

Diseño y aplicación de material didáctico para visibilizar al reino Fungi en la Sala de
Exhibición del Museo de Historia Natural - UIS

Diana Carolina Torres Gómez

Trabajo de grado para optar el título de Bióloga

Director

Sergio Andrés Marchant Rojas

Ph.D. en Ciencias Biológicas

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ciencias

Escuela de Biología

Bucaramanga

2026

Agradecimientos

Expreso mi más profundo agradecimiento a mi familia: a mi papá, a mis hermanos y a mi madre, a quien siempre recuerdo con inmenso cariño y orgullo. A mi novio y amigos, por su presencia constante y apoyo incondicional en cada etapa de este camino, especialmente en los momentos más difíciles.

A Elfa, por resolver mis dudas siempre con tanta calidez. A los funcionarios de Bienestar Somos Todos UIS, por brindarme los ajustes y facilidades que necesité. A las y los profesores que me formaron, por sembrar en mí el amor por la ciencia y la educación. A mi perro Darwin, por su fiel y entrañable compañía.

Un agradecimiento especial a mi director, Sergio Marchant, cuyo entusiasmo, comprensión e inspiración fueron fundamentales para consolidar, en equipo, una propuesta significativa para la educación ambiental. Al Museo de Historia Natural UIS, por abrirme sus puertas y permitir la integración del contenido elaborado.

Finalmente, expreso mi gratitud a la Universidad Industrial de Santander (UIS) por el respaldo brindado para el desarrollo y ejecución de esta investigación. Este trabajo fue financiado mediante el proyecto (código 3942): “Integración de tecnologías ÓMICAS en el estudio de la biotransformación de plásticos utilizando hongos nativos de alto potencial biotecnológico”.

Tabla de Contenido

Introducción	2
1. Situación Problema	5
1.1 Descripción del Problema	5
1.2 Justificación	8
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo General.....	9
1.3.2 Objetivos Específicos.....	9
2. Marco Referencial.....	10
2.1 Antecedentes	11
2.2 Marco Teórico.....	14
2.2.1 Conceptos a explicar	15
2.2.2 Componentes del marco teórico.....	17
2.3 Marco Conceptual.....	20
2.4 Marco Legal	23
3. Diseño metodológico	24
3.1 Enfoque y diseño de la investigación.....	24
3.2 Participantes.....	25
3.3 Contexto de la intervención	28
3.4 Diseño y desarrollo del material expositivo.....	30

3.5 Instrumento de recolección de datos	32
3.5.1 Desarrollo de formas consistentes	33
3.5.2 Criterios de correspondencia teórica entre formas.....	34
3.5.3 Operacionalización de la Correspondencia: Matriz de especificaciones (Tabla 1)	35
3.6 Validación y confiabilidad del instrumento	40
3.6.1 Validación tentativa de la Correspondencia	40
3.6.2 Limitaciones de la validación	41
3.6.3 Consistencia interna	42
3.7 Creación de la versión núcleo del instrumento	43
3.8 Procedimiento	44
3.9 Plan de análisis de datos	44
3.10 Consideraciones éticas	48
3.11 Síntesis metodológica	49
4. Resultados	49
4.1 Desarrollo y articulación del material didáctico y museográfico	49
4.2 Validación psicométrica y comportamiento empírico del instrumento	51
4.3.2 Evaluación del impacto educativo e inferencia estadística multidimensional	54
5. Discusión metodológica y educativa	62
5.1 El impacto de la experiencia museográfica y la valorización de la funga local	62
5.2 Interacción pedagógica: mediación guiada frente al diseño lúdico	64

6. Limitaciones del estudio	65
7. Conclusiones	66
7. 1 Logro de Objetivos y Competencias.....	66
7.2. Valor Intrínseco y Proyección en el MHN-UIS.....	67
Referencias bibliográficas.....	72
Apéndices.....	83

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Matriz de especificación de atributos en el pre y post test</i>	36
Tabla 2. <i>Relación entre materiales didácticos, conceptos abordados e ítems evaluadores</i>	37
Tabla 3. <i>Resumen de indicadores psicométricos</i>	53
Tabla 4 Comparativa de Resultados del ANCOVA (Medias Ajustadas)	56
Tabla 5. Resumen de resultados del GLMM binomial.	59
Tabla 6. <i>Probabilidades marginales predichas de respuesta correcta.</i>	60
Tabla 7. <i>Contrastes post hoc en el postest.</i>	60
Tabla 8. <i>Estadísticos descriptivos y ganancias de aprendizaje por condición experimental para las versiones completa y núcleo del instrumento.</i>	61

Lista de Figuras

Figura 1. Diseño experimental pretest-posttest con asignación balanceada por bloque académico.	27
Figura 2. Parte del material elaborado.	51
Figura 3. Umbral de dificultad por ítem entre las formas A vs B en la prueba piloto.....	54
Figura 4 Comportamiento predictivo del Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM).	61

Lista de Apéndices

<i>Apéndice A.</i> Consentimiento informado.	83
<i>Apéndice B.</i> GUIÓN PARA LA ATENCIÓN DE LA SALA DE EXHIBICIÓN DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL UIS	86
<i>Apéndice C.</i> Test	131

Glosario

Biodiversidad: Variedad de formas de vida presentes en un ecosistema, una región o a escala planetaria, incluyendo la diversidad genética, de especies y de ecosistemas.

Biotecnología fúngica: Área de la biotecnología que estudia y aprovecha las capacidades metabólicas de los hongos para aplicaciones en la producción de alimentos, medicamentos, enzimas, biomateriales y procesos industriales sostenibles.

Ciencia participativa: Enfoque metodológico que promueve la participación activa de la comunidad en procesos de observación, recolección de datos y apropiación del conocimiento científico.

Divulgación científica: Proceso de comunicación del conocimiento científico a públicos no especializados, mediante estrategias accesibles y contextualizadas que mantienen el rigor conceptual y promueven la alfabetización científica.

Educación no formal: Modalidad educativa que se desarrolla fuera del sistema escolar formal y que complementa los procesos de enseñanza-aprendizaje mediante experiencias flexibles, voluntarias y contextualizadas, como las que se realizan en museos.

Endomicorriza: Tipo de asociación simbiótica entre hongos y raíces de plantas, en la cual el hongo penetra las células radiculares, favoreciendo la absorción de nutrientes y el crecimiento vegetal.

Espora: Estructura reproductiva microscópica de los hongos, capaz de dispersarse en el ambiente y dar origen a un nuevo organismo en condiciones favorables.

Fructificación (cuerpo fructífero): Estructura reproductiva visible de algunos hongos, comúnmente conocida como seta, cuya función principal es la producción y dispersión de esporas.

Funga: Conjunto de especies de hongos presentes en un territorio determinado, que incluye su diversidad taxonómica, ecológica y funcional, así como su distribución y roles en los ecosistemas. Término utilizado para referirse al conjunto de especies de hongos de una región, de manera análoga a los conceptos de fauna y flora, con fines de visibilización, estudio y conservación.

Gamificación: Estrategia pedagógica que consiste en la incorporación de elementos propios del juego en contextos no lúdicos, con el objetivo de aumentar la motivación, la participación y el aprendizaje.

Hifa: Filamento microscópico que constituye la unidad estructural básica de la mayoría de los hongos. Las hifas crecen, se ramifican y se entrelazan formando redes especializadas para la absorción de nutrientes.

Inmersión educativa: Enfoque didáctico que involucra al aprendiz de manera integral mediante estímulos visuales, táctiles, espaciales y narrativos, favoreciendo experiencias de aprendizaje profundas y memorables.

Liquen: Asociación simbiótica entre un hongo y un organismo fotosintético, como un alga o una cianobacteria, que permite la colonización de ambientes extremos.

Macrohongos: Hongos que producen cuerpos fructíferos visibles a simple vista, comúnmente asociados a suelos y bosques.

Micelio: Conjunto de hifas entrelazadas que conforman el cuerpo vegetativo del hongo y representan la principal estructura de absorción de nutrientes.

Micología: Rama de la biología dedicada al estudio de los hongos, que abarca su diversidad, estructura, fisiología, ecología y aplicaciones.

Micorriza: Asociación simbiótica entre hongos y raíces de plantas, en la cual ambos organismos se benefician mediante el intercambio de nutrientes.

Museología educativa: Disciplina que estudia y desarrolla estrategias pedagógicas en museos con el fin de facilitar procesos de aprendizaje y apropiación del conocimiento.

Reino Fungi: Reino biológico conformado por organismos eucariotas heterótrofos, con pared celular de quitina y nutrición por absorción, que cumplen funciones ecológicas clave.

Saprófito / saprótrofo: Organismo que se alimenta de materia orgánica muerta o en descomposición, desempeñando un papel esencial en el reciclaje de nutrientes.

Trivia: Instrumento de evaluación gamificado que emplea preguntas breves y dinámicas para identificar conocimientos previos y valorar la adquisición de aprendizajes.

Resumen

Título: Diseño y aplicación de material didáctico para visibilizar al reino Fungi en la Sala de Exhibición del Museo de Historia Natural – UIS*

Autor: Diana Carolina Torres Gomez**

Palabras Clave: Funga, museografía, gamificación, didáctica.

Descripción: La funga colombiana posee un innegable e incalculable valor ecológico y biocultural. Sin embargo, su representación en espacios de educación no formal ha sido históricamente marginal. El Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander (MHN) evidenciaba este marcado vacío museográfico respecto al reino Fungi. Para abordar adecuadamente esta carencia, el objetivo principal de este proyecto fue diseñar e implementar material didáctico interactivo orientado a visibilizar dicho grupo. Con este fin, se estructuró una experiencia integral que incorporó contenido micológico actualizado al recorrido tradicional del museo. Dicha intervención incluyó la renovación del guion científico, la implementación de diversos recursos sensoriales (modelos 3D, observación microscópica, degustación) y el desarrollo estratégico de un juego de cartas memorístico sobre especies representativas presentes en Bucaramanga. El impacto pedagógico se evaluó cuantitativamente en una muestra total de 90 visitantes, dividida equitativamente en grupos de 30 individuos bajo tres modalidades distintas: recorrido autónomo, mediación guiada convencional y mediación guiada enriquecida con gamificación. Mediante una evaluación tipo trivia aplicada antes y después de la visita, los resultados demostraron una mejora significativa en el aprendizaje post-recorrido en todos los tratamientos. Específicamente, las modalidades provistas de mediación guiada obtuvieron los puntajes más altos frente al recorrido autónomo. En conclusión, el presente trabajo aporta evidencia empírica contundente de que la sinergia entre materiales interactivos y una mediación pedagógica activa maximiza efectivamente la apropiación del conocimiento científico en el entorno de los museos.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias, Escuela de Biología. Director: Sergio Andrés Marchant Rojas. Ph. D. en Ciencias Biológicas.

Abstract

Title: Design and Implementation of Educational Materials to Highlight the Kingdom Fungi in the Natural History Museum Exhibition Hall – UIS *

Author: Diana Carolina Torres Gomez **

Key Words: Funga, museography, gamification, didactics.

Description: The Colombian funga possesses undeniable and incalculable ecological and biocultural value. However, its representation in non-formal education spaces has been historically marginal. The Natural History Museum of the Universidad Industrial de Santander (MHN) evidenced this marked museographic gap regarding the Fungi kingdom. To adequately address this shortfall, the main objective of this project was to design and implement interactive educational material aimed at making this group visible. To this end, a comprehensive experience was structured that incorporated updated mycological content into the museum's traditional tour. This intervention included the renovation of the scientific script, the implementation of various sensory resources (3D models, microscopic observation, tasting), and the strategic development of a memory card game featuring representative species found in Bucaramanga. The pedagogical impact was evaluated quantitatively across a total sample of 90 visitors, divided equally into groups of 30 individuals under three distinct modalities: self-guided tour, conventional guided mediation, and guided mediation enriched with gamification. Through a trivia-style evaluation administered before and after the visit, the results demonstrated significant improvement in post-tour learning across all treatments. Specifically, the modalities provided with guided mediation achieved the highest scores compared to the self-guided tour. In conclusion, this study provides compelling empirical evidence that the synergy between interactive materials and active pedagogical mediation effectively maximizes the appropriation of scientific knowledge within museum environments.

* Degree Work

** Faculty of Science, School of Biology. Director: Sergio Andrés Marchant Rojas. Ph.D. in Biological Sciences.

Introducción

Los hongos conforman un grupo de organismos extremadamente diverso y complejo en el árbol de la vida. Este reino comprende un linaje eucariota, cuya riqueza taxonómica global continúa subestimada debido, entre otros factores, a limitaciones en el inventario, la delimitación de especies y el estudio de grupos microscópicos. (Blackwell, 2011; Guerrero et al., 2022; Kuhar et al., 2018).

El reino Fungi presenta una diversidad biológica que abarca desde levaduras unicelulares hasta micelios pluricelulares complejos. La plasticidad morfológica de los hongos es la base de su éxito en ecosistemas globales (De García María Caridad, 2012; Moore, 2013; Naranjo-Ortiz & Gabaldón, 2019). Su rol ecológico es polifacético: actúan como descomponedores primarios mediante un arsenal enzimático único, capaz de degradar lignocelulosa (Stephenson & Semwal, 2023), reguladores de poblaciones de invertebrados (Fredericksen et al., 2017) y mediadores de simbiosis críticas. Estas interacciones abarcan desde el cultivo fúngico por hormigas Attini (Villa-Villa et al., 2025) hasta asociaciones líquénicas y redes micorrícicas que sostienen la resiliencia y estructura de las comunidades vegetales (Van Der Heijden & Horton, 2009). La alta diversidad de especies fúngicas que conforman la microbiota edáfica resulta esencial para la salud del suelo. La funga es la base para mantener un suelo vivo y promover el desarrollo de las especies de producción primaria (Lange, 2014; Frac et al., 2018; Strullu-Derrien et al., 2018; Silva-Flores et al., 2021).

Colombia se posiciona como una nación megadiversa; no obstante, el conocimiento de su diversidad fúngica es desproporcionadamente limitado en comparación con otros taxones (Gaya et al., 2022). Actualmente, el portal ColFungi registra 7.208 especies aceptadas, cifra que representa apenas el 5 % de la micobiota global (ColFungi, 2025; De Almeida et al., 2022). Esta representación es exigua frente a las estimaciones que sitúan la riqueza nacional entre 27.430 y 380.000 especies, evidenciando un vacío de información crítico que se agudiza en regiones como Santander, donde los reportes de basidiomicetos son marginales (Gómez-Montoya et al., 2022). Dicha brecha no obedece a una escasez biológica, sino al histórico desinterés y subestimación académica hacia este reino (De la Peña Lastra, 2020; Gaya et al., 2022; Gómez-Montoya et al., 2022).

Colombia se posiciona como una nación megadiversa; no obstante, el conocimiento de su diversidad fúngica es desproporcionadamente limitado en comparación con otros taxones (Gaya et al., 2022). Actualmente, el portal ColFungi registra 7.208 especies aceptadas para el país, cifra que representa apenas el 5 % de la micobiota global, este número resulta particularmente bajo si se considera la heterogeneidad de ecosistemas, pisos térmicos y microambientes presentes en el país (ColFungi, 2025; De Almeida et al., 2022).

Esta representación es exigua frente a las estimaciones que sitúan la riqueza nacional entre 27.430 y 380.000 especies, evidenciando un vacío de información crítico que se agudiza en regiones como Santander, donde los reportes de basidiomicetos son marginales limitándose a 66 especies de hongos basidiomicetos (Gómez-Montoya et al., 2022). Dicha brecha no obedece a una escasez biológica, sino al histórico desinterés y subestimación académica hacia este reino (De la Peña Lastra, 2020; Gaya et al., 2022; Gómez-Montoya et al., 2022).

Por lo anterior, es necesario enfocar los esfuerzos en dar visibilidad a este componente vital de la biodiversidad colombiana. Esto debe hacerse no solo en entornos académicos, sino en escenarios próximos a la realidad diaria de la población. Es fundamental traducir el lenguaje técnico a un vocabulario comprensible para el ciudadano promedio, favoreciendo así la adquisición del conocimiento y la apropiación del patrimonio fúngico por parte de la comunidad (Oppenheimer, 2009).

En este contexto, la divulgación científica juega un papel esencial para incentivar la curiosidad ciudadana. Los museos de historia natural se convierten en espacios estratégicos que ponen la información al alcance de los visitantes y promueven el aprendizaje activo mediante la interacción con el público (Griffin et al., 2005; Haelewaters et al., 2024; Morales, 2025). Por ello, tienen el potencial de impulsar la popularización del reino Fungi, supliendo las carencias de la educación formal y promoviendo una comprensión integral que nos permita proteger y dar a conocer nuestra flora, fauna y funga.

1. Situación Problema

1.1 Descripción del Problema

A pesar de la importancia ecológica de los hongos y la inmensa gama de servicios ecosistémicos que brindan, su presencia en los entornos de formación y divulgación científica resulta escasa y limitada, especialmente en escenarios de educación informal como los museos y jardines botánicos. A esto se suma la dificultad para representar organismos que, por su biología, no presentan estructuras macroscópicas visibles, aun cuando se encuentran presentes en el ambiente (Moore et al., 2006).

En Colombia, basta con revisar los lineamientos curriculares y los estándares de competencias básicas establecidos por el Ministerio de Educación Nacional (MEN, 2006), los cuales buscan orientar el desarrollo de los contenidos abordados en la educación. En estos documentos, el estudio de las ciencias naturales se enfoca principalmente en la clasificación taxonómica y biología general de los reinos Animal y Vegetal, priorizándolos por encima de grupos como el bacteriano, el "protista" y, de manera especialmente relevante para esta investigación, el reino Fungi.

Este sesgo en la educación formal es parte y puede ser la causa del desinterés y se traduce en un profundo desconocimiento de la población respecto a todo lo relacionado con los hongos y su biología (Ruan-Soto et al., 2013).

El problema no solo radica en la invisibilización estructural de un reino completo en los entornos académicos. En distintos contextos socioculturales se han documentado percepciones negativas o ambivalentes sobre los hongos. Según los términos propuestos por Wasson y Wasson

(1957) —generalizadores, dicotómicos y mutuamente excluyentes— que clasifican a las sociedades entre "micofóbicas" y "micofílicas" (Arora, 1986; Ruan-Soto et al., 2013).

La micofobia se refiere a la percepción negativa y a la profunda aversión de las personas hacia los hongos, una actitud que pasa desapercibida en la vida diaria y que depende estrechamente de factores culturales y sociales.

Si bien no se ha estudiado en Colombia, este fenómeno puede estar presente e influenciar en prolongar el déficit generacional de investigadores enfocados en documentar la funga local, lo que se traduce en una notable carencia de especialistas dedicados al estudio de la micología (Ruan-Soto et al., 2013).

Esta exclusión se observa marcadamente en los espacios museográficos, los cuales tradicionalmente centran sus narrativas en organismos más visibles y reconocidos por el público general, dejando de lado a las especies fúngicas y sus características (Andrew et al., 2019; Hawksworth & Lücking, 2017).

Como resultado de todo lo anterior, el saber micológico permanece fragmentado y la brecha de comunicación entre la academia y la sociedad se amplía. La falta de estrategias que acerquen esta información al público (Briceño, 2012) hace que el conocimiento sea inasequible, dificultando su apreciación.

Esta marginación se consolida por la carencia de materiales didácticos adaptados, recursos audiovisuales y experiencias divulgativas que fomenten la curiosidad en contextos museográficos pensados para todo tipo de público (Andre et al., 2016).

En el caso del Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander (UIS), aunque este se consolida como un espacio apropiado para la divulgación científica al servicio de la comunidad santandereana y cumple una función clave en la educación ambiental (UNESCO,

2017), su enfoque principal recae sobre los grupos taxonómicos más reconocidos: el reino Animal (con énfasis en vertebrados) y el reino Vegetal (con énfasis en plantas vasculares).

El Museo de Historia Natural de la UIS posee material invaluable y sus esfuerzos de concientización logran la alfabetización científica de sus visitantes. No obstante, dadas sus limitaciones estructurales y logísticas, deja fuera de sus contenidos a componentes vitales para la salud ecosistémica. Entre ellos se encuentran los organismos unicelulares (protistas, bacterias y levaduras) y pluricelulares menos visibles, como los micro y macrohongos (Moore et al., 2006; Gómez-Montoya et al., 2022).

Actualmente, la sala de exhibición no aborda al reino Fungi de manera integral dentro de su recorrido temático estructurado (Naranjo-Ortiz & Gabaldón, 2019). La carencia de material didáctico diseñado para representar a estos organismos es una oportunidad desaprovechada. Integrar este conocimiento fortalecería la misión educativa del museo (Hooper-Greenhill, 2004), complementaría el material expositivo y mitigaría los vacíos presentes en la educación formal, impulsando así la apropiación de la funga de Santander (Carrillo et al., 2021; Kuhar et al., 2018).

Además, los mecanismos de divulgación científica empleados en museos suelen carecer de métodos de evaluación sistemática que permitan cuantificar la adquisición de conocimientos y la eficacia de los modelos pedagógicos implementados (Griffin et al., 2005).

En ausencia de instrumentos de evaluación claros, resulta complicado valorar de manera objetiva el impacto real de las dinámicas museográficas sobre la apropiación del conocimiento científico (Gyllenhaal & Merritt, 2017; National Research Council, 2009).

1.2 Justificación

Los hongos cumplen un papel fundamental en la regulación de los ecosistemas y son vitales para los procesos de reintegración de la materia en los ciclos biogeoquímicos (Lange, 2014). Asimismo, constituyen componentes esenciales de la biodiversidad y forman parte de múltiples procesos de interés social, científico y cultural (Zmitrovich et al., 2020).

No obstante, como se mencionó anteriormente, su relevancia ha sido históricamente relegada por otros contenidos en los planes educativos y en los procesos de divulgación científica. Esto ocasiona el desconocimiento sobre los hongos - y los excluye de los discursos sobre conservación y patrimonio natural (Moore et al., 2006; Naranjo-Ortiz & Gabaldón, 2019).

En el contexto regional, esta falta de información resulta particularmente significativa dada la alta diversidad taxonómica de la zona y el reducido conocimiento que se tiene de la funga en comparación con la flora y la fauna (Gómez-Montoya et al., 2022). Fortalecer su reconocimiento en espacios de educación no formal constituye una valiosa oportunidad para ampliar la comprensión y el interés público sobre el reino Fungi, promoviendo así una ciudadanía más informada y responsable con su entorno natural (UNESCO, 2017; Kuhar et al., 2018).

Tomando en cuenta este panorama, el Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander constituye un escenario ideal para aportar visibilidad al reino Fungi y fomentar la cultura científica de la ciudadanía, al albergar material que promueva una perspectiva más completa e integradora de la biodiversidad santandereana (Gyllenhaal & Merritt, 2017). La presente propuesta, por lo tanto, se justifica dado su aporte al enriquecimiento de la divulgación científica, la educación medioambiental y la apreciación del reino Fungi como un eslabón vital del patrimonio natural de Colombia. Con base en lo anterior, se plantea el siguiente interrogante:

¿Cómo impacta la aplicación de un guion museográfico apoyado en material didáctico visual y audiovisual sobre el reino Fungi diseñado para el público general, en el contexto del Museo de Historia Natural de la UIS en la capacidad de respuesta de un instrumento de evaluación (forma A y B) aplicada a una población de educación superior?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar material didáctico divulgativo basado en evidencia —acompañado de modelos físicos, recursos visuales y audiovisuales— junto con un discurso dinámico para guiar al público general en un recorrido educativo sobre el reino Fungi, adaptado al contexto del Museo de Historia Natural de la UIS, y evaluar su impacto en la población adulta joven.

1.3.2 Objetivos Específicos

1.3.2.1 Sintetizar información clave sobre el reino Fungi a partir de la literatura científica, estructurándola de manera comprensible y accesible para todo público con fines divulgativos.

1.3.2.2 Diseñar un guion educativo para un recorrido guiado que sea dinámico y compatible con diferentes públicos (infantil, juvenil y adulto).

1.3.2.3 Crear el material complementario de la exhibición —como modelos físicos, fotografías, esquemas y videos explicativos— mediante el uso de programas de diseño y diversas técnicas de modelado.

1.3.2.4 Evaluar la ganancia inmediata de conocimientos y el aprendizaje general del público mediante una herramienta de evaluación (trivia) aplicada antes y después del recorrido guiado.

1.4 Competencias a desarrollar

1.4.1 Capacidad para comunicar conocimientos científicos de forma clara, accesible y atractiva para públicos diversos.

1.4.2 Habilidades en el diseño, elaboración y aplicación de estrategias de divulgación científica.

1.4.3 Dominio en la implementación de herramientas visuales, audiovisuales y museográficas para la educación informal.

1.4.4 Capacidad para evaluar de manera cuantitativa el impacto educativo de la intervención didáctica determinando la eficacia inmediata generada en la retención de saberes sobre el reino Fungi del público mediante la aplicación de un juego con dinámica tipo trivia.

1.4.5 Sensibilidad para adaptar contenidos según el contexto sociocultural del público objetivo.

2. Marco Referencial

El presente proyecto se plantea bajo una visión compleja, multifactorial e integradora que requiere articular conjuntamente fundamentos teórico-prácticos, contextuales y normativos como bases teóricas y conceptuales para su desarrollo.

Este marco reconstruye el estado actual del conocimiento referente a la presencia del reino Fungi en términos educativos, recopilando precedentes históricos y sentando las bases referenciales sobre las que se estructura el estudio. Asimismo, se consideran los enfoques contemporáneos empleados en las labores de divulgación científica en museos de historia natural, enmarcados en la realidad institucional del Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander (MHN-UIS) y adaptados a su estado actual.

2.1 Antecedentes

Los hongos han sido estudiados y documentados a través de múltiples exploraciones desarrolladas en los últimos dos siglos. Este recorrido inicia a principios del siglo XIX, cuando Francisco José de Caldas —durante la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada— reportó el primer espécimen para el país. Posteriormente, destacan los primeros viajes de K. P. Dumont en 1968, quien, tras explorar varios territorios, resaltó el enorme potencial micológico de Colombia dada la presencia de sus tres cordilleras (Dumont et al., 1978). Esta trayectoria histórica llega hasta la actualidad con hitos como la fundación de la Asociación Colombiana de Micología (ASCOLMIC) el 12 de diciembre de 2019, impulsada por representantes renombradas como la profesora Aída Vasco y Tatiana Sanjuan, directora de la Corporación Grupo Micólogos Colombia, consolidando así una trayectoria reciente pero notable para la disciplina a nivel nacional (De Almeida et al., 2022).

A pesar de lo anterior, la divulgación y difusión sobre el reino Fungi en entornos de educación formal y alternativa son casi nulas en comparación con otros grupos biológicos como plantas y animales. Este es un patrón ampliamente generalizado a nivel global que también se refleja a nivel regional en nuestro país (Moore et al., 2006).

Anteriormente, los hongos eran reconocidos y catalogados dentro del reino Vegetal debido a su crecimiento sésil y a la presencia de paredes celulares. Hoy en día, la comunidad científica ha llegado al consenso de categorizarlos como un reino completamente independiente y poco relacionado evolutivamente con las plantas. El reino Fungi fue formalmente reconocido por primera vez en 1969, cuando Robert Whittaker publicó en la revista *Science* sus nuevos conceptos sobre la clasificación de los organismos. Durante la segunda mitad del siglo XX, los avances en

fisiología, bioquímica y biología molecular fueron cada vez más contundentes para respaldar al nuevo reino fúngico como un grupo distinto, con características metabólicas, estructurales y evolutivas propias (Naranjo-Ortiz & Gabaldón, 2019; Zmitrovich et al., 2020). Todo esto marcó un precedente en la micología que permitió desentrañar gran parte de su taxonomía, aunque aún hoy se desconoce la filogenia exacta de todo el clado (Blackwell, 2011; Guarro et al., 1999).

A partir de ese momento, se desató un creciente interés global por parte de la comunidad científica. Se constató un ascenso en la investigación y documentación de la biodiversidad fúngica, con especial énfasis en sus roles vitales para el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas (Blackwell, 2011). Diversos estudios científicos han destacado la importancia de los hongos en la resiliencia de los sistemas naturales frente al cambio climático, así como su relevancia en la restauración ecológica y la provisión de servicios ecosistémicos (Dighton, 2016; Silva-Flores et al., 2021). Sin embargo, esta tendencia investigativa no se vio reflejada en un crecimiento análogo de la enseñanza en el ámbito social y educativo, lo que mantiene una profunda brecha entre la producción científica y el saber ciudadano (Briceño, 2012).

En el marco de la enseñanza, los hongos pueden actuar como un eje integrador que relacione los contenidos básicos necesarios para el desarrollo de las competencias en ciencias naturales establecidas por el MEN. Su biología integra conceptos que todo egresado de una institución educativa del país debería dominar, incluyendo la nutrición heterótrofa, la adaptación a ecosistemas diversos y la descomposición de la materia orgánica (Frąc et al., 2018). Sin embargo, el reino Fungi parece jugar un rol secundario tanto en la educación formal como en la no formal. Esto no es una mera suposición; Moore et al. (2006) evidenciaron que la inclusión de temas micológicos en los currículos escolares ha sido superficial, centrando el enfoque principalmente en aspectos taxonómicos y omitiendo su importancia ecológica. Si bien dicho estudio analizó a la

población del Reino Unido, la situación en Colombia es similar. Aunque el Ministerio de Educación Nacional ha realizado esfuerzos —como la publicación de la cuarta cartilla de Ciencias Naturales y Educación Ambiental—, el contenido resulta difuso y poco específico al no profundizar en las características biológicas de los hongos. Además, a pesar del intento de separar al reino Vegetal del Fungi, el texto aborda ambos grupos taxonómicos en un único apartado, lo que genera confusiones en el aprendizaje.

Esta tendencia de invisibilización y rezago también se observa en entornos de educación ciudadana como los museos, donde la presentación de la biodiversidad suele privilegiar a organismos macroscópicos y "carismáticos", como vertebrados y plantas vasculares, en detrimento de grupos menos visibles como los hongos (Hooper-Greenhill, 2004).

Por otra parte, la experiencia en educación no formal demuestra que la inclusión de contenidos micológicos en museos y centros de ciencias contribuye significativamente a la comprensión de conceptos ecológicos complejos y al desarrollo del interés científico (Andre et al., 2016; Gyllenhaal & Merritt, 2017). La utilización de estrategias didácticas basadas en modelos físicos, recursos visuales y visitas guiadas favorece la adquisición de conocimientos biológicos, especialmente cuando estos se integran con el contexto local de los estudiantes (Falk & Dierking, 2013; Hein, 1998).

A pesar de ser un país megadiverso, el conocimiento sobre la funga en Colombia y su divulgación comunitaria es sumamente escaso (Gaya et al., 2022; Gómez-Montoya et al., 2022). Este fenómeno resulta alarmante, ya que dicha invisibilización se refleja en los planes nacionales oficiales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente), los cuales contemplan casi exclusivamente a plantas y animales. Por ello, antes de exigir un cambio en las

políticas de conservación a nivel gubernamental, es indispensable fortalecer el conocimiento de la ciudadanía sobre los hongos, con la intención que - al dar a conocer su existencia e importancia en nuestros territorios, desaparezcan la ignorancia, el rechazo y prejuicios por esta especie y se fomente su cuidado y preservación.

Hasta la fecha, en el Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander (MHN-UIS) no se han destinado esfuerzos ni recursos para el desarrollo permanente de material museográfico enfocado específicamente en la representación de este reino. Por lo tanto, la importancia del presente proyecto radica en proponer una estrategia para ampliar el campo de acción de las exhibiciones y fortalecer la educación científica desde una perspectiva verdaderamente integral de la biodiversidad (National Research Council, 2012).

En conclusión, los antecedentes históricos y pedagógicos evidencian una profunda brecha entre el conocimiento micológico experto y su divulgación a la comunidad. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de diseñar estrategias didácticas basadas en evidencia que concienticen al público sobre el reino Fungi y potencien su valor social (Kuhar et al., 2018; UNESCO, 2017)

2.2 Marco Teórico

La presente investigación se basa en un marco teórico que aborda de manera integral diferentes disciplinas, tales como la biología del reino Fungi, la educación científica, la divulgación y la museología educativa, en concordancia con los lineamientos curriculares de ciencias naturales y educación ambiental del Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN).

Los hongos son un grupo de organismos biológicos fundamentales para el sostenimiento de los ecosistemas, la creación de hábitats y los procesos de sucesión ecológica (Dighton, 2016;

Gorbushina et al., 2009; Lange, 2014). Por lo tanto, actúan como un puente que vincula procesos biológicos complejos, como el reciclaje de nutrientes o la restauración por biorremediación. Esto permite abordar una amplia diversidad de contenidos curriculares relacionados con la biodiversidad, la sustentabilidad y el medio ambiente, aunque, como indican Moore et al. (2006) y Lange (2014), han sido históricamente subrepresentados en la educación formal hasta la fecha.

2.2.1 Conceptos a explicar

Reino Fungi y diversidad fúngica: Como indican Naranjo-Ortiz y Gabaldón (2019), el reino Fungi está constituido por un grupo de organismos con una enorme diversidad taxonómica, evolutiva y funcional. Incluye especies parásitas, saprófitas y mutualistas adaptadas a múltiples entornos, con una amplia distribución ecológica que, en el caso de las especies saprófitas, tiende a aumentar hacia las regiones ecuatoriales (Peay et al., 2016).

Los integrantes de este reino se diferencian a grandes rasgos de las plantas en que no poseen capacidades fotosintéticas (son heterótrofos), y de los animales en que presentan una pared celular de composición quitinosa, la cual difiere bioquímicamente de la pared vegetal compuesta por celulosa y lignina. En términos evolutivos, los hongos perdieron la capacidad fagotrófica (ingestión), reemplazándola por una alimentación de tipo osmótrofa. Realizan la digestión de forma extracelular mediante la liberación de enzimas con capacidad degradadora; tras la descomposición de la materia orgánica, absorben los nutrientes de los cuales se alimentan (Lombana-Álvarez et al., 2016).

Como indican Kuhar et al. (2018), el término funga se reconoce como el equivalente a fauna y flora, y abarca a todas las especies pertenecientes al reino Fungi que habitan en un determinado lugar. A pesar de los esfuerzos académicos por investigar y documentar la funga

colombiana, aún existen muchos territorios inexplorados sin registros micológicos, lo que requiere de la articulación constante de la comunidad científica para su estudio (Gaya et al., 2022; Gómez-Montoya et al., 2022).

Funciones ecológicas y ciclos biogeoquímicos: Los hongos son organismos vitales para la salud y el mantenimiento de todo ecosistema. Dentro de los diferentes gremios ecológicos del reino Fungi se encuentran los saprótrofos, los parásitos y los simbioses, todos ellos esenciales para el equilibrio ambiental. Intervienen de manera activa en los ciclos biogeoquímicos del carbono, el fósforo y el nitrógeno (De García María Caridad, 2012; Frac et al., 2018; Soudzilovskaia et al., 2015).

Por consiguiente, su biología sirve como un excelente instrumento pedagógico para ejemplificar y comprender de manera integral diversos contenidos educativos del área de ciencias naturales. Abordar estas temáticas cumple un rol fundamental en la concientización sobre este grupo biológico, fomentando su conservación y la salud medioambiental (Irga et al., 2018).

Hongos y sociedad: A lo largo de la historia, el desarrollo de la sociedad humana ha estado estrechamente vinculado a los hongos. Sus impactos abarcan desde propiedades medicinales hasta ser causantes de enfermedades. Sus usos van desde la alimentación directa y la fermentación de productos tradicionales (como la cerveza, la salsa de soya, el café o el chocolate) (Atila et al., 2017; Kalač, 2012; Scholtmeijer et al., 2023), hasta múltiples aplicaciones biotecnológicas con aportes significativos en biorremediación y producción de biomateriales (Kalač, 2012; Scholtmeijer et al., 2023).

Simultáneamente, representan un desafío para la salud pública al ser patógenos potenciales (Ocara et al., 2018; Bongomin et al., 2023). En términos agronómicos, muchas especies resultan

nocivas y peligrosas para la productividad de diversas especies de interés económico, tanto vegetales como animales (Fisher et al., 2020).

Todo lo anterior resulta sumamente pertinente para la sociedad colombiana; sin embargo, no recibe el énfasis que merece. Por ende, es necesario redoblar los esfuerzos, tanto en la educación formal como en la informal, para dar a conocer la importancia capital de este reino.

2.2.2 Componentes del marco teórico

Componente educativo y curricular:

Los procesos de enseñanza y el desarrollo cognitivo son una construcción social donde la interacción con el entorno y con otros sujetos cumple un rol mediador fundamental (Vygotsky, 1978; Piaget, 1972).

En este contexto, se utilizan estrategias de gamificación que incorporan mecánicas de juego en el ámbito educativo. Estas funcionan como herramientas pedagógicas útiles para fomentar la participación activa e incentivar la curiosidad y la motivación del público (Hidi & Renninger, 2006).

Para el escenario del Museo de Historia Natural de la UIS, se diseñó un juego de tipo "recolección de sellos con premiación", en el que los participantes obtienen calcomanías durante el recorrido. Al reunir cuatro de ellas en su tarjetón, reciben un obsequio con temática micológica. Esta dinámica gamificada busca fomentar la participación activa, facilitar la comprensión de conceptos complejos y mejorar la retención de los contenidos. Al generar memorias positivas asociadas al guion museográfico, se reduce la carga cognitiva mediante una estructura lúdica bien definida (Sweller, 1988; Sweller et al., 2011).

El empleo de estas dinámicas interactivas beneficia la evaluación formativa y promueve la asociación con saberes previos, componentes vitales para el desarrollo de competencias científicas (Arnold, 2011; Hake, 1998).

Al aplicar esta estrategia tipo “juego de recolección de sellos” a una parte de los sujetos de estudio, es posible evaluar si los elementos gamificados constituyen un factor que impacte positivamente en el desempeño de los participantes. Esto parte de la premisa de que las dinámicas de juego apoyan la apropiación del conocimiento y promueven un aprendizaje autorregulado que perdura en el tiempo (Zimmerman, 2002; Gardner, 2011).

Componente de divulgación científica:

La divulgación científica es el medio a través del cual los conocimientos complejos de una disciplina se adaptan para la comprensión y alfabetización de la comunidad. Este proceso se realiza sin perder el rigor conceptual ni tergiversar los contenidos académicos, haciendo asequible una información que, en otros escenarios, quedaría al margen de la población general (Briceño, 2012).

El reino Fungi constituye un caso especial que requiere mayor atención divulgativa, tanto por su complejidad biológica como por la escasa promoción de las temáticas necesarias para abordarlo integralmente. A esta problemática se suma la percepción social y el imaginario colectivo, que históricamente ha asociado a los hongos con estigmas de suciedad o enfermedad, ignorando su enorme importancia ecológica y económica para el país (Schneider et al., 2018; Wasson, 1957).

La implementación de prácticas culturales y experiencias divulgativas micológicas contribuye directamente a la alfabetización científica. Estas estrategias promueven la valoración de la biodiversidad, especialmente cuando se aplican enfoques de participación activa en contextos de educación no formal (Silva-Flores et al., 2021; Andre et al., 2016).

Bajo esta perspectiva, las estrategias de aprendizaje basadas en la experiencia personal, el contacto físico y la interacción fomentan una comprensión profunda de la funga y de su impacto global en áreas como los ecosistemas, la salud, la economía y la biotecnología (Falk & Dierking, 2013; Dighton, 2016).

Componente museológico y estrategia inmersiva:

Por su naturaleza, los museos son espacios educativos de libre elección a los que se acude para aprender de manera voluntaria. Allí, el visitante interactúa activamente con objetos, relatos y experiencias sensoriales diseñadas para promover la adquisición de conocimiento (Bamberger & Tal, 2006; Falk & Dierking, 2013).

Investigaciones realizadas en el marco del proyecto MARVEL han demostrado que el análisis sistemático de la experiencia del visitante —mediante métodos de evaluación adecuados— fortalece significativamente el impacto educativo de las exposiciones al señalar los puntos de mejora (Griffin et al., 2005).

Desde esta óptica, las experiencias inmersivas que estimulan diversos sentidos del visitante, acompañadas por la guianza de un mediador, logran representar satisfactoriamente procesos biológicos complejos. Las narrativas multidimensionales facilitan así la consolidación del aprendizaje a largo plazo (Morales, 2025).

En consecuencia, el Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander (MHN-UIS) se concibe como un sistema pedagógico dinámico y coherente con su misión institucional de divulgar la biodiversidad regional, atendiendo a un público compuesto mayoritariamente por estudiantes en formación.

Componente evaluativo:

La evaluación en los entornos museográficos ha evolucionado hacia enfoques formativos y flexibles. Su objetivo no es necesariamente calificar los saberes del visitante, sino valorar la eficacia de la experiencia mediante indicadores cuantitativos medibles (Cano, 2024).

En este proyecto, la evaluación se estructuró a través de un juego tipo trivia aplicado antes y después del recorrido. Esto permite medir la capacidad del material para impactar la adquisición de conocimientos de manera articulada, evitando que el instrumento evaluativo resulte anticlimático o rompa la inmersión de la experiencia museográfica. Este enfoque se alinea con las metodologías contemporáneas para la educación informal, donde se prioriza la comprensión conceptual integrada al contexto del visitante por encima de la rigidez típica de las evaluaciones convencionales, incentivando así la motivación por participar (King et al., 2024).

2.3 Marco Conceptual

La fundamentación del proyecto se basa en una serie de conceptos interseccionales que confluyen entre la biología, la educación científica y la divulgación. Estos sientan las bases para comprender la relación entre el rigor científico del contenido y las estrategias de mediación pedagógica aplicadas al desarrollo del material en el contexto del Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander.

En el ámbito educativo, los hongos son un modelo biológico extremadamente dinámico que permite abordar conceptos estructurales de gran importancia: biodiversidad, flujo de materia y energía, relaciones ecológicas, sostenibilidad y sustentabilidad, todos ellos acordes con los estándares básicos de competencias en ciencias naturales del MEN (MEN, 2006).

A pesar de esto, su abordaje en la educación básica y superior es limitado y sufre del sesgo cultural de la micofobia. Este desconocimiento generalizado plantea un panorama desalentador

para la conservación de la funga, poniendo en riesgo a especies que podrían desaparecer antes de ser siquiera descubiertas o documentadas (Hawksworth & Lücking, 2017; IUCN, 2025). Por ello, se hace evidente la necesidad del desarrollo de estrategias pedagógicas que amplíen su conocimiento y visibilicen su relevancia biológica (Lange, 2014). Así se justifica la implementación de material didáctico micológico en entornos de educación no formal, reconociendo la labor de los museos en la alfabetización de la comunidad local (Calvo, 2024).

Divulgación científica:

Se define como el proceso de comunicar el conocimiento científico a un público sin formación especializada. Esto se logra adaptando el lenguaje y el formato a una escala conceptual comprensible, sin que ello comprometa el rigor informativo original (Bucchi, 2008). Más allá de la simple transmisión de datos, implica un proceso de mediación sociocultural que moldea la percepción pública de la ciencia.

En este proyecto, la divulgación científica sobre la funga busca confrontar las visiones reduccionistas del imaginario colectivo (asociadas a enfermedad, suciedad o podredumbre), mostrando la realidad de un reino complejo que abarca gran parte de la diversidad biológica del territorio colombiano. Busca promover una comprensión sistémica de su importancia ecológica. En este sentido, la propuesta se enmarca en la alfabetización científica, entendida como la capacidad de los ciudadanos para comprender fenómenos naturales y tomar decisiones informadas en su vida cotidiana (Maricato et al., 2026; OECD, 2019).

Educación no formal y museos de ciencias:

La educación no formal se refiere a procesos educativos organizados fuera del sistema escolar formal, caracterizados por su flexibilidad, intencionalidad y diversidad metodológica (Coombs & Ahmed, 1974). Los museos de ciencias, como espacios de este tipo, cumplen una

función mediadora entre la comunidad científica y la sociedad, favoreciendo experiencias de aprendizaje autónomas, contextuales y multisensoriales.

Diversos estudios han demostrado que los museos de historia natural facilitan la construcción de significados mediante la interacción directa con objetos, modelos y narrativas, promoviendo aprendizajes situados (Falk & Dierking, 2013). En este contexto, el museo no sustituye la educación formal, sino que la complementa, ampliando las oportunidades de aprendizaje para estudiantes de educación básica secundaria.

Gamificación:

La gamificación consiste en la incorporación de elementos de diseño de juegos en contextos no lúdicos con el fin de influir en la motivación y el comportamiento de los usuarios (Deterding et al., 2011). En educación, su uso ha mostrado efectos positivos en la participación y el compromiso, aunque sus impactos en el aprendizaje conceptual son variables y dependen de su implementación (Hamari et al., 2014).

En este proyecto, la gamificación se emplea mediante un juego memorístico y un sistema de retos con recolección de puntos que buscaron fomentar la participación activa, reforzando conceptos clave del reino Fungi y generar retroalimentación inmediata. Sin embargo, se asume una postura crítica: la gamificación no garantiza por sí misma aprendizaje significativo, sino que debe integrarse coherentemente con los objetivos pedagógicos.

Estrategias inmersivas:

Las estrategias inmersivas se basan en la creación de entornos que involucran múltiples sentidos y favorecen la experiencia directa del aprendizaje. En el ámbito museográfico, estas

estrategias permiten representar fenómenos no observables directamente, como procesos microscópicos o ecológicos complejos.

En el caso del reino Fungi, la inmersión facilita la comprensión de estructuras (hifas, esporas) y procesos (descomposición, simbiosis) mediante el uso de modelos ampliados, recursos visuales y narrativas espaciales. Este enfoque se relaciona con teorías del aprendizaje experiencial (Kolb, 1984), aunque su efectividad depende de la integración con procesos reflexivos.

Evaluación del aprendizaje en contextos museográficos:

La evaluación en contextos de educación no formal se orienta principalmente hacia la comprensión inmediata y la experiencia del visitante, más que hacia la medición de aprendizajes a largo plazo (Falk & Dierking, 2013). En este sentido, se privilegian enfoques formativos, flexibles y no intrusivos.

La aplicación de instrumentos como trivias antes y después del recorrido permite identificar cambios en la comprensión conceptual de manera diagnóstica. Sin embargo, desde un punto de vista metodológico, este tipo de evaluación presenta limitaciones importantes: no permite establecer causalidad ni medir retención a largo plazo, por lo que sus resultados deben interpretarse con cautela.

2.4 Marco Legal

El presente estudio se rigió por el marco normativo colombiano, fundamentándose en los principios constitucionales de los Artículos 15, 44 y 67. De acuerdo con la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud, la investigación se clasificó como "sin riesgo", dado que las técnicas

de recolección de información fueron de carácter pedagógico y no emplearon intervenciones físicas o psicológicas (Ministerio de Salud, 1993).

El tratamiento de datos personales y la salvaguarda de la privacidad se ajustaron a la Ley 1581 de 2012 y el Decreto 1377 de 2013, garantizando la confidencialidad mediante la anonimización de los resultados. En cumplimiento de las pautas éticas internacionales del Informe Belmont y la Declaración de Helsinki, la participación fue voluntaria y formalizada mediante la suscripción de consentimientos informados. Para los casos de menores de edad, se procedió bajo la Ley 1098 de 2006 (Código de la Infancia y la Adolescencia), obteniendo autorizaciones parentales y asentimientos individuales. Finalmente, el proyecto se alineó con la Ley 115 de 1994, integrando la divulgación científica en el Museo de Historia Natural-UIS como un proceso de educación no formal y apropiación social del conocimiento.

3. Diseño metodológico

3.1 Enfoque y diseño de la investigación

El presente estudio se estableció adoptando un enfoque cuantitativo con alcance explicativo que buscó medir el impacto del material diseñado en la adquisición de conceptos básicos de micología durante la experiencia museográfica en la que participaron los sujetos de estudio.

Lo anterior se realizó con el fin de calcular numéricamente la ganancia de puntuación entre tiempos y tratamientos de manera explicativa y objetiva, utilizando un diseño cuasi-experimental pretest-posttest de tres grupos y asignación aleatoria balanceada de bloques académicos preexistentes.

Este tipo de diseño es pertinente cuando se busca estimar el efecto de una intervención educativa en contextos reales donde la asignación aleatoria completa no resulta viable, pero aun

así se pretende comparar cambios entre condiciones y controlar amenazas razonables a la validez interna (Campbell & Stanley, 1963; Cook & Campbell, 1979; Creswell, 2014).

En este caso, el diseño permite evaluar el efecto de distintas estrategias de mediación museográfica sobre el aprendizaje conceptual en torno al reino Fungi, comparando el desempeño de los participantes antes y después de la experiencia educativa.

Se establecieron tres condiciones experimentales: exposición autónoma (A), exposición mediada con gamificación (MG) y exposición mediada sin gamificación (MN). La variable independiente correspondió al tipo de intervención pedagógica y la variable dependiente al nivel de conocimiento conceptual evidenciado en las puntuaciones de los instrumentos aplicados en los momentos pretest y posttest. La asignación a los grupos de tratamiento fue realizada mediante selección aleatoria por número de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} MG &= 10_{\text{Biología}} + 10_{\text{Ingeniería}} + 10_{\text{Técnica}} \\ MN &= 10_{\text{Biología}} + 10_{\text{Ingeniería}} + 10_{\text{Técnica}} \\ A &= 10_{\text{Biología}} + 10_{\text{Ingeniería}} + 10_{\text{Técnica}} \end{aligned}$$

En términos metodológicos, este esquema resulta coherente con la evaluación de experiencias educativas en contextos no formales, donde el aprendizaje puede ser medido mediante cambios observables en el desempeño conceptual de los visitantes (National Research Council, 2009; Griffin et al., 2005; Hooper-Greenhill, 2004).

3.2 Participantes

La muestra estuvo conformada por 90 participantes distribuidos equitativamente en tres grupos de 30 personas por condición experimental. Los participantes procedían de tres bloque preexistentes de educación superior: biología de primer semestre, ingeniería y formación técnica.

En este diseño, los grupos de procedencia académica funcionaron como bloques, mientras que las tres modalidades de mediación museográfica —MG, MN y A— correspondieron a los grupos de tratamiento conformados aleatoriamente, los cuales estuvieron sometidos a las condiciones experimentales.

Siendo así, cada grupo de tratamiento (MG, MN y A, cada uno de $n=30$) fue conformado mediante asignación balanceada, tomando a 10 personas de cada bloque de origen para reubicarlos a uno de los tres grupos experimentales: exposición mediada con gamificación (MG), exposición mediada sin gamificación (MN) y exposición autónoma (A). (**Figura 1.**)

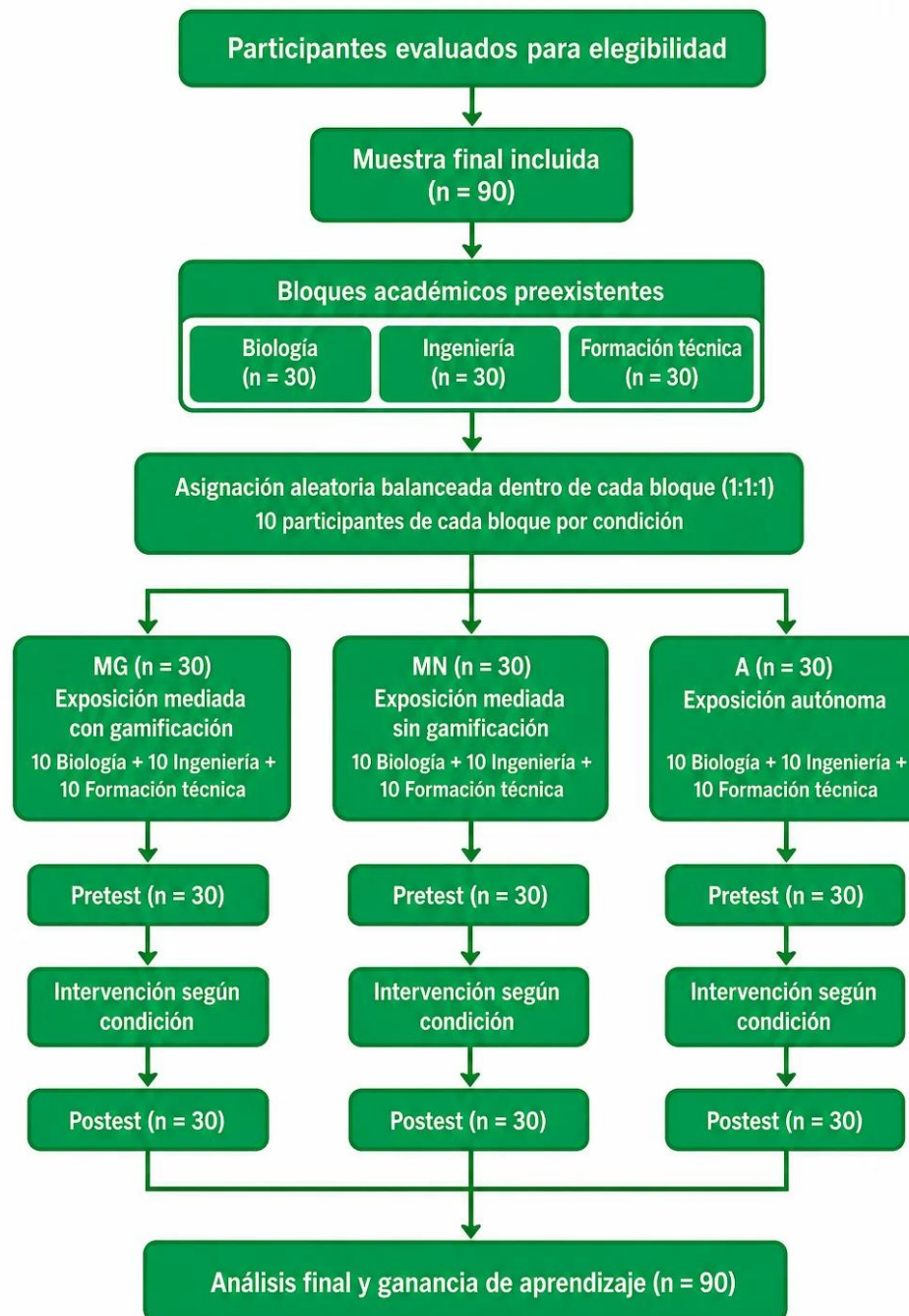
Lo anterior se hizo con el fin de reducir el sesgo de selección dentro de cada población. Siendo así, este procedimiento permitió mitigar el riesgo de que la procedencia académica de los participantes se distribuyera desigualmente en uno de los tratamientos experimentales y se confundiera con el efecto de la mediación pedagógica. La diversidad en la formación académica de la muestra es consistente con la dinámica de los ambientes de educación no formal, en los que los visitantes no necesariamente poseen el mismo nivel de conocimiento conceptual previo y no impide . En este sentido, el Museo de Historia Natural constituye un espacio donde convergen personas con trayectorias, intereses, motivaciones y conocimientos heterogéneos (Falk & Dierking, 2013; Andre et al., 2016).

La asignación aleatoria balanceada dentro de cada bloque académico permitió distribuir de manera equivalente la procedencia formativa de los participantes entre las tres condiciones experimentales. Sin embargo, este diseño no implica que los grupos fuesen idénticos en su totalidad debido a la variación estructural de los bloques de origen o a características individuales de cada participante. Sin embargo, sí permite favorecer la comparabilidad basal y reducir el

desequilibrio generado por la procedencia académica entre condiciones de tratamiento (MG, MN y A).

En conjunto, el diseño experimental pretest–posttest con asignación aleatoria balanceada por bloques constituye una estrategia de control por diseño que fortalece la validez interna al reducir el sesgo de selección asociado con una fuente conocida de variabilidad: la procedencia académica de los participantes (Campbell & Stanley, 1963; Shadish et al., 2002; Mertens, 2014).

Figura 1. Diseño experimental pretest-posttest con asignación balanceada por bloque académico.



3.3 Contexto de la intervención

El presente proyecto de investigación fue desarrollado en el marco de una exposición educativa sobre el reino Fungi, diseñada como una experiencia de divulgación y alfabetización científica, fundamentada en el aprendizaje en museos (Bamberger & Tal, 2006; Andre et al., 2016).

La elección de un entorno museográfico se fundamentó en la premisa de que los museos y otros entornos informales pueden generar aprendizajes cognitivos medibles en los asistentes, Este efecto se potencia cuando el visitante tiene la oportunidad de interactuar activamente con el contenido y establece conexiones entre la experiencia, sus saberes previos y su cotidianidad (Hein, 1998; Falk & Dierking, 2013; Andre et al., 2016). Sin embargo, dada la naturaleza inmediata de la prueba tipo trivia desarrollada en la investigación, no es posible asumir aprendizaje significativo ni apropiación del conocimiento mediante los datos obtenidos en la presente, más si permite evidenciar el efecto de la intervención en la ganancia de la puntuación antes y después de la experiencia.

A pesar de que en este estudio no se realizó un seguimiento temporal espaciado en el tiempo necesario para demostrar un impacto contundente en el aprendizaje de los participantes, el material diseñado actúa como un puente que conecta conceptos y términos complejos, representándolos visualmente de forma sencilla para promover el aprendizaje y el interés del público.

A diferencia de una exhibición de aprendizaje autónomo, gran parte del recorrido fue mediado por guías que fueron instruido e informados de la naturaleza del estudio y previamente socializados con el material elaborado, siguiendo la versión original del guion establecido por parte del museo en las intervenciones de tipo A (en las que se realizó el recorrido normal del museo y se permitió a los participantes interactuar con el material elaborado pero sin su socialización) y la versión modificada para las intervenciones tipo MG Y MN. Lo anterior con el fin de mantener una estandarización del material expuesto, evitando posibles variables externas que afecten los resultados experimentales.

En este caso, la mediación guiada es un componente estructural clave de la intervención, respaldado por la literatura sobre aprendizaje en museos, la cual indica que la guianza, el diálogo

y la interacción social potencian la comprensión y estimulan la apropiación conceptual del visitante (Vygotsky, 1978; Hooper-Greenhill, 2004; Andre et al., 2016).

3.4 Diseño y desarrollo del material expositivo

El diseño del material expositivo se realizó bajo una perspectiva teórica constructivista y experiencial del aprendizaje. A partir de este enfoque, se asume que aprender no consiste en recibir información pasiva del entorno, sino en reconstruirla activamente para reorganizar el conocimiento mediante la interacción entre nuevos contenidos, experiencias previas y mediación pedagógica (Cook & Ausubel, 1970; Hein, 1998; Kolb, 1984; Bamberger & Tal, 2006).

En consecuencia, se rediseñó el guion preexistente para traducir e integrar contenidos complejos de micología a un lenguaje comprensible para el público no experto, sin sacrificar la precisión conceptual y reduciendo la densidad teórica de la exposición. Esta nueva versión fue elaborada mediante la adhesión de contenido corroborado en diversas fuentes académicas, como el libro de De García María Caridad (2012) y el catálogo de hongos de Colombia (De Almeida et al., 2022), así como múltiples referencias consultadas durante el diseño de este y portales de búsqueda como ColFungi y GBIF. La búsqueda bibliográfica de la información se desarrolló mediante la implementación de motores de búsqueda académicos estratégicos basados en palabras clave en inglés y español en las bases de datos bibliográficas: Scopus, SciELO y Web of Science.

Asimismo, se tomaron en cuenta las particularidades y características regionales del departamento de Santander y los biomas exhibidos en el patrimonio del MHN, incorporando contenido local sobre hongos. Se integró material fotográfico de autoría propia obtenido durante salidas de campo en diferentes regiones del territorio, con el fin de fortalecer la contextualización territorial del aprendizaje y dar representación a la enorme biodiversidad del departamento. Esto

responde a la lógica de que la comprensión mejora cuando la información se presenta de manera significativa, cercana y cognitivamente fluida para el visitante (Oppenheimer, 2009).

El contenido de la exposición fue diseñado para estimular los sentidos del visitante, con el fin de establecer recuerdos duraderos anclados no solo a la información recibida, sino a las sensaciones experimentadas, fomentando la memorización asociada a las experiencias sensoriales.

Se articularon diferentes elementos como estímulos visuales, táctiles, olfativos y gustativos. En el plano visual se emplearon fichas técnicas, mapas de distribución, fotografías, esquemas conceptuales y observación de estructuras microscópicas. En el plano táctil se incorporaron modelos tridimensionales hechos a mano de morfologías de macrohongos. Finalmente, en los planos olfativo y gustativo se integró una experiencia de fermentación y degustación de productos derivados de los hongos.

Esta estructuración multimodal respondió a la necesidad de diversificar las rutas de acceso al contenido y reducir la abstracción excesiva de la teoría, escalándola al plano cotidiano. Esto es consistente con enfoques que resaltan la relevancia de un diseño instruccional claro y la gestión adecuada de la carga cognitiva para promover la participación interactiva (Sweller, 1988; Sweller et al., 2011).

Adicionalmente, se empleó un juego de cartas de memoria orientado al reconocimiento y asociación de especies con el que los participantes pudieron interactuar al final del recorrido. Este se basó en la única guía de campo disponible para el territorio ((Martínez-Díaz et al., 2026)-Díaz, 2025).

Esta estrategia lúdica se incorporó como mecanismo para activar la participación, la atención sostenida y la evocación de información. La literatura sobre aprendizaje en contextos de libre elección indica que las oportunidades de interacción, decisión y participación activa

promueven una mayor estimulación cognitiva y una mejor conexión con el conocimiento previo del visitante (Bamberger & Tal, 2006; Andre et al., 2016).

3.5 Instrumento de recolección de datos

Para medir el impacto pedagógico inmediato tanto conceptual como funcional de la intervención y determinar si la experiencia educativa influyó en la mejora del desempeño general posterior de la experiencia educativa, se diseñaron dos instrumentos de evaluación (pretest y postest). Estos estuvieron compuestos por 21 ítems de selección múltiple codificados dicotómicamente (respuesta correcta (1) o incorrecta (0)), en lugar de una medida de ítem único, debido a que el desempeño conceptual sobre el reino Fungi comprende contenidos diversos — como clasificación, morfología, ecología, reproducción, simbiosis e importancia ecosistémica— que no pueden ser representados de manera suficiente por una sola pregunta. Las medidas multiítem permiten una cobertura más amplia del dominio evaluado, aunque su calidad depende de la coherencia conceptual y del comportamiento empírico de los ítems (Diamantopoulos et al., 2012).

Ambos instrumentos fueron diseñados para abordar constructos asociados con la morfología, reproducción, ecología, clasificación, simbiosis e importancia ecosistémica de los hongos. La elección de este formato respondió a la intención de obtener una medida estructurada y comparable para contrastar el cambio en el desempeño entre los momentos de aplicación. El uso de ítems cerrados y codificación dicotómica permitió describir las variaciones en las respuestas correctas entre los dos momentos de aplicación y analizar los datos tanto mediante puntuaciones totales descriptivas como a nivel de ítem. (Lara, 2013).

La construcción del instrumento se realizó mediante una matriz de atributos que incluyó: dimensión a evaluar, nivel en la Taxonomía de Bloom, competencia, dificultad y concepto (**Tabla**

1). Todo esto en correspondencia con los objetivos de aprendizaje y los contenidos de la intervención. Esta alineación entre dominio conceptual, objetivos y reactivos —modelada como una experiencia interactiva tipo trivia, la cual no se debe confundir con la mediación gamificada (MG) ya que el mecanismo de evaluación fue el mismo en todas las condiciones experimentales— constituye un criterio central de validez de contenido, pues evita que el instrumento mida aspectos irrelevantes respecto al constructo evaluado (Haynes et al., 1995; AERA et al., 2018). El pretest y el postest fueron utilizados exclusivamente para registrar el desempeño de los participantes antes y después de la experiencia.

3.5.1 Desarrollo de formas consistentes

La validez del instrumento se abordó principalmente desde la perspectiva del contenido. Se procuró que los ítems representaran de manera clara y pertinente los conceptos desarrollados en la exposición, siguiendo criterios aceptados para instrumentos educativos: representatividad del dominio, correspondencia con objetivos de aprendizaje y uso interpretativo responsable (Haynes et al., 1995; AERA et al., 2018). Además, se contó con la asesoría de docentes expertos en el tema, procurando la representatividad del contenido de las preguntas (reactivos). Esta revisión constituye una fuente de evidencia de contenido, pero no equivale, por sí sola, a una validación completa del instrumento.

Para evaluar el efecto inmediato del recorrido en los participantes, se desarrollaron dos formas de evaluación (Forma A: pretest; Forma B: postest) que buscaron evaluar de forma similar los mismos conceptos sin compartir redacciones idénticas. Las formas fueron teóricamente estructuradas para abordar los mismos conceptos y competencias, sin utilizar redacciones idénticas ni repetir literalmente los mismos ejemplos biológicos, buscando acogerse parcialmente a los

criterios de correspondencia según los estándares psicométricos de pruebas paralelas (Allen & Yen, 2001; Crocker & Algina, 1986).

La decisión metodológica de implementar dos formas temáticamente vinculadas en lugar del mismo instrumento se fundamenta en la necesidad de minimizar el sesgo de memorización literal y los efectos de práctica (efecto test-retest). Esto busca evitar una ganancia artificial que pueda estar influenciada por la reutilización de un test al que los participantes ya habían sido expuestos. Este aspecto es relevante cuando el intervalo temporal entre la medición inicial y final es breve (T. Anastasi, 2008; Linn, 1989).

Sin embargo, las formas no se asumieron como estrictamente paralelas ni psicométricamente idénticas. La correspondencia estricta entre dos instrumentos requiere evidencia empírica de similitud en dificultad, discriminación, confiabilidad y comportamiento de los reactivos; tales condiciones no pueden establecerse solamente a partir del diseño teórico de las pruebas (Lord & Novick, 2008; AERA et al., 2018). Por tanto, las diferencias pretest–postest se interpretaron como cambios inmediatos en el desempeño dentro de un dominio conceptual común y no como diferencias obtenidas en dos escalas perfectamente intercambiables.

3.5.2 Criterios de correspondencia teórica entre formas

Las dos formas de la prueba se diseñaron para satisfacer los siguientes parámetros de correspondencia estructural y de constructo:

Correspondencia de constructos. Se buscó que ambos instrumentos evaluaran el mismo marco teórico (taxonomía, ecología, morfología, reproducción y roles ecosistémicos). La matriz de especificaciones (**Tabla 1**) permitió vincular cada ítem de la Forma A con un ítem

correspondiente de la Forma B que evaluaba el mismo objetivo de aprendizaje y contenido conceptual general.

Correspondencia en progresión cognitiva. Los test se distribuyeron según la Taxonomía revisada de Bloom (Bloom, 1986), manteniendo la misma proporción en las escalas cognitivas: Recordar, Comprender, Aplicar y Analizar. Esto asegura que ambas formas demanden el mismo procesamiento cognitivo, controlando la dificultad relativa esperada (Haladyna & Rodriguez, 2013).

Variación contextual controlada. Para reducir el reconocimiento literal entre las aplicaciones, se modificaron ejemplos, especies, ecosistemas o contextos biológicos específicos entre pretest y posttest. La intención fue conservar el concepto y la competencia evaluada, modificando únicamente el contexto en el que se presentaba el reactivo.

Correspondencia formal. El pretest y posttest mantuvieron el mismo número de ítems (21), formato de respuesta (opción múltiple o verdadero/falso codificada dicotómicamente), tipo de distractores y tiempo de aplicación (30 minutos).

3.5.3 Operacionalización de la Correspondencia: Matriz de especificaciones (Tabla 1)

La Correspondencia estructural se desarrolló mediante una matriz de especificaciones que garantizó la correspondencia uno a uno entre cuestionarios. Cada par de ítems compartió: (a) dimensión conceptual; (b) competencia evaluada; (c) nivel cognitivo de Bloom; y (d) dificultad esperada.

La única variación sistemática fue el contexto biológico específico, diseñado intencionalmente para evaluar la transferencia conceptual en lugar de la memorización. La **¡Error!** No se encuentra el origen de la referencia. relaciona cada dimensión conceptual con los

materiales educativos vinculados, demostrando la alineación constructiva entre objetivos, enseñanza y evaluación (Biggs & Tang, 2022).

En conjunto estos criterios documentan una correspondencia teórica y estructural entre formas, no demuestran equivalencia psicométrica perfecta, ya que para el diseño y validación de un instrumento es necesario haberlo puesto a prueba con una muestra de la población a la que va dirigido superior al alcance metodológico de la presente investigación (Videla et al., 2021). Su utilidad consiste en sustentar que ambas versiones fueron diseñadas para evaluar un dominio conceptual comparable.

Tabla 1. *Matriz de especificación de atributos en el pre y post test*

Dimensión	Ítem PRE	Ítem POST	Competencia	Concepto	Bloom	Dificultad
Aplicaciones	13	13	Identifica usos	Bioteconología	Comprender	Media
Biodiversidad	16	16	Define distribución	Endemismo	Comprender	Media
Biología celular	17	17	Identifica componente	Quitina	Recordar	Baja
Biología general	18	18	Reconoce dato biológico	Hongo gigante	Recordar	Baja
Clasificación	6	6	Clasifica organismo	Reino Fungi	Recordar	Baja
Clasificación	9	9	Discrimina taxones	No hongo	Recordar	Media
Conservación	12	12	Reconoce invasión	Especies invasoras	Comprender	Media
Ecología acuática	4	4	Analiza reciclaje	Descomposición	Comprender	Media
Ecología fúngica	1	1	Explica función ecológica	Dispersión de esporas	Comprender	Media
Ecología fúngica	2	2	Reconoce presencia ecológica	Hongos acuáticos	Comprender	Baja

Ecología terrestre	15	15	Explica función ecosistémica	Descomposición	Comprender	Media
Ecosistemas secos	8	8	Caracteriza ambiente	Sequía	Comprender	Media
Epistemología	7	7	Analiza invisibilización	Dificultad estudio	Comprender	Media
Modelación	5	5	Reconoce representación	Diorama	Recordar	Baja
Morfología	10	10	Describe estructura	Micelio	Comprender	Media
Morfología	14	14	Reconoce células	Hifas	Recordar	Baja
Naturaleza ciencia	3	3	Identifica objeto de estudio	Biología	Recordar	Baja
Nutrición	11	11	Identifica sustrato	Heterotrofia	Comprender	Media
Salud ambiental	20	20	Relaciona salud y ambiente	Infección en cuevas	Comprender	Media
Simbiosis	19	19	Explica dependencia	Orquídea-hongo	Comprender	Media
Simbiosis	21	21	Define interacción	Micorriza	Comprender	Media

Nota. Cada par de ítems comparte dimensión, competencia, nivel cognitivo y dificultad, pero varía en el contexto biológico (especies, ecosistemas) para minimizar la memorización.

Tabla 2. Relación entre materiales didácticos, conceptos abordados e ítems evaluadores

Dimensión	Concepto evaluado	Material explicativo	Aprendizaje esperado	Ítem
Aplicaciones	Biotecnología	Productos de origen fúngico	Identifica usos comunes del reino Fungi en la industria.	13
Biodiversidad	Endemismo	Fotografías, mapa de hongos y fichas técnicas	Reconoce la existencia de especies únicas de una región.	16
Biología celular	Quitina	Modelo 3D y video explicativo	Reconoce características celulares únicas del reino Fungi.	17

Biología general	Extensión del micelio	Video explicativo y guion	Comprende que la presencia de los hongos en los ecosistemas no siempre es evidente.	18
Clasificación	Reino Fungi	Video, cartelera y guion	Reconoce las principales características del reino Fungi.	6
Clasificación	No hongo	Video, cartelera y guion	Reconoce diferencias entre el reino Fungi con respecto a otros grupos biológicos.	9
Conservación	Especies invasoras	Fotografías, mapa, guion y fichas técnicas	Reconoce la existencia de especies nativas que pueden verse alteradas por la presencia de especies invasoras o introducidas.	12
Ecología fúngica	Dispersión de esporas	Video, guión y modelos 3D	Reconoce el mecanismo de reproducción y propagación predominante en el reino Fungi.	1
Ecología fúngica	Hongos acuáticos	Video, guión y modelos 3D	Reconoce el rol de los hongos en ecosistemas acuáticos.	2
Ecología acuática	Descomposición	Video, guión y modelos 3D	Reconoce el rol de los hongos en ecosistemas acuáticos.	4
Ecosistemas secos	Sequía	Video, guión y modelos 3D	Entiende los mecanismos de adaptación existentes en el reino Fungi para sobrevivir a ambientes extremos.	8

Ecología terrestre	Descomposición	Video, guión y modelos 3D	Reconoce el rol de los hongos en ecosistemas terrestres.	15
Epistemología	Dificultad de estudio	Guion	Comprende la dificultad de representación y visibilización del reino Fungi.	7
Modelación	Diorama	Video y guion	Reconoce la forma de funcionamiento del MHN UIS.	5
Morfología	Micelio	Diagramas, modelos 3D, fotografías y fichas técnicas	Entiende la estructura e integración de las células fúngicas.	10
Morfología	Hifas	Diagramas, modelos 3D, fotografías y fichas técnicas	Reconoce las modificaciones celulares que identifican a los hongos filamentosos.	14
Naturaleza de la ciencia	Biología	Guion	Reconoce la importancia de las ciencias biológicas y la investigación de los seres vivos.	3
Nutrición	Heterotrofia	Productos fúngicos, video y modelo 3D	Reconoce a los hongos como seres heterótrofos.	11
Salud ambiental	Infección en cuevas	Guion	Reconoce el rol de los hongos en entornos kársticos.	20
Simbiosis	Orquídea-hongo	Guion, modelos 3D, fichas y video	Reconoce la capacidad de los hongos de establecer relaciones simbióticas.	19
Simbiosis	Micorriza	Guion, modelos 3D, fichas y video	Reconoce la capacidad de los hongos de	21

			establecer relaciones simbióticas.	
--	--	--	---------------------------------------	--

Nota. Esta tabla permite la trazabilidad entre contenido (concepto), recurso didáctico y el ítem del instrumento asociado.

3.6 Validación y confiabilidad del instrumento

3.6.1 Validación tentativa de la Correspondencia

Dado que la equivalencia estricta entre formas paralelas requiere evidencia empírica de igualdad de dificultad alta similitud en dificultad, discriminación y confiabilidad (Lord & Novick, 2008), se realizó una validación tentativa de comparabilidad funcional mediante un estudio piloto con un grupo independiente para evaluar el comportamiento entre las preguntas de la prueba pre (Forma A) y posttest (Forma B) sin contaminar el análisis con el efecto de la intervención.

Se seleccionó una muestra independiente de adultos voluntarios ($n = 124$) mediante muestreo aleatorio simple. Este grupo se dividió para que una mitad completara la Forma A y la otra, la Forma B. La consistencia interna se estimó mediante el coeficiente Kuder-Richardson 20 (KR-20), adecuado para ítems dicotómicos (Kuder & Richardson, 1937; Crocker & Algina, 1986). Cabe recalcar que la confiabilidad no es una propiedad inmutable del instrumento, sino una estimación dependiente de la variabilidad de la muestra (Lord & Novick, 2008; Taber, 2018).

La Correspondencia de las formas se analizó bajo el enfoque de la Teoría Clásica de los Tests (TCT). Se estimó la confiabilidad mediante el coeficiente Kuder-Richardson 20 (KR-20), obteniendo valores de:

$$\text{KR-20Forma A}=0.651 \text{ y } \text{KR-20Forma B}=0.811$$

Ambos valores aportan evidencia de consistencia interna para fines de investigación grupal; no obstante, la diferencia entre ellos indica que las formas no presentaron un funcionamiento psicométrico idéntico. (Crocker & Algina, 1986)

Como la consistencia interna es solo un componente de la Correspondencia, también se examinaron los índices de dificultad, discriminación y la distribución general de puntajes. La interpretación conjunta de estos indicadores resulta más adecuada para estimar la comparabilidad entre formas alternativas (Anastasi & Urbina, 1997; Kolen & Brennan, 1995). Se estableció un criterio de tolerancia de:

$$|\Delta p| \leq 0.15$$

para considerar los ítems como funcionalmente equivalentes. El 76.2% de los reactivos cumplió con este criterio. La diferencia media de dificultad global fue de 0.036, con una proporción media de aciertos de 0,746 en la Forma A y de 0,710 en la Forma B. (Haladyna & Rodriguez, 2013). No obstante, algunos ítems superaron el umbral establecido de diferencia de dificultad. Estos resultados muestran que existieron diferencias puntuales entre las formas, por lo cual se considera que los test A y B permiten analizar globalmente el comportamiento de la ganancia o pérdida del puntaje en los grupos evaluados pero no es metodológicamente correcto afirmar que ambas formas fueran paralelas en sentido estricto.

En consecuencia, la evidencia obtenida permite sostener que las formas presentaron una correspondencia conceptual documentada y una comparabilidad funcional preliminar para el análisis de tendencias grupales. Sin embargo, no permite afirmar equivalencia psicométrica perfecta ni realizar inferencias precisas sobre diferencias individuales pequeñas.

3.6.2 Limitaciones de la validación

Dado que se trata de investigación en educación científica aplicada, la validación es tentativa. Una validación exhaustiva requeriría Teoría de Respuesta al Ítem (IRT) y muestras mucho más grandes. (Kolen & Brennan, 1995).

Por tanto, en este estudio no se asume que las formas sean estrictamente intercambiables. Se reconoce una correspondencia conceptual respaldada por la matriz de atributos y evidencia empírica preliminar de comparabilidad funcional. Esta limitación implica que los cambios pretest–posttest deben interpretarse con prudencia, pues parte de la variación observada puede estar asociada con diferencias entre las formas y no exclusivamente con la intervención educativa.

3.6.3 Consistencia interna

La precisión, estabilidad y consistencia interna del instrumento de evaluación fue estimada mediante el coeficiente Kuder-Richardson 20 (KR-20). En la práctica, este análisis se ejecutó de forma desagregada por momento de aplicación (pretest/posttest) y por condición experimental. Adicionalmente, dada la inestabilidad de los datos obtenidos de la práctica experimental (KR-20 no satisfactorio). Esta situación limita la precisión de las puntuaciones y exige evitar interpretaciones fuertes sobre diferencias. Siendo así se procedió a estimar el paralelismo entre las formas aplicadas, además de la consistencia interna en una muestra independiente controlada mediante la prueba piloto, a partir de esta se calculó el índice de dificultad (Δp) de cada reactivo para delimitar los ítems que presentaban mayor inestabilidad y aislar el efecto de estos sobre el comportamiento del KR-20.

Ante la presencia detectada de fluctuaciones en la dificultad de ciertos ítems ($|\Delta p| > 0.150$) (**Figura 3**) **Figura 3.** Umbral de dificultad por ítem entre las formas A vs B en la prueba piloto., se procedió a aislar metodológicamente una "Versión Núcleo" exploratoria con los

reactivos psicométricamente estables, repitiendo los análisis de consistencia y comparabilidad funcional aproximada para corroborar la validez de las inferencias con el fin de realizar un análisis exploratorio de sensibilidad.

La interpretación del KR-20 se realizó con cautela, porque la confiabilidad no es una propiedad fija ni inherente al test en abstracto, sino una característica dependiente del comportamiento de los ítems, de la variabilidad de las respuestas y de la población evaluada (Lord & Novick, 2008; Taber, 2018). La presente no asume una equivalencia psicométrica perfecta entre ambas formas, sino una comparabilidad funcional aproximada, especialmente defendible en la versión núcleo exploratoria del instrumento dada la exclusión de los ítems con comportamiento problemático.

3.7 Creación de la versión núcleo del instrumento

A partir del análisis psicométrico resultante de la prueba piloto, se identificaron preguntas problemáticas con asimetría en índice de dificultad y comportamiento inconsistente que desestabilizan la consistencia interna del instrumento. Sobre esta base, se estableció una "versión núcleo" exploratoria depurada que conservó los 15 reactivos con un desempeño de mayor estabilidad. Su propósito fue explorar si el patrón general de resultados se mantenía al restringir el análisis a un conjunto de reactivos con correspondencia conceptual documentada y, en conjunto, una comparabilidad funcional más favorable entre pretest y posttest. Esta decisión es de carácter netamente exploratorio y no sustituye ni busca reemplazar a la versión original, su uso responde a procedimientos clásicos de refinamiento instrumental, sin embargo los resultados obtenidos a partir de la misma son complementarios a los hallazgos de la versión original (Anastasi & Urbina, 1997; Allen & Yen, 2002).

3.8 Procedimiento

El procedimiento posterior al pilotaje constó de tres momentos: (1) aplicación del pretest para establecer el conocimiento inicial; (2) intervención según la condición experimental; y (3) aplicación del posttest. Este esquema pretest-intervención-posttest es congruente con las metodologías de evaluación de impacto (Campbell & Stanley, 1963). Se procuró mantener condiciones comparables en cuanto a duración, secuencia general del recorrido y momento de aplicación de los instrumentos, interpretando los hallazgos con prudencia metodológica. En consecuencia, los resultados se interpretaron como evidencia sobre cambios inmediatos en el desempeño de la prueba asociados temporalmente con las condiciones evaluadas, sin establecer causalidad definitiva ni equivalencia experimental estricta entre los grupos (Cook & Campbell, 1979). Posterior a la toma de datos se procedió a la depuración y análisis de los mismos.

3.9 Plan de análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos derivados del diseño cuasi-experimental se estructuró en fases analíticas jerarquizadas. Lo anterior, con la finalidad de discernir entre la descripción de los datos, la evaluación del comportamiento del instrumento y la prueba inferencial de la hipótesis de investigación, cuantificando así de manera objetiva el impacto educativo inmediato de las intervenciones. Los cálculos se ejecutaron utilizando el software estadístico R (versión 4.X) y JASP, fijando el umbral de significancia estadística de:

$$\alpha=0.05$$

Los valores p se interpretaron de manera conjunta con los tamaños de los efectos estimados, los intervalos de confianza, las razones de momios y la coherencia general del patrón de resultados. Por tanto, no se asumieron como evidencia aislada ni como una demostración absoluta de las hipótesis (Hoekstra et al., 2006).

En una fase de pilotaje se procedió a efectuar la prueba piloto mediante la cual se estableció la versión núcleo exploratoria. Se examinaron los indicadores psicométricos del instrumento, incluyendo el KR-20, la proporción de respuestas correctas por ítem y las diferencias de dificultad entre las formas pretest y posttest. Estos análisis respondieron a la pregunta de apoyo:

¿En qué medida el comportamiento del instrumento permite interpretar con prudencia los cambios observados?

En la primera fase, se verificó la integridad de la base de datos, la correspondencia entre los identificadores de los participantes, la condición experimental asignada y la codificación de las respuestas. Cada reactivo fue codificado como respuesta correcta (1) o incorrecta (0).

Posteriormente, se calcularon estadísticos descriptivos —número de participantes, medias, desviaciones estándar y rangos— para caracterizar el desempeño en pretest y posttest en cada condición experimental. También se calculó la ganancia bruta individual:

$$\text{Ganancia bruta}_i = \text{Puntaje posttest}_i - \text{Puntaje pretest}_i$$

La ganancia bruta se utilizó exclusivamente como indicador descriptivo del cambio observado entre los dos momentos de evaluación. No se utilizó como variable dependiente del análisis inferencial principal, debido a su dependencia matemática respecto del puntaje inicial y del límite máximo de la escala.

Asimismo, se calculó el índice de ganancia normalizada de Hake:

$$g = \frac{\text{Puntaje posttest} - \text{Puntaje pretest}}{\text{Puntaje máximo} - \text{Puntaje pretest}}$$

Este índice se conservó únicamente como un referente descriptivo complementario del progreso relativo observado. No se utilizó para clasificar la efectividad de las intervenciones ni

como fundamento de comparaciones inferenciales entre grupos, debido a su sensibilidad al nivel inicial de desempeño y a posibles efectos de techo (Hake, 1998).

En una segunda instancia se procedió a la evaluación del impacto pedagógico de la intervención 'El Reino Olvidado de los Hongos' mediante una estrategia estadística de análisis multinivel. A nivel global de resultados, se utilizó el Análisis de Covarianza (ANCOVA) como herramienta de diagnóstico general. Este permitió contrastar el rendimiento total de los grupos mediante puntajes agregados, ajustando las medias del postest en función del conocimiento previo (pretest) y verificando la robustez del diseño experimental ante los supuestos clásicos de la estadística paramétrica.

No obstante, dado que el aprendizaje es un fenómeno complejo que se manifiesta de forma discreta ítem por ítem, el análisis inferencial principal se realizó mediante un Modelo Lineal Generalizado Mixto de distribución binomial y función de enlace logit (GLMM binomial), de análisis clínico y profundo del comportamiento de los datos. A diferencia del diagnóstico global de las medias, el GLMM permitió observar la probabilidad de acierto a nivel de unidad mínima (el ítem), controlando la variabilidad intrínseca de los participantes y las diferencias de dificultad entre preguntas. Esta integración metodológica asegura que los hallazgos no dependan de una única métrica, sino de la convergencia entre la tendencia general del grupo y la dinámica probabilística individual de aprendizaje.

Este modelo se seleccionó porque la variable dependiente correspondió a respuestas dicotómicas a nivel de ítem y porque cada participante respondió múltiples reactivos en dos momentos de evaluación. A diferencia de los análisis basados exclusivamente en puntuaciones totales, el GLMM permite conservar la información a nivel de respuesta, modelar la dependencia

de las respuestas repetidas dentro de cada participante y considerar las diferencias de dificultad entre los ítems (Baayen et al., 2008; Bolker et al., 2009).

La variable dependiente se definió como:

$$Y_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{si el participante } i \text{ respondió correctamente al ítem } j \text{ en el momento } t \\ 0, & \text{si el participante } i \text{ respondió incorrectamente al ítem } j \text{ en el momento } t \end{cases}$$

El modelo incluyó como efectos fijos el momento de evaluación —pretest y posttest—, la condición experimental —exposición autónoma, mediación con gamificación y mediación sin gamificación— y la interacción entre ambas variables. Además, se incorporaron interceptos aleatorios para participante e ítem. Estos efectos aleatorios modelan la heterogeneidad asociada con las diferencias individuales de desempeño y con la dificultad variable de los reactivos.

La estructura general del modelo fue:

$$\begin{aligned} \text{logit}[P(Y_{ijt} = 1)] = & \beta_0 + \beta_1(\text{Post}) + \beta_2(MG) + \beta_3(MN) + \beta_4(\text{Post} \times MG) + \\ & \beta_5(\text{Post} \times MN) + u_i + v_j \end{aligned}$$

donde:

β_0 Nivel basal estimado de respuesta correcta para la condición MN en el pretest

β_1 Cambio pretest–posttest en la condición de exposición autónoma

β_2 y β_3 Diferencias basales estimadas entre las condiciones de MG + MN y A

β_4 y β_5 Diferencias en el cambio temporal de MG + MN respecto A

u_i Efecto aleatorio del participante

v_j Efecto aleatorio del ítem.

La condición de exposición autónoma y el pretest se establecieron como categorías de referencia. En consecuencia, el interés principal se centró en la interacción:

Tiempo × Condición

Esta interacción respondió a la pregunta central del estudio:

¿El cambio inmediato en la probabilidad de responder correctamente entre pretest y posttest difirió según la modalidad de mediación museográfica?

Se estimaron contrastes entre: i) MG y A; ii) MG y A; y iii) MG y MN. Este último contraste fue necesario para evitar asumir que la gamificación fue superior a la mediación sin gamificación únicamente porque ambas condiciones pudieran diferir de la condición autónoma. Los resultados se reportaron mediante coeficientes en escala logit, errores estándar, estadísticos z, valores p, razones de momios (*odds ratios*, OR), intervalos de confianza del 95 % y probabilidades marginales predichas. Las razones de momios se obtuvieron mediante:

$$OR = e^{\beta}$$

Los OR se interpretaron como cambios en las probabilidades relativas de responder correctamente, no como aumentos directos de la probabilidad de acierto (“Generalized Linear Mixed Models,” 2010).

Finalmente, se repitió el análisis descriptivo con la versión núcleo de 15 ítems como análisis exploratorio de sensibilidad. Este análisis permitió examinar si el patrón general se mantenía al utilizar una selección de reactivos con comparabilidad funcional globalmente más favorable. Sus resultados se interpretaron como complementarios y exploratorios, sin sustituir el análisis principal de los 21 ítems.

3.10 Consideraciones éticas

La participación fue voluntaria, confidencial y orientada exclusivamente a fines académicos, sin suponer riesgos adicionales a los de una práctica pedagógica estándar.

Se garantizó la confidencialidad de los datos y la identidad de los participantes no fue incorporada en los análisis reportados. Este manejo es coherente con los principios generales de

uso responsable de instrumentos y datos educativos establecidos en estándares internacionales de medición (AERA et al., 2018).

3.11 Síntesis metodológica

La principal contribución metodológica del estudio consiste en evaluar, en un contexto de educación no formal, cambios inmediatos en el desempeño de una prueba conceptual y comparar dichos cambios entre distintas modalidades de mediación. No obstante, la capacidad inferencial del diseño es limitada por la naturaleza cuasi-experimental de la intervención, la comparabilidad solo aproximada entre las formas pretest y posttest, la inestabilidad observada en algunos indicadores de consistencia interna y la aplicación inmediata del posttest.

Por tanto, los hallazgos deben interpretarse como evidencia sobre tendencias grupales de cambio inmediato en el desempeño de la prueba dentro de la muestra evaluada. No permiten establecer con certeza causalidad definitiva, retención a largo plazo, transferencia del conocimiento, aprendizaje profundo ni generalización automática a otros públicos o contextos educativos (Campbell & Stanley, 1963; AERA et al., 2018; Taber, 2018).

4. Resultados

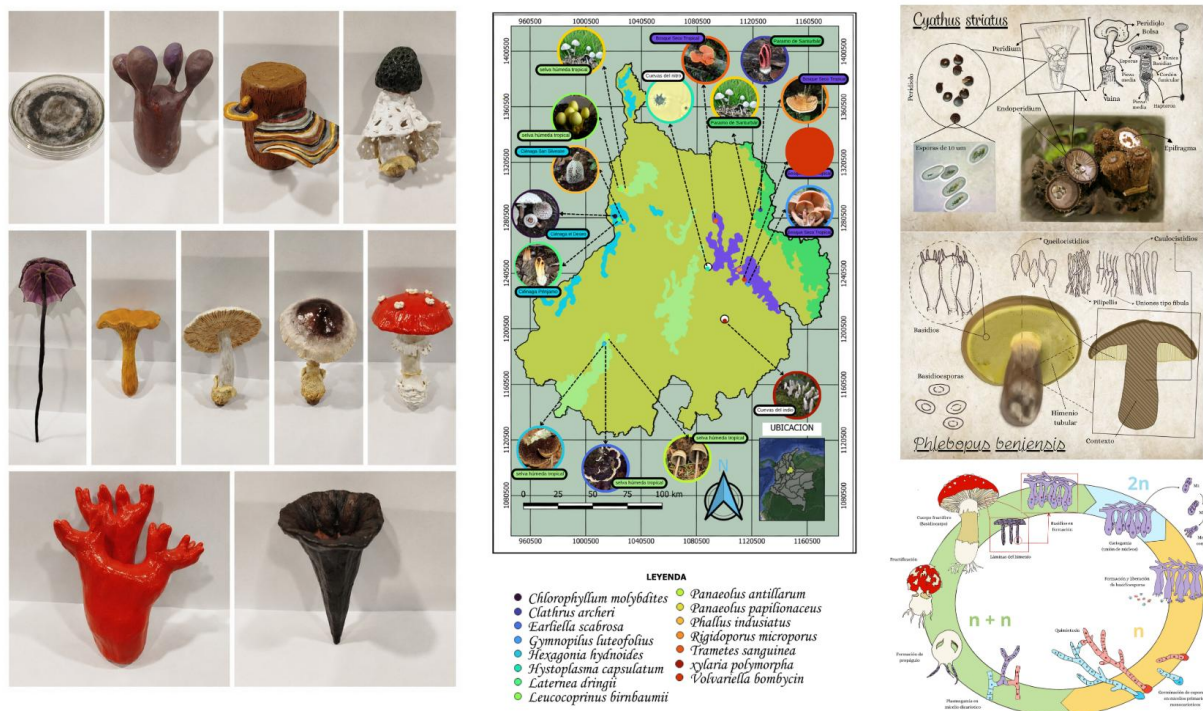
4.1 Desarrollo y articulación del material didáctico y museográfico

La primera fase de la investigación consistió en la transposición didáctica de los conceptos fundamentales del reino Fungi para su integración en el entorno del Museo de Historia Natural (MHN). A través de una exhaustiva revisión bibliográfica, se escuró un guion pedagógico (*Apéndice B*) diseñado específicamente para reducir la densidad teórica de la micología sin comprometer su precisión científica. Este guion sirvió como eje conductor para el desarrollo de un entorno multimodal compuesto por modelos tridimensionales de macrohongos moldeados a mano, esquemas conceptuales interactivos, material fotográfico de autoría propia que documenta la

biodiversidad fúngica del departamento de Santander y cápsulas de video explicativas orientadas a mitigar la "amnesia micológica".

El material elaborado fue realizado mediante el diseño, modelaje y pintado a mano por la investigadora, posterior a la búsqueda bibliográfica realizada para garantizar la rigurosidad científica y conceptual del diseño del recorrido. El mismo contó: 1. Diversos ejemplares elaborados en porcelana de especies presentes en el departamento de Santander. Cada uno de ellos se vinculó con el contenido preexistente en el museo, buscando integrarlo de manera natural y dinámica; 2. Un mapa del departamento de Santander elaborado en la herramienta QGIS que integró las ocurrencias reportadas en la plataforma Naturalist (dado que en el sistema de información GBIF no se encuentran reportes suficientes y todos se vinculan a una única geolocalización), de múltiples especies presentes en los diferentes biomas expuestos en la sala de exhibición, así como un modelo representativo de la estructura celular de las hifas; 3. Una exhibición de productos de origen fúngico presentes en la vida cotidiana, así como cata de quesos y experimento de fermentación empleando levadura; 4. Fotografías de autoría propia de diversos especímenes encontrados en Santander; 5. Ilustraciones digitales de la microscopía y ciclo de vida de los hongos. Parte de este contenido se visualiza en la **Figura 2**.

Como mecanismo final de consolidación y evaluación del aprendizaje en condiciones de libre elección, se diseñó un instrumento interactivo tipo trivia estructurado en dos formas paralelas (pretest y postest), cuya correspondencia conceptual y de diseño instruccional busca intuir la trazabilidad del impacto educativo de la exhibición (*Apéndice C*). información clave sobre el reino Fungi y elaboración del guion educativo: Evidenciado por la pesquisa de información sintetizada, resumida y plasmada en el guion que se diseñó para realizar la experiencia museográfica (*Apéndice B*).

Figura 2. Parte del material elaborado.

4.2 Validación psicométrica y comportamiento empírico del instrumento

En la aplicación experimental principal, la consistencia interna fue baja en el pretest ($KR-20 = 0,243$) y moderada en el postest ($KR-20 = 0,626$). Por tanto, la precisión de las puntuaciones fue limitada, especialmente al inicio de la intervención, lo que restringe la interpretación de diferencias individuales pequeñas.

Por condición experimental, los coeficientes también fueron heterogéneos: exposición autónoma, de 0,102 a 0,680; gamificación, de 0,007 a 0,237; y mediación sin gamificación, de 0,500 a 0,648, entre pretest y postest. La consistencia particularmente baja en gamificación constituye una limitación importante: aunque esta condición mostró un patrón favorable de desempeño, sus resultados deben interpretarse con cautela debido a la inestabilidad de la medición.

La proporción media de aciertos aumentó de 0,679 en el pretest a 0,881 en el posttest (**Tabla 3**). Este patrón es compatible con una mejora inmediata del desempeño tras la experiencia; sin embargo, la alta proporción de respuestas correctas en el posttest sugiere un posible efecto de techo, que reduce la capacidad del instrumento para diferenciar entre participantes con puntuaciones elevadas.

Como evaluación previa de las formas del instrumento, se realizó un pilotaje independiente ($n=124$). La Forma A obtuvo un KR-20 de 0,651 y la Forma B de 0,811. Aunque estos valores son aceptables para examinar tendencias grupales, su diferencia impide afirmar equivalencia psicométrica estricta entre las formas. La correlación entre los puntajes fue de 0,66 y la diferencia media en el índice de dificultad fue de 0,03, lo que respalda una comparabilidad funcional aproximada, no un paralelismo total (**Tabla 3. Resumen de indicadores psicométricos**).

Seis ítems —Q3, Q5, Q6, Q10, Q15 y Q20— presentaron diferencias elevadas de dificultad entre formas ($|\Delta p| > 0,15$) (**Figura 3**). Por esta razón, se construyó una versión núcleo de 15 ítems como análisis exploratorio de sensibilidad. Esta versión mostró coeficientes más cercanos entre la Forma A (KR-20 = 0,66) y la Forma B (KR-20 = 0,69), así como mayor estabilidad global en los índices de dificultad (**Tabla 3**). No obstante, la versión núcleo no sustituyó el instrumento completo ni puede considerarse una escala independiente validada, pues los ítems fueron seleccionados y evaluados con información procedente del mismo proceso de investigación.

Ambas versiones se conservaron para los análisis posteriores. La versión completa mantuvo la cobertura conceptual definida en la matriz de atributos y la versión núcleo permitió examinar si el patrón de resultados se mantenía al excluir los ítems con mayor inestabilidad entre formas. Esta decisión buscó equilibrar la validez de contenido del instrumento completo con una evaluación exploratoria de la robustez de los resultados.

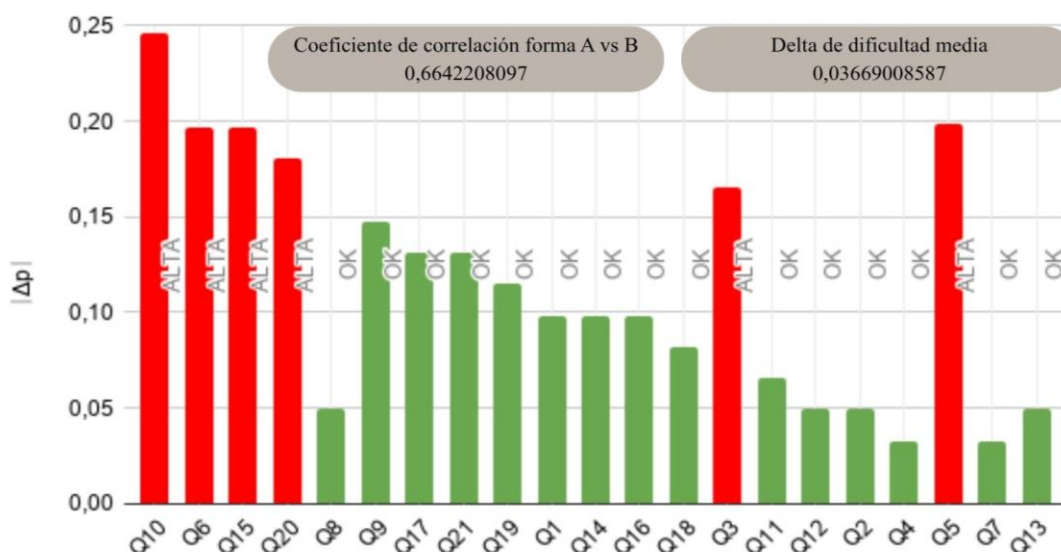
Las diferencias entre los indicadores del pilotaje y de la aplicación experimental pueden relacionarse con cambios en el tamaño, la heterogeneidad y la variabilidad de las muestras. El coeficiente KR-20 depende de la varianza observada en las puntuaciones y de la distribución de respuestas de los ítems; por ello, una baja dispersión de aciertos o un tamaño muestral reducido puede disminuir su estabilidad (Anastasi & Urbina, 1997; Allen & Yen, 2002). En consecuencia, los resultados psicométricos deben interpretarse en función de las condiciones concretas de aplicación y no como propiedades fijas del instrumento.

En síntesis, el instrumento permitió identificar tendencias grupales de cambio inmediato en el desempeño, pero no ofrece evidencia suficiente para sostener una validación definitiva, una alta precisión individual o una equivalencia estricta entre las formas pretest y posttest. Por ello, la lectura psicométrica de la prueba no puede aislarse de su comportamiento empírico ni de las condiciones contextuales de la muestra real. Los indicadores psicométricos clave derivados de ambas fases se sintetizan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 3. *Resumen de indicadores psicométricos*

<i>Fase evaluativa</i>	<i>Tamaño muestral</i>	<i>Indicador</i>	<i>Valor reportado</i>
Prueba piloto	124	KR-20 pre/post	0.6507 / 0.8111
		Ítems con $ \Delta p > 0.15$	Q10, Q6, Q15, Q20 y Q5, Q3
Versión núcleo	90	KR-20 pre/post	0.6614 / 0.6880
Aplicación experimental global		KR-20 pre/post	0.2427/0.6258
		Proporción media de acierto pre VS post	0.6188/0.8810

Nota. *El incremento del coeficiente KR-20 en el posttest experimental refleja la transición desde la heterogeneidad basal de saberes previos hacia un dominio conceptual homogéneo inducido por la intervención.*

Figura 3. Umbral de dificultad por ítem entre las formas A vs B en la prueba piloto.

Nota. Contraste de los índices de dificultad empírica (valor p) por ítem entre las formas paralelas A (pretest) y B (posttest) obtenidas en la muestra piloto ($n = 124$). Las líneas permiten identificar la simetría en la progresión de la dificultad del examen, resaltando los reactivos que excedieron el umbral crítico de tolerancia inter-forma ($(|\Delta p| > 0.15)$).

4.3.2 Evaluación del impacto educativo e inferencia estadística multidimensional

El análisis descriptivo mostró que los tres grupos iniciaron con desempeños medios similares en el pretest de la versión completa: exposición autónoma (A) = 14,23; mediación sin gamificación (MN) = 14,13; y mediación con gamificación (MG) = 14,40, sobre un máximo de 21 puntos. Este patrón fue consistente con el GLMM, que no identificó diferencias significativas entre grupos antes de la intervención: MG frente a A, OR = 1,04, $p = 0,817$; y MN frente a A, OR = 0,98, $p = 0,895$ (Tabla 8).

Tras la intervención museográfica, los tres grupos aumentaron su desempeño. En la versión completa, las medias de posttest fueron 17,60 en A, 18,67 en MN y 19,23 en MG. Las ganancias absolutas medias siguieron el mismo orden: A = 3,37; MN = 4,53; y MG = 4,83 puntos. De manera descriptiva, la condición gamificada presentó el incremento más alto, seguida por la mediación sin gamificación y la exposición autónoma (**Tabla 8**).

La versión núcleo de 15 ítems reprodujo esta jerarquía descriptiva: las ganancias medias fueron de 2,90 puntos en A, 3,57 en MN y 4,10 en MG (**Tabla 8**). Este resultado sugiere que el patrón general no dependió exclusivamente de los seis reactivos con mayor diferencia de dificultad entre las formas. Sin embargo, este análisis debe conservar un carácter exploratorio, pues la versión núcleo fue construida a partir de la misma información utilizada para evaluar su comportamiento psicométrico.

Los índices de ganancia normalizada de Hake fueron: 0,513 para A, 0,658 para MN y 0,722 para MG en el análisis completo y 0,554 para A, 0,704 para MN y 0,793 para MG en la versión núcleo (**Tabla 8**). Para la versión núcleo, se realizó un recálculo de la ganancia normalizada de Hake ajustando el puntaje máximo a 15 ítems, lo cual permitió reflejar el impacto real sobre los conceptos medulares. En esta escala corregida, tanto la condición de Gamificación ($g = 0.79$) como la de Mediación ($g = 0.70$) alcanzaron niveles de Ganancia Alta, superando significativamente a la exposición autónoma ($g = 0.55$). Estos indicadores se utilizaron con fines descriptivos, no como evidencia inferencial principal. No se reportar los índices de Hake de la versión núcleo dado que fueron calculados usando 21 como puntaje máximo, cuando esta versión contiene 15 ítems.

El ANCOVA facilitó la comparación directa entre la versión completa (21 ítems) y la versión núcleo depurada (15 ítems). Esta última versión se construyó eliminando los 6 reactivos

que presentaron mayor inestabilidad psicométrica ($\Delta p > 0.15$) durante el pilotaje. El uso de este modelo complementario permitió ejecutar un análisis de sensibilidad: al fijar el pretest como covariable, se buscó verificar si las tendencias pedagógicas observadas en la escala total se mantenían robustas tras la depuración instrumental, garantizando que el impacto educativo no fuera un artefacto de la longitud del test.

Como diagnóstico general y validación de la robustez del modelo, se ejecutó un análisis de covarianza (ANCOVA) sobre los puntajes totales de la versión completa (21 ítems). Este análisis confirmó la necesidad de controlar el conocimiento previo, dado que la covariable pretest resultó altamente significativa ($F(1,86)=14,04$; $p < 0,001$), actuando como un predictor del desempeño final. Tras ajustar por esta variabilidad inicial, el ANCOVA ratificó un efecto global significativo de la condición experimental ($F(2,86) = 4,74$; $p = 0,011$). Los contrastes post-hoc con ajuste de Holm demostraron que solo la condición de Gamificación logró una diferencia estadísticamente significativa frente a la exposición autónoma ($p = 0,0108$), alcanzando la media ajustada más alta de la muestra (Media post ajustada 19,18 \ EE 0,37).

Finalmente, para asegurar que estos hallazgos no fueran dependientes de la longitud del instrumento o de ítems con baja discriminación, se realizó un análisis de sensibilidad mediante una versión núcleo de 15 ítems. Los resultados del ANCOVA para esta versión depurada mantuvieron la misma dirección y significancia del diagnóstico general ($p = 0,0129$), confirmando que la superioridad de la mediación gamificada es un resultado robusto y consistente a través de diferentes escalas y métodos de análisis.

Tabla 4 *Comparativa de Resultados del ANCOVA (Medias Ajustadas)*

Escala del Instrumento	Condición Experimental	Media POST ajustada	Error Estándar (EE)	Intervalo de Confianza (95%)	Significancia Global (p)
------------------------	------------------------	---------------------	---------------------	------------------------------	------------------------------

Versión Completa (0 – 21 Ítems)	Exposición Autónoma (A)	17,61	0,37	[16,87 - 18,35]	0,0112 (*) , hay diferencia entre mediación
	M. Gamificada (MG)	19,18	0,37	[18,44 - 19,91]	
	M. normal (MN)	18,72	0,37	[17,98 - 19,45]	
Versión núcleo (0 – 15 ítems)	Exposición Autónoma (A)	12,70	0,29	[12,11 - 13,28]	0,0129 (*) , hay diferencia entre mediación
	M. Gamificada (MG)	13,94	0,29	[12,11 - 13,28]	
	M. normal (MN)	13,47	0,29	[12,88 - 14,05]	

***Nota.** El ANCOVA arrojó un efecto global significativo tanto en la versión completa ($p = 0.011$) como en el núcleo ($p = 0.013$), lo que confirma que la elección de la estrategia didáctica influye en el aprendizaje. Al realizar los contrastes específicos, el grupo de **Gamificación** es el que sostiene esta significancia al diferenciarse claramente de la exposición autónoma, mientras que la mediación sin gamificación se ubica en un punto intermedio.*

Dado que el puntaje total es una medida agregada y los datos originales consistieron en respuestas dicotómicas por ítem, el análisis inferencial principal, constituido por un Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM) binomial con enlace logit, incluyendo los efectos fijos de tiempo, condición experimental y su interacción, así como interceptos aleatorios para participante e ítem permitió analizar los datos obtenidos de manera puntual y específica, reduciendo el posible efecto de las 6 preguntas problema.

La inclusión de efectos aleatorios estuvo justificada por la heterogeneidad observada en los datos. La varianza entre ítems fue de 1,299 ($DE = 1,140$), superior a la varianza entre participantes, de 0,206 ($DE = 10,454$) (**Tabla 5**). En otras palabras, la dificultad de los reactivos explicó una proporción importante de la variabilidad en las respuestas, por lo que un análisis

basado exclusivamente en puntajes totales habría ocultado una parte relevante de la estructura de los datos.

Tomando como referencia la exposición autónoma en el pretest, el GLMM mostró un aumento significativo en dicha condición entre pretest y posttest:

$$\beta=1,110, OR=3,03, IC95\%=[2,25; 4,09], p<0,001$$

Esto indica que, en la condición autónoma, las *odds* de responder correctamente en el posttest fueron aproximadamente tres veces mayores que en el pretest. La probabilidad marginal estimada de acierto aumentó de 72,7 % a 89,0 % (**Tabla 6**).

La interacción entre tiempo y condición de gamificación fue positiva y significativa:

$$\beta=0,791, OR=2,21, IC95\%=[1,40; 3,48], p<0,001$$

Por tanto, el incremento pretest–posttest fue significativamente mayor en MG que en la exposición autónoma (**Tabla 5**). La probabilidad marginal predicha de respuesta correcta en MG pasó de 73,5 % en el pretest a 94,9 % en el posttest (**Tabla 6**).

También se identificó una interacción positiva y significativa para la mediación sin gamificación:

$$\beta=0,539, OR=1,71, IC95\%=[1,10; 2,66], p=0,016$$

En consecuencia, MN mostró un incremento pretest–posttest mayor que la exposición autónoma. La probabilidad marginal de acierto aumentó de 72,3 % a 93,1 % (**Tabla 6**).

Los contrastes posteriores del GLMM mostraron que, en el posttest, MG presentó una probabilidad de respuesta correcta mayor que A ($p < 0,001$), y MN también superó a A ($p = 0,032$). Sin embargo, la diferencia entre MG y MN no fue estadísticamente significativa ($p = 0,174$). Por ello, los resultados no permiten sostener que la gamificación haya sido concluyentemente superior a la mediación sin gamificación (**Tabla 7**).

En síntesis, el análisis descriptivo y el GLMM convergen en tres hallazgos: primero, los grupos partieron de desempeños basales comparables; segundo, todas las condiciones mostraron un aumento inmediato en la probabilidad de respuesta correcta; y tercero, ambas modalidades mediadas —con y sin gamificación— presentaron incrementos superiores a la exposición autónoma, (ver *Figura 4.*). Aunque MG mostró el mayor desempeño final y la mayor ganancia descriptiva, la ausencia de diferencias significativas frente a MN exige atribuir el efecto diferencial principalmente a la mediación pedagógica, sin adjudicar una superioridad absoluta al componente de gamificación el resumen de los resultados se resume en **Tabla 5**, **Tabla 6** y

Tabla 7.

Tabla 5. Resumen de resultados del GLMM binomial.

Término	β (logit)	EE	OR	IC 95 % OR	p	Interpretación
Intercepto (pretest, A)	0,981	0,280	2,67	[1,54; 4,62]	< 0,001	Probabilidad basal de acierto en la condición de referencia.
Postest (A)	1,110	0,152	3,03	[2,25; 4,09]	< 0,001	El cambio pre–post triplicó las odds de acierto en la condición autónoma.
MG (pretest)	0,042	0,179	1,04	[0,73; 1,48]	0,817	Sin diferencia basal entre MG y A antes de la intervención.
MN (pretest)	–0,024	0,179	0,98	[0,69; 1,39]	0,895	Sin diferencia basal entre MN y A antes de la intervención.
Postest $\times$ MG	0,791	0,233	2,21	[1,40; 3,48]	< 0,001	El incremento pre–post en MG fue 2,21 veces mayor que en A.

Postest $\times$ MN	0,539	0,224	1,71	[1,10; 2,66]	0,016	El incremento pre–post en MN fue 1,71 veces mayor que en A.
Varianza entre ítems	—	—	1,299	DE=1,140	—	Alta heterogeneidad de dificultad entre reactivos.
Varianza entre participantes	—	—	0,206		—	Heterogeneidad moderada entre sujetos.

Nota. β = coeficiente en escala logit; EE = error estándar; OR = razón de momios; IC 95 % = intervalo de confianza del 95 %. Categorías de referencia: pretest y exposición autónoma., Los términos en negrita corresponden a los efectos de interés central para la hipótesis del estudio. Un OR > 1 indica mayor probabilidad de respuesta correcta respecto a la categoría de referencia.

Tabla 6. Probabilidades marginales predichas de respuesta correcta.

Condición	Pretest	Postest	Δ
Exposición autónoma (A)	72,7 %	89,0 %	+16,3 %
Mediación sin gamificación (MN)	72,3 %	93,1 %	+20,8 %
Mediación con gamificación (MG)	73,5 %	94,9 %	+21,4 %

Nota. Las probabilidades marginales son estimaciones ajustadas del modelo e incorporan los efectos aleatorios de participante e ítem.

Tabla 7. Contrastes post hoc en el postest.

Comparación	p	Conclusión
Exp. autónoma vs. Gamificación	< 0,001	MG supera significativamente a A.
Exp. autónoma vs. Mediación sin gamificación	0,032	MN supera significativamente a A.
Gamificación vs. Mediación sin gamificación	0,174	Sin diferencia significativa entre condiciones mediadas.

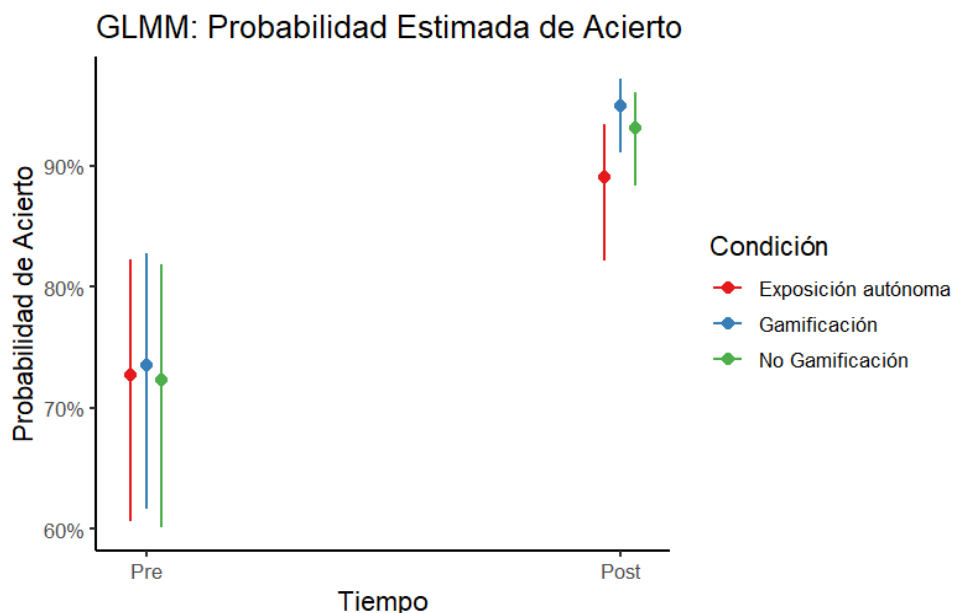
Nota. Los contrastes post hoc se realizaron sobre las probabilidades en escala logit con corrección de Bonferroni.

Tabla 8. Estadísticos descriptivos y ganancias de aprendizaje por condición experimental para las versiones completa y núcleo del instrumento.

Grupo	versión	Media pre (DE)	Media post (DE)	Ganancia Absoluta (DE)	Ganancia de Hake (g ⁻)
Exposición autónoma	Completa, 21 ítems	14.23 (1.81)	17.60 (2.72)	3.37 (2.61)	0.513 (Media)
No Gamificación	Completa, 21 ítems	14.13 (2.54)	18.67 (2.22)	4.53 (2.50)	0.658 (Media)
Gamificación	Completa, 21 ítems	14.40 (1.79)	19.23 (1.36)	4.83 (1.98)	0.722 (Alta)
Exposición autónoma	Núcleo, 15 ítems	9.77 (1.79)	12.67 (2.29)	2.90 (2.32)	0.554 (Media)
No Gamificación	Núcleo, 15 ítems	9.93 (2.20)	13.50 (1.68)	3.57 (2.01)	0.704 (Alta)
Gamificación	Núcleo, 15 ítems	9.83 (1.66)	13.93 (1.05)	4.10 (1.54)	0,793 (Alta)

Nota. DE = Desviación Estándar. La ganancia normalizada de Hake (g) cuantifica el cambio real en función del margen de mejora disponible, evitando el sesgo del puntaje de partida.

Figura 4 Comportamiento predictivo del Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM).



***Nota.** Probabilidades marginales estimadas de acierto individual calculadas mediante el Modelo Lineal Generalizado Mixto (GLMM) binomial. Las barras verticales representan los intervalos de confianza del 95%, evidenciando cómo las estrategias de acompañamiento mediado reducen de forma más eficiente la probabilidad de error conceptual en el posttest respecto a la ruta autónoma.*

5. Discusión metodológica y educativa

5.1 El impacto de la experiencia museográfica y la valorización de la funga local

Los resultados obtenidos permiten sostener que la experiencia expositiva sobre el reino Fungi produjo un cambio inmediato y medible en el desempeño conceptual de los participantes en las tres condiciones evaluadas. Este hallazgo es coherente con la literatura que reconoce el potencial formativo de los entornos museográficos cuando la experiencia promueve interacción activa, mediación pedagógica y conexión entre los contenidos y el visitante (Hein, 1998; Falk & Dierking, 2013; Andre et al., 2016).

El GLMM binomial, análisis inferencial principal del estudio, confirmó que el factor tiempo triplicó las *odds* de respuesta correcta en la condición autónoma ($OR = 3,03$; $p < 0,001$)

(**Tabla 5**), lo que indica que incluso sin mediación guiada, la experiencia expositiva se asoció con una mejora sustancial en el desempeño. Este resultado es relevante porque evidencia que el diseño del material expositivo, por sí mismo, tuvo capacidad para movilizar el conocimiento conceptual del visitante.

No obstante, las condiciones mediadas mostraron incrementos significativamente superiores a la exposición autónoma. La interacción Posttest $\times$ Gamificación fue la de mayor magnitud ($OR = 2,21$; $IC_{95\%} = [1,40; 3,48]$; $p < 0,001$), seguida por la interacción Posttest $\times$ Mediación sin gamificación ($OR = 1,71$; $IC_{95\%} = [1,10; 2,66]$; $p = 0,016$) (**Tabla 5**). En términos de probabilidades marginales predichas, la condición de gamificación alcanzó un 94,9 % de probabilidad de respuesta correcta en el posttest, frente al 93,1 % de la mediación sin gamificación y el 89,0 % de la exposición autónoma (**Tabla 6**).

Sin embargo, la comparación directa entre las dos condiciones mediadas no arrojó diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,174$). Esta ausencia de diferencia entre MG y MN obliga a una interpretación cautelosa: la ventaja descriptiva de la gamificación no se tradujo en una superioridad estadísticamente concluyente frente a la mediación sin gamificación. Una lectura metodológicamente más sobria sugiere que la mediación pedagógica, como componente estructural de ambas condiciones, pudo haber sido el mecanismo principal de mejora, mientras que la gamificación habría actuado como un modulador adicional del involucramiento y la atención sostenida durante el recorrido. Esta interpretación es consistente con los modelos de aprendizaje en museos que subrayan el papel del diálogo, la guía y la interacción social como potenciadores de la comprensión conceptual (Vygotsky, 1978; Hooper-Greenhill, 2004; Griffin et al., 2005).

Desde el punto de vista del diseño del material, la exposición articuló recursos visuales, táctiles, olfativos y gustativos, incluyendo modelos tridimensionales, observación microscópica y

una experiencia de fermentación y degustación (**Figura 2.** Parte del material elaborado.). Esta organización multimodal respondió a la necesidad de diversificar las rutas de acceso al contenido y reducir la carga cognitiva asociada a conceptos abstractos (Sweller et al., 2011). La incorporación de la trivia como actividad lúdica no operó como un adorno recreativo, sino como una estrategia para favorecer la participación, la atención sostenida y la evocación de información durante el recorrido (**Apéndice C**)(Bamberger & Tal, 2006; King et al., 2024).

Los datos obtenidos respaldan el esfuerzo por hacer accesible la ciencia micológica al público no experto (Briceño, 2012). Este trabajo es relevante a nivel local, dado que la enseñanza de la biología suele centrarse casi exclusivamente en la flora y la fauna (Lombana-Álvarez et al., 2016; Moore et al., 2006). El material desarrollado busca visibilizar la biodiversidad fúngica de Santander y sus roles ecológicos (Gómez-Montoya et al., 2022), contribuyendo a disminuir la "fungofobia" y la "amnesia micológica" presentes en la sociedad (Wasson, 1957), y aprovechando el museo como un espacio útil para la educación ambiental (UNESCO, 2017).

5.2 Interacción pedagógica: mediación guiada frente al diseño lúdico

Al analizar las dinámicas de la visita, el acompañamiento del guía resultó ser un componente clave para la mejoría en el desempeño de la prueba posttest. Tanto el recorrido con gamificación como la mediación tradicional superaron a la exposición autónoma. Aunque la condición con gamificación presentó métricas descriptivas ligeramente mejores, como una mayor Ganancia Normalizada de Hake ($\underline{g} = 0.722$ frente a 0.658 de la tradicional) (Hake, 1998) y ventajas predictivas en el modelo mixto, la falta de diferencias estadísticamente significativas entre ambas modalidades mediadas en las pruebas *post hoc* sugiere interpretar estos datos con cautela (**Tabla 8**) (Shadish et al., 2002). Estos resultados indican que el principal promotor de la mejoría no fue el juego en sí, sino la mediación pedagógica ejercida por el guía a través del

acompañamiento y el diálogo. La estrategia lúdica (el juego de cartas y el sistema de recolección de puntos con premiación) actuó como un elemento complementario que probablemente ayudó a mantener la atención y el interés de los participantes. Esta interpretación es coherente con los enfoques de educación en museos que resaltan la importancia de la interacción social, donde las actividades lúdicas apoyan, pero no reemplazan, la labor del educador (Bamberger & Tal, 2006; Falk & Dierking, 2013; Griffin et al., 2005).

6. Limitaciones del estudio

La presente investigación presenta limitaciones inherentes al trabajo de campo en entornos educativos reales que deben reconocerse con honestidad metodológica.

En primer lugar, el diseño cuasi-experimental, aunque ecológicamente pertinente para el contexto museográfico, carece del control estricto y la asignación aleatoria propios de un experimento controlado. Por ello, las inferencias obtenidas deben interpretarse como asociaciones plausibles en el contexto de la intervención y no como relaciones causales definitivas (Campbell & Stanley, 1963; Shadish et al., 2002).

En segundo lugar, la calidad psicométrica del instrumento en su aplicación experimental fue variable. La consistencia interna global fue baja en el pretest ($KR-20 = 0,243$) y moderada en el posttest ($KR-20 = 0,626$). En particular, la condición de gamificación presentó una consistencia especialmente baja ($KR-20 = 0,007$ en el pretest y $0,237$ en el posttest) (**Tabla 3**), lo que obliga a moderar cualquier interpretación triunfalista de sus resultados. Una ganancia observada bajo condiciones de baja consistencia interna debe leerse con reservas, pues parte de la variación puede deberse a inestabilidad de la medición y no exclusivamente al efecto de la intervención (Lord & Novick, 1968; Taber, 2018).

En tercer lugar, la correspondencia entre las formas pretest y posttest fue funcional pero no estrictamente paralela. Seis ítems —Q3, Q5, Q6, Q10, Q15 y Q20— presentaron diferencias de dificultad entre las formas superiores al criterio orientativo ($|\Delta p| > 0,15$), lo que introduce un margen de sesgo en la estimación del cambio pre–posttest. El análisis exploratorio con la versión núcleo de 15 ítems mostró un patrón descriptivo consistente con el análisis principal, lo que aporta evidencia preliminar de robustez; sin embargo, este resultado no elimina la limitación, pues la selección de ítems se realizó con información del mismo proceso investigativo (ver **Tabla 8, Tabla 3**) (AERA et al., 2018; Anastasi & Urbina, 1997).

En cuarto lugar, se observó un efecto de techo en el posttest: la proporción media de aciertos alcanzó el 88,1 %, lo que redujo la capacidad del instrumento para discriminar entre participantes con desempeño alto. Este fenómeno no niega la existencia de mejora, pero sí limita la sensibilidad analítica de la prueba en la zona superior del rendimiento (McBee, 2010; AERA et al., 2018).

Finalmente, la temporalidad de la evaluación constituye una restricción importante. El posttest se aplicó inmediatamente después de la visita, por lo que los datos reflejan exclusivamente el cambio inmediato en el desempeño. No es posible establecer con los datos disponibles si los conceptos aprendidos se consolidaron a mediano o largo plazo (Falk & Dierking, 2013). En consecuencia, las conclusiones deben circunscribirse al alcance real de la intervención dentro del Museo de Historia Natural y evitar generalizaciones excesivas sobre retención o transferencia conceptual duradera.

7. Conclusiones

7. 1 Logro de Objetivos y Competencias

Se ratifica el cumplimiento total de los compromisos institucionales y académicos:

- **Diseño Coleccionable:** Se crearon modelos tridimensionales (macrohongos), guiones educativos y recursos audiovisuales basados en evidencia científica y biodiversidad local.
- **Competencias de Divulgación:** Se demostró la capacidad de comunicar ciencia de forma atractiva y de evaluar cuantitativamente su impacto mediante una estrategia de trivia validada.
- **Sensibilidad Contextual:** La adaptación de contenidos permitió que una población sin presaberes específicos lograra una apropiación efectiva del conocimiento sobre el reino *Fungi*.

7.2. Valor Intrínseco y Proyección en el MHN-UIS

El material elaborado posee un valor que trasciende la investigación puntual. Los modelos físicos y el guion educativo están diseñados para ser **integrados de manera permanente al recorrido del Museo de Historia Natural de la UIS**. Esta dotación museográfica permitirá:

- **Visibilidad Permanente:** Reducir la "amnesia micológica" al otorgar un espacio físico y didáctico estable a los hongos en la sala de exhibición.
- **Sostenibilidad Pedagógica:** El museo cuenta ahora con una propuesta validada que puede ser utilizada por guías futuros o consultada de forma autónoma, asegurando que la biodiversidad fúngica de Santander se mantenga presente en la oferta educativa de la institución.

La investigación confirma que una exposición educativa sobre el reino *Fungi*, diseñada con criterios pedagógicos explícitos y mediación activa, puede producir un cambio inmediato y medible en el desempeño conceptual de los visitantes. Este hallazgo es relevante en el contexto de la educación no formal, donde los museos han sido históricamente subestimados como espacios de aprendizaje riguroso (Hein, 1998; Falk & Dierking, 2013).

El análisis inferencial principal mediante GLMM mostró que ambas condiciones mediadas —con y sin gamificación— se asociaron con incrementos en la probabilidad de respuesta correcta significativamente superiores a los de la exposición autónoma. La condición de gamificación presentó el mayor incremento estimado ($OR_{interacción} = 2,21$) y la mayor probabilidad marginal de acierto en el posttest (94,9 %), seguida por la mediación sin gamificación (93,1 %) y la exposición autónoma (89,0 %). Sin embargo, la ausencia de diferencias significativas entre las dos condiciones mediadas ($p = 0,174$) impide atribuir el efecto diferencial exclusivamente al componente lúdico. La conclusión más sólida es que la **mediación pedagógica**, en cualquiera de sus formas, constituyó el factor determinante del cambio observado.

Desde una perspectiva más amplia, el estudio demuestra que es posible realizar investigación cuantitativa rigurosa en entornos educativos reales, donde el control absoluto de laboratorio es inviable pero la validez ecológica enriquece la interpretación de los hallazgos (Campbell & Stanley, 1963; Mertens, 2014). La transposición didáctica del conocimiento micológico a un lenguaje accesible, sin sacrificar la precisión conceptual, y el diseño de un instrumento de evaluación alineado con los objetivos de la intervención, constituyen contribuciones metodológicas replicables en otros contextos de educación no formal.

Finalmente, el estudio visibiliza al reino *Fungi* como un grupo taxonómico con alto potencial pedagógico, frecuentemente ausente de los currículos formales y de los espacios museográficos. Como señalan Dighton (2016) y Falk y Dierking (2013), cuando los visitantes interactúan directamente con la ciencia a través de experiencias multisensoriales y mediadas, construyen conexiones conceptuales más profundas con la naturaleza. En ese sentido, esta investigación no solo evaluó el impacto de una intervención educativa, sino que contribuyó a

posicionar la micología como un campo de conocimiento accesible, relevante y emocionalmente significativo para el público general.

La culminación del proyecto "*Diseño y aplicación de material didáctico para visibilizar al reino Fungi en la Sala de Exhibición del Museo de Historia Natural - UIS*" confirma que el conocimiento científico adquiere su verdadero valor cuando se transfiere y se comparte con la sociedad. A lo largo de esta investigación, no solo se cumplieron las metas institucionales de la pasantía, sino que se logró integrar la rigurosidad de la biología, las herramientas de la pedagogía y el desafío de la evaluación estadística en una propuesta educativa integral y transformadora.

El primer gran reto del proyecto radicó en la transposición didáctica, orientada a traducir la complejidad del reino Fungi (su taxonomía, ecología y biotecnología) a un lenguaje accesible que despertara la curiosidad del público sin perder rigor científico. Este esfuerzo se materializó en la reestructuración del guion educativo del museo y en la creación de un entorno multisensorial.

El diseño de esquemas interactivos, la producción de cápsulas de video y el moldeado a mano de modelos tridimensionales de macrohongos —basados en registros fotográficos de la biodiversidad de Santander— demostraron que el aprendizaje se potencia significativamente a través de los sentidos. Como señalan Falk y Dierking (2013) y Dighton (2016), cuando los visitantes tocan, observan e interactúan directamente con la ciencia, construyen un aprendizaje real y conectan emocionalmente con la naturaleza.

Por otra parte, la medición del impacto real de esta propuesta exigió el diseño de un experimento riguroso adaptado a un escenario vivo y dinámico como lo es un museo. La implementación de una trivia educativa, estructurada en dos formas paralelas para evaluar los conocimientos antes y después de la visita, resultó ser una estrategia ideal y respetuosa con el ritmo de los usuarios. Aunque la investigación con seres humanos implica gestionar variaciones

naturales en el tamaño de las muestras, la ejecución de la prueba piloto y el posterior ajuste del test blindaron la calidad y validez de los datos. Esta metodología demuestra que es posible realizar investigación cuantitativa seria en entornos educativos cotidianos, donde el control absoluto de un laboratorio es inviable pero la realidad social enriquece el estudio (Campbell & Stanley, 1963; Mertens, 2014).

Los resultados estadísticos obtenidos reflejan de manera objetiva el impacto del trabajo realizado en la sala. El promedio global de respuestas correctas incrementó del 61.88% en el pretest al 88.10% en el posttest, lo que evidencia un avance conceptual inmediato significativo en los asistentes. El análisis comparativo reveló que, si bien todas las condiciones experimentales mostraron mejoras, las estrategias expuestas a una mediación pedagógica guiada alcanzaron los puntajes más altos. Específicamente, el grupo que experimentó la mediación guiada combinada con dinámicas de gamificación (MG) logró el nivel de ganancia de aprendizaje más alto de la investigación ($\underline{g} = 0.722$). Esto es consistente con que las herramientas interactivas y el juego potencian la aprensión de conceptos, pero es la intervención activa del guía la que dinamiza el asombro y conecta profundamente a las personas con el conocimiento, tal como sugieren los modelos de Griffin et al. (2005) y King et al. (2024).

Finalmente, este proyecto invita a una profunda reflexión sobre el papel de la educación en entornos de libre elección. Históricamente, la educación formal en Colombia ha mantenido un sesgo que invisibiliza estructuralmente a los hongos, relegándolos de los planes de estudio y alimentando un imaginario colectivo marcado por la micofobia o la indiferencia (Wasson, 1957; Naranjo-Ortiz & Gabaldón, 2019). Este vacío pedagógico no solo frena el avance de la investigación micológica en el país, sino que condena a múltiples especies a desaparecer en el

anonimato, sin que las políticas públicas de conservación ambiental alcancen a protegerlas (Hawksworth & Lücking, 2017; IUCN, 2025).

Es en este punto donde los museos de historia natural adquieren un valor social incalculable. Al abrir sus puertas, se transforman en puentes que conectan a la academia con la comunidad, rompiendo la rigidez de las aulas tradicionales mediante la inmersión y el aprendizaje significativo (Bamberger & Tal, 2006). Abordar la biología de los hongos desde lo cotidiano y lo territorial permite derribar prejuicios asociados a la suciedad o al peligro, abriendo paso a una verdadera alfabetización científica (Maricato et al., 2026; OECD, 2019). Visibilizar la funga santandereana no constituye únicamente un logro académico; representa un acto de reconciliación cultural y ambiental. Transformar el rechazo en fascinación es el primer paso para inspirar a ciudadanos conscientes, capaces de reconocer, respetar y defender a los hongos como un pilar fundamental de la vida y de la megabiodiversidad del territorio (Hooper-Greenhill, 2004; Carrillo et al., 2021).

Referencias bibliográficas

- Adetutu, E. M., & Ball, A. S. (2014).** *Microbial diversity and activity in caves*. Microbiology Australia, 35(4), 192–194. <https://doi.org/10.1071/MA14062>
- AERA, APA, & NCME. (2014).** *Standards for educational and psychological testing*. American Educational Research Association.
- AERA, APA, & NCME. (2018).** *Estándares para pruebas educativas y psicológicas*. American Educational Research Association. <https://www.testingstandards.net/the-spanish-edition.html>
- Akyüz, M., & Kırbağ, S. (2025).** *Diversity, distribution and significance of truffles in Türkiye*. En J. M. S. Aguiar (Ed.), *Truffles: Diversity, ecology and biotechnology* (pp. 45–68). Springer. <https://doi.org/10.1201/9781003505921-8>
- Allen, M. J., & Yen, W. M. (1979).** *Introduction to measurement theory*. Brooks/Cole Publishing.
- Anastasi, A., & Urbina, S. (1997).** *Psychological testing* (7.^a ed.). Prentice Hall.
- Baird, R. (2014).** *Fungi in caves and their potential significance in the spread of fungal diseases*. Microbiology Australia, 35(3), 144–147. <https://doi.org/10.1071/MA14062>
- Bloom, B. S. (1986).** *Taxonomía de los objetivos de la educación: La clasificación de las metas educacionales (Manuales I y II)*. Ateneo.
- Boa, E. (2004).** *Wild edible fungi: A global overview of their use and importance to people*. FAO.
- Bonfante, P., & Genre, A. (2010).** *Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis*. Nature Communications, 1(1), Artículo 48. <https://doi.org/10.1038/ncomms1046>

Bucchi, M. (2008). *Science and society: An introduction to social studies of science.* Routledge.

Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices.* Heinemann.

Calvo, C. A. O. (2024). *Educación indígena a partir de escuelas de base comunitaria.* Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía (RIIEP), 17(2), 83–103. <https://doi.org/10.15332/25005421.9995>

Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research.* Houghton Mifflin.

Carrero, M. B., & López-Molinello, A. (2012). *Aislamiento e identificación preliminar de hongos contaminantes en queso Paipa del municipio de Paipa, Boyacá.* Vitae, 19(1), S114–S116.

Chaves-López, C., Serio, A., Grande-Tovar, C., Cuervo-Mulet, R., Delgado-Ospina, J., & Paparella, A. (2014). *Traditional fermented foods and beverages from a microbiological and nutritional perspective: The Colombian heritage.* Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 13(5), 1031–1048. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12098>

Coelho, M. A., Bakkeren, G., Sun, S., Hood, M. E., & Giraud, T. (2017). *Fungal sex: The Basidiomycota.* En J. Heitman, T. Y. James, & J. W. Taylor (Eds.), *The fungal kingdom* (pp. 147–175). ASM Press. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.FUNK-0046-2016>

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2.^a ed.). Lawrence Erlbaum.

Cook, T. D., & Campbell, D. T. (1979). *Quasi-experimentation: Design & analysis issues for field settings*. Houghton Mifflin.

Coombs, P. H., & Ahmed, M. (1974). *Attacking rural poverty: How nonformal education can help*. World Bank.

Creswell, J. W. (2014). *Research design* (4.^a ed.). SAGE.

Crocker, L., & Algina, J. (1986). *Introduction to classical and modern test theory*. Holt, Rinehart & Winston.

Cuellar, F. E. G., Benavidez, C. M. L., Gomez, B. Y. A., Diago, O. L. S., & Palacios, A. M. V. (2022). *Estudio etnomicológico con tres comunidades rurales ubicadas en la zona andina del departamento del Cauca, Colombia*. *Boletín de Antropología*, 36(62), 147–164.
<https://doi.org/10.17533/udea.boan.v36n62a08>

Daza-Castañeda, F., López-Caro, J., Espinosa-Tellez, S., Rodríguez-Bustos, A. M., & Roa-Ángulo, V. P. (2025). *Actividad semicuantitativa patogénica de hongos presentes en las cuevas Las Moyas (La Calera) y La Chocoancia (Suesca), Cundinamarca, Colombia*. *Boletín Geológico*, 52(1), 12–25.

De la Peña Lastra, S. (2020). *¿Cuántas especies de hongos hay en el mundo? ¿Cuál es su distribución?* *Boletín Micológico*, 35, 43–52.

Delgado-Ospina, J., Puerta-Polanco, L. F., Grande-Tovar, C. D., Cuervo, R. A., Navia-Porras, D. P., Poveda-Perdomo, L. G., Fernández-Daza, F. F., & Chaves-López, C. (2022). *Exploring the core microbiota of four different traditional fermented beverages from the Colombian Andes*. *Fermentation*, 8(12), Artículo 733.
<https://doi.org/10.3390/fermentation8120733>

Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). *From game design elements to gamefulness: Defining gamification*. En Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference (pp. 9–15). ACM. <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>

Diamantopoulos, A., Sarstedt, M., Fuchs, C., Wilczynski, P., & Kaiser, S. (2012). *Guidelines for choosing between multi-item and single-item scales*. Journal of the Academy of Marketing Science, 40(3), 434–449. <https://doi.org/10.1007/s11747-011-0300-3>

Dimkić, I., Fira, D., Janakiev, T., Kabić, J., Stupar, M., Nenadić, M., ... Grbić, M. L. (2021). *The microbiome of bat guano: For what is this knowledge important?* Applied Microbiology and Biotechnology, 105(4), 1407–1419. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11143-y>

Duran-Narucki, V. (2008). *School building condition, school attendance, and academic achievement*. Journal of Environmental Psychology, 28(3), 278–286. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.02.008>

Effiong, M. E., Umeokwochi, C. P., Afolabi, I. S., & Chinedu, S. N. (2024). *Assessing the nutritional quality of Pleurotus ostreatus (oyster mushroom)*. Frontiers in Nutrition, 10, Artículo 1279208. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1279208>

Ekiz, E., Oz, E., El-Aty, A. A., Proestos, C., Brennan, C., Zeng, M., Tomasevic, I., Elobeid, T., Çadırcı, K., Bayrak, M., & Oz, F. (2023). *Exploring the potential medicinal benefits of Ganoderma lucidum: From metabolic disorders to coronavirus infections*. Foods, 12(7), Artículo 1512. <https://doi.org/10.3390/foods12071512>

Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (4.^a ed.). SAGE.

Fiske, S. T., & Taylor, S. E. (2013). *Social cognition: From brains to culture* (2.^a ed.). SAGE.

Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education* (8.^a ed.). McGraw-Hill.

Fredericksen, M. A., Zhang, Y., Hazen, M. L., Loreto, R. G., Mangold, C. A., Chen, D. Z., & Hughes, D. P. (2017). *Three-dimensional visualization and a deep-learning model reveal complex fungal parasite networks in behaviorally manipulated ants*. PNAS, 114(47), 12590–12595. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711673114>

Gaya, E., Vasco-Palacios, A. M., Vargas-Estupiñán, N., Lücking, R., Carretero, J., Sanjuan, T., ... Díazgranados, M. (2021). *ColFungi: Colombian resources for fungi made accessible*. Royal Botanic Gardens, Kew.

Gené, J., Guarro, J., & Figueras, M. J. (2018). *Atlas of clinical fungi* (4.^a ed.). CBS-KNAW.

Gómez, H., Fernández, R., Benzo, Z., Galarraga, F., Hernández, J., & Roschman-González, A. (2013). *Lichens as biomonitors of air pollution with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): A review*. Revista de la Facultad de Ingeniería UCV, 28(1), 45–58.

Guerrero, J. M., Roberto, J., & Meza, A. S. (2022). *Macrohongos en un fragmento de bosque húmedo tropical sur de Bolívar, Colombia*. ResearchGate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25334.68168>

Haelewaters, D., Quandt, C. A., Bartrop, L., Cazabonne, J., Crockatt, M. E., Cunha, S. P., ... Gonçalves, S. C. (2024). *The power of citizen science to advance fungal conservation*. Conservation Letters, 17(3), Artículo e13013. <https://doi.org/10.1111/conl.13013>

Haladyna, T. M., & Rodriguez, M. C. (2013). *Developing and validating test items* (2.^a ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203850381>

Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014). *Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification.* En Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences (pp. 3025–3034). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.377>

Haynes, S. N., Richard, D. C. S., & Kubany, E. S. (1995). *Content validity in psychological assessment.* Psychological Assessment, 7(3), 238–247.
<https://doi.org/10.1037/1040-3590.7.3.238>

Hoekstra, R., Finch, S., Kiers, H. A. L., & Johnson, A. (2012). *Probability as certainty: Dichotomous thinking and the misuse of p values.* Psychonomic Bulletin & Review, 19(6), 1037–1042. <https://doi.org/10.3758/s13423-006-0064-5>

IUCN. (2025, 27 de marzo). *First 1,000 fungi on IUCN Red List reveal growing threats [Comunicado de prensa].* International Union for Conservation of Nature.
<https://iucn.org/press-release/202503/first-1000-fungi-iucn-red-list-reveal-growing-threats-iucn-red-list>

Jimenez, M. E., O'Donovan, C. M., Ullivarri, M. F. D., & Cotter, P. D. (2022). *Microorganisms present in artisanal fermented food from South America.* Frontiers in Microbiology, 13, Artículo 941866. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.941866>

Kaaronen, R. O. (2025). *Living in the mycelial world: A global cross-cultural ethnomycological review.* Topics in Cognitive Science. <https://doi.org/10.1111/tops.12780>

Kirk, R. E. (2013). *Experimental design: Procedures for the behavioral sciences* (4.^a ed.). SAGE.

Kolb, D. A. (2015). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development* (2.^a ed.). Pearson Education.

Kratz, C., McKim, A., & Bonito, G. (2024). *Mycology in the agriscience classroom: A curriculum based on wild foraged mushroom certification*. Natural Sciences Education, 53(2), Artículo e70000. <https://doi.org/10.1002/nse2.70000>

Kuder, G. F., & Richardson, M. W. (1937). *The theory of the estimation of test reliability*. Psychometrika, 2(3), 151–160. <https://doi.org/10.1007/BF02288391>

Lampman, A. M. (2007). *General principles of ethnomycology*. Economic Botany, 61(1), 1–11.

Lange, L. (2014). *The importance of fungi and mycology for addressing major global challenges*. IMA Fungus, 5(2), 463–471. <https://doi.org/10.5598/imafungus.2014.05.02.10>

Leclercq-Perlat, M. (2011). *Cheese: Camembert, Brie, and related varieties*. En J. W. Fuquay (Ed.), *Encyclopedia of dairy sciences* (pp. 773–782). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00091-1>

Lee, M. D., & Wagenmakers, E.-J. (2013). *Bayesian cognitive modeling: A practical course*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139087759>

Li, D., Castañeda-Ruiz, R. F., & LaMondia, J. (2016). *Evolution of fungi and update on ethnomycology*. En J. K. Misra (Ed.), *Fungal biology* (pp. 237–266). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29137-6_11

Likert, R. (1932). *A technique for the measurement of attitudes*. Archives of Psychology, 22(140), 1–55.

Linn, R. L. (Ed.). (1989). *Educational measurement* (3.^a ed.). American Council on Education & Macmillan.

Lombana-Álvarez, P., Monterroza-Álvarez, J. A., Chamorro-Quiroz, L. F., Franco-Molano, A. E., & Payares-Díaz, I. R. (2016). *New records of macrofungi from Colombia.* *Actualidades Biológicas*, 38(105), 181–189.

López, D., Jiménez, M., & Molinello, A. L. (2010). *Identificación de hongos benéficos que participan en el proceso de obtención del queso Paipa en lácteos Ibel, municipio de Belén (Boyacá).* *Alimentos Hoy*, 19(21), 85–108.

Lord, F. M., & Novick, M. R. (1968). *Statistical theories of mental test scores.* Addison-Wesley.

Luna-Fontalvo, J. (2009). *Hongos anamórficos acuáticos asociados a la hojarasca en el río Gaira de la costa del Caribe colombiano.* *Intropica*, 4, 91–98.

McDonald, R. P. (1999). *Test theory: A unified treatment.* Lawrence Erlbaum.

McGrew, K. S. (2009). *CHC theory and the human cognitive abilities project.* *Intelligence*, 37(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2008.08.004>

Mertens, D. M. (2014). *Research and evaluation in education and psychology* (4.^a ed.). SAGE.

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis* (3.^a ed.). SAGE.

Money, N. P. (2011). *Mushroom.* Oxford University Press.

Money, N. P. (2016). *The rise of yeast.* Oxford University Press.

Moore, D. (2013). *Fungal biology in the origin and emergence of life.* Cambridge University Press.

Moore, D. S., McCabe, G. P., & Craig, B. (2017). *Introduction to the practice of statistics* (9.^a ed.). W. H. Freeman.

Morales Tello, L. Y., & Guevara Guerrero, M. (2025). *Museos de ciencia y su relación con el uso de habilidades de razonamiento científico: Una revisión sistemática.* Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 22(1), Artículo 1103.

https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i1.1103

NAMA. (2024). *Conservation and stewardship resources.* North American Mycological Association. <https://namyco.org/interests/conservation-and-stewardship/resources/>

Neira Flechas, D. O. (2019). *La reinención del queso Paipa: Usos y transformaciones del pasado en la construcción del patrimonio* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].

Nunnally, J. C., & Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric theory* (3.^a ed.). McGraw-Hill.

OECD. (2019). *PISA 2018 assessment and analytical framework.* OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b25efab8-en>

ONG Micófilos. (s. f.). *Fungario.* Recuperado el 22 de mayo de 2025, de <https://www.micofilos.cl/fungario>

Oppenheimer, D. M. (2008). *The secret life of fluency.* Trends in Cognitive Sciences, 12(6), 237–241. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.02.014>

Osborne, J. (2010). *Improving your data transformations: Applying the Box-Cox transformation.* Practical Assessment, Research & Evaluation, 15(12), 1–9.

Peay, K. G., Kennedy, P. G., & Talbot, J. M. (2016). *Dimensions of biodiversity in the Earth mycobiome.* Nature Reviews Microbiology, 14(7), 434–447. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.59>

Peñate-Carranza, B., Tamaris-Turizo, C. E., & Luna-Fontalvo, J. A. (2021). *Hongos ingoldianos de la parte media del río Gaira, Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia.* Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 45(176), 758–768. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1277>

Pérez-Moreno, J., Guerin-Laguet, A., Rinaldi, A. C., Yu, F., Verbeken, A., Hernández-Santiago, F., & Martínez-Reyes, M. (2021). *Edible mycorrhizal fungi of the world: What is their role in forest sustainability, food security, biocultural conservation and climate change?* Plants, People, Planet, 3(5), 471–490. <https://doi.org/10.1002/ppp3.1010199>

Pilz, D., & Molina, R. (Eds.). (1996). *Managing forest ecosystems to conserve fungus diversity and sustain wild mushroom harvests* (PNW-GTR-371). U.S. Department of Agriculture.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). *Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change.* Science Education, 66(2), 211–227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>

Pringle, R. M., Toledo, L. F., Vredenburg, V. T., & Wake, D. B. (2019). *The value of biodiversity.* Science, 366(6463), 205–206. <https://doi.org/10.1126/science.aaz4592>

Purdie, R., Tushla, L. A., Ferretti, J., Castro, G., Watson, R., Davis, T., ... Spec, A. (2024). *Shared vision for improving outcomes for serious fungal diseases: Report of a patient, caregiver, and clinician summit.* Open Forum Infectious Diseases, 11(6), Artículo ofae226. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofae226>

R Core Team. (2023). *R: A language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Resende, L. V., Pinheiro, L. K., Miguel, M. G. da C. P., Ramos, C. L., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2018). *Microbial community and physicochemical dynamics during the production of 'Chicha', a traditional beverage of Indigenous people of Brazil.* World Journal of Microbiology and Biotechnology, 34(3), Artículo 46. <https://doi.org/10.1007/s11274-018-242>

Apéndices

Apéndice A. Consentimiento informado.

Universidad Industrial de Santander – Facultad de Ciencias – Escuela de Biología
Proyecto de Trabajo de Grado

Título: *El reino olvidado de los hongos: diseño y aplicación de material didáctico para visibilizar al reino Fungi en la Sala de Exhibición del Museo de Historia Natural – UIS*

Consentimiento Informado para Padres, Madres o Acudientes

Yo, _____, identificado(a) con C.C. / T.I. / C.E. número _____, en calidad de padre, madre o acudiente legal del estudiante _____, manifiesto que:

He sido informado(a) de manera clara y suficiente sobre la participación de mi hijo(a) en una experiencia educativa desarrollada en la Sala de Exhibición del Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander, en el marco de un proyecto de investigación educativa y de divulgación científica.

Entiendo que dicha experiencia se enmarca en los principios de protección integral, interés superior del niño, niña y adolescente, y garantía de derechos establecidos en la **Ley 1098 de 2006 – Código de la Infancia y la Adolescencia**, promoviendo su desarrollo integral en entornos educativos seguros, respetuosos y adecuados a su edad.

Comprendo que el objetivo de la experiencia es visibilizar el reino Fungi y favorecer la apropiación de conocimientos científicos básicos relacionados con la biología, ecología e importancia de los

hongos, mediante el diseño y la aplicación de material didáctico y estrategias pedagógicas acordes al contexto museográfico y educativo.

Se me ha informado que las actividades incluyen recursos educativos como esquemas, imágenes, material gráfico, videos explicativos, actividades lúdicas e interactivas, así como la aplicación de una trivia o cuestionario antes y después de la experiencia, con fines exclusivamente académicos y evaluativos del aprendizaje.

Reconozco que la participación de mi hijo(a) no implica riesgos físicos, psicológicos ni emocionales, y que se garantizará un ambiente de respeto, cuidado y acompañamiento permanente, conforme a lo dispuesto en los artículos 18 y 20 de la Ley 1098 de 2006, relacionados con la protección contra cualquier forma de negligencia, maltrato o afectación a su dignidad.

He sido informado(a) de que la participación es voluntaria y que mi hijo(a) podrá retirarse de la experiencia en cualquier momento, sin que esto genere sanciones académicas ni afectaciones a sus derechos fundamentales.

Entiendo que la información recolectada será utilizada únicamente con fines académicos y de investigación, garantizando la confidencialidad, el anonimato y el tratamiento ético de los datos personales, en concordancia con la Ley 1098 de 2006, la normativa sobre protección de datos personales y los lineamientos éticos de la Universidad Industrial de Santander.

Autorizo el uso de fotografías y registros audiovisuales tomados durante la experiencia únicamente con fines académicos y de divulgación científica, asegurando la no identificación de los participantes y la protección de su identidad, imagen y buen nombre, de conformidad con la normativa vigente.

Declaración de consentimiento

Por lo anterior, manifiesto libre, voluntaria e informadamente que **AUTORIZO** la participación de mi hijo(a) en la experiencia educativa descrita anteriormente, en los términos expuestos.

Firma del padre, madre o acudiente: _____

Nombre completo: _____

C.C. / T.I. / C.E. número: _____

Firma del estudiante: _____

Nombre del estudiante: _____

Grado y Colegio: _____

Fecha: ____ / ____ / ____

Apéndice B. GUIÓN PARA LA ATENCIÓN DE LA SALA DE EXHIBICIÓN DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL UIS

GUIÓN PARA LA ATENCIÓN DE LA SALA DE EXHIBICIÓN DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL UIS

[Visitantes AFUERA del museo]

Presentación del guía

Buen día para todos, mi nombre es (...), soy estudiante de Biología y el día de hoy seré su guía en la experiencia que están a punto de vivir. Quiero darles la bienvenida a la Sala de Exhibición del único MUSEO DE HISTORIA NATURAL DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER! Adelante, sigan.

[Visitantes dentro del lobby del Museo]

Reglas del museo

Antes de ingresar les quiero comentar que dentro del museo hay más de 400 ejemplares únicos e irremplazables, algunos tienen hasta 50 años de antigüedad y queremos que duren muchos años más, por lo que les voy a indicar brevemente las reglas dentro de la Sala de Exhibición del Museo de Historia Natural UIS.

Se pueden tomar fotografías dentro del museo únicamente sin flash.

No está permitido ingresar alimentos, ni correr dentro del museo. No queremos accidentes.

Vamos a entrar como un grupo y nos vamos a mantener como un grupo, por lo que, durante la explicación, les pido el favor que guardemos silencio y atención para respetar la palabra del guía.

Durante todo el recorrido se abrirán rondas de preguntas, donde todos tendrán la oportunidad de levantar la mano y preguntar lo que quieran que tenga que ver con el tema del recorrido o algún tema biológico relacionado.

[Visitantes ingresan al museo]

(Cuando son grupos mayores a 10 personas es preferible pedir que se sienten para que todos puedan ver y dar más cómodamente el recorrido).

Bueno, ¿recuerdan que les dije que soy estudiante de Biología? ¿Alguien puede decirme qué estudia un biólogo? (se esperan y discuten respuestas). La biología es el estudio de la vida, por lo que un biólogo estudia lo que está vivo, sus estructuras desde las moléculas y células hasta los órganos y los individuos, sus funciones, sus relaciones con los ecosistemas y entre nosotros mismos. Y bueno aquí surge una pregunta muy interesante, ¿qué es lo vivo? Para que sea más sencillo de entender, pensemos en los animales, las plantas, o cuando nos enfermamos algunas bacterias son las que nos enferman, también pensemos en organismos muy pequeños que viven en el agua o en la tierra.

Hasta la fecha, el museo de historia natural UIS se ha enfocado en mostrar dos grandes grupos de seres vivos: los animales y las plantas.

Los animales en algunas oportunidades suelen ser más llamativos para nosotros, porque les podemos observar pelos, plumas y en general formas de vida que son similares en muchos aspectos a nosotros

Por otra parte, las plantas, las podemos encontrar en muchos momentos de nuestro día a día, porque, por lo menos aquí afuera de la Sala de Exhibición, solo basta con mirar alrededor y podemos observar muchas formas y especies de plantas.

a ver si alguno de ustedes puede decirme qué grupo nos hace falta representar

(se espera la respuesta del público)

El reino fungi. No se preocupen si no sabían la respuesta, culturalmente no somos una sociedad que tenga en alta estima a estos organismos, sin embargo, en aras de mejorar su reputación ante el público en el MHN UIS nos hemos dado a la tarea de integrarlos durante nuestra experiencia de aprendizaje

Antes de empezar con el recorrido les quiero proponer una actividad; les propongo .que juguemos un juego ¿está bien?

¡Vamos a responder esta trivia antes y después del recorrido para ver qué tanto conseguimos aprender, en particular sobre el reino Fungi, así que deben estar muy atentos a cada explicación para ver si al final conseguimos el puntaje máximo!

<https://create.kahoot.it/share/aventureros-por-santander/5d845cde-ee67-41bc-8164-66e13eef6980>

(Proyecta el juego desde el televisor y pide que uno del grupo responda la pregunta)

Bueno, listo, ahora si vamos a lo que venimos, aprender de nuestro entorno

Les doy la bienvenida a este espacio , aquí vamos a aprender tan solo un poco de la gran diversidad de animales y plantas que tenemos en nuestro departamento de Santander y sobre cómo reconocer a los hongos en nuestro entorno.

Todo lo que vamos a ver lo podemos observar en las montañas o bosque por ejemplo de nuestro departamento, o tan solo caminando dentro de nuestra ciudad bonita: Bucaramanga e incluso en nuestro cotidiano vivir.

Entonces, para empezar les enseñaré como funciona el MHN: Aquí representamos múltiples ecosistemas con diferentes dioramas y mostramos un poco de la biología de nuestro entorno empleando diferentes materiales.

Para empezar ¿Alguien sabe que es un diorama?

Es como una cajita mágica donde puedes crear un pequeño mundo en tres dimensiones. Porque tienes una escena en miniatura que representa un lugar, una historia o un momento especial usando objetos de diferentes materiales. Es similar a una maqueta, solo que un diorama está representando una escena completa, con eventos, paisajes y acciones.

"Imaginen que hacen un dibujo de una selva en una caja de zapatos, pero en vez de que el dibujo sea plano, pegan arbolitos, animalitos y ríos con papel o plastilina para que parezca real. ¡Eso es un diorama!"

¡Mostrar caja con cosas adentro!: proyectar vídeo de ejemplo

Ya sabemos que es un diorama, pero cómo aprenderán en este recorrido, mostrar a los hongos en sus ambientes no es tan fácil como con sus parientes; las plantas y animales. Es por ello que con este grupo en particular aplicaremos otra estrategia. ¿qué les parece?

Entonces intercalamos estas dos dinámicas para sacar jugo a esta visita

Les cuento que en este lugar hemos diseñado 7 dioramas, de 7 ambientes diferentes que podemos encontrar en el departamento de Santander, también desarrollamos un material especial para aprender a identificar a la funga en todos estos y aún más entornos:

En este viaje iremos desde la ciénaga hasta el páramo, porque así es, acá en nuestro departamento de Santander tenemos sistemas desde los 60 m.s.n.m hasta los 4000 m.s.n.m: ¿quieren ver como se ve nuestro departamento desde arriba?

También daremos un vistazo a la vida oculta de los hongos, porque así no los veamos, ellos también hacen parte de nuestro día a día.

Vengan, vengan, vamos a seguir esa luz verde que nos llevará a conocer nuestro relieve.

[Acercarnos al biomaping y proyectamos el relieve de Santander.]

Entonces, ¿alguna vez han escuchado que entre más subes una montaña hace más frío? Pues en Santander tenemos ambientes de zonas bajas y zonas altas. ¿Quién sabe cuáles son los ecosistemas más altos de nuestro departamento? Así es son los páramos, donde nace el agua que usamos a diario.

¿Y quién sabe cuáles son las zonas más bajas de nuestro departamento? Así es las ciénagas ubicadas a lo largo de nuestro río Magdalena. Pero podemos pensar en otros ecosistemas que son característicos de nuestro departamento, ¿verdad? ¿Alguien sabe cuál es la principal área protegida, que es un parque nacional y se considera la cuna de la biodiversidad en Santander? Así es la Serranía de los Yariguíes.

¿Qué otros sistemas creen que tenemos? Si! Si!, el Cañón del Chicamocha, que es un área de Bosque seco y el bosque húmedo tropical, que a veces es llamado selva, y finalmente uno que quizá no recordamos mucho es el bosque Andino o bosque de niebla.

Bueno, ahora que sabemos todos esos tipos de ambientes que tenemos vamos a empezar de lo más bajo a lo más alto.

[Visitantes se dirigen al ambiente de la ciénaga]

Este es el diorama de una ciénaga. ¿Quién puede decirme por qué la llamamos ciénaga?

Resulta que las ciénagas son cuerpos de agua poco profundos que se encuentran por debajo de los 200 m.s.n.m, y albergan una alta diversidad de especies de fauna y flora.

Lastimosamente los registros de la funga en este ecosistema (como en los muchos que veremos) no está bien documentada, sin embargo, eso no significa que esta tendencia no se mantenga también para este grupo.

No sé si sabía pero las ciénagas sostienen una de las mayores poblaciones dedicadas a la actividad pesquera a nivel nacional, con un 43% de biomasa íctica capturada para sistemas de agua dulce.

En Santander Tenemos más de 1000 ciénagas, que se pueden encontrar en la cuenca del Magdalena Medio, algunas de ellas son las ciénagas de San Silvestre, el Opón, el Llanito y Chucurí en Barrancabermeja, o la ciénaga de Paredes en Puerto Wilches, que precisamente es de donde proviene la fotografía que ven de fondo.

En estos lugares vemos una gran cantidad de aves con distintas adaptaciones para pescar en este ambiente como el Pico de Tijera (*Rynchops niger*) ave migratoria que con su mandíbula mucho más larga que la maxila es capaz pescar en pleno vuelo mientras toca ligeramente la superficie del agua con el pico entreabierto

O la Garza pico de bota (*Cochlearius cochlearius*) un ave poco vista por ser de hábitos nocturnos, se encuentra desde México hasta el norte de Argentina, utiliza su pico con movimientos de "cuchareo" para conseguir su alimento en el agua. Se alimenta de peces, ranas e insectos.

También se encuentra el Garzón soldado (*Jabiru mycteria*) que es una de las aves acuáticas más grandes de américa llegando a medir 1.40m, se encuentra entre México y argentina, se alimenta de peces, reptiles, anfibios y artrópodos, camina con sus largas patas entre los humedales y usa su pico para buscar entre el lodo y las aguas poco profundas.

Otro animal muy vistoso es la Polla de agua (*Porphyrio martinica*) es inconfundible por su colorido plumaje y sus grandes patas de largos dedos que utiliza para distribuir su peso y poder caminar sobre la vegetación flotante de ciénagas y humedales, construye nidos flotantes en el borde de los cuerpos de agua y se alimenta de una variedad de plantas y animales pequeños.

Pero no solo hay aves. En estas aguas vive el Bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*, EN), una especie endémica de Colombia —es decir, que no se encuentra en ninguna otra parte del mundo—. Puede medir hasta un metro y medio, y durante la época seca migra para reproducirse.

Por su valor gastronómico y la presión pesquera, sus poblaciones han disminuido drásticamente. Por eso se establecieron medidas de conservación, como una talla mínima de captura de 80 cm y vedas durante su época reproductiva, entre mayo y octubre.

Otro pez endémico es la Raya del Magdalena (*Potamotrygon magdalenae*), la única raya que habita en Santander. Prefiere aguas turbias y fondos arenosos, donde se alimenta de peces pequeños, renacuajos y caracoles.

Y, por supuesto, uno de los animales más queridos de las ciénagas: el manatí (*Trichechus manatus*, EN en Colombia).

A veces lo llaman “vaca de agua”, aunque es más cercano a los elefantes. Es un mamífero herbívoro de patas aplanadas y cuerpo robusto que puede vivir desde el Caribe hasta Brasil. Es considerado una especie centinela, porque su presencia indica la salud del ecosistema. Sin embargo, sufre amenazas como las sequías y los derrames de hidrocarburos.

Seguramente se preguntarán: ¿y los hongos?

Bueno, aunque no lo crean, también están aquí. En el mapa de hongos de los ecosistemas de Santander pueden ver tres fotografías que muestran algunas de las pocas ocurrencias documentadas para este tipo de ambiente.

[se señala el mapa de hongos de santander]

La primera es *Chlorophyllum molybdites*, conocido como el falso parasol, uno de los hongos más confundidos con especies comestibles y responsable de muchas intoxicaciones. Su rasgo más distintivo son las láminas verdosas que aparecen al madurar.

La segunda es *Laternea dringii*, un hongo de aspecto espectacular que parece una pequeña linterna rojiza saliendo del suelo. Su olor fétido atrae moscas que dispersan sus esporas.

Y la tercera, *Phallus indusiatus*, conocido como velo de novia, un hongo apreciado en la gastronomía asiática y famoso por sus supuestos efectos afrodisíacos.

Más allá de su belleza o rareza, los hongos cumplen un papel fundamental en las ciénagas .

Los llamados hongos ingoldianos son un grupo adaptado a la vida acuática. Producen esporas que viajan entre las corrientes, colonizan hojas y madera en descomposición y liberan enzimas que transforman la materia vegetal, manteniendo el equilibrio ecológico de los ríos.

En Colombia se han documentado apenas unas pocas decenas de especies, incluyendo registros en la Sierra Nevada, la Amazonia y Santander. ¡Aún nos queda mucho por descubrir sobre estos discretos pero vitales habitantes del agua!

Y antes de irnos, no podemos dejar por fuera a algunos de sus parientes, los animales.

Por ejemplo, el chajá o chavarrí (*Chauna chavaria*, VU), casi endémico de Colombia y Venezuela. Es un ave herbívora con dos pares de espolones óseos en las alas, que usa para defenderse.

También el alcaraván (*Burhinus bistriatus*), que incluso visita el campus de la UIS y anida en la pista de atletismo. Si pasas muy cerca, te espantará con sus cantos y alas abiertas mostrando sus espolones.

¿Notaron algo en común entre todas estas aves?

Sí, sus picos y patas largas. Estas les permiten caminar sobre la vegetación flotante sin mojarse y pescar en aguas poco profundas.

Sus plumas están cubiertas por una fina capa de grasa que las hace impermeables, algo crucial para volar sin esfuerzo.

Y según la forma del pico, podemos adivinar su dieta: las garzas cazan peces, el águila desgarran su presa, los loros rompen semillas duras, y los colibríes, con sus picos finos y curvados, beben el néctar de las flores.

Y así, entre aves, peces y hongos, descubrimos que incluso los ambientes acuáticos son verdaderos laboratorios de vida, donde cada especie cumple una función esencial.

Bueno, creo que ya hablamos bastante del agua, ¿qué tal si ahora viajamos a un lugar completamente distinto?

Un sitio donde el calor y la sequía ponen a prueba la vida todos los días.

Sí, ¡el Cañón del Chicamocha!

[Nos desplazamos al diorama del ambiente xerofítico]

Este ecosistema es un ejemplo impresionante de ambiente xerofítico, es decir, un lugar con poca humedad y lluvias escasas, pero con una biodiversidad que ha aprendido a sobrevivir en condiciones extremas.

[se invita al público a observar el ambiente xerofítico]

Aquí la temperatura promedio es de 25.4°C y llueve menos de 800 mm al año. Los suelos son áridos y las plantas deben ingeniárselas para almacenar agua y resistir el calor.

Entre los animales que habitan este ambiente encontramos verdaderos expertos de la supervivencia:

Las lagartijas y gecos, que se esconden en grietas para evitar el sol;
las serpientes, como la Boa constrictor, que cazan de noche para aprovechar el fresco;
y aves rapaces como el Gavilán Caminero (*Buteo magnirostris*), que vigila desde los arbustos para lanzarse sobre pequeños mamíferos o insectos.

Pero no todo aquí es fauna. La flora del Cañón del Chicamocha es igual de fascinante.

Entre las familias más representativas encontramos las Poaceae (pastos), Asteraceae (margaritas silvestres), Fabaceae (leguminosas) y Euphorbiaceae, muchas de ellas adaptadas con tallos succulentos o recubiertos de látex para evitar la pérdida de agua.

Y entre todas ellas, destaca un árbol verdaderamente emblemático: la Ceiba Barrigona (*Cavanillesia chicamochae*).

¿Alguien ha escuchado hablar de ella?

[se espera respuesta del público]

Exacto. La Ceiba Barrigona es una especie endémica del Cañón del Chicamocha, ¡no existe en ninguna otra parte del mundo!

Su tronco tiene forma de botella, porque puede almacenar agua en su interior, lo que le permite sobrevivir meses sin lluvia. Su corteza, de color claro, refleja la luz del sol para evitar el sobrecalentamiento.

Este árbol puede alcanzar hasta 6 metros de altura y un metro de diámetro en la base.

Pierde sus hojas durante la época seca —de diciembre a febrero— para conservar la humedad. Es un verdadero símbolo de resistencia.

Pueden encontrarse poblaciones de Ceiba Barrigona en Pescadero, Girón, la Mesa de los Santos y Zapatoca, creciendo en suelos tan pobres que parecería imposible que algo brotara allí.

Y, sin embargo, ahí está, floreciendo en medio del desierto.

Pero este ecosistema no solo alberga árboles únicos. También encontramos plantas sorprendentes como los cactus del género *Melocactus*, con sus tallos globosos cubiertos de espinas, y la *Zamia encephalartoides*, una planta endémica de Santander y considerada un “fósil viviente” por su antigüedad evolutiva.

[se muestra el mapa con los registros de hongos en Santander]

Y sí... aunque parezca increíble, ¡aquí también hay hongos!

En el bosque seco tropical del Cañón del Chicamocha se han registrado especies que desafían las condiciones extremas de calor y sequía.

Entre ellas están *Rigidoporus microporus*, *Trametes sanguinea*, *Volvariella bombycina* y *Gymnopilus luteofolius*.

Rigidoporus microporus actúa como un reciclador oculto bajo la corteza, aunque a veces se comporta como parásito en algunos árboles.

Trametes sanguinea adorna los troncos con sus tonos rojos intensos, como si el bosque se tiñera de arte.

Volvariella bombycina, de sombrero blanco y sedoso, brilla entre las ramas como una joya.

Y Gymnopilus luteofolius, con sus tonos anaranjados y violáceos, aporta un toque psicodélico al paisaje.

Es sorprendente que, incluso en condiciones tan secas, los hongos encuentren la manera de vivir, descomponiendo la materia orgánica y manteniendo el ciclo de los nutrientes.

¡La vida siempre se abre paso, incluso entre el polvo y las piedras!

Ahora les pregunto: ¿por qué creen que es importante conservar este ecosistema?

[se espera la respuesta del público]

Muy bien. El Cañón del Chicamocha es un ecosistema vulnerable.

La ganadería, la agricultura y la urbanización han modificado sus suelos y reducido drásticamente su cobertura vegetal.

De hecho, en Colombia solo queda un 8 % del bosque seco original, y apenas el 5 % está dentro de áreas protegidas.

Este ecosistema regula el clima, protege los suelos de la erosión y alberga especies únicas que no existen en ningún otro lugar.

Perderlo sería como borrar un capítulo entero de la historia natural del país.

Entre sus habitantes también encontramos especies fascinantes:

El Halcón reidor (*Herpetopterus cachinnans*), que se alimenta de serpientes, incluso de las venenosas.

La víbora cascabel (*Crotalus* sp.), reconocible por el sonido que emite al agitar la cola.

Y la Talla X (*Bothrops asper*), responsable de la mayoría de accidentes ofídicos en el Neotrópico, amenazada por la destrucción de su hábitat y la caza.

También habita aquí el armadillo de nueve bandas (*Dasypus novemcinctus*), cubierto por una armadura natural que le permite excavar madrigueras. Es un excelente controlador de insectos, pero hoy enfrenta la pérdida de su hábitat y la caza para consumo.

Otro habitante del bosque seco es el morrocoy (*Chelonoidis carbonaria*, VU), una tortuga terrestre que puede alcanzar medio metro de longitud. Es omnívora y muy importante en la dispersión de semillas, pero también está amenazada por el tráfico ilegal de fauna y la destrucción de su hábitat.

Y por supuesto, no podemos olvidar a los murciélagos, que representan el 20 % de los mamíferos del mundo.

Aunque muchas personas los asocian solo con vampiros, la mayoría son frugívoros, insectívoros o polinizadores.

Gracias a ellos, muchos bosques se regeneran y las poblaciones de insectos se mantienen bajo control.

En Santander encontramos al murciélago de nariz lanceolada (*Phyllostomus hastatus*), el segundo más grande de América. Es omnívoro, vive en grupos y cumple un papel clave en el equilibrio ecológico.

Así que, como ven, tanto en las ciénagas como en el bosque seco tropical, la vida —ya sea animal, vegetal o fúngica— encuentra siempre la manera de florecer.

Y nosotros, al conocerla, podemos aprender a protegerla.

Bueno, ¿qué tal si ahora me acompañan a descubrir un mundo que muy pocos conocen?

Un universo silencioso, oculto bajo nuestros pies... el maravilloso mundo subterráneo de los hongos.

[se invita al público a observar las imágenes proyectadas o el video]

Porque sí, el suelo no es solo tierra: es un ecosistema vivo, lleno de flora, fauna y también funga, que es como llamamos al conjunto de hongos de un lugar.

Y es importante aclarar algo: los hongos no son únicamente las setas, los champiñones o las orellanas que solemos ver en el supermercado.

Estas estructuras tan llamativas —que algunos llaman cuerpos fructíferos, setas o esporocarpos— son solo una pequeña parte del organismo.

El verdadero cuerpo del hongo está oculto: se llama micelio.

[se muestran imágenes del micelio en distintos sustratos]

¿Qué es el micelio?

Imaginen una red inmensa de hilos blancos que se extienden por el suelo o dentro de un tronco en descomposición.

Esos filamentos se llaman hifas, y juntas forman el micelio.

Podríamos decir que el micelio es el “cerebro” del hongo: explora, se comunica y busca alimento.

Si alguna vez levantan un tronco húmedo en el bosque y ven una maraña de filamentos blancos como telarañas... probablemente estén viendo al micelio en acción.

[se señala la maqueta con las hifas]

Las hifas son estructuras tubulares, microscópicas, que se entrelazan formando redes.

Y, aunque no lo parezca, tienen una complejidad celular impresionante:

tienen núcleo, donde guardan la información genética;

mitocondrias, que producen la energía;

retículo endoplasmático y aparato de Golgi, que fabrican proteínas;

y vacuolas, que almacenan nutrientes y ayudan a mantener la presión interna.

Dependiendo del tipo de hongo, las hifas pueden estar divididas por tabiques llamados septos, o ser coenocíticas, es decir, sin divisiones.

En las hifas septadas, esos tabiques tienen pequeños poros por donde pasan nutrientes y citoplasma, manteniendo la comunicación entre células.

En las coenocíticas, en cambio, todo el interior es continuo: una especie de “supercélula” alargada con muchos núcleos.

[se muestran ilustraciones o modelos de hifas septadas y sus partes]

Pero hay algo más sorprendente: el organismo más grande del planeta es, precisamente, un hongo.

Se trata de *Armillaria ostoyae*, conocido como el “hongo de la miel”.

Vive bajo el suelo de un bosque en Oregón, Estados Unidos, y su red de micelio se extiende por casi 10 kilómetros cuadrados.

¡Imaginen más de mil canchas de fútbol conectadas por un solo ser vivo!

Así que sí... los hongos pueden parecer discretos, pero son auténticos gigantes ecológicos.

[se muestra imagen de quitina y se explica con apoyo visual]

Además, las paredes celulares de las hifas están hechas de quitina, un material muy resistente que también se encuentra en los exoesqueletos de insectos y crustáceos.

Eso significa que, evolutivamente, ¡los hongos están más emparentados con un camarón que con una planta!

Pero no todos los hongos son multicelulares.

También existen hongos unicelulares, como las levaduras, por ejemplo *Saccharomyces cerevisiae*.

Ellas viven como una sola célula con pared, y se reproducen principalmente por gemación: la célula madre forma una yema que crece, se separa y forma un clon idéntico.

Sin embargo, cuando necesitan diversidad genética, también pueden reproducirse sexualmente, fusionando sus núcleos y generando nuevas esporas.

[se muestra una animación o imagen de la gemación]

Fascinante, ¿verdad?

Estas adaptaciones hacen que los hongos sean unos verdaderos maestros de la supervivencia, capaces de colonizar casi cualquier ambiente: desde las profundidades del suelo hasta las rocas del desierto, o incluso dentro del agua, como los hongos ingoldianos que vimos antes.

Y aunque no lo notemos, cada paso que damos sobre el suelo está sostenido por millones de kilómetros de micelio trabajando silenciosamente para mantener con vida los ecosistemas.

Así que la próxima vez que vean una seta o un champiñón, recuerden que eso es solo la “flor” de un inmenso organismo subterráneo, que conecta bosques, recicla nutrientes y sostiene la vida en la Tierra.

[se hace una pausa para comentarios o preguntas del público]

Bueno, y como ya saben que me encantan los hongos, ¡podría hablar de ellos por horas!

Pero vamos a seguir explorando, porque nuestro recorrido aún no termina.

Ahora los invito a conocer otro ambiente sorprendente y lleno de adaptaciones: el bosque seco tropical y su biodiversidad animal y vegetal.

[se invita al público a avanzar hacia la siguiente estación]

Y como ya les dije anteriormente... los hongos están en todos lados, incluso donde menos lo esperamos: en nuestra piel, en las alacenas, en la nevera, en los quesos, en la alta cocina e incluso en algunos medicamentos y en el estómago de los animales. ¡Están presentes en casi todos los ecosistemas del planeta! (Naranjo-Ortiz & Gabaldón, 2019).

Y justo como acabamos de ver, incluso logran sobrevivir en entornos tan agrestes como el bosque seco tropical.

Al igual que el reino animal y vegetal, el reino Fungi es vasto y diverso: se estima que existen unas 0,72 millones de especies distribuidas por todo el planeta (De La Peña Lastra, 2020). Pero aquí, en Santander, no solo los encontramos en la naturaleza... también ¡en nuestras comidas!

[pausa breve – se da muestra de quesos madurados]

Por ejemplo, hablemos de los quesos madurados. Quizás hayan probado los famosos quesos franceses Camembert, Brie o Roquefort. Todos son delicias reconocidas en la alta cocina, y detrás de su sabor tan peculiar están nuestros protagonistas fúngicos: hongos del género *Penicillium* (sí, el mismo del que se obtiene la penicilina). En particular, las especies *P. camemberti* y *P. roqueforti*, que son cepas muy cuidadas tanto en la producción artesanal como en la industrial (Ocara et al., 2019).

[se da muestra que queso Reinoso]

Pero no es necesario irse tan lejos para probar un manjar madurado por hongos. En Colombia tenemos nuestros propios tesoros: el queso Paipa y el Reinoso, productos con denominación de origen y un sabor inconfundible. Estudios han sugerido que en su maduración

participan hongos como *Fusarium moniliforme*, *Mucor circinelloides* y *Geotrichum candidum*, que aportan sus aromas y texturas únicas (Neira, 2019; López, 2010).

Así que la próxima vez que disfruten un trozo de queso Paipa, piensen que están saboreando una obra conjunta entre el ser humano... y los hongos.

[Se muestran imágenes del proceso de producción de quesos]

Y hablando de tradiciones, uno de los papeles más importantes que juegan los hongos en la cultura colombiana es en la fermentación. Levaduras como *Saccharomyces cerevisiae* son las responsables de dar vida a bebidas tradicionales como la chicha, la forcha, el champús o el masato. En estos procesos, las levaduras trabajan junto con bacterias lácticas para generar compuestos que aportan aroma, cuerpo y esa efervescencia tan característica (Delgado-Ospina et al., 2022; Chaves-López et al., 2014).

[se muestra mesa con botellas de bebidas tradicionales y marcas de cerveza colombiana]

Pero no solo fermentan bebidas... esta misma levadura es la responsable de que el pan sea esponjoso. Al fermentar los azúcares de la masa, libera dióxido de carbono que queda atrapado en la red de gluten. Y así, gracias a estos diminutos organismos, tenemos el pan de cada día (Struyf et al., 2017).

[se rotan tarrito con levadura]

Colombia, además, cultiva especies de hongos de alto valor gastronómico, medicinal y económico, como el champiñón blanco (*Agaricus bisporus*), la orellana (*Pleurotus ostreatus*), el shiitake (*Lentinula edodes*), la melena de león (*Hericium erinaceus*) y el reishi (*Ganoderma lucidum*).

Estos hongos no solo aportan el sabor umami que tanto nos gusta, sino también proteínas, fibra, vitaminas del complejo B, minerales y compuestos bioactivos como los β -glucanos y terpenoides, conocidos por su potencial inmunomodulador y antioxidante (Usman et al., 2021; Effiong et al., 2024; Ekiz et al., 2023; Atila et al., 2017).

[se muestran fotografías de los hongos y productos elaborados como café con reishi o extractos medicinales]

Y después de este pequeño paseo gastronómico por Santander en compañía del reino Fungi... sigamos viajando hacia otro ecosistema muy diferente, pero igual de fascinante.

[Visitantes se dirigen al ambiente de cuevas y cavernas]

Ahora sean bienvenidos al mundo subterráneo de las cuevas. ¿Sabían que en nuestro país existen muchísimas formaciones naturales ocultas bajo la tierra? ¡Y son mucho más interesantes de lo que imaginan!

Las cuevas no son solo huecos en la roca: son ecosistemas vivos llenos de secretos. Allí habitan animales únicos, crecen hongos y microorganismos especiales, y ocurren procesos geológicos y biológicos fundamentales para el equilibrio del planeta.

En Colombia tenemos una gran riqueza de geoformas subterráneas. Su importancia radica en que sirven como hábitat para especies clave que mantienen procesos ecológicos esenciales. De acuerdo con su origen, las cuevas pueden ser terrestres o acuáticas, y aunque parezcan cerradas, son sistemas vivos, frágiles y conectados con el exterior.

¿Qué hacen las cuevas por nosotros? ¡Muchas cosas!

- Ayudan a filtrar y limpiar el agua que bebemos.
- Permiten que el polen y las semillas viajen, favoreciendo la regeneración vegetal.
- Sirven de hogar a animales que controlan plagas.
- Y producen guano, un abono natural muy potente proveniente de los excrementos de murciélagos y aves cavernícolas como los guácharos.

En las cuevas de Colombia habitan más de 200 especies de animales: insectos, gusanos, murciélagos, aves e incluso peces sin ojos. En Santander, por ejemplo, hay siete especies de peces cavernícolas que solo viven en estas zonas, distribuidos en la cuenca del río Magdalena, entre los 1.000 y 2.400 m s. n. m.

Estos peces pertenecen a la familia Trichomycteridae (género Trichomycterus). Según los estudios, solo T. sandovali está catalogada como vulnerable, pero es probable que todas estén en riesgo por la minería, la deforestación y la contaminación del agua.

Los animales de las cuevas se clasifican en varios grupos según cuánto dependen de la vida subterránea:

- Asociados: sólo las visitan.
- Troglófilos: viven dentro, pero también salen.

- Troglóxenos: pasan largo tiempo dentro, pero necesitan volver al exterior.
- Troglóbios: nacen, viven y mueren en las cuevas; muchos no tienen ojos o son transparentes.

Y por supuesto... aquí también encontramos hongos. Los hongos cavernícolas son los grandes recicladores del mundo subterráneo. Se alimentan del guano, restos de insectos o materia vegetal, liberando nutrientes en un ambiente donde la energía es escasa (Vázquez-Bernal et al., 2014).

Además, modifican las rocas químicamente, contribuyendo a la formación de estalactitas, espeleotemas y biopelículas (Gorbushina et al., 2011). Los estudios han identificado una alta diversidad de hongos, dominada por Ascomycota, que colonizan el aire, las rocas y los sedimentos (Somrithipol et al., 2023; Cuezva et al., 2024).

En el mapa de hongos de Santander podemos ver una foto del género *Xylaria*, que tuve la oportunidad de observar creciendo sobre roca en la Cueva del Indio.

Pero la presencia humana puede alterar ese equilibrio: al aumentar la humedad y el carbono, se pueden desencadenar brotes fúngicos que afectan tanto al ecosistema como a la salud. Algunos hongos, como *Histoplasma capsulatum*, presente en la Cueva del Nitro, pueden causar histoplasmosis si sus esporas se inhalan (Baird, 2014).

Por eso decimos que los hongos de las cuevas son ingenieros ecológicos y también indicadores de equilibrio ambiental.

Finalmente, recordemos que las cuevas están en peligro. La basura, el turismo irresponsable y la minería las están deteriorando. Cuidarlas es vital, porque lo que sucede dentro... también afecta lo que ocurre fuera.

[pausa final – tono reflexivo]

Así que la próxima vez que piensen en una cueva, no la vean solo como un lugar oscuro y misterioso. Es un hogar lleno de vida, un laboratorio natural... y un recordatorio del delicado equilibrio que sostiene nuestro planeta.

Y antes de adentrarnos en otro ecosistema, sigamos hablando un poco sobre el reino Fungi.

Los hongos pueden presentarse en muchísimas formas y colores, dependiendo de la especie. La forma que más solemos reconocer es esta de aquí [se enseña modelo de *Volvariella bombycina*], llamada morfología agaricoide, con un pie y sombrero bien definidos y láminas en la región reproductiva.

El nombre de esta forma viene del grupo más representativo que la presenta: el orden de los Agaricales.

Bueno, y si usamos este modelo como guía, podemos identificar las partes del cuerpo fructífero, o esporoma:

Empezando desde arriba, tenemos el píleo o sombrero, la “capucha” que protege al himenóforo —la zona reproductiva—. Esta puede estar formada por láminas (como en los

agaricoides) o por poros, como ocurre en los hongos del grupo Boletales [se enseña modelo de Boletus].

Más abajo está el pie o estípite, la estructura que sostiene el sombrero y lo separa del suelo. En él a veces quedan ornamentos, como el velo o la cortina, restos del crecimiento del hongo. Luego encontramos el bulbo, que en algunos casos está rodeado por una envoltura llamada volva.

La forma, color y textura de estas partes, además de los ornamentos, son esenciales para la identificación de cada especie.

[se muestran las diferentes partes en el modelo y se enseña guía de colecta]

Pero los cuerpos fructíferos no siempre tienen esta forma clásica. Pueden adoptar muchas más: clavarioide, ramarioide o coraloide, corticoide, hidnoide, cantarelloide, gelatinosa amorfa, polyporoide, gasteroide, faloide o discomicoide, entre otras.

[se muestran modelos y fotografías de hongos con distintas morfologías]

Ahora bien, ¿cómo se forman estos cuerpos fructíferos?

Todo comienza con una espora haploide (n) que, si encuentra condiciones adecuadas, germina y forma un micelio. Este micelio libera señales químicas que atraen a otro micelio compatible, y cuando se encuentran, ocurre la plasmogamia, o fusión de sus citoplasmas, generando un micelio dicariótico ($n + n$) capaz de formar un cuerpo fructífero.

[se muestra video del ciclo de vida de los macrohongos]

El cuerpo fructífero, como el champiñón del supermercado o el clásico hongo rojo con puntos blancos, es en realidad un conjunto denso de hifas entrelazadas. En su interior, en los himenios, se encuentran los órganos sexuales: los basidios, en los Basidiomycota, y las ascas, en los Ascomycota, donde se originan las esporas (Coelho et al., 2017; Wallen & Perlin, 2018).

[se muestran modelos de basidios y ascas]

Claro, no todos los hongos forman setas visibles. Muchos viven como mohos, esos que aparecen sobre el pan o las frutas. Aunque menos llamativos, también producen esporas que viajan por el aire para colonizar nuevos lugares.

[se muestra ilustración de mohos]

Más allá de su papel en la cocina o la biotecnología, los hongos son pilares ecológicos: descomponen materia orgánica compleja, reciclan nutrientes, establecen simbiosis micorrízicas con las raíces de las plantas —facilitando el intercambio de minerales—, y son fuente de enzimas, antibióticos y compuestos medicinales (Ibe & Munro, 2021).

[se muestra penicilina, detergentes y derivados fúngicos]

Y ya que estamos aquí, en medio de este ambiente húmedo y verde... Hablamos del bosque húmedo tropical, uno de los ecosistemas más diversos del planeta.

[se proyectan sonidos de selva y se ilumina el diorama]

Este bosque se encuentra en tierras bajas, entre los 0 y 1.000 metros sobre el nivel del mar, en regiones cálidas de Colombia con temperaturas superiores a 24°C. Llueve casi todo el año, y no hay una estación seca definida.

[Preguntar al público: “¿En qué lugares de Santander podemos encontrar selva húmeda tropical?” → respuestas esperadas: Magdalena Medio – Rionegro, Puerto Wilches, Barrancabermeja, Cimitarra.]

En su flora encontramos árboles como el guamo (*Inga* spp.), el yarumo (*Cecropia insignis*), el abarco (*Cariniana pyriformis*, CR), la olla de mono (*Lecythis ampla*), la palma mil pesos (*Oenocarpus bataua*), el comino (*Aniba perutilis*, CR) y la caoba (*Swietenia macrophylla*, CR).

También hay trepadoras como las “escaleras de mono (*Schnella guianensis*)”, consideradas mágicas por algunas comunidades.

Estos árboles pueden alcanzar más de 60 metros de altura, formando un ecosistema tan denso que los animales crean caminos entre las ramas para moverse y buscar alimento.

Algo fascinante es que la mayoría de las plantas de este bosque viven en asociación con hongos micorrízicos, que se unen a sus raíces y facilitan el intercambio de nutrientes.

Por ejemplo, las orquídeas no podrían germinar ni sobrevivir sin sus hongos simbios, ya que sus semillas carecen de endospermo. De hecho, entre el 80 y el 92% de las plantas terrestres son micorrícicas: forman la llamada “red oculta” o “internet del bosque”, que conecta y mantiene el equilibrio del ecosistema.

[se muestra una orquídea con ilustración de micorrizas]

Y como era de esperarse, este es también el hogar de una impresionante diversidad de hongos.

Entre los más discretos, pero indispensables, está *Earliella scabrosa*, que crece sobre troncos y ramas muertas. Su superficie blanca y rugosa parece una capa de yeso, pero en realidad es una fábrica natural de reciclaje: descompone la madera y devuelve los nutrientes al suelo, manteniendo el ciclo del bosque en movimiento.

Muy cerca aparece el artista del grupo: *Hexagonia hydroides*, un hongo de cuerpo duro y forma de abanico, con un envés lleno de poros hexagonales que parecen un panal. Sus tonos marrones y anaranjados lo hacen parecer una pequeña obra de arte natural, registrada incluso en el bosque seco tropical del Cañón del Chicamocha.

Por su parte, *Leucocoprinus birnbaumii* puede vivir tanto en selvas como en nuestras casas o viveros. Su color amarillo brillante alegra las tierras húmedas y ricas en materia orgánica. Aunque es tóxico, no daña las plantas; al contrario, ayuda a descomponer el sustrato, señal de que el suelo está lleno de vida.

En zonas más intervenidas, donde el bosque se mezcla con potreros, encontramos a *Panaeolus antillarum*, conocido como el “hongo del estiércol blanco”. Brota tras las lluvias, sobre los restos del ganado. Su sombrero grisáceo y su labor silenciosa lo convierten en un reciclador natural que mantiene fértil el suelo.

Y si seguimos explorando esos terrenos, quizá veamos a su pariente, *Panaeolus papilionaceus*, de sombrero delicado y borde ondulado, como las alas de una mariposa. También crece sobre estiércol, transformando desechos animales en materia útil para la tierra.

Como ven, los hongos son los grandes recicladores del planeta: convierten lo que muere... en la base de todo lo que vuelve a vivir.

A diferencia de las plantas, son heterótrofos, como nosotros; pero en lugar de ingerir su alimento, liberan exoenzimas que degradan el material del sustrato y luego absorben los nutrientes.

[se muestra animación del proceso de descomposición]

Este ecosistema también es hogar de una fauna exuberante y sorprendente: desde el poderoso jaguar (*Panthera onca*, VU) hasta diminutos colibríes, tortugas, primates y reptiles que dan vida al corazón verde de Colombia.

En cuanto a la fauna de este lugar, podemos encontrar grandes depredadores como el jaguar (*Panthera onca*, VU), el felino más grande de América y con la distribución más amplia del continente, desde el sur de Estados Unidos hasta Argentina. Es un símbolo de fuerza y equilibrio ecológico, ya que regula las poblaciones de otras especies y mantiene la salud del bosque.

También habitan aquí varios primates. Entre ellos, el capuchino de frente blanca (*Cebus albifrons*), que puede encontrarse en el Magdalena Medio, y el tití cabeciblanco (*Saguinus oedipus*, CR), presente en el noroccidente de Colombia, desde Magdalena hasta el norte del Chocó. Por su

belleza y carisma, este pequeño mono se ha convertido en símbolo de la fauna amenazada de nuestro país.

En otras regiones del país, como la Amazonia, habita el mono ardilla (*Saimiri sciureus*), y en el piedemonte de la Cordillera Oriental se encuentra el diminuto leoncillo o tití pigmeo (*Cebuella pygmaea*), ¡el primate más pequeño del mundo!

En Santander también vive el mico de noche (*Aotus griseimembra*, VU), una de las pocas especies completamente nocturnas y monógamas.

[se proyectan sonidos de selva nocturna y luces suaves simulando movimiento en el dosel]

Sin embargo, los primates enfrentan amenazas graves: la caza para el mercado de mascotas, el tráfico ilegal y la deforestación que destruye sus hábitats. Algunas especies incluso son capturadas para experimentación biomédica, lo que agrava aún más su situación.

En el grupo de las aves, encontramos ejemplos fascinantes de adaptación. Muchas presentan dimorfismo sexual: los machos tienen colores más vivos para atraer a las hembras.

Por ejemplo, el toche pico de plata (*Ramphocelus dimidiatus*), donde el macho luce un plumaje rojo intenso y una mandíbula blanca brillante, mientras que la hembra es de tonos más apagados.

Otra ave extraordinaria es el guácharo o pájaro de aceite (*Steatornis caripensis*), una especie nocturna y cavernícola, ¡la única ave americana que utiliza la ecolocación para orientarse en la oscuridad! Se alimenta principalmente de frutos de palma, y sus polluelos acumulan tanta grasa que antiguamente se usaban para obtener aceite.

Y, claro, no podemos olvidar a los coloridos tucanes (*Ramphastos* sp.), aves frugívoras que también pueden alimentarse de insectos, lagartos o incluso huevos y polluelos. Sus picos grandes y livianos son una herramienta perfecta para alcanzar frutos entre las ramas más altas.

Entre las aves más pequeñas, encontramos la amazilia de cola rufa (*Amazilia tzacatl*), un colibrí que se distribuye por el norte de Suramérica y que se alimenta de néctar e insectos diminutos.

Pero aquí, en Santander, vive su pariente cercano, la amazilia de vientre castaño (*Amazilia castaniventris*, EN), una especie endémica de Colombia que habita las zonas áridas del río Magdalena en Boyacá, Santander y Bolívar. Es muy territorial y suele alimentarse del néctar de flores como el yatago

En el grupo de los reptiles, Colombia ocupa el cuarto lugar en el mundo en diversidad, con 32 especies de tortugas y 6 de crocodílidos. Lamentablemente, estos animales han sido víctimas de caza, tráfico ilegal y pérdida de hábitat, lo que ha llevado a que más del 40% de las especies estén en riesgo de extinción.

Entre ellas está la tortuga de río (*Podocnemis lewyana*, CR), que vive en grandes ríos, lagunas y ciénagas. Es predominantemente herbívora y frugívora, y depende del equilibrio de los ecosistemas acuáticos.

También encontramos la tortuga de madera o palmera (*Rhinoclemmys melanosterna*, NT), una de las más grandes del género, que habita en zonas pantanosas con vegetación densa, y la hicotea (*Trachemys callirostris*, NT), una tortuga semiacuática muy común en aguas tranquilas con vegetación flotante.

Un dato curioso: en muchas tortugas, las uñas de los machos son más grandes y curvas que las de las hembras, pues las usan para aferrarse al caparazón durante el apareamiento.

Y, además, en las especies con determinación sexual por temperatura, las bajas temperaturas producen machos, mientras que las altas generan hembras. Esto las hace especialmente vulnerables al cambio climático, que puede alterar las proporciones de sexos en las poblaciones naturales.

En estos mismos ambientes también vive la babilla (*Caiman crocodilus*), que puede alcanzar entre 1,1 y 2,7 metros de largo. Prefiere aguas tranquilas y se alimenta principalmente de peces.

[se muestra modelo de caimán y se ilumina el área del pantano]

¿Saben cómo diferenciar una babilla de un cocodrilo?

Muy fácil: en las babillas (familia *Alligatorinae*), el cuarto diente maxilar —el más grande— no se ve cuando tienen la boca cerrada, y sus manos no son palmeadas.

En cambio, en los cocodrilos (familia *Crocodylinae*), el quinto diente maxilar es el más grande, los dientes sí son visibles con la boca cerrada y sus manos son palmeadas.

[el guía hace una pausa mientras el público observa las mandíbulas del modelo]

Así que la próxima vez que visiten un río tropical y vean a uno de estos reptiles tomando el sol, ya sabrán si están frente a una babilla o un cocodrilo.

Como ven, cada uno de estos seres —mamíferos, aves, reptiles y, por supuesto, los hongos— cumple un papel esencial en mantener el equilibrio de nuestros ecosistemas.

El bosque húmedo tropical es un verdadero laboratorio natural, donde la vida se recicla, se adapta y florece sin descanso.

[Visitantes se dirigen al diorama de Bosque húmedo subandino]

Este hábitat se extiende desde los 2.400 hasta los 3.800 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas entre 16 y 23 °C. Aquí encontramos una vegetación exuberante compuesta por robles (*Quercus humboldtii*), cedros (*Cedrela odorata*), pinos colombianos (*Podocarpus* sp., el único pino nativo del país) y cucharos (*Clusia* sp.).

Casi todos estos árboles mantienen asociaciones simbióticas con hongos ectomicorrícicos. Estos hongos forman una especie de telaraña microscópica que envuelve las raíces de los árboles, permitiendo un intercambio de nutrientes esencial: los hongos entregan nitrógeno y fósforo, mientras que los árboles les retribuyen azúcares y carbohidratos.

Sin embargo, esta relación se ha visto afectada por la introducción de especies maderables exóticas, como el pino (*Pinus patula*) y el eucalipto (*Eucalyptus* sp.), que trajeron consigo hongos foráneos que compiten con nuestras especies nativas.

Un ejemplo de ello es la *Amanita muscaria*, un hongo euroasiático introducido accidentalmente en los años 50 junto con plantaciones de pino. Hoy en día se ha expandido como invasora, formando micorrizas con el roble nativo *Quercus humboldtii* (Vargas et al., 2019).

[se enseña el modelo de *Amanita muscaria* y una fotografía de la ectomicorriza]

En cuanto a otras plantas, aquí también podemos ver a la palma de cera, que, aunque no es un árbol, es fundamental por sus servicios ecosistémicos y etnobotánicos, ya que de ella se obtienen fibras, techos y materiales de construcción.

El bosque húmedo subandino se caracteriza además por la abundancia de plantas epífitas —como orquídeas, helechos, bromelias y musgos— que aprovechan la llamada “lluvia horizontal” o neblina para captar agua directamente del aire.

[Preguntar al público: “¿Saben en qué lugares de Santander podemos encontrar este tipo de bosque?”]

→ Respuesta esperada: En la vía hacia Picacho, Santa Bárbara y la Serranía de los Yariguíes.

Y si observan con atención los troncos de los árboles, notarán unas manchas de colores y formas variadas... ¿alguien sabe qué son?

[se espera la respuesta del público]

¡Exacto! Son líquenes, una unión simbiótica entre un hongo y un alga (o cianobacteria). Su relación es tan estrecha que ambos organismos dependen completamente el uno del otro para sobrevivir.

[se muestran fotografías de los líquenes en diferentes formas y colores]

En este bosque, los animales suelen tener colores pardos y grises para camuflarse entre los troncos y la corteza. Uno de ellos es el nictibio o bien parado (*Nyctibius griseus*), un ave nocturna e insectívora, llamada en algunos lugares “bruja” por su misterioso canto.

Durante el día permanece inmóvil sobre las ramas secas, adoptando una postura erguida —de ahí su nombre—, donde pone directamente sus huevos sin construir nido alguno.

Otras aves nocturnas del bosque son los búhos y lechuzas.

[Preguntar: “¿Saben cómo se diferencian?”]

→ La lechuza tiene el rostro en forma de corazón, mientras que los búhos lo tienen redondeado.

En Colombia existen 27 especies de búhos, pero solo una de lechuza, la ampliamente distribuida lechuza común (*Tyto alba*).

Entre los mamíferos podemos escuchar los poderosos aullidos de los monos aulladores (*Alouatta seniculus*), cuyos llamados pueden oírse hasta cinco kilómetros de distancia. Usan su voz tanto para mantener la cohesión del grupo como para advertir a los vecinos de su territorio.

[se observa el modelo de mono aullador]

Y, por supuesto, no pueden faltar nuestras aves coloridas. Colombia es el país número uno en diversidad de aves, con 1.909 especies registradas. Por eso, nuestro cuervo (*Cyanocorax violaceus*) es muy diferente a los negros de las películas: el nuestro luce un plumaje azul, violeta o amarillo, ¡tan vibrante como nuestra biodiversidad!

Ahora bien, así como los hongos forman alianzas con los árboles o actúan como recicladores, también pueden ser parásitos. Algunos afectan a los humanos, como *Candida* u *onikomycosis*; otros atacan plantas, otros hongos e incluso insectos.

[se muestran fotografías de los distintos tipos de hongos parásitos]

Entre los más fascinantes están los hongos entomopatógenos, como los del género *Cordyceps*, famosos por inspirar la serie *El último de nosotros*.

El más conocido, *Ophiocordyceps unilateralis*, parasita hormigas y controla su comportamiento. Una vez dentro del cuerpo del insecto, el hongo libera compuestos bioactivos que interfieren con su sistema nervioso y modifican su conducta.

La hormiga infectada busca una hoja a la altura ideal para el desarrollo del hongo, se aferra a ella con sus mandíbulas y muere allí, sirviendo de base para que el hongo crezca, se alimente de su cuerpo y finalmente fructifique, liberando nuevas esporas.

[se muestra el modelo del *Cordyceps* sobre una hormiga]

Así que sí... los hongos también pueden ser aterradores.

Algunas curiosidades de las especies que habitan estos ecosistemas son:

La lengua del carpintero rodea su cráneo y está adaptada para absorber el impacto de sus golpes.

El tinajo o paca es un roedor dispersor de semillas, especialmente del algarrobo.

La forma del rostro de búhos y lechuzas actúa como una antena parabólica que canaliza el sonido hacia sus oídos.

Águilas y halcones no están estrechamente relacionados: su parecido se debe a convergencia evolutiva.

La boa arcoíris (*Epicrates* sp.) recibe su nombre por el brillo iridiscente de sus escamas bajo la luz.

El maco es un prociónido, pariente de los coatíes y mapaches.

El venado cola blanca levanta su cola —blanca en la parte inferior— para alertar a su grupo de peligro.

Ahora, sobre la importancia de estos bosques capturan, almacenan y liberan agua, protegen los suelos de la erosión y albergan una altísima diversidad biológica. Además, son una fuente invaluable de recursos genéticos, con potencial para la alimentación, la medicina y la industria.

A la época actual, Colombia ha perdido cerca del 70% de estos ecosistemas. El periodo más crítico fue entre 1985 y 2005, cuando se perdieron en promedio 87.500 hectáreas por año, ¡el equivalente a deforestar 11 canchas de fútbol cada hora!

Las principales amenazas son la introducción de especies exóticas maderables como pinos, cipreses y eucaliptos —que acidifican los suelos— y la tala para abrir potreros ganaderos.

[Transición: luz tenue, sonido de viento y neblina]

Y ahora, los invito a ascender aún más, hacia los ecosistemas más fríos y misteriosos de nuestras montañas: el páramo.

[Se iluminan los frailejones del diorama]

Los páramos son ecosistemas sin árboles, que se extienden entre los 3.800 y los 4.700 m s. n. m., casi siempre cubiertos por niebla. Su temperatura varía entre 12 °C y -2 °C.

Colombia alberga el 50% de los páramos del mundo, distribuidos en 2.9 millones de hectáreas, con cuatro complejos principales en los Santanderes: Yariguíes, Tamá, Santurbán y Almorzadero.

Estos lugares son claves para la regulación hídrica y climática, además de ser refugios de biodiversidad. Aquí se han registrado más de 4.700 especies de plantas, equivalentes al 17% de la flora de Colombia, dominadas por gramíneas, arbustos y hierbas.

El suelo está cubierto por una gruesa capa de musgos como *Sphagnum* sp., que actúan como esponjas naturales, absorbiendo y liberando agua lentamente.

Las estrellas del páramo son los frailejones (subtribu Espeletiinae, familia Asteraceae).

En Colombia existen 88 especies y 7 géneros, capaces de retener hasta un 80% de agua de la niebla. En Santander encontramos dos especies:

Espeletia conglomerata, el frailejón de tallo alto, y

Espeletiopsis santanderensis, un frailejón endémico de nuestro departamento, más pequeño y arbustivo.

Entre la fauna destaca el majestuoso cóndor de los Andes (*Vultur gryphus*), el ave voladora más grande del mundo. Puede alcanzar 3,3 m de envergadura y 1,3 m de altura. En Colombia solo quedan alrededor de 98 individuos silvestres.

Aunque es carroñero, muchas veces ha sido injustamente cazado por creencias erróneas. Su papel es vital: limpia el campo de cadáveres y previene enfermedades.

El puma (*Puma concolor*, NT) también habita estos ecosistemas. Su tamaño y dieta lo hacen vulnerable a la pérdida de hábitat y a conflictos con humanos.

Y junto a él, el venado cola blanca (*Odocoileus goudotii*), que puede vivir hasta los 4.000 m s. n. m. y se alimenta de hongos y frutos, siendo clave en la regeneración vegetal.

Por último, el oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*, VU), el único oso de Suramérica, es un verdadero jardinero de los Andes. Dispersa semillas, trepa árboles con facilidad y regula los ecosistemas del páramo.

[se proyectan imágenes del cóndor, puma y oso de anteojos]

Curiosidades:

Espeletia fue nombrado así por José Celestino Mutis en honor al virrey José Manuel de Ezpeleta.

El musgo *Sphagnum* fue usado en la Segunda Guerra Mundial como antiséptico natural.

Los cóndores no tienen tabique nasal y pueden ver a través de sus fosas.

El oso de anteojos tiene manchas faciales únicas, como huellas digitales.

El retamo espinoso es una planta invasora que amenaza los páramos de Santander.

[pausa, suena viento de montaña y cantos de aves lejanas]

Los páramos son la cuna del agua. Protegerlos es asegurar la vida en las montañas... y en las tierras bajas que dependen de ellas.

En ellos habitan muchas especies de líquenes de diversas formas y colores que ayudan en la purificación del aire. pasan desapercibidos por su simpleza y sencillez pero son vitales para este ecosistema.

En cuanto a los hongos, es difícil hablar sobre la diversidad de estos en este ecosistema ya que existen pocos registros y la exploración micológica de estos territorios es nula.

Sin embargo, si observamos el mapa de hongos de santander veremos que se han reportado registros de el hongo pulpo o dedos del diablo, *Clathrus archeri*.

Este hongo parece salido de una película de ciencia ficción: al emerger del suelo, rompe un saco gelatinoso y despliega entre cuatro y ocho brazos rojos, viscosos y cubiertos de una sustancia oscura con olor a carne podrida.

¿Para qué ese aroma tan desagradable? Pues, para atraer moscas, que se convierten en sus aliadas dispersoras de esporas.

Aunque parece de otro planeta, realmente es originario de Australia, pero se ha expandido a distintas partes del mundo gracias al transporte de suelos y materia orgánica. Cada vez que aparece, no pasa desapercibido: ¡parece una criatura viva saliendo del bosque!

[mostrar imagen o modelo del *Clathrus archeri* —preguntar al público a qué les recuerda]

Y, hablando de hongos curiosos... no podemos dejar atrás al *Panaeolus papilionaceus*, un pequeño hongo coprófilo, es decir, que crece sobre el estiércol de herbívoros. Esta especie es típica de las regiones intervenidas por la ganadería

A simple vista puede parecer un sombrerito gris o marrón, pero cumple una función ecológica esencial: recicla nutrientes de los desechos animales que no pertenecen a este territorio, ayudando a mantener el suelo fértil.

Su nombre “papilionaceus” hace referencia a la forma del sombrero, que puede recordar a alas de mariposa cuando se abre.

Aunque algunos de sus parientes pueden tener compuestos psicoactivos, este no suele serlo —así que nada de experimentos—.

Bueno, aquí en el páramo llegamos al final de nuestro recorrido, pero no olviden nuestra actividad final. ¡vamos a ver qué tanto hemos aprendido sobre los hongos!

[se proyecta el juego y se vuelve a realizar la evaluación]

<https://view.genially.com/686d8bfe07566a22e1f2b288/interactive-content-miceliando>

Listo, muchas gracias por participar y acompañarme el día de hoy en nuestro recorrido

Y así, entre montañas, cuevas, bosques húmedos y páramos, llegamos al final de este recorrido por los ecosistemas de Santander y los increíbles seres que los habitan.

Hoy conocimos que cada ambiente —desde el bosque seco hasta las cumbres frías del páramo— tiene su propio ritmo, su propio lenguaje y sus propios guardianes.

Entre ellos, los hongos se revelan como aliados indispensables: recicladores del bosque, socios de las raíces, escultores del suelo y parte vital del ciclo de la vida. Pero también comprendimos que ningún organismo está solo; plantas, animales, hongos y personas formamos parte de una misma red, tan frágil como maravillosa.

Cada árbol que crece, cada ave que canta, cada hongo que aparece tras la lluvia, nos recuerda que los ecosistemas están vivos y conectados. Cuidarlos es cuidar de nosotros mismos.

Desde el Museo de Historia Natural de la UIS, queremos agradecerles por acompañarnos en este viaje de descubrimiento y asombro.

Esperamos que este recorrido les haya permitido mirar con nuevos ojos los bosques, los suelos, los hongos... y todo lo que nos rodea.

Gracias por su atención, por su curiosidad y por ser parte de esta experiencia.

Y recuerden: cada ecosistema guarda su propia historia, y en cada rincón, el reino Fungi sigue tejiendo la vida invisible de la Tierra.

Apéndice C. Test

Link pre-recorrido:

<https://create.kahoot.it/share/test-pre-recorrido/5d845cde-ee67-41bc-8164-66e13eef6980>

Link post-recorrido:

<https://create.kahoot.it/share/test-post-experiencia/08335711-c4ca-4634-99eb-aeb8a8477caf>

Hoja de examen

Proyecto: El reino olvidado de los hongos

Institución: Museo de Historia Natural – UIS

Tipo de prueba: Selección múltiple con única respuesta y pregunta abierta

Convención de colores (Kahoot)

 = A  = B  = C  = D

V/F:  = Verdadero  = Falso

1. ¿Para qué producen olores intensos algunos hongos saprófitos?

-  Regular su temperatura
-  Atraer organismos que dispersan esporas ✓
-  Para alejar depredadores
-  Porque están descompuestos

2. Los hongos están ausentes en los ecosistemas acuáticos.

☐ Verdadero

☒ Falso ✓

3. La biología es la ciencia que estudia:

☐ Los minerales

☒ La vida y sus procesos ✓

☐ Clima

☐ Fósiles

4. ¿Qué función cumplen los hongos ingoldianos en los ecosistemas acuáticos?

☐ Producen oxígeno

☐ Cazan insectos

☐ Envenenan peces

☒ Descomponen materia vegetal sumergida ✓

5. Un diorama es:

☐ Un mapa

☒ Una escena 3D ✓

☐ Una vitrina

☐ Un ecosistema real

6. Los hongos son:

- ☐ Animales
- ☒ Un reino propio de la vida ✓
- ☐ Plantas
- ☐ Vegetales

7. Los hongos han sido menos estudiados porque:

- ☐ No tienen diversidad
- ☒ Poca investigación ✓
- ☐ Todos son de la misma especie
- ☐ No existen

8. Un ecosistema xerofítico se caracteriza por:

- ☒ Escasez de agua que obliga a los hongos a adaptarse a la sequía ✓
- ☐ Alta humedad
- ☐ Frío extremo
- ☐ Suelos inundados

9. ¿Cuál de estos no es un hongo?

- ☒ Bacteria

10. El micelio corresponde a:

- ☐ La parte visible del hongo
- ☐ Un tipo de esporas
- ☐ La raíz del hongo
- ☒ El verdadero cuerpo del hongo ✓

11. Los hongos pueden alimentarse de:

- ☐ Rocas
- ☐ Aire
- ☐ Luz solar
- ☒ Madera ✓

12. En los Andes existen especies fúngicas invasoras.

- ☒ Verdadero ✓
- ☐ Falso

13. Los hongos no se usan en:

- ☐ La medicina
- ☐ La fermentación de quesos
- ☒ La exploración espacial ✓
- ☐ El leudado del pan

14. se le llama "hifa" a las células fúngicas

☒ Verdadero ✓

☐ Falso

15. ¿Qué papel cumplen los hongos en los ecosistemas de Santander?

☐ Solo aparecen en época de lluvia

☐ No sobreviven

☐ Solo son parásitos

☒ Descomponen materia orgánica y reciclan nutrientes ✓

16. Una especie endémica es aquella que:

☐ Vive en todo el mundo

☒ Solo existe en una región específica ✓

☐ Tiene distribución amplia

☐ Vive dentro de cuevas

17. ¿Qué sustancia forma la pared celular de los hongos?

☐ Celulosa

☒ Quitina ✓

☐ Lignina

☐ Calcio

18. ¿El ser vivo más grande del mundo es un hongo?

☒ Verdadero ✓

☐ Falso

19. Las orquídeas pueden germinar sin hongos.

☐ Verdadero

☒ Falso ✓

20. Algunos hongos de cuevas pueden afectar la salud humana.

☒ Verdadero ✓

☐ Falso

21. Las micorrizas son:

☐ Insectos del suelo

☐ Tipos de semillas

☒ Asociaciones entre hongos y plantas ✓

☐ Enfermedades de las raíces

 TEST POST – Codificado

1. Función ecológica de los olores fuertes:

- ☐ Para que no se los coman
- ☒ Para atraer insectos y animales dispersores ✓
- ☐ Para afectar competidores
- ☐ Para enfermar huésped

2. En los ecosistemas acuáticos no existen hongos.

- ☐ Verdadero
- ☒ Falso ✓

3. El objeto de estudio de un biólogo es:

- ☐ Química de alimentos
- ☐ Inteligencias artificiales
- ☐ Rocas
- ☒ La vida y sus procesos ✓

4. Los hongos en cuerpos de agua reincorporan nutrientes.

- ☒ Verdadero ✓
- ☐ Falso

5. Modelo tridimensional para representar ecosistemas:

- ☐ Maqueta

- Pesebre
- Diorama ✓
- Foto

6. Los hongos pertenecen al reino:

- Animalia
- Protista
- Plantae
- Fungi ✓

7. Limitado conocimiento sobre hongos:

- Ausencia ecológica
- Menos diversos
- No útiles
- Dificultad de observación e investigación ✓

8. El bosque seco tropical:

- Poca agua y especies adaptadas a sequía ✓
- Mucha lluvia
- Altas temperaturas
- Predominancia de árboles micorrícicos

9. No es un hongo:

☐ Un Coral

10. El micelio funciona como:

☐ Estructura reproductiva

☐ Órgano fotosintético

☒ Red de células fúngicas ✓

☐ Forma de vida temporal

11. Sustrato del que se alimentan los hongos:

☐ Arena

☐ Metal

☐ Minerales

☒ Troncos en descomposición ✓

12. Hongo invasor en ecosistemas andinos colombianos.

☒ Verdadero ✓

☐ Falso

13. Los hongos no se usan en:

- ☒ Metalurgia ✓
- ☐ Fermentación de bebidas
- ☐ Producción medicinal
- ☐ Industria de quesos

14. Las hifas son las células de los hongos.

- ☐ Verdadero
- ☒ Falso ✓

15. Función en ecosistemas terrestres:

- ☐ Fijación de carbono
- ☐ Plagas
- ☐ Depredadores
- ☒ Simbiosis y descomposición ✓

16. Especie única de una región:

- ☒ Endémica ✓
- ☐ Cosmopolita
- ☐ Invasora
- ☐ Generalista

17. Pared celular de los hongos:

- ☒ Quitina ✓
- ☐ Almidón
- ☐ Hemicelulosa
- ☐ Fósforo

18. Uno de los organismos más grandes es un hongo.

- ☒ Verdadero ✓
- ☐ Falso

19. Las orquídeas dependen de hongos para germinar.

- ☒ Verdadero ✓
- ☐ Falso

20. Presencia humana en cuevas puede desatar infección fúngica.

- ☒ Verdadero ✓
- ☐ Falso

21. ¿Qué son las micorrizas?

- ☒ Simbiosis planta–hongo ✓
- ☐ Hongos del agua
- ☐ Hongos del suelo

 Infección de plantas