A pesar de ser cuevas relativamente pequeñas, estas albergan una notable diversidad de especies (Sánchez et al., 2018). Las cuevas de Lluskuayacu 2 y Templo de Ceremonias fueron significativas por su alta diversidad, lo cual atribuye a la abundancia de disponibilidad de alimento y complejidad de refugios, que favorecen la coexistencia de diferentes especies como *Lonchorhina aurita*, *Saccopteryx leptura* y *Peropteryx macrotis*. En contraste, la cueva Elefante albergó solo a *Desmodus rotundus*. En la cueva Aguayacu, se encontraron *Lionycteris spurrelli* y *Desmodus rotundus*, por otro lado, en el sistema Tamia Yuta, la Cueva de los murciélagos albergó a *Peropteryx macrotis*, *Carollia brevicauda* y *Desmodus rotundus*, mientras que la cueva Uctu Iji Changa hospedó a *Peropteryx macrotis* y *Desmus rotundus*. La diversidad de murciélagos es crucial para el ecosistema, ya juegan un rol clave en el control de insectos, la polinización y la dispersión de semillas, manteniendo el equilibrio y la salud ambiental de las cuevas y su entorno.

Algunos de los complejos de cuevas en la provincia del Napo han sido reconocidos como Áreas o Sitios de Importancia de Conservación de Murciélagos, por la Red Latinoamericana y del Caribe para la Conservación de los Murciélagos: Cuevas de la Comunidad Aguayacu ([A-EC-003](#)), Centro Turístico Comunitario Chikillu ([A-EC-004](#)), Cuevas de la Comunidad Tamia Yura ([A-EC-005](#)) y Cueva El Togado ([S-EC-002](#); Barquez et al, 2022).

En cuevas colombianas como la Cueva de Macaregua, se han registrado alrededor de diez especies de murciélagos pertenecientes a diversas familias, como *Phyllostomidae*, *Vespertilionidae*, *Mormoopidae* y *Natalidae* con una población fluctuante de hasta 10 000 individuos (Pérez et al, 2015). Estas especies incluyen murciélagos frugívoros, insectívoros, hematófagos y nectarívoros. Este hallazgo sugiere una interacción clave entre los ecosistemas subterráneos y la vegetación circundante en la Macaregua.

Es importante señalar que la Cueva de Macaregua tiene aproximadamente 420 m de longitud, mientras que la Cueva de los Tayos alcanza alrededor de 4 km. A pesar de su menor tamaño, la Macaregua alberga una gran diversidad de murciélagos que desempeñan roles ecológicos fundamentales, como el control de plagas, la dispersión de semillas y la polinización. Esta diversidad podría deberse a la variedad de microhábitats presentes dentro de la cueva (Pérez et al., 2015). Por otro lado, la Cueva de los Tayos muestra una menor diversidad, posiblemente debido a condiciones más especializadas que limitan la variedad de especies, o a la posibilidad de que existan otras especies que usen la cueva solamente en ciertas temporadas, por lo que se recomendaría hacer monitoreos continuos a la cueva.

Los murciélagos nectarívoros reportados dependen de la flora en las inmediaciones de las cuevas para alimentarse, lo que resalta la importancia de proteger tanto las cuevas como las áreas boscosas cercanas. La fragmentación del hábitat, identificada como una amenaza clave en Latinoamérica (Red Latinoamericana y del Caribe para la Conservación de los Murciélagos, 2010), también podría impactar a estas especies en los Andes ecuatorianos si se reduce la cobertura forestal y la disponibilidad de recursos. En este sentido, la conservación de los ecosistemas que rodean a las cuevas es crucial para mantener las poblaciones de murciélagos y otros mamíferos en cuevas.

Estos estudios destacan la necesidad urgente de implementar medidas de conservación para proteger tanto las cuevas como los bosques adyacentes, ya que estos ecosistemas interdependientes son vitales para la supervivencia de especies como los guácharos (Tayos) y los murciélagos nectarívoros. En Colombia y Perú, se ha observado que la fragmentación del hábitat y la pérdida de cobertura forestal afectan directamente a la disponibilidad de frutas y sitios de anidación, lo que pone en riesgo la estabilidad de las poblaciones locales (Cárdenas et al., 2020; Samaniego, 2020). Dado que estos mamíferos juegan un papel crucial en la dispersión de semillas, su desaparición no solo afectaría a las especies mismas, sino también a la

regeneración de los ecosistemas forestales tropicales. En este contexto, proteger estos hábitats no solo es una prioridad para la biodiversidad cavernícola, sino también para la salud a largo plazo de los bosques tropicales andinos.

#### 4. Conclusiones

El estudio realizado en la Cueva de los Tayos aportó valiosos datos biológicos de este ecosistema subterráneo único en el sur este de Ecuador.

La diversidad microbiana, a pesar de las condiciones adversas en la cueva, ha incluido una notable presencia de bacterias, destacando la capacidad de estos microorganismos para prosperar en ambientes extremos y con recursos limitados.

La diversidad de hongos endófitos reportada es baja en comparación con otros ecosistemas, pero incluyen taxones de relevancia global como *Penicillium*, jugando un papel crucial en los procesos ecológicos de la cueva.

La presencia de especies de invertebrados como insectos y arácnidos; y en particular sus adaptaciones troglomórficas (o síndrome troglobio), como despigmentación o reducción de órganos, demuestran la presión selectiva que impone la vida en entornos oscuros y aislados.

La cueva alberga una comunidad de vertebrados interesante, como la presencia de una importante colonia de Tayos (*Steatornis caripensis*) y una especie de murciélago nectarívoro, característico de cuevas (*Lonchophylla handleyi*), confirmando la importancia de estos ecosistemas como refugios naturales. Estas especies exhiben pre-adaptaciones especializadas para la vida subterránea, como anidar en cavidades inaccesibles y el uso de ecolocación para su orientación.

Finalmente, este trabajo enfatiza en la necesidad de preservar la biodiversidad subterránea de cuevas y de sus alrededores. La interacción entre los organismos subterráneos y el ambiente externo es vital para el equilibrio ecológico de este frágil tipo de ecosistema y la diversidad biológica que mantiene. Los datos obtenidos no solo contribuyen al conocimiento de la biodiversidad cavernícola, sino que también proporcionan una base importante para la planificación de futuras medidas de conservación.

## 5. Bibliografía

- Arnold, E. y Lutzoni, F. (2007). Diversity and host range of foliar fungal endophytes: are tropical leaves biodiversity hotspots? *Journal Ecology*, 88 (3), 539-549.
- Banks, G. (1847). The coral caves. *Bentley's Miscellany* (1837-1868), Tomo 22, 176-176.
- Baquedaño, C., Moreno, L., de la Losa, A., y Duran, J. (2019). The lampenflora in show caves and its treatment: an emerging ecological problem. *International Journal of Speleology*, 48(3), 4.
- Barquez, R., Aguirre, L. F., Nassar, J. M., Burneo, S. F., Mancina, C. A., & Díaz, M. (Eds.). (2022). Áreas y sitios de importancia para la conservación de los murciélagos en Latinoamérica y el Caribe. RELCOM, Yerba Buena.
- Barton, H. (2006). Introduction to cave microbiology: a review for the non-specialist. *Journal of Cave and Karst Studies*, 68(2), 43-54.
- Cárdenas, S., Cardona, M., Echeverry-Galvis, M. y Stevenson, P. (2020). Movement patterns and habitat preference of Oilbirds (*Steatornis caripensis*) in the southern Andes of Colombia. *Avian Conservation and Ecology*, 15(2), 5.
- Toulkeridis T., Addison A., Constantin S., Winkler E., Toomey I & Simón D. (2015). Espeleología en Tena, Napo. Un breve inventario geológico y cartográfico. En *3er Simposio Internacional de Espeleología en el Ecuador-Boletín Científico*.
- Constantin, S., Toulkeridis, T., Moldovan, O., Villacís, M., and Addison, A. (2019). Caves and karst of Ecuador state of the art and research perspectives. *Physical Geography*, 40(1), 28-51.
- Culver, D. (1982). *Cave Life: Evolution and Ecology*. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA.
- Culver, D., y Pipan, T. (2019). *The biology of caves and other subterranean habitats*. Oxford University Press.
- Debut, A., Guerra, S. y Toulkeridis, T. (2015). Bacterias recolectadas en las cuevas Castillo y Gruta de Virgen en la Provincia de Napo. En *3er Simposio Internacional de Espeleología en el Ecuador-Boletín Científico*.
- Espinasa, L., Robinson, J., Soares, D., Hoese, G., Toulkeridis, T., & Toomey III, R. (2018). Troglomorphic features of *Astroblepus pholeter*, a cavefish from

- Ecuador, and possible introgressive hybridization. *Subterranean Biology*, 27, 17.
- Frisvad, J. (2015). Taxonomy, chemodiversity, and chemoconsistency of *Aspergillus*, *Penicillium* and *Talaromyces* species. *Frontiers in Microbiology*, 5, pp. 773
- Galán, C. (1993). Hypogean fauna from Guipuzcoa: ecology, biogeography and evolution. *Munibe*, 45, 9-32
- Galán, C., y Etxabe, D. (2014). Cuevas marinas en el flysch de Igueldo (País Vasco). *Sociedad de Ciencias Aranzadi*. Disponible en: <https://www.aranzadi.eus/fileadmin/webs/Publicaciones/pdfs/TotalSeaCaves.pdf>
- Guevara, J., Josse C. (2013). BsPn04 Bosque siempreverde piemontano del Sur de la Cordillera de los Andes. Páginas 118-120 en: Ministerio del Ambiente del Ecuador 2012. Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Ministerio del Ambiente del Ecuador. Quito.
- Gulley, J., & Fountain, A. (2019). Glacier caves. En W. White & C. Culver (Eds.), *Encyclopedia of Caves* (pp. 468-473). Academic Press.
- Hermosín, B., Nováková, A., Jurado, V., Láiz, L., Porca, E., Rogelio, M., & Sáiz-Jiménez, C. (2010). Observatorio microbiológico de cuevas: evaluación y control de comunidades fúngicas en cuevas sometidas al impacto de actividades turísticas. *Cuevas: Patrimonio, Naturaleza, Cultura y Turismo*, 513-520.
- Hershey, O., y Barton, H. (2018). The microbial diversity of caves. En O. Moldovan, L Kovác & S. Helse (Eds.), *Cave Ecology* (pp. 69-90). Springer
- Hsu, M., y Agoramoorthy, G. (2001). Occurrence and diversity of thermophilous soil microfungi in forest and cave ecosystems of Taiwan. *Fungal Diversity*, 7, 27-33.
- Kocot-Zalewska, J., y Domagała, P. (2020). Terrestrial invertebrate fauna of Polish caves: A summary of 100 years of research. *Subterranean Biology*, 33, 45-69.
- Kosznik-Kwaśnicka, K., Golec, P., Jaroszewicz, W., Lubomska, D., & Piechowicz, L. (2022). Into the unknown: microbial communities in caves, their role, and potential use. *Microorganisms*, 10 (2-18.) 218.
- López, D. (2018). Caracterización de comunidades de murciélagos en cuevas de Napo, Ecuador y posibles efectos del espeleoturismo [Tesis de licenciatura,

Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE.  
<http://repositorio.puce.edu.ec/>.

López, R., Daza, R., y Alcántara, R. (2021). Cuevas volcánicas: entre la realidad y la ficción. *Revista Digital Universitaria*, 22 (2).

Martin, J. (1977). *Collecting, preparing and preserving insects, mites and spiders. Part 1. The Insects and Arachnids of Canada* (Vol. 1). Kromar Printing Ltd.

Mulec, J. (2018). Phototrophs in caves. En Moldovan, O., Kováč, L., Halse, S. (Eds), *Cave Ecology* (pp. 91-106).

Niemiller, M., y Soares, D. (2015). Cave environments. En R. Riesch, M. Tobler, & M. Plath (Eds.), *Extremophile fishes* (pp. 161-191).

Ortiz, M., Neilson, W., Nelson, M., Legatzki, A., Byrne, A., Yu, Y., & Maier, R. (2013). Profiling bacterial diversity and taxonomic composition on speleothem surfaces in Kartchner Caverns, AZ. *Microbial Ecology*, 65(2), 371-383.

Ortuño, V., del Egado, M., y Juanes, D. (2011). Diversidad de los insectos, y sus afines, en las cuevas: una visión ecológica para la conservación. *Ecología de las Cuevas* (pp. 175-187).

Pardo, E., y Robledo, A. (2016). Cuevas kársticas y no kársticas: del subsuelo terráqueo a las cavidades extraterrestres. *Sociobiology*.

Pazmiño, J., Oña, R., Villacis, G. y Pineda, N. (2017). El impacto del turismo comunitario e investigativo de lugares ancestrales en la Amazonía del Ecuador. Caso: Cueva de los Tayos de Coangos. *Revista Publicando*, 4(10), 591-612.

Peck, S. (1985). The invertebrate faunas of tropical American caves, part 6: Jumandi Cave, Ecuador. *International Journal of Speleology*, 14(1), pp. 1-8.

Portero, C. (2013). Diversidad de hongos endófitos asociados al género *Polylepis* en el ecosistema del Páramo Andino en los Andes del Norte. [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE.  
<http://repositorio.puce.edu.ec/>.

Pozo, J. (2023). Antagonismo de bacterias aisladas de la Cueva de los Tayos frente a bacterias entéricas multirresistentes. [Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE.  
<http://repositorio.puce.edu.ec/>.

- Protas, M., Conrad, M., Gross, J., Tabin, C., y Borowsky, R. (2007). Regressive evolution in the Mexican cave tetra, *Astyanax mexicanus*. *Current Biology*, 17(5), 452-454.
- Red Latinoamericana y del Caribe para la Conservación de los Murciélagos. (2010). Estrategia para la conservación de los murciélagos de Latinoamérica y el Caribe. Red Latinoamericana y del Caribe para la Conservación de los Murciélagos. Recuperada 17/10/2024, de <http://www.relcomlatinoamerica.net/images/PDFs/Estrategia.pdf>
- Ribadeneria, A. (2017). Caracterización de la riqueza y diversidad de murciélagos en cuevas de la provincia del Napo, mediante llamadas de ecolocación. [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE. <http://repositorio.puce.edu.ec/>.
- Rodriguez, F. y Toulkeridis, T. (2019) Potencial turístico en las Cuevas de la Amazonía ecuatoriana. *Amazonía exótica, natural, antrópica y turística* (pp. 69-88).
- Rodriguez, R., White, J., Arnold, A., & Redman, R. (2009). Fungal endophytes: diversity and functional roles. *New Phytologist*, 182(2), 314-330.
- Romero, A. (2009). *Cave Biology: Life in Darkness*. Cambridge University Press.
- Romero, F. (2020). Efecto del espeleoturismo sobre la composición de especies de invertebrados en cuevas de la provincia del Napo, Ecuador. [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE. <http://repositorio.puce.edu.ec/>.
- Samaniego, D. (2020). Recolección de guácharo o tayo (*Steatornis caripensis*), el ave de las cavernas, en la comunidad de Muún Shamatak de El Cenepa, Perú. *Iberoforum. Revista de Ciencias Sociales*, 15(30),1-26.
- Sánchez, J., Zurita, M., Schwarz, A., Cárdenas, V., Jaque, D., Quilumba, D., Ocampos, A., Ortiz, J., Quinteros, Raul., Toledo N., Yáñez, J., Haro, N., Serrano, J., Ganchozo, R., Campues, A. & Monar, M. (2018). *Guía espeleológica de la provincia de Napo*. Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Napo; Universidad Regional Amazónica Ikiam; Sociedad Científica Espeleológica Ecuatoriana. Geoparque Napo-Sumaco.

- Silva, P. (2020). Diversidad de hongos endófitos en la Cueva de “los Tayos” (Morona Santiago; Ecuador). [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE. <http://repositorio.puce.edu.ec/>.
- Strobel, G. (2003). Endophytes as sources of bioactive products. *Microbes and Infection*, 5, 535–544. Elsevier Masson SAS.
- Suárez, J. (2020). Antagonismo de aislados bacterianos procedentes de la Cueva de los Tayos frente a *Botrytis cinerea* y *Fusarium oxysporu*. [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE. <http://repositorio.puce.edu.ec/>.
- Tomczyk-Żak, K., y Zielenkiewicz, U. (2016). Microbial diversity in caves. *Geomicrobiology Journal*, 33(1), 20-38.
- Toulkeridis, T., Addison, A., Constantin, S., y Arce, O. (2015). Candidatos ecuatorianos para la Lista Mundial del Patrimonio Natural-Las cuevas Triple Volcán y Tayos. *Memorias contribuciones científicas 2015*, 21-29.
- Toulkeridis, T., y Rengifo, M. (2019). Flora, agricultura y volcanismo activo en la Amazonia Ecuatoriana. *Amazonía exótica, natural y turística* (pp. 45-60).
- Trajano, E., y de Carvalho, M. (2017). Towards a biologically meaningful classification of subterranean organisms: a critical analysis of the Schiner-Racovitza system from a historical perspective, difficulties of its application and implications for conservation. *Subterranean Biology*, 22, 1-26.
- Tschopp, H. (1953). Oil explorations in the Oriente of Ecuador, 1938–1950. *AAPG Bulletin*, 37(10), 2303-2347.
- Turrini, P., Tesconi, M., Visaggio, D., Pirolo, M., Lugli, G. A., Ventura, M., & Visca, P. (2020). The microbial community of a biofilm lining the wall of a pristine cave in Western New Guinea. *Microbiological research*, 241, 126584.
- Vanderwolf, J., Malloch, D., McAlpine, D., & Graham, J. (2013). A world review of fungi, yeasts, and slime molds in caves. *International Journal of Speleology*.
- Vörös, J., Márton, O., Schmidt, B., Tunde, J., y Jelić, D. (2017). Surveying Europe's Only Cave-Dwelling Chordate Species (*Proteus anguinus*) Using Environmental DNA. *Conservation Genetics Resources*, 12, 1-14.

- Wu, Y., Tan, L., Liu, W., Wang, B., Wang J., Cai, Y. y Lin, X. (2015). Profiling bacterial diversity in a limestone cave of the weatern Loess Plateau of China. *Terrestrial Microbiology*, 6, 244.
- Wynne, J., Howarth, F., Sommer, S., & Dickson, G. (2019). Fifty years of cave arthropod sampling: techniques and best practices. *International Journal of Speleology*, 48 (1), 33 - 48.
- Zhang, Y., Li, X., Li, C., y Liu, Y. (2018). Diverse fungal communities in caves and mines around the world. *Fungal Diversity*, 89(1), 123-136.
- Zhang, Y., Wang, W., & Wang, Y. (2017). Culturable mycobiota from Karst caves in China, with descriptions of 20 new species. *Fungal Diversity*.