



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Evaluación de la estabilidad cromática de pigmentos para acuarela extraídos de hongos

Tesis para obtener el título en:

Licenciado en Biología

Presenta:

Nelson Gil Rodríguez

Bajo la dirección de:

Dra. Silvia Cappello García

En codirección de:

Dr. Edmundo Rosique Gil

Villahermosa, Tabasco. Febrero 2026

Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, el día **04 de febrero de 2026** él que suscribe **Nelson Gil Rodríguez** alumno del Programa de **Licenciatura en Biología** con número de matrícula **211G22076** adscrito a la **División Académica de Ciencias Biológicas** de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como **autor** de la **Tesis** presentado para la obtención del título de Licenciatura en Biología, titulado **“Evaluación de la estabilidad cromática de pigmentos para acuarela extraídos de hongos”** dirigido por la **Dra. Silvia Cappello García** y él **Dr. Edmundo Rosique Gil**.

DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido de la Tesis presentado de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Villahermosa, Tabasco a **04 de febrero de 2026**

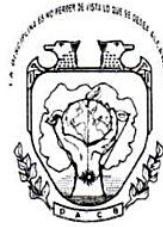


Nelson Gil Rodríguez



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2020
Margarita
Mazá

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Villahermosa, Tab., a 04 de Febrero de 2026

ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. NELSON GIL RODRÍGUEZ** egresado de la Lic. en **BIOLOGIA** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis denominado: **"EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD CROMÁTICA DE PIGMENTOS PARA ACUARELA EXTRAÍDOS DE HONGOS"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E


DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado





**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2020
Margarita
Mazá

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

FEBRERO 04 DE 2026

**C. NELSON GIL RODRÍGUEZ
PAS. DE LA LIC. EN BIOLOGIA
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 111 al 113 del Cap. IV del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis denominado: **"EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD CROMÁTICA DE PIGMENTOS PARA ACUARELA EXTRAÍDOS DE HONGOS"**, asesorado por la Dra. Silvia Cappello García y Dr. José Edmundo Rosique Gil, sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por Dra. Ana Rosa Rodríguez Luna, Dr. Eduardo Salvador López Hernández, Dra. Silvia Cappello García, Dra. Nelly Del Carmen Jiménez Pérez y Dr. Magdiel Torres de La Cruz.

**A T E N T A M E N T E
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**


**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR**

C.c.p.- Expediente del Alumno.
Archivo.





UJAT
UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



2026
año de
Margarita
Maza

**División Académica de Ciencias Biológicas
DIRECCIÓN**

03 de febrero de 2026

C. NELSON GIL RODRÍGUEZ
Pas. de la Lic. en Biología
Presente

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, se implementó la revisión del trabajo recepcional (**Tesis**), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad y el Código Institucional de Ética para la Investigación.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones, el índice de similitud y el reporte de originalidad obtenido a través de la revisión en la plataforma iThenticate de su trabajo recepcional **EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD CROMÁTICA DE PIGMENTOS PARA ACUARELA EXTRAÍDOS DE HONGOS.**

Se incluyó citas, se excluyó bibliografía y se estableció el umbral de exclusión de coincidencias pequeñas a 16 palabras.

RESULTADO DE SIMILITUD	16 %
	65 páginas y 14316 palabras

Finalmente, se le solicita al **C. NELSON GIL RODRÍGUEZ**, integrar en la versión final del trabajo recepcional, este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”


DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS




DIRECCIÓN

C.c.p. Dra. Silvia Cappello García. Directora de trabajo recepcional
C.c.p. Dr. José Edmundo Rosique Gil. Codirector de trabajo recepcional
C.c.p. Archivo

KM 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
VILLAHERMOSA, CENTRO, TABASCO, MEX.

Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 e-mail: direccion.dacbiol@ujat.mx

 Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Nelson Gil Rodríguez

Evaluación de la estabilidad cromática de pigmentos para acuarela extraídos de hongos

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:551630608

Fecha de entrega

1 feb 2026, 12:44 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

3 feb 2026, 11:39 a.m. GMT-6

Nombre del archivo

Nelson Gil Rdz_TR tesis.pdf

Tamaño del archivo

2.0 MB

65 páginas

14.316 palabras

87.138 caracteres

1% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 16 palabras)
- ▶ Abstract
- ▶ Trabajos entregados

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencia excluida

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad




N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
pt.scribd.com		<1%
2	Internet	
scientiafungorum.org.mx		<1%
3	Internet	
repository.msa.edu.eg		<1%

Carta de Cesión de Derechos

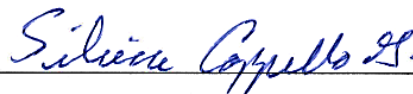
Villahermosa, Tabasco a 04 de febrero de 2026

Por medio de la presente manifiesto haber colaborado como AUTOR en la producción, creación y/o realización de la obra "**Evaluación de la estabilidad cromática de pigmentos para acuarela extraídos de hongos**". Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un período de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

COLABORADORES




Nelson Gil Rodríguez



Dra. Silvia Cappello García

TESTIGOS


Ana R. Rodríguez Linares
Eduardo Salvador López H.

Dedicatoria

A mis dos amadas hermanas,

porque han sido refugio y raíz, presencia constante incluso en el silencio. Su apoyo, firme y esencial, me sostuvo en los momentos más difíciles y de mayor duda, y celebró conmigo cada pequeño avance de este camino.

A mi amadísimo sobrino,

luz inesperada y permanente motivo de alegría, quien con su existencia me recuerda la importancia de mirar el mundo con curiosidad, ternura y esperanza. Con él, sé que me esperan innumerables aprendizajes y venturas por descubrir.

Y de manera muy especial, a la **Dra. Silva Cappello**, por su guía constante y la confianza depositada en mí a lo largo de este proceso. Su acompañamiento trascendió el ámbito académico: fue mentora y directora, pero también apoyo cercano, escucha sincera y estímulo en los momentos decisivos.

Este trabajo es, en parte, reflejo del cariño, la enseñanza y el apoyo que cada uno de ustedes sembró en mi camino.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo es el resultado de un proceso largo y significativo, en el que el apoyo, la orientación y la confianza de diversas personas fueron determinantes para alcanzar su culminación.

Aun en los días más difíciles y desafiantes, agradezco profundamente a mis hermanas **Alejandra y Katherine**, quienes me sostuvieron y acompañaron con amor incondicional. Su apoyo constante fue un pilar fundamental a lo largo de este proceso, y gracias a ellas hoy es posible ver reflejado el resultado de ese acompañamiento. Amo profundamente poder contar con ellas, pues sin su presencia y fortaleza no habría sido posible continuar; son y siempre serán lo más especial que tengo, y mi refugio cuando el mundo no es del todo amable conmigo.

Asimismo, agradezco uno de los regalos más valiosos que la vida me ha concedido: **mi sobrino Dariel**, quien se ha convertido en una de mis mayores motivaciones y en una fuente permanente de fuerza para seguir adelante. De igual manera, agradezco a mis **perrihijas Azula, Muñeca y Katara**, a quienes amo profundamente y cuya compañía llenó de afecto y calma.

Durante este proceso, marcado por momentos complejos y desafiantes, tuve el privilegio de conocer y contar con personas que fueron fundamentales para no desistir de la meta planteada. Una de ellas es el **Dr. Edmundo Rosique Gil**, cuya orientación y apoyo resultaron decisivos para la culminación de este trabajo. Deseo expresar mi sincero agradecimiento por la oportunidad de trabajar con él, ya que su acompañamiento académico, su disposición y su calidad humana lo convierten en un excelente mentor y colega. Esta experiencia representó un aprendizaje invaluable, y espero poder seguir colaborando con él en futuros proyectos.

De igual manera, expreso mi más sincero agradecimiento a la **Dra. Silvia Cappello García**, por su apoyo inmenso, constante y generoso, el cual, incluso sin ella saberlo, me salvó en más de un momento y me permitió aprender y crecer profundamente a lo largo de este proceso. Estoy profundamente agradecido y feliz por la manera en que conectamos, por la forma en que me brindó su confianza y su cariño, y por abrirme las puertas a lo más preciado que tiene: su familia. Hacerme sentir adoptado por la familia **López Cappello** ha sido una experiencia profundamente significativa y enriquecedora para mí. Compartir este camino con ustedes ha sido una fuente constante de alegría y aprendizaje.

Agradezco también al **Dr. Eduardo**, quien ha sido siempre generoso y cercano; sin duda, tengo mucho que aprender de él, pues su trabajo habla por sí mismo y representa una fuente constante de admiración e inspiración. De manera especial, agradezco a **Úrsula**, tan bella como su madre, una pequeña lucecita que aporta

alegría y calidez. El vínculo que construimos, y el cariño con el que me permitió tratarla como a una hermana, me ha hecho sentir inmensamente feliz y especial. Y, por supuesto, no puedo olvidar a **Ponyo**, su gatita, a quien quiero muchísimo. Y a **Olmo**, “el quinto guapo”, con su personalidad única y su espíritu tan particular.

A lo largo de este camino, también tuve el privilegio de contar con grandes amistades que me sostuvieron en los momentos más difíciles y me ayudaron a no colapsar cuando el trayecto parecía demasiado pesado. A mis mejores amigos **Itsi y Marco**, quienes han sido parte fundamental de mi vida desde hace muchos años; hemos crecido juntos, compartido etapas y aprendizajes, y me llena de alegría saber que este vínculo continúa fortaleciéndose con el tiempo.

A mi amiga **Tani**, por una amistad tan genuina e increíble que me llena de gratitud poder llamar así; su apoyo me ha salvado en más de una ocasión, y sé que nuestra amistad, tan bella y llena de aventuras, seguirá acompañándonos y viéndonos crecer juntos. A **nuestro grupo tan especial**, conformado por **Itzel y Mara**, a quienes amo profundamente y con quienes puedo ser yo mismo sin ninguna restricción; gracias por compartir, acompañar y construir conmigo un espacio de confianza y autenticidad. Y a mi querida **Perla**, tan dulce y con esa aura de calma que transmite abrigo y serenidad, gracias por ser una presencia tan cálida y reconfortante a lo largo de este camino.

Agradezco a mi amigo **Isai**, por su apoyo constante y por las valiosas tutorías que me brindó a lo largo de este proceso. Asimismo, a mi queridísimo **Eduardo Soria**, quien me ayudó de manera fundamental en el desarrollo del experimento y cuya presencia y disposición, de una u otra forma, siempre lograron acompañar incluso mis días más atareados.

A mis amigos, todos un poco locos, **Citlali, Juan, Diego y Lupita**, quienes con sus ocurrencias y alegría siempre lograron sacarme una sonrisa. Con ellos me llevo una gran amistad y recuerdos llenos de aventuras; fueron un refugio en los momentos difíciles y, sin duda, supieron rescatarme cuando más lo necesité. Los quiero muchísimo.

A mi queridísima **Ingrid**, un ser tan bello, con mucho estilo y una paz que se siente al compartir tiempo y conversación. La manera en que ve el mundo transmite calma y bienestar, y amo profundamente esos momentos compartidos. Estoy seguro de que nuestra amistad nos acompañará hasta la vejez.

Por último, pero no menos importantes, agradezco a aquellos amigos que siempre estuvieron presentes con su calma y su compañía, haciendo mis días más ligeros y amenos. A **Christopher** su locura y ocurrencias, quien siempre me ayudó a no explotar por el estrés. A mis amiguitas tan bellas **Xena, Ruby, Sagrario, Rosi, y**

Ruth Naomi, verdaderos íconos de la moda y una constante fuente de inspiración. **Mary paula y Merry**, amigas las cuales recuerdo con mucho amor y cariño por nuestras aventuras y anécdotas que nos siguen conectado. Asimismo, agradezco a **Nora y Criss**, quienes en este último tramo han sido de gran ayuda. Y a mi amigo **Erick**, con quien compartir y concluir esta etapa universitaria fue una experiencia sumamente divertida, y con quien sé que seremos grandes biólogos.

Finalmente, deseo dejar constancia de un reconocimiento sobrio a mis padres. Nuestra relación ha sido compleja y marcada por ausencias, pero de alguna manera me brindaron la oportunidad de acceder a mis estudios. Este trabajo también es reflejo de ese recorrido, de lo aprendido incluso en los momentos difíciles y de la fortaleza que surgió al continuar avanzando. Lo menciono como un acto de memoria y cierre, reconociendo que cada experiencia, aun las más complejas, forma parte del camino que me ha traído hasta aquí.

A todas y todos quienes formaron parte de este proceso, de manera directa o silenciosa, mi más profundo agradecimiento. Cada palabra, cada gesto, cada compañía y cada apoyo dejaron huella en este camino e hicieron posible la culminación de este trabajo. Esta tesis no solo representa un logro académico, sino también un recorrido humano marcado por aprendizajes, afectos y crecimiento personal. Me llevo de esta etapa no solo conocimientos, sino vínculos, experiencias y la certeza de que no caminé solo. Gracias por haber sido parte de este capítulo tan significativo de mi vida.

“Aprender fue, en muchos momentos, el refugio para contener la ansiedad y para sentir con intensidad sin arruinarlo todo. Mientras los hongos sigan brotando a mi alrededor y el verde de las selvas permanezca presente, siempre tendré un lugar donde existir y respirar con calma.” Nelson Gil Rodríguez

Índice

1. INTRODUCCIÓN	17
2. ANTECEDENTES	22
3. JUSTIFICACIÓN.....	26
4. HIPÓTESIS.....	28
5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	28
6. OBJETIVOS	29
6.1 Objetivo General.....	29
6.2 Objetivos específicos.....	29
7. MATERIALES Y MÉTODOS	30
7.1 OBTENCIÓN DE LOS PIGMENTOS	30
7.1.1 PREPARACIÓN DE LA BASE AGLUTINANTE	30
7.1.2 INCORPORACIÓN DE CONSERVANTES.....	31
7.2 EXTRACCIÓN DEL PIGMENTO.....	31
7.3 FORMULACIÓN DE LA ACUARELA.....	31
7.4 SECADO Y ALMACENAMIENTO	32
7.5 CARACTERIZACIÓN VISUAL DE LOS PIGMENTOS	32
7.6 EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD CROMÁTICA FRENTE A LA LUZ	33
7.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	34
8. RESULTADOS	36
8.1. ESTABILIDAD CROMÁTICA DE LOS PIGMENTOS EVALUADOS.....	36
8.2 COMPARACIÓN DE ESTABILIDAD CROMÁTICA SEGÚN EL TIPO DE PIGMENTO Y LA CONDICIÓN DE EXPOSICIÓN.....	38
8.3 Diferencias en la estabilidad cromática entre especies.	39
9. DISCUSIÓN.....	42
9.1. ESTABILIDAD CROMÁTICA DE PIGMENTOS CONTRA PIGMENTO ARTIFICIAL	42
9.2 INFLUENCIA DE LA CONDICIÓN DE EXPOSICIÓN SOBRE LA ESTABILIDAD CROMÁTICA	44
9.3. GYMNOPIUS LEPIDOTUS: INESTABILIDAD CROMÁTICA PARTICULAR.....	46
9.4. Pycnoporus cinnabarinus, Pisolithus tinctorius, Calvatia rubrotinta e Inonotus rickii: Comportamiento cromático moderado	48
9.5. CONTRASTE DE LOS RESULTADOS CON ANTECEDENTES CIENTÍFICOS SOBRE PIGMENTOS FÚNGICOS.	52
9.6. IMPLICACIONES PARA LA FORMULACIÓN DE ACUARELAS ARTÍSTICAS.....	53
9.7. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y PERSPECTIVAS FUTURAS.....	55
10. CONCLUSIONES.....	57
ANEXO FOTOGRÁFICO	59
13. REFERENCIAS.....	69

ÍNDICE DE ANEXO FOTOGRAFICO

Figura 1. Formulación de la acuarela a partir de pigmentos fúngicos.	60
Figura 2. Tinción de las muestras y análisis cromático a tiempo 0.	61
Figura 3. Exposición a la luz y análisis colorimétrico de las muestras.....	62
Figura 4. Muestras de Calvatia rubrotinta en distintos tiempos de exposición.	63
Figura 5. Muestras de Gymnopilus lepidotus en distintos tiempos de exposición.	64
Figura 6. Muestras de Inonotus rickii en distintos tiempos de exposición.	65
Figura 7. Muestras de Pycnoporus cinnabarinus en distintos tiempos de exposición.	66
Figura 8. Muestras de Pisolithus tintorius en distintos tiempos de exposición.	67
Figura 9. Muestras del pigmento artificial Smarty en distintos tiempos de exposición.	68

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aglutinante empleado en la formulación de acuarelas	32
Tabla 2. Estabilidad cromática de los pigmentos (ΔE^*ab , 3 h).....	36
Tabla 3. Comparación del cambio cromático (ΔE^*ab) por tipo de pigmento	38
Tabla 4. Comparaciones múltiples de Tukey (HSD) para ΔE^*ab	40

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

1. INTRODUCCIÓN

Los hongos desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas, ya que contribuyen de manera significativa al desarrollo y equilibrio de las poblaciones vegetales y animales. A lo largo de la historia, estos organismos han sido recolectados y utilizados por los seres humanos con diversos propósitos (Boa, 2005). Uno de sus usos más antiguos es la obtención de pigmentos, práctica que se remonta a la prehistoria (Boa, 2005). Evidencia de ello son las pinturas rupestres encontradas en las cuevas de Lascaux, en Francia, y Altamira, en España, así como diversos objetos decorados que han perdurado a lo largo del tiempo y han sido recuperados en excavaciones arqueológicas (Espinoza, 2024).

A lo largo de la historia, en diversas regiones del mundo, se han empleado plantas, animales, líquenes y hongos como fuentes de tintes utilizados en fibras de origen vegetal y animal, e incluso en materiales como el barro. Entre los ejemplos más representativos destacan la grana cochinilla (*Dactylopius coccus*), el achiote (*Bixa orellana*), el caracol púrpura (*Plicopurpura pansa*), el añil (*Indigofera tinctoria*), así como especies de líquenes del género *Cladonia* y hongos pertenecientes al género *Ganoderma*, entre otros (Contreras, 2015).

En la actualidad, los hongos continúan desempeñando un papel clave en diversas aplicaciones biotecnológicas, entre las que se encuentra la obtención de tintes naturales para la tinción de fibras de origen vegetal y animal (Cappello *et al.*, 2021). Asimismo, han sido empleados en la fabricación de productos cosméticos, tintas, acuarelas y pinturas artísticas, lo que pone de manifiesto su versatilidad y relevancia en distintos ámbitos productivos y creativos (Cristea *et al.*, 2005). En este sentido, los hongos constituyen una fuente particularmente prometedora de pigmentos naturales, debido a su elevada diversidad y a la intensidad de los colores que producen. Por ejemplo, los pigmentos de *Monascus*, ampliamente utilizados en la industria alimentaria, se caracterizan por tonalidades rojas y anaranjadas intensas, mientras que especies del género *Aspergillus* producen pigmentos amarillos y verdes, evidenciando su potencial para diversas aplicaciones (Atenas, 2014). Estas características hacen que los pigmentos fúngicos resulten especialmente atractivos

para estudios en el ámbito artístico, donde la variedad cromática y la durabilidad del color son factores esenciales (Afroz *et al.*, 2023).

En las últimas décadas, diversos proyectos han apostado por sustituir los colorantes sintéticos por aquellos obtenidos de fuentes naturales, al representar una alternativa más sostenible y prometedora para la industria (Negi, 2025). Su origen biológico permite una producción más confiable a partir de organismos naturales y el uso de procesos más limpios, lo que se traduce en beneficios tanto inmediatos como a largo plazo para el consumidor (Fried *et al.*, 2022). Este interés responde, en gran medida, a la creciente preocupación de la población y de la comunidad científica por los efectos adversos asociados a los tintes artificiales, los cuales han sido vinculados con riesgos carcinogénicos, alergénicos, mutagénicos, citotóxicos y clastogénicos, además de alteraciones gastrointestinales y respiratorias, así como con impactos negativos sobre el medio ambiente (Andrade, *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2024).

El desarrollo de pigmentos naturales para aplicaciones artísticas representa, así, un punto de convergencia entre la ciencia y el arte, particularmente en un contexto global donde la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental constituyen prioridades (Negi, 2025). Diversas fuentes biológicas, como plantas, líquenes, algas, cianobacterias y hongos, han demostrado ser prometedoras en la producción de compuestos bioactivos con propiedades colorantes (Díaz *et al.*, 2024). Estos pigmentos no sólo ofrecen alternativas ecológicas frente a los sintéticos, sino que también reducen el impacto ambiental asociado a su producción, considerando que los métodos convencionales de fabricación de pigmentos sintéticos suelen ser altamente contaminantes y poco sostenibles (Arciniega *et al.*, 2018).

En este contexto, los pigmentos naturales han sido objeto de numerosos estudios. En particular, se ha evaluado la viabilidad de pigmentos derivados de hongos, destacando la amplia gama de tonalidades que pueden obtenerse (Cappello *et al.*, 2021). De manera complementaria, los líquenes han sido reconocidos como una fuente relevante de colorantes naturales, ya que pueden producir más de 800 metabolitos con diversas aplicaciones potenciales en los campos farmacéutico y cosmético, además de presentar un notable interés para el desarrollo de pigmentos

duraderos y de tonalidades singulares con fines artísticos (Díaz *et al.*, 2024; Andrade Abella *et al.*, 2021).

Los hongos presentan una notable diversidad de colores que cumplen distintas funciones ecológicas. Estas coloraciones pueden actuar como mecanismos de camuflaje, permitiendo que los organismos se integren visualmente en su entorno y eviten la depredación (Venil *et al.*, 2020). En otros casos, los tonos vivos pueden atraer insectos mediante un mimetismo floral que imita forma y color, favoreciendo la dispersión de las esporas y contribuyendo a la continuidad del ciclo reproductivo del hongo (Kaiser, 2006).

Desde el punto de vista bioquímico, los pigmentos fúngicos forman parte de un conjunto de compuestos conocidos como metabolitos secundarios, los cuales se producen junto con los metabolitos primarios durante la actividad metabólica del organismo (Lin *et al.*, 2020). A diferencia de los metabolitos primarios, esenciales para el crecimiento y la supervivencia celular, los metabolitos secundarios participan en procesos de defensa, adaptación y comunicación ecológica. En este sentido, los pigmentos pueden actuar como barreras protectoras frente a agentes bióticos y abióticos, como la radiación ultravioleta, la competencia con otros microorganismos o el ataque de bacterias (Hernández *et al.*, 2018; López-Vázquez *et al.*, 2012).

Los metabolitos secundarios representan, por tanto, un componente clave en el estudio de los pigmentos fúngicos, ya que permiten comprender su origen y función dentro del metabolismo microbiano. Estos compuestos suelen producirse en etapas específicas del crecimiento, cuando las células dejan de multiplicarse de forma equilibrada, y no participan directamente en los procesos vitales básicos del organismo. En contraste, el metabolismo primario engloba rutas anabólicas y catabólicas universales que garantizan la supervivencia celular. De acuerdo con Durán *et al.* (2002), los pigmentos microbianos que no presentan una función aparente pueden clasificarse como metabolitos secundarios, aunque en diversos casos se ha demostrado que cumplen funciones ecológicas o protectoras. Asimismo, se ha documentado que especies como *Pleurotus ostreatus* y *Crinipellis*

schevczenkovi producen pigmentos fenólicos inducidos por aminoácidos aromáticos y reguladores de crecimiento (Durán *et al.*, 2002).

Los pigmentos producidos por hongos han generado un creciente interés debido a su versatilidad y valor económico, además de representar una alternativa sostenible frente a los colorantes sintéticos. Su diversidad estructural permite aplicaciones en múltiples sectores, como la industria alimentaria, cosmética, textil, maderera y electrónica, donde ofrecen tonalidades estables, biodegradables y funcionales. Adicionalmente, varios de estos compuestos presentan propiedades bioactivas relevantes, actuando como antimicrobianos, antioxidantes o, en algunos casos, con actividad citotóxica, lo que amplía su potencial aprovechamiento farmacéutico (Álvarez *et al.*, 2021).

Afroz *et al.* (2023) señalan que carotenoides, riboflavina, licopeno, melaninas, quinonas, cinnabarina y betalaínas se encuentran entre los biopigmentos más comunes y de mayor aplicación biotecnológica obtenidos a partir de hongos. Géneros como *Monascus*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma* y *Talaromyces* destacan por su capacidad para producir pigmentos derivados de metabolitos secundarios. En particular, la investigación sobre el potencial tintóreo de los hongos macroscópicos se ha centrado en el estudio de los carpóforos de los Basidiomicetes, debido a la presencia de compuestos capaces de generar coloraciones intensas y estables. Hasta la fecha, se han evaluado pigmentos obtenidos de entre 115 y 121 especies de este grupo, evidenciando una notable diversidad cromática y un amplio potencial de aplicación (Mukherjee *et al.*, 2017; Cedano *et al.*, 2005).

Finalmente, el uso de pigmentos naturales no sólo permite rescatar técnicas tradicionales y conocimientos ancestrales, sino que también abre nuevas oportunidades para la innovación en la creación de colores más duraderos, resistentes a la luz y ambientalmente sostenibles. Compuestos como antocianinas, carotenoides y quinonas, extraídos de plantas, hongos y líquenes, ofrecen una amplia gama de tonalidades que pueden optimizarse mediante métodos modernos de extracción, estabilización y formulación (Sigurdson *et al.*, 2017).

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo explorar el potencial de los hongos como fuentes sostenibles de pigmentos naturales para la fabricación de acuarelas. Para ello, se evaluará no sólo la intensidad y estabilidad de los colores obtenidos, sino también su viabilidad técnica, con el fin de contribuir al desarrollo de materiales artísticos que combinen calidad, durabilidad y sostenibilidad, en respuesta a las demandas de un entorno cada vez más consciente y responsable.

México

2. ANTECEDENTES

Dentro de esta investigación, la literatura científica no reporta antecedentes específicos sobre el potencial de los hongos como fuentes sostenibles de pigmentos naturales para la fabricación de acuarelas, exceptuando el trabajo de Mattenet *et al.* (2015), el que refiere que los tintes naturales concentrados, simplemente por evaporación pueden ser utilizados para pintar sobre papel, ya que en general funcionan como tintas planas al agua que dan colores planos a diferencia de las acuarelas o tinta china en donde al secarse el pigmento se agrupa y quedan en diferentes intensidades. Esto resalta la necesidad de profundizar en esta línea de investigación y contribuir con nuevo conocimiento en el área.

El uso de pigmentos naturales para la creación artística se remonta a tiempos ancestrales, desde los colores empleados en las pinturas rupestres hasta las tinturas vegetales utilizadas en textiles y manuscritos (Roque, 2012). No obstante, con la llegada de la industrialización, los pigmentos sintéticos reemplazaron a los naturales debido a su menor costo, mayor durabilidad y amplia disponibilidad. Si bien esta transición ha resultado práctica para la producción en masa, también ha generado preocupaciones ambientales y de salud debido a los procesos contaminantes involucrados en la producción de colorantes artificiales.

En las últimas décadas, los pigmentos naturales han recobrado interés como una alternativa sostenible frente a los colorantes sintéticos. Anchana (2014) señala que numerosas cepas fúngicas son capaces de sintetizar una amplia gama de tintes y pigmentos a partir de metabolitos secundarios, los cuales se generan como productos derivados del metabolismo especializado y no están directamente involucrados en procesos primarios de crecimiento o reproducción. Entre las especies identificadas se encuentran *Alternaria alternata*, *Aspergillus niger*, *Curvularia lunata*, *Hapalopilus nidulans*, *Omphalotus olivascens*, *Boletopsis grisea*, *Phaeolus schweinitzii*, *Hypomyces lactiflorum*, *Pisolithus tinctorius*, *Sarcodon fuscoindicus*, *Trichoderma virens*, *Dermocybe sanguinea*, *Monascus purpureus*, *Isaria farinosa*, *Emericella nidulans*, *Fusarium verticillioides* y *Penicillium purpurogenum*. Estas especies fueron evaluadas por el British Textile Technology

Group (BTTG) con el objetivo de analizar el potencial de los pigmentos microbianos en aplicaciones textiles, proponiendo una alternativa biotecnológica más respetuosa con el medio ambiente.

Si bien tanto los tintes naturales como los sintéticos poseen ventajas y limitaciones, durante mucho tiempo se consideró que los primeros presentaban una menor capacidad de coloración. Sin embargo, el interés creciente por alternativas sostenibles y ambientalmente responsables ha impulsado el desarrollo de técnicas innovadoras que han permitido superar de manera gradual dichas restricciones, mejorando la eficiencia y el aprovechamiento de los tintes naturales (Farbe Naturals, 2024).

El estudio de los pigmentos presentes en materiales biológicos ha sido abordado por diversos *autores* (Anchana, 2014; Afroz *et al.*, 2023; Mapari *et al.*, 2009; Hirsch *et al.*, 2018), quienes han enfocado sus investigaciones principalmente en hongos microscópicos debido a su facilidad de cultivo y a la elevada producción de metabolitos coloreados. No obstante, los hongos macroscópicos constituyen también una fuente prometedora de pigmentos naturales aún poco explorada, con un notable potencial para aplicaciones en biotecnología, arte y la producción sostenible de colorantes. Aunque los Basidiomycota presentan mayores dificultades para su cultivo a escala industrial en comparación con hongos pertenecientes al filo ascomicota, su estudio resulta de particular interés debido a la diversidad y estabilidad de los pigmentos que producen, representan una fuente diversa y valiosa de tintes naturales capaces de generar una amplia gama de colores estables, lo que justifica el interés científico continuo en su estudio (Mukherjee *et al.*, 2017).

Los líquenes han representado durante mucho tiempo una de las principales fuentes de colorantes naturales del reino fungi, siendo ampliamente utilizados por su capacidad para generar pigmentos de gran estabilidad y diversidad cromática. (Ciesla, 2001). La incorporación de los hongos macroscópicos en este ámbito es un avance relativamente reciente, impulsado por su capacidad para producir pigmentos naturales de gran estabilidad y diversidad tonal (Hernández *et al.*, 2018). A escala global, el potencial tintóreo de los hongos ha sido evaluado en apenas 121 especies,

lo que representa una fracción mínima de la micobiota estimada en la Tierra, calculada en aproximadamente 1.5 millones de especies (Cedano, *et al.*, 2005)

Las investigaciones sobre hongos tintóreos se han desarrollado principalmente en dos líneas: la primera orientada al estudio y caracterización química de los pigmentos presentes en estos organismos, y la segunda enfocada en la extracción y aplicación de dichos compuestos como colorantes naturales. Dentro de este campo, el grupo más investigado corresponde a los basidiomicetes, con alrededor de 115 especies evaluadas frente a solo seis especies registradas de ascomicetes. Los estudios se han concentrado especialmente en los basidiomas o cuerpos fructíferos de los basidiomicetes, ya que contienen compuestos con alta capacidad para generar coloraciones intensas y estables. Entre los órdenes más representativos se encuentran Agaricales (46 especies), Polyporales (21), Boletales (21) y Thelephorales (13), los cuales han mostrado una amplia diversidad cromática y un considerable potencial para su aplicación en la obtención de pigmentos naturales sostenibles (Cedano *et al.*, 2005; Mukherjee *et al.*, 2017).

Estudios previos han evidenciado que diversos hongos son capaces de producir una amplia variedad de tonalidades. Por ejemplo, *Chlorophyllum molybdites* genera un tono café amarillento, *Earliella scabrosa* produce un matiz café rojizo, *Ganoderma lucidum* ofrece un color café anaranjado, *Phellinus robustus* origina un café claro y *Pycnoporus sanguineus* proporciona un café oscuro (Cappello *et al.*, 2021). Estos hallazgos confirman el potencial de los hongos macroscópicos como fuentes de tintes naturales.

Durán *et al.* (2002) señalan que, en sus investigaciones, identificaron la producción de pigmentos fúngicos derivados de compuestos fenólicos en hongos basidiomicetos como *Pleurotus ostreatus* y *Crinipellis schevczenkovi*. Asimismo, destacan que diversas especies de macromicetos, especialmente aquellas pertenecientes a la familia Agaricaceae, aunque históricamente poco aprovechadas, presentan una notable capacidad para generar una amplia variedad de tonalidades rosadas, violetas, azuladas, amarillas, rojizas y pardas al emplear mordientes como el alumbre o las sales de hierro. Entre los géneros más representativos se incluyen

Boletus, *Cortinarius*, *Hydnellum*, *Hygrocybe*, *Russula* y *Dermocybe*, los cuales muestran un alto potencial para la obtención de pigmentos con propiedades ópticas y de fijación favorables para su aplicación en materiales naturales y biocompatibles.

La exploración de nuevas fuentes de pigmentos fúngicos representa una oportunidad prometedora para la obtención de colorantes naturales con alto valor agregado. Su aceptación por parte del consumidor moderno, quien asocia los pigmentos naturales con productos saludables y de calidad, sugiere un escenario favorable para su incorporación en diversos sectores, incluyendo alimentos, textiles y biotecnología (Brudzyńska *et al.*, 2021) Asimismo, la diversidad de ecosistemas y tipos de vegetación presentes en Tabasco brinda un recurso potencial considerable para la producción sostenible de estos pigmentos, consolidando a los hongos como una fuente estratégica y renovable de colorantes naturales para el futuro.

Estos trabajos expresan la importancia de optimizar los procesos de extracción y estabilización de los pigmentos naturales para maximizar su durabilidad y calidad. Entre los muchos microorganismos con potencial para la producción de pigmentos, los hongos son muy importantes, ya que pueden producir pigmentos de manera segura. Además, se ha informado que los hongos producen una mayor cantidad de pigmentos en comparación con otras fuentes biológicas, lo que los convierte en una alternativa prometedora (Kirti *et al.*, 2014)

3. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de pigmentos naturales a partir de hongos para la elaboración de acuarelas representa una alternativa sostenible y de bajo impacto ambiental frente a la producción industrial de colorantes sintéticos, la cual ha generado diversos problemas ecológicos a escala global. En la actualidad, el desarrollo de procesos industriales innovadores para la obtención de colorantes sintéticos, capaces de ofrecer una amplia gama de intensidades y tonalidades, ha contribuido a desplazar el uso de pigmentos derivados de fuentes naturales. No obstante, estos pigmentos, aunque ampliamente utilizados, se asocian con procesos contaminantes, un consumo elevado de recursos no renovables y posibles riesgos para la salud humana. En este contexto, resulta necesario investigar alternativas que sean ambientalmente responsables y que, al mismo tiempo, cumplan con las exigencias técnicas y de calidad requeridas en el ámbito artístico (Afroz et al., 2023; Arciniega et al., 2018).

Este planteamiento se vincula directamente con el **Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 (Producción y consumo responsables)**, al proponer la sustitución parcial de insumos sintéticos por materiales de origen biológico con menor huella ambiental.

El aprovechamiento de hongos como fuentes de pigmentos naturales no sólo promueve el uso de recursos renovables y potencialmente locales, sino que también contribuye a la valorización de la biodiversidad regional. Los hongos desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas, particularmente en los procesos de descomposición y reciclaje de la materia orgánica, y su incorporación en esquemas productivos sostenibles puede favorecer su conservación y manejo responsable. Asimismo, este enfoque se alinea con los principios de la economía circular, al reducir la dependencia de insumos sintéticos y minimizar los impactos ambientales asociados a su producción. Desde esta perspectiva, la investigación se relaciona con el **ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura)**, al explorar el desarrollo

de materiales alternativos mediante procesos innovadores aplicables a contextos artísticos y productivos de pequeña escala.

Desde el ámbito artístico, los pigmentos naturales presentan propiedades estéticas particulares, tales como variaciones en la tonalidad, la textura y la profundidad cromática, que difícilmente pueden ser replicadas por colorantes sintéticos estandarizados. Sin embargo, para que estos pigmentos sean considerados una alternativa viable, es indispensable evaluar sus propiedades físicas y ópticas, en particular su estabilidad cromática frente a la exposición a la luz.

Adicionalmente, la creciente demanda de materiales artísticos ecológicos y libres de componentes tóxicos ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles, respondiendo a una tendencia emergente entre artistas, educadores y consumidores comprometidos con el medio ambiente. Este aspecto refuerza la pertinencia del estudio desde una dimensión formativa y social, vinculándose con el **ODS 4 (Educación de calidad)**, al generar conocimiento que puede ser aplicado en contextos educativos, artísticos y de divulgación científica.

Por lo tanto, esta investigación se orienta a evaluar pigmentos naturales obtenidos a partir de hongos con el fin de analizar su potencial para el desarrollo de acuarelas ecológicas, considerando específicamente su estabilidad cromática mediante técnicas colorimétricas. Más allá de su aplicación artística, el estudio contribuirá a la generación de conocimiento científico sobre los procesos de extracción, formulación y comportamiento cromático de pigmentos naturales. De esta manera, se busca no sólo fomentar la sustitución de colorantes sintéticos, sino también abordar de forma integrada desafíos ambientales, tecnológicos, educativos y culturales, en concordancia con los principios del desarrollo sostenible y los objetivos planteados en esta investigación.

4. HIPÓTESIS

Existen diferencias significativas en la estabilidad cromática, expresada como el cambio total de color (ΔE^*ab), entre las acuarelas elaboradas a partir de pigmentos obtenidos de distintas especies de hongos, después de su exposición a condiciones controladas de luz.

5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Existen diferencias significativas en la estabilidad cromática, expresada como el cambio total de color (ΔE^*ab), entre las acuarelas elaboradas con pigmentos naturales obtenidos de distintas especies de hongos después de su exposición a condiciones controladas de luz?

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

Evaluar la estabilidad cromática de las acuarelas elaboradas con pigmentos naturales extraídos de cinco especies de hongos, mediante el análisis del cambio total de color (ΔE^*_{ab}) del sistema CIELAB, después de su exposición a condiciones controladas de luz.

6.2 Objetivos específicos

- Determinar los cambios colorimétricos inducidos por la exposición a la luz, a partir de la variación de los parámetros L^* , a^* y b^* y del cálculo del cambio total de color (ΔE^*_{ab}).
- Clasificar la estabilidad cromática de los pigmentos fúngicos con base en los valores de ΔE^*_{ab} obtenidos tras la exposición controlada a la luz.
- Comparar estadísticamente la estabilidad cromática de las acuarelas elaboradas con pigmentos de las distintas especies de hongos.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Obtención de los pigmentos

Los pigmentos se obtuvieron a partir de ejemplares pertenecientes a las especies *Pycnoporus cinnabarinus*, *Pisolithus tinctorius*, *Gymnopilus lepidotus*, *Inonotus ricki* y *Calvatia rubrotinta*, resguardados en la Colección de Hongos del Herbario de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).

La obtención de los pigmentos se realizó a partir del basidioma completo o de estructuras específicas, como el himenio o las esporas, seleccionando aquellas partes que presentaron acumulación visible de compuestos pigmentarios. Como aglutinante principal se empleó goma arábica en polvo, ampliamente reconocida como un componente esencial en la formulación de acuarelas (Arciniega et al., 2018). La goma arábica se combinó con miel, glicerina, agua y vinagre con el propósito de generar una base adecuada para la incorporación del pigmento, además de aportar propiedades humectantes, conservantes y antifúngicas que favorecen la estabilidad del producto final.

7.1.1 Preparación de la base aglutinante

Se preparó una base general que funcionó como aglutinante para la obtención de las acuarelas en forma sólida. En un recipiente resistente al calor se colocaron 200 mL de agua, los cuales se llevaron a ebullición. Posteriormente, se añadieron 16 g de goma arábica en polvo, agitando de manera constante hasta lograr su completa disolución y la eliminación de grumos visibles.

Una vez disuelta, la mezcla se transfirió a un recipiente limpio y se mantuvo en reposo a 37 °C durante 48 horas, con el fin de permitir la hidratación completa de la goma arábica y optimizar su capacidad como agente aglutinante.

7.1.2 Incorporación de conservantes

Tras el periodo de reposo, se incorporaron 30 mL de glicerina a la mezcla, seguida de la adición de 30 mL de vinagre como conservante natural. En un recipiente independiente, se disolvieron 45 mL de miel en 50 mL de agua purificada hasta obtener una solución homogénea, la cual se integró posteriormente a la base aglutinante. La mezcla final se agitó de forma continua hasta alcanzar una consistencia uniforme.

7.2 Extracción del pigmento

Para la obtención del pigmento, los basidiomas se deshidrataron previamente hasta alcanzar un estado completamente seco. Se emplearon 10 g de material fúngico, provenientes del himenio, esporas o del basidioma completo, según la especie.

El material seco se trituró en un mortero hasta reducir su tamaño de partícula. Los fragmentos de mayor tamaño se separaron mediante un colador, continuando la molienda hasta obtener un polvo fino y homogéneo. El pigmento pulverizado se almacenó en recipientes limpios y secos hasta su utilización.

7.3 Formulación de la acuarela

Para cada muestra se emplearon 2.5 g de polvo pigmentario, a los cuales se añadió el aglutinante de forma gradual hasta alcanzar una consistencia adecuada para su aplicación. La mezcla se realizó en un mortero, integrando cuidadosamente los componentes hasta obtener una textura homogénea y libre de grumos.

En la mayoría de las especies se utilizaron aproximadamente 30 mL de aglutinante; sin embargo, en el caso de *Pycnoporus cinnabarinus*, debido a la naturaleza fibrosa del material, fue necesario emplear hasta 45 mL para lograr una dispersión adecuada del pigmento (Tabla 1.).

Tabla 1. Aglutinante empleado en la formulación de acuarelas

Especie	Parte utilizada del basidioma	Cantidad de aglutinante empleada (ml)
<i>Gymnopilus lepidotus</i>	Basidioma entero	30 ml
<i>Calvatia rubrotinta</i>	Esporas	30 ml
<i>Inonotus ricki</i>	Basidioma (Forma asexual)	30 ml
<i>Pycnoporus cinnabarinus</i>	Himenio	45 ml
<i>Pisolithus Tintorius</i>	Basidioma entero	30 ml

7.4 Secado y almacenamiento

Las acuarelas formuladas se vertieron en recipientes apropiados y se dejaron secar en condiciones de ventilación moderada, protegidas de la luz solar directa y de humedad excesiva. Este proceso permitió un secado gradual y uniforme, evitando alteraciones en la textura. Una vez secas, las acuarelas pudieron reactivarse con agua para su aplicación.

7.5 Caracterización visual de los pigmentos

Los pigmentos obtenidos fueron clasificados visualmente mediante el Atlas de los Colores de Harald Küppers (1996), con el propósito exclusivo de asignar una nomenclatura cromática general que permitiera describir el matiz y la tonalidad de cada muestra. Esta caracterización tuvo un carácter descriptivo y complementario al análisis colorimétrico instrumental.

7.6 Evaluación de la estabilidad cromática frente a la luz

Para la evaluación de la estabilidad cromática, se prepararon 24 tiras de papel para acuarela de 300 g (Mecanorma), con dimensiones de 2 cm x 5 cm. Cada tira se pigmentó en una sección de 3 cm, dejando un margen libre para su manipulación. La aplicación del pigmento se realizó mediante dos capas sucesivas, permitiendo el secado completo entre cada aplicación, con el fin de asegurar una cobertura homogénea del sustrato (Anexo 1. Fig. X)

De las tiras preparadas, 20 se pigmentaron con acuarelas elaboradas a partir de pigmentos fúngicos correspondientes a cinco especies, mientras que las cuatro restantes se pigmentaron con un pigmento artificial comercial, utilizado como referencia. Para cada pigmento se emplearon cuatro réplicas: tres se sometieron a exposición lumínica y una se mantuvo en condiciones de oscuridad total, funcionando como muestra testigo.

Las mediciones colorimétricas se realizaron utilizando un colorímetro portátil de geometría 45/0 (modelo DS-700C, Mecanorma), registrándose los parámetros L^* , a^* y b^* del sistema CIELAB. Las mediciones se efectuaron en los tiempos 0, 1, 2 y 3 horas de exposición. En cada tira se realizaron tres mediciones en puntos distintos de la superficie pigmentada, cuyos valores fueron promediados para su análisis, con el fin de reducir la variabilidad asociada a la aplicación del color.

Los valores obtenidos en cada intervalo de exposición se compararon con el valor inicial (0 h), calculándose el cambio relativo de cada parámetro como la diferencia entre el valor medido en el tiempo t_y el valor inicial, de acuerdo con la expresión $\Delta X_t = X_t - X_0$. Asimismo, la estabilidad cromática de las acuarelas se evaluó mediante el cálculo del cambio total de color (ΔE_{ab}^*), comparando los valores registrados en cada intervalo de exposición con los correspondientes al tiempo inicial (0 horas).

Para la interpretación de la magnitud del cambio cromático y su clasificación cualitativa, se adoptó la escala propuesta por Mokrzycki y Tatol (2011), la cual establece los siguientes rangos de percepción visual:

- $\Delta E^*ab < 1$: cambio imperceptible, clasificado como **excelente estabilidad cromática**.
- $1 \leq \Delta E^*ab < 3$: cambio apenas perceptible, correspondiente a una **buena estabilidad cromática**.
- $3 \leq \Delta E^*ab < 6$: cambio perceptible, considerado como **estabilidad cromática moderada**.
- $\Delta E^*ab \geq 6$: cambio muy evidente, asociado con una **baja estabilidad cromática**.

Esta escala permitió clasificar de manera objetiva y estandarizada la estabilidad cromática de los pigmentos evaluados, así como facilitar la comparación entre las distintas especies de hongos y el pigmento artificial de referencia bajo condiciones controladas de exposición a la luz.

7.7 Análisis estadístico

Los datos obtenidos a partir de las mediciones colorimétricas fueron organizados y analizados mediante el software RStudio (versión 2026.01.0+392), utilizando el lenguaje estadístico R. El análisis estadístico se llevó a cabo con el paquete stats.

Para evaluar la existencia de diferencias significativas en la estabilidad cromática entre las acuarelas elaboradas con pigmentos de distintas especies de hongos y el pigmento artificial, se utilizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA), considerando como variable dependiente el cambio total de color (ΔE^*ab) y como factor de clasificación el tipo de pigmento.

Una vez detectadas diferencias significativas mediante el ANOVA ($\alpha = 0.05$), se aplicó una prueba post hoc de comparaciones múltiples de Tukey (HSD), con el fin de identificar específicamente entre qué grupos de pigmentos se presentaron dichas diferencias. Esta prueba permitió comparar de manera simultánea las medias de ΔE^*ab entre las distintas especies fúngicas y el pigmento artificial.

Los resultados del análisis estadístico se expresaron mediante valores de F, grados de libertad y niveles de significancia (p), y se consideraron estadísticamente

significativos aquellos valores con $p < 0.05$. Los análisis realizados permitieron interpretar de forma objetiva las diferencias en la estabilidad cromática entre los pigmentos evaluados, en concordancia con los objetivos planteados en el estudio.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

8. RESULTADOS

8.1. Estabilidad cromática de los pigmentos evaluados

La estabilidad cromática de las acuarelas elaboradas con pigmentos fúngicos y del pigmento artificial de referencia se evaluó mediante el cambio total de color (ΔE^*ab), calculado a partir de los parámetros L^* , a^* y b^* del sistema CIELAB, conforme a lo descrito en el apartado 7.6. Para cada pigmento se consideraron tres réplicas expuestas a la luz ($N = 3$), y se analizaron los valores obtenidos tras 3 horas de exposición controlada.

Los resultados se resumen en la Tabla 2, donde se presentan los valores medios de ΔE^*ab , la desviación estándar, el rango mínimo–máximo y la clasificación cualitativa de la estabilidad cromática de acuerdo con la escala propuesta por Mokrzycki y Tatol (2011).

Tabla 2. Estabilidad cromática de los pigmentos (ΔE^*ab , 3 h)

Especie	Media ΔE (3h)	Desv. Est.	Min-Max	Cambio cromático	Estabilidad cromática
Smarty	4.56	0.72	3.99 - 5.58	Perceptible	Moderada
<i>Pycnoporus Cinnabarinus</i>	6.15	0.48	5.56 - 6.72	Muy evidente	Baja
<i>Pisolithus tinctorius</i>	6.92	1.63	4.62 - 8.29	Muy evidente	Baja
<i>Calvatia rubrotinta</i>	7.46	0.17	7.22 - 7.60	Muy evidente	Baja
<i>Inonotus rickii</i>	8.79	0.42	8.34 - 9.34	Muy evidente	Baja
<i>Gymnopilus lepidotus</i>	29.82	6.24	35.63	Muy evidente	Baja

El pigmento artificial Smarty presentó un valor medio de ΔE^*ab de 4.56 ± 0.72 , lo que corresponde a un cambio cromático perceptible y a una estabilidad cromática moderada. La baja desviación estándar registrada indica una variabilidad reducida entre réplicas, lo que sugiere un comportamiento cromático homogéneo bajo las condiciones experimentales evaluadas.

En contraste, todos los pigmentos de origen fúngico mostraron valores medios de ΔE^*_{ab} superiores al pigmento artificial y fueron clasificados dentro de la categoría de baja estabilidad cromática. No obstante, se observaron diferencias claras entre las especies analizadas. *Pycnoporus* sp. presentó el menor cambio cromático entre los hongos evaluados ($\Delta E^*_{ab} = 6.15 \pm 0.48$), seguido por *Pisolithus* sp. (6.92 ± 1.63) y *Calvatia* sp. (7.46 ± 0.17). En estos casos, aunque el cambio cromático fue claramente perceptible, la variabilidad entre réplicas fue baja a moderada, lo que indica una respuesta relativamente consistente frente a la exposición lumínica.

Inonotus sp. mostró un valor medio de ΔE^*_{ab} de 8.79 ± 0.42 , correspondiente a un cambio cromático muy evidente, con un rango estrecho de variación entre las mediciones. En contraste, *Gymnopilus* sp. presentó el valor más elevado de variación cromática (29.82 ± 6.24), así como el rango más amplio de valores (21.16–35.63), lo que evidencia una marcada inestabilidad cromática y una alta heterogeneidad en su respuesta frente a la exposición a la luz.

Cabe destacar que, en algunos pigmentos fúngicos, la baja desviación estándar observada indica una respuesta altamente reproducible entre réplicas, es decir, que el cambio cromático registrado fue consistente bajo las mismas condiciones experimentales, aun cuando la magnitud del cambio indicó una baja estabilidad cromática.

En conjunto, estos resultados muestran que los pigmentos fúngicos presentan, en general, una estabilidad cromática menor y más variable que el pigmento artificial de referencia. Asimismo, se evidencia que la estabilidad cromática entre los pigmentos fúngicos depende en gran medida de la especie, lo que sugiere un comportamiento diferencial asociado al origen biológico del pigmento.

8.2 comparación de estabilidad cromática según el tipo de pigmento y la condición de exposición.

Con el fin de analizar la estabilidad cromática en función del tipo de pigmento y de la condición de exposición, se compararon los valores de ΔE^*ab correspondientes a pigmentos fúngicos y al pigmento artificial, así como a muestras expuestas a la luz y mantenidas en oscuridad. Los valores medios y desviaciones estándar se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación del cambio cromático (ΔE^*ab) por tipo de pigmento

	Media ΔE	Desv. Est.
Tipo		
<i>Fúngico</i>	10.25	11.35
<i>Artificial</i>	3.34	0.98
<i>Luz</i>	9.77	11.57
<i>Oscuridad</i>	7.11	7.09

En función del tipo de pigmento, los pigmentos fúngicos presentaron un valor medio de ΔE^*ab de 10.25 ± 11.35 , mientras que el pigmento artificial mostró una media considerablemente menor de 3.34 ± 0.98 . Estos resultados indican que, en promedio, los pigmentos de origen fúngico experimentaron una mayor variación cromática que el pigmento artificial. La elevada desviación estándar observada en los pigmentos fúngicos refleja una alta variabilidad en su comportamiento cromático, lo que sugiere respuestas diferenciales entre las especies evaluadas. En contraste, el pigmento artificial mostró una variabilidad reducida, lo que indica una respuesta cromática más homogénea y consistente bajo las condiciones experimentales establecidas.

Al analizar la estabilidad cromática en función de la condición de exposición, se observó que las muestras sometidas a luz presentaron un valor medio de ΔE^*ab de 9.77 ± 11.57 , mientras que aquellas mantenidas en oscuridad mostraron una media de 7.11 ± 7.09 . Estos resultados indican que la exposición a la luz se asoció con un mayor cambio cromático en comparación con la condición de oscuridad.

Asimismo, la mayor dispersión de los valores bajo condiciones de luz sugiere que la radiación lumínica incrementa la heterogeneidad de la respuesta cromática, particularmente en los pigmentos de origen fúngico.

En conjunto, estos resultados evidencian que tanto el tipo de pigmento como la condición de exposición influyen en la estabilidad cromática, siendo los pigmentos fúngicos y la exposición a la luz los factores asociados con una mayor variación de color.

8.3 Diferencias en la estabilidad cromática entre especies.

Para evaluar si existían diferencias significativas en la estabilidad cromática entre las especies evaluadas, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía utilizando los valores de ΔE^*ab , conforme a lo descrito en el apartado 7.7.

El análisis de varianza mostró un efecto significativo de la especie sobre la estabilidad cromática ($F = 25.515$; $p < 0.01$). La descomposición de la varianza indicó que la suma de cuadrados entre grupos ($SC = 1357.159$) fue considerablemente mayor que la suma de cuadrados dentro de los grupos ($SC = 127.658$), lo que evidencia que la mayor proporción de la variabilidad observada en los valores de ΔE^*ab se explica por diferencias entre las especies evaluadas y no por la variabilidad interna de las réplicas. De manera congruente, el cuadrado medio entre grupos ($CM = 271.432$) superó ampliamente al cuadrado medio dentro de los grupos ($CM = 10.638$).

Dado el resultado significativo del ANOVA, se aplicó una prueba post hoc de comparaciones múltiples de Tukey (HSD) para identificar los pares de especies con diferencias significativas en la estabilidad cromática (Tabla 4.). Los resultados mostraron que *Gymnopilus* sp. presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en comparación con todas las demás especies evaluadas, así como con el pigmento artificial de referencia. En todos los casos, las diferencias en ΔE^*ab fueron superiores a 21 unidades, lo que indica una divergencia marcada en el comportamiento cromático de esta especie.

Especie 1	Especie 2	ΔE_1	ΔE_2	Diferencia	¿Significativa?
<i>Gymnopilus lepidotus</i>	Smarty	29.82	4.56	25.26	Sí ($p < 0.05$)
<i>Gymnopilus lepidotus</i>	<i>Pycnoporus cinnabarinus</i>	29.82	6.15	23.67	Sí ($p < 0.05$)
<i>Gymnopilus lepidotus</i>	<i>Pisolithus tinctorius</i>	29.82	6.92	22.9	Sí ($p < 0.05$)
<i>Gymnopilus lepidotus</i>	<i>Calvatia rubrotinta</i>	29.82	7.46	22.36	Sí ($p < 0.05$)
<i>Inonotus rickii</i>	<i>Gymnopilus lepidotus</i>	8.79	29.82	21.03	Sí ($p < 0.05$)
<i>Inonotus rickii</i>	Smarty	8.79	4.56	4.22	No
<i>Calvatia rubrotinta</i>	Smarty	7.46	4.56	2.9	No
<i>Inonotus rickii</i>	<i>Pycnoporus cinnabarinus</i>	8.79	6.15	2.64	No
<i>Pisolithus tinctorius</i>	Smarty	6.92	4.56	2.35	No
<i>Inonotus</i>	<i>Pisolithus tinctorius</i>	8.79	6.92	1.87	No
<i>Pycnoporus cinnabarinus</i>	Smarty	6.15	4.56	1.59	No
<i>Inonotus rickii</i>	<i>Calvatia rubrotinta</i>	8.79	7.46	1.33	No
<i>Pycnoporus cinnabarinus</i>	<i>Calvatia rubrotinta</i>	6.15	7.46	1.31	No
<i>Pisolithus tinctorius</i>	<i>Pycnoporus cinnabarinus</i>	6.92	6.15	0.77	No
<i>Gymnopilus lepidotus</i>	Smarty	6.92	7.46	0.54	No

Tabla 4. Comparaciones múltiples de Tukey (HSD) para ΔE^*ab

En contraste, las comparaciones entre *Pycnoporus cinnabarinus*, *Pisolithus tinctorius*, *Calvatia rubrotinta* e *Inonotus rickii* no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sí ($p > 0.05$). Asimismo, ninguna de estas especies presentó diferencias significativas al compararse con el pigmento artificial, lo que indica que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, estos pigmentos presentaron niveles de estabilidad cromática estadísticamente similares.

En conjunto, los resultados permiten caracterizar de manera integral la estabilidad cromática de los pigmentos evaluados bajo las condiciones experimentales establecidas. El análisis del cambio total de color (ΔE^*ab) evidenció diferencias claras en función del origen del pigmento, de la condición de exposición y de la especie fúngica evaluada.

De manera general, los pigmentos de origen fúngico presentaron valores medios de ΔE^*ab superiores al pigmento artificial de referencia, así como una mayor variabilidad en su respuesta cromática. La exposición a la luz se asoció con un incremento en la variación de color respecto a la condición de oscuridad. El análisis por especie mostró que la estabilidad cromática no fue homogénea entre los pigmentos fúngicos, destacando *Gymnopilus lepidotus* como la especie con el comportamiento cromático más inestable, mientras que el resto de las especies presentaron respuestas estadísticamente similares entre sí y comparables al pigmento artificial bajo las condiciones evaluadas.

Mokrzycki, W., & Tatol, M. (2011). Color difference Delta E - A survey. *Machine Graphics and Vision*, 20(4), 383-411.

Esta referencia establece los rangos:

- $\Delta E < 1$: imperceptible = excelente
- $1 < \Delta E < 3$: apenas perceptible = buena
- $3 < \Delta E < 6$: perceptible = moderada
- $\Delta E > 6$: muy evidente = baja

9. DISCUSIÓN

9.1. Estabilidad cromática de pigmentos contra pigmento artificial

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidenciaron que los pigmentos de origen fúngico presentaron, en términos generales, una estabilidad cromática inferior en comparación con el pigmento artificial comercial Smarty. Esta diferencia se reflejó en los valores promedio de ΔE^*ab , donde el pigmento artificial registró un valor de 4.56 ± 0.72 , correspondiente a un cambio cromático perceptible y asociado a una estabilidad cromática moderada. En contraste, los pigmentos de origen fúngico mostraron valores medios de ΔE^*ab superiores a los del pigmento artificial, lo que permitió clasificarlos dentro de la categoría de baja estabilidad cromática. Estos resultados indican que los pigmentos naturales experimentaron una mayor variación perceptible del color tras la exposición a las condiciones de ensayo, en comparación con el pigmento artificial, el cual presentó un comportamiento cromático más estable bajo las mismas condiciones experimentales.

Tal comportamiento concuerda con lo reportado en la literatura científica, donde se ha señalado que los pigmentos naturales presentan, en general, una mayor susceptibilidad a la degradación fotoquímica en comparación con los pigmentos sintéticos. Esta menor estabilidad cromática se atribuye principalmente a la ausencia de aditivos estabilizantes, tales como filtros UV y antioxidantes, los cuales forman parte esencial de las formulaciones industriales modernas y tienen como función retardar la degradación inducida por la luz (Learner *et al.*, 2006; Schönemann & Edwards, 2011).

Diversos estudios, incluidos los recopilados en *Modern Paints Uncovered* de Learner *et al.*, 2006, describen que los pigmentos y pinturas comerciales constituyen formulaciones complejas diseñadas para maximizar su durabilidad, incorporando múltiples aditivos que actúan como mecanismos de protección frente a la radiación solar y otros agentes ambientales. En contraste, los pigmentos fúngicos corresponden a extractos orgánicos naturales que carecen de esta red de protección química, por lo que su estabilidad depende exclusivamente de la resistencia intrínseca de sus estructuras moleculares.

Desde el punto de vista estructural, muchos pigmentos naturales presentan sistemas conjugados responsables de la absorción de luz visible; sin embargo, estas mismas estructuras son particularmente vulnerables a la radiación UV, la cual puede inducir la ruptura o alteración de los enlaces conjugados, provocando isomerización y pérdida progresiva del color. La ausencia de filtros y antioxidantes favorece que estos procesos ocurran de manera más rápida y pronunciada en los pigmentos fúngicos, en comparación con los pigmentos sintéticos industrializados. (Molina et al 2023).

En conjunto, la menor estabilidad cromática observada en los pigmentos fúngicos puede explicarse por la combinación de su naturaleza orgánica y la falta de aditivos estabilizantes, lo que los hace más susceptibles a la acción fotoquímica de la luz en comparación con los pigmentos artificiales formulados específicamente para resistir el envejecimiento lumínico. (Pfaff, 2022; Salminen et al., 2014).

No obstante, estos resultados deben interpretarse dentro del contexto más amplio de la investigación sobre pigmentos naturales. La literatura científica indica que, bajo determinadas condiciones, algunos pigmentos de origen biológico pueden alcanzar niveles de estabilidad cromática comparables, e incluso superiores, a los de pigmentos sintéticos. En este sentido, se ha reportado que ciertos pigmentos fúngicos, como los producidos por especies del género *Monascus*, presentan una resistencia significativa a la fotodegradación, atribuida a la presencia de sistemas conjugados moleculares extendidos (Weber et al., 2007). De manera similar, se ha descrito que pigmentos policétidos sintetizados por hongos endofíticos poseen propiedades antioxidantes intrínsecas, las cuales pueden contribuir a una mayor estabilidad cromática frente a la exposición lumínica (Mapari et al., 2010).

En contraste con el pigmento artificial de referencia, los pigmentos de origen fúngico presentaron, en general, una estabilidad cromática menor y un comportamiento más variable frente a la exposición lumínica. Esta diferencia se manifestó no solo en la magnitud del cambio cromático observado, sino también en la heterogeneidad de la respuesta entre las distintas especies evaluadas.

La variabilidad registrada entre los pigmentos fúngicos refleja que su comportamiento cromático no es uniforme, sino que depende en gran medida del origen biológico y de las características particulares de cada especie. Esta heterogeneidad no debe interpretarse necesariamente como una limitación del estudio, sino como una consecuencia directa de la diversidad química propia de los metabolitos secundarios producidos por los hongos, los cuales pueden presentar estructuras moleculares y propiedades fotoquímicas significativamente distintas (Dufosse *et al.*, 2014).

Asimismo, se observó que, en algunos casos, los pigmentos fúngicos mostraron una respuesta consistente entre réplicas, lo que indica una buena reproducibilidad experimental bajo las mismas condiciones de ensayo, aun cuando la magnitud del cambio cromático correspondió a una baja estabilidad. En conjunto, estos resultados confirman que los pigmentos fúngicos presentan una estabilidad cromática inferior y más variable que la del pigmento artificial, y que dicha estabilidad está fuertemente condicionada por la especie productora del pigmento.

9.2 Influencia de la condición de exposición sobre la estabilidad cromática

En función del tipo de pigmento, los pigmentos de origen fúngico registraron un valor medio de ΔE^*_{ab} de 10.25 ± 11.35 , mientras que el pigmento artificial presentó una media notablemente menor de 3.34 ± 0.98 . Esta diferencia indica que, en términos generales, los pigmentos fúngicos experimentaron una variación cromática más pronunciada que el pigmento artificial bajo las condiciones evaluadas. La elevada dispersión observada en los valores de los pigmentos fúngicos pone de manifiesto una marcada variabilidad en su comportamiento cromático, lo que sugiere respuestas diferenciales entre las especies analizadas. En contraste, el pigmento artificial mostró una variabilidad reducida, reflejando una respuesta cromática más homogénea y estable.

Por otra parte, al considerar la estabilidad cromática en función de la condición de exposición, se observó que las muestras expuestas a la luz presentaron un valor medio de ΔE^*_{ab} de 9.77 ± 11.57 , mientras que aquellas mantenidas en oscuridad registraron una media de 7.11 ± 7.09 . Estos resultados evidencian que la exposición

lumínica se asocia con un incremento en el cambio cromático respecto a la condición de oscuridad. Asimismo, la mayor dispersión de los valores bajo condiciones de luz sugiere que la radiación lumínica intensifica la heterogeneidad de la respuesta cromática, particularmente en los pigmentos de origen fúngico.

Learner *et al* (2007) y Berns & de la Rie (2003) indican que la fotodegradación de los pigmentos se asocia principalmente a la acción de la radiación electromagnética en el rango UV-visible, la cual puede activar procesos fotoquímicos responsables de la pérdida o modificación del color. Estos procesos incluyen la excitación electrónica en sistemas conjugados, la formación de especies reactivas de oxígeno y la alteración de enlaces en estructuras moleculares fotosensibles (Schönemann & Edwards., 2011). No obstante, la persistencia de cambios cromáticos bajo condiciones de oscuridad indica que la inestabilidad de los pigmentos fúngicos no depende exclusivamente de la exposición lumínica, sino también de mecanismos de degradación no fotoquímicos. En este contexto, la estabilización de estos pigmentos para aplicaciones prácticas requeriría no solo el uso de filtros UV, sino también la incorporación de antioxidantes, agentes quelantes y reguladores de pH que contribuyan a limitar procesos degradativos adicionales. (Divya *et al.*, 2025)

En las formulaciones acuarelables, la estabilidad cromática no depende únicamente del pigmento, sino también de las características del medio en el que este se encuentra incorporado. La goma arábica, empleada como aglutinante, está compuesta por polisacáridos y glicoproteínas que pueden establecer interacciones químicas con los pigmentos (Mecklenburg *et al.*, 2013). Dichas interacciones pueden manifestarse mediante procesos como la formación de complejos, reacciones de condensación o alteraciones en el microambiente químico del cromóforo, lo que puede modificar su comportamiento óptico y sus propiedades de absorción. Desde una perspectiva fisicoquímica, estas variaciones pueden interpretarse a partir del fenómeno de solvatocromismo, en el cual los cambios en la polaridad del entorno y en las fuerzas intermoleculares influyen directamente en la respuesta espectral del pigmento (Zumbühl, 2014).

9.3. *Gymnopilus Lepidotus*: inestabilidad cromática particular.

Gymnopilus lepidotus se distinguió significativamente de todas las demás especies evaluadas, presentando el valor más elevado de ΔE^*ab (29.82 ± 6.24) y diferencias superiores a 21 unidades con respecto a cualquier otro pigmento. Esta inestabilidad excepcional puede deberse a la naturaleza química de sus pigmentos.

Los hongos del género *Gymnopilus lepidotus* presentan una coloración característica que varía de amarillo a anaranjado y ocre, atribuida a la presencia de metabolitos secundarios con sistemas conjugados capaces de absorber radiación en el rango visible (Gill, 1994). Diversos estudios señalan que esta coloración se relaciona principalmente con estilipironas, como la hispidina y compuestos estructuralmente afines, así como con oligoisoprenoides presentes en distintas especies del género (Cedano & Villaseñor, 2005; Zhong-Yu Z. & Ji-Kai L., 2010).

Aunque las gimnopilinas han sido históricamente asociadas a *Gymnopilus lepidotus*, la evidencia actual las describe como poliisoprenopoliolos acetilénicos, más relevantes para el perfil químico general que como responsables directos de la coloración. Desde el punto de vista de la estabilidad cromática, la presencia de sistemas conjugados y grupos carbonílicos confiere a estos pigmentos una susceptibilidad potencial a procesos de degradación inducidos por radiación y por reacciones químicas no fotoquímicas, lo que podría explicar su comportamiento variable frente a condiciones ambientales controladas (Caldas *et al* 2021).

La elevada desviación estándar observada en los valores de estabilidad cromática evidencia una marcada heterogeneidad en la composición química de los basidiomas analizados. Esta variabilidad puede atribuirse a múltiples factores biológicos y ambientales que influyen directamente en la síntesis y acumulación de metabolitos secundarios en los hongos. Entre ellos se incluyen el estado de madurez del organismo, las condiciones de crecimiento, la localización geográfica y la variabilidad genética intraespecífica, todos los cuales afectan la expresión diferencial de genes involucrados en rutas biosintéticas de pigmentos (Schmidt-Dannert, 2000).

En el género *Gymnopilus*, esta heterogeneidad resulta especialmente relevante, ya que su coloración característica se asocia principalmente a estirilpironas como la hispidina y la bisnoryangonina, compuestos cuya biosíntesis integra rutas del shikimato y de los policétidos. La producción de estos metabolitos no es constante y puede variar significativamente en función de la edad del basidioma, el daño físico del tejido y la actividad enzimática específica, lo que genera diferencias apreciables en el perfil químico incluso entre ejemplares del mismo taxón. Estudios previos han documentado variaciones sustanciales en la composición pigmentaria de especies de *Gymnopilus* recolectadas bajo distintas condiciones ambientales, lo que refuerza la influencia del entorno en la expresión metabólica (Veláek & Cejpek, 2011).

Asimismo, se ha señalado que muchos pigmentos fúngicos son químicamente lábiles y susceptibles a transformaciones rápidas tras la recolección, particularmente por exposición al oxígeno o a la luz, lo que puede introducir cambios adicionales en su composición y contribuir a la dispersión de los datos analíticos (Velíšek *et al.*, 2011). En conjunto, esta complejidad biosintética y ambiental explica la elevada variabilidad observada y subraya que la estabilidad cromática de los pigmentos fúngicos no depende de un único factor, sino de la interacción dinámica entre genética, fisiología y condiciones externas.

Desde una perspectiva aplicada, los resultados obtenidos indican que *Gymnopilus lepidotus* no constituye una fuente adecuada de pigmentos para acuarelas u otras aplicaciones artísticas en las que la permanencia cromática sea un criterio determinante. Sin embargo, la limitada estabilidad observada no invalida completamente su potencial de uso, ya que estos pigmentos podrían resultar funcionales en aplicaciones donde la durabilidad del color no sea un requisito esencial, como en colorantes de carácter temporal, indicadores de pH o usos decorativos de naturaleza efímera (Dufossé *et al.*, 2005).

9.4. *Pycnoporus cinnabarinus*, *Pisolithus tinctorius*, *Calvatia rubrotinta* e *Inonotus rickii*: **Comportamiento cromático moderado**

Las especies *Pycnoporus cinnabarinus*, *Pisolithus tinctorius*, *Calvatia rubrotinta* e *Inonotus rickii* presentaron valores de ΔE^*_{ab} en el rango de 6.15 a 8.79, significativamente menores que *Gymnopilus lepidotus* pero superiores al pigmento artificial Smarty. Notablemente, la prueba de Tukey HSD reveló que estas cuatro especies no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí ni con respecto al pigmento comercial ($p > 0.05$), lo que indica que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, exhibieron niveles comparables de estabilidad cromática.

Pycnoporus cinnabarinus ($\Delta E^*_{ab} = 6.15 \pm 0.48$) presentó el mejor desempeño entre los pigmentos fúngicos evaluados. Los hongos del género *Pycnoporus*, en particular *P. cinnabarinus* y *P. sanguineus*, se caracterizan por la producción de pigmentos responsables de su coloración rojo-anaranjada intensa, entre los que se incluyen la cinabarina, el ácido cinabarínico y compuestos estructuralmente relacionados (Hernández et al., 2019; Gómez et al., 2018). Aunque estos pigmentos han sido frecuentemente asociados de manera general con derivados tipo antraquinona, estudios más recientes los clasifican con mayor precisión dentro del grupo de las fenoxazinas, cuya estructura aromática conjugada permite la deslocalización de electrones π y explica su capacidad cromófora (Kramell et al., 2019).

Desde un punto de vista fisicoquímico, estos sistemas aromáticos extendidos confieren cierta resistencia frente a la degradación fotoquímica, al favorecer la estabilización electrónica tras la absorción de radiación. Sin embargo, a diferencia de las antraquinonas clásicas de origen vegetal o animal ampliamente reconocidas por su elevada estabilidad en aplicaciones tintóreas, los pigmentos de *Pycnoporus* presentan un comportamiento distinto, más vinculado a funciones ecológicas y biológicas que a la permanencia del color (Jemo & Parac-Osterman, 2017; Hernández et al., 2019).

En este contexto, la biosíntesis del ácido cinabarínico se ha relacionado con la oxidación del ácido 3-hidroxiantranílico, un intermediario derivado de la vía del

shikimato, proceso catalizado principalmente por lacasas y otras enzimas oxidativas. Estas particularidades estructurales y biosintéticas explican que, pese a su intensa coloración, los pigmentos de *Pycnoporus* destaquen más por su actividad biológica como efectos antimicrobianos o insecticidas que por una estabilidad cromática comparable a la de los colorantes naturales tradicionales (Kramell et al., 2019; Gómez et al., 2018).

No obstante, la clasificación de *Pycnoporus cinnabarinus* dentro de la categoría de baja estabilidad cromática, de acuerdo con los criterios propuestos por Mokrzycki & Tato (2011), evidencia que estos pigmentos aún presentan limitaciones para competir con pigmentos sintéticos diseñados para alta permanencia. En este sentido, se han propuesto diversas estrategias orientadas a mejorar su desempeño frente a la degradación, entre las que se incluyen la encapsulación en matrices protectoras, la incorporación de absorbentes de radiación UV y la formulación con sistemas antioxidantes de acción sinérgica, las cuales han mostrado resultados prometedores en la estabilización de colorantes naturales (Yusuf *et al.*, 2017).

Pisolithus tinctorius ($\Delta E^*ab = 6.92 \pm 1.63$) presentó una desviación estándar mayor, lo que sugiere mayor variabilidad en la respuesta cromática entre réplicas. Los hongos del género *Pisolithus*, comúnmente denominados “falsas trufas”, se caracterizan por la producción de pigmentos melanínicos y compuestos polifenólicos responsables de sus tonalidades pardas a negras (Martin *et al.*, 1999). Las melaninas corresponden a biopolímeros complejos formados mediante la polimerización oxidativa de precursores fenólicos y se distinguen por presentar una elevada resistencia a la degradación química, térmica y fotoquímica, lo que les confiere una notable estabilidad estructural y cromática (Solano, 2014).

Paradójicamente, pese a la estabilidad ampliamente documentada de las melaninas, el pigmento obtenido de *Pisolithus tinctorius* presentó una susceptibilidad moderada a la fotodegradación. Este comportamiento puede atribuirse a varios factores concurrentes: (1) la contribución de pigmentos secundarios no melanínicos, potencialmente más fotosensibles, a la coloración global del extracto; (2) el grado de polimerización de la melanina, dado que

oligómeros de bajo peso molecular exhiben mayor reactividad fotoquímica que estructuras altamente reticuladas (Sarangarajan & Apte, 2006) y (3) las interacciones fisicoquímicas con la matriz de goma arábiga, las cuales podrían modificar el entorno del cromóforo y favorecer procesos de sensibilización fotoquímica (Mecklenburg et al., 2013).

Calvatia rubrotinta ($\Delta E^*_{ab} = 7.46 \pm 0.17$) exhibió la menor desviación estándar entre las especies fúngicas, indicando un comportamiento altamente reproducible. Los hongos comúnmente conocidos como bejín gigante (*Calvatia* y géneros relacionados) presentan una coloración que varía del blanco al amarillo y pardo conforme progresa el desarrollo del basidioma. En *Calvatia gigantea*, la literatura reporta la presencia predominante de compuestos fenólicos y flavonoides, los cuales contribuyen tanto a sus propiedades antioxidantes como a la tonalidad general del tejido fúngico (Kivrak & Harmandar, 2016). Estos metabolitos, si bien no son pigmentos estructuralmente diseñados para alta permanencia, pueden influir de manera indirecta en la respuesta cromática observada tras la exposición a la luz.

Aunque los carotenoides son reconocidos como cromóforos responsables de tonalidades amarillas, naranjas y rojas en numerosos basidiomicetos, su función en hongos se asocia principalmente con la fotoprotección y la mitigación del estrés oxidativo, más que con una estabilidad cromática elevada frente a la radiación UV (Veláek, & Cejpek, 2011; Sandmann, 2022). En el caso de *Calvatia*, la contribución de estos compuestos a la coloración parece ser secundaria y dependiente de su estado químico y del entorno de la matriz.

Las tonalidades pardas observadas pueden explicarse, en mayor medida, por procesos de oxidación de compuestos fenólicos y por la formación de pigmentos poliméricos oscuros derivados del pardeamiento enzimático, los cuales presentan una mayor resistencia química, pero no necesariamente una alta estabilidad óptica. En conjunto, la coloración de *Calvatia* responde a una combinación de metabolitos fenólicos y procesos oxidativos, lo que puede justificar la variabilidad cromática y la estabilidad moderada observada bajo condiciones de exposición lumínica (Kivrak et al., 2016).

La pérdida de color observada en *Calvatia rubrotinta* puede atribuirse a procesos de degradación oxidativa de los carotenoides, los cuales son particularmente sensibles a la acción conjunta de la luz y el oxígeno. Estos compuestos, aunque cumplen funciones antioxidantes y fotoprotectoras en los hongos, sufren transformaciones estructurales que conducen a la decoloración progresiva bajo condiciones de irradiación (Veláek & Cejpek, 2011; Sandmann, 2022). La baja desviación estándar registrada en los cambios cromáticos sugiere una composición relativamente homogénea de estos pigmentos entre los especímenes analizados, lo que se refleja en una respuesta de fotodegradación consistente.

Inonotus rickii ($\Delta E^*_{ab} = 8.79 \pm 0.42$) presentó el mayor cambio cromático entre las especies con comportamiento estadísticamente similar al pigmento artificial. Los hongos del género *Inonotus* se caracterizan por producir una amplia diversidad de metabolitos polifenólicos, principalmente estilipironas y sus derivados, entre los que destacan la hispidina, el hispolón y diversos dímeros fenólicos (In-Kyoung *et al.*, 2007; Awadh *et al.*, 2003; Olennikov & Gornostai., 2023). Estos compuestos presentan reconocidas propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antivirales, asociadas a la presencia de sistemas aromáticos conjugados y fracciones catecol en su estructura (Jung *et al.*, 2008). Sin embargo, estas mismas características estructurales condicionan su estabilidad frente a la luz.

Los estilbenos y estilipironas son particularmente susceptibles a procesos de fotoisomerización trans-cis y oxidación, fenómenos favorecidos por la presencia de dobles enlaces conjugados y sistemas polifenólicos reactivos (In-Kyoung *et al.*, 2007; Jung *et al.*, 2008). En especies de *Inonotus* se ha documentado la coexistencia de isómeros geométricos, lo que sugiere que las condiciones de iluminación pueden modificar el equilibrio estructural de estos metabolitos (Awadh, 2003). Asimismo, los grupos hidroxilo fenólicos de la hispidina, aunque responsables de su elevada capacidad antioxidante, constituyen sitios reactivos vulnerables a la oxidación fotoinducida (Olennikov & Gornostai., 2023). En conjunto, la variabilidad estructural y el grado de hidroxilación explican la estabilidad diferencial de estos compuestos frente a la degradación fotoinducida.

9.5. Contraste de los resultados con antecedentes científicos sobre pigmentos fúngicos.

Los resultados obtenidos en el presente estudio se inscriben dentro del creciente cuerpo de investigación sobre los pigmentos fúngicos y su potencial de aplicación en distintas industrias. En este contexto, Wanping et al (2017) señaló que la estabilidad cromática de los pigmentos producidos por hongos está fuertemente influenciada tanto por la especie productora como por las condiciones fisicoquímicas del entorno, incluyendo factores como el pH, la exposición a la luz y la composición de la matriz de aplicación. Estos planteamientos son consistentes con los hallazgos del presente estudio, los cuales evidencian que la estabilidad de los pigmentos fúngicos responde a una interacción compleja entre el microorganismo productor y las condiciones de formulación y uso final.

Manpari et al., (2010) investigaron pigmentos producidos por especies del género *Penicillium*, evidenciando una marcada variabilidad en su estabilidad cromática. Sus resultados mostraron que mientras algunos pigmentos presentan una resistencia significativa frente a la radiación UV, otros experimentan una degradación rápida bajo las mismas condiciones. Los autores concluyeron que esta heterogeneidad está directamente relacionada con la diversidad estructural de los pigmentos fúngicos, lo que dificulta establecer generalizaciones sobre su estabilidad. En consecuencia, enfatizaron la necesidad de realizar evaluaciones específicas para cada especie y tipo de pigmento antes de considerar su aplicación.

Este planteamiento coincide con los hallazgos del presente estudio, ya que la estabilidad cromática observada en pigmentos de *Penicillium* no puede considerarse una característica universal del género, sino el resultado de una compleja interacción entre la estructura química del compuesto, la especie productora y las condiciones de evaluación. La literatura especializada respalda que la diversidad biosintética de los policétidos fúngicos genera una amplia gama de pigmentos con comportamientos fotoquímicos diferenciados, lo que refuerza la necesidad de estudios de caso individuales para validar su estabilidad y funcionalidad en aplicaciones industriales.

Sed et al., (2019) evaluó la estabilidad de pigmentos extraídos de *Talaromyces sp.* y *Penicillium sp.*, demostrando que la incorporación de agentes encapsulantes, como la β -ciclodextrina, mejora de manera significativa la fotoestabilidad de estos compuestos. La autora señaló que la encapsulación actúa como una barrera protectora frente a factores ambientales adversos, particularmente la radiación UV, el oxígeno y la humedad, los cuales son responsables de la degradación cromática.

Este enfoque resulta especialmente relevante, dado que los pigmentos policétidos del tipo azafilona, producidos por géneros como *Talaromyces* y *Penicillium*, presentan una elevada sensibilidad a la luz, al pH y a la temperatura, lo que constituye uno de los principales desafíos para su aplicación industrial. En este sentido, la microencapsulación no solo contribuye a mejorar la estabilidad cromática, sino que también favorece la solubilidad, la estandarización del color y el enmascaramiento de posibles compuestos volátiles indeseables.

En conjunto, estos antecedentes respaldan que el desarrollo de formulaciones avanzadas mediante técnicas de encapsulación representa una estrategia viable para optimizar el desempeño de los pigmentos fúngicos evaluados en el presente estudio, particularmente aquellos con mayor susceptibilidad a la fotodegradación, y para incrementar su competitividad frente a los colorantes sintéticos tradicionales.

9.6. Implicaciones para la formulación de acuarelas artísticas.

Los resultados del presente estudio tienen implicaciones directas para la viabilidad del uso de pigmentos fúngicos en la formulación de acuarelas artísticas y otros materiales destinados a las bellas artes, donde la permanencia cromática constituye el criterio fundamental para su aceptación comercial. De acuerdo con los lineamientos de la industria, los pigmentos se clasifican en categorías que van desde “excelente” hasta “fugitivo”, con base en ensayos estandarizados de resistencia a la luz, como los descritos en la norma ASTM D5098-19 (2019) y en sistemas de referencia ampliamente discutidos por Bide (2010).

En este contexto, un color se considera fugitivo cuando presenta cambios cromáticos apreciables en periodos cortos de exposición lumínica, lo que representa una limitación significativa para su uso artístico. Bide (2010) señala que esta

clasificación se establece mediante comparaciones con referencias normalizadas de resistencia a la luz, destacando que únicamente los pigmentos capaces de mantener su color tras exposiciones prolongadas pueden considerarse aptos para aplicaciones profesionales y museográficas.

Bajo estos criterios, la estabilidad observada en los pigmentos fúngicos evaluados en el presente estudio adquiere relevancia crítica, ya que su desempeño frente a la radiación lumínica determinará su clasificación dentro de los estándares de permanencia. Asimismo, se reconoce que factores como la naturaleza química del pigmento, el grosor de la capa aplicada y el sistema de formulación influyen de manera decisiva en su resistencia a la luz. En consecuencia, la implementación de estrategias de formulación avanzadas, orientadas a mejorar la estabilidad cromática, resulta indispensable para evitar la clasificación de estos pigmentos como fugitivos y posibilitar su aplicación en materiales artísticos de larga duración.

Alternativamente, la investigación puede orientarse hacia la mejora de la estabilidad de los pigmentos fúngicos mediante estrategias de formulación avanzadas. La industria cosmética y alimentaria ha desarrollado tecnologías eficaces para estabilizar pigmentos naturales sensibles frente a la luz y otros factores ambientales, muchas de las cuales podrían adaptarse de manera viable a aplicaciones artísticas (Teixeira et al., 2017; Sed et al., 2019). La adopción de estas estrategias permitiría incrementar la permanencia cromática y ampliar el potencial de uso de los pigmentos fúngicos en materiales artísticos.

Otro aspecto de particular relevancia es la sostenibilidad y el impacto ambiental asociado a la producción de pigmentos. Los pigmentos sintéticos tradicionales suelen obtenerse mediante procesos de manufactura químicamente intensivos, con alto consumo energético y generación de residuos potencialmente tóxicos (Slama et al., 2021). En contraste, los pigmentos fúngicos pueden producirse a través de procesos fermentativos bajo condiciones relativamente suaves de temperatura y presión, lo que reduce la carga ambiental del proceso productivo (Patakova, 2013).

Adicionalmente, diversos estudios han documentado la capacidad de hongos filamentosos para utilizar residuos agroindustriales como sustratos, favoreciendo la

valorización de subproductos y la reducción de costos, lo que refuerza el carácter eco-amigable de estos sistemas de producción (Dufossé et al., 2014). Si bien la estabilidad cromática continúa siendo una limitación técnica frente a los pigmentos sintéticos, el equilibrio entre desempeño funcional y sostenibilidad podría favorecer a los pigmentos naturales en aplicaciones específicas, particularmente en mercados donde los consumidores valoran atributos ambientales, de seguridad y de origen natural.

9.7. Limitaciones del estudio y perspectivas futuras.

Es importante reconocer las limitaciones metodológicas del presente estudio. Si bien el protocolo de envejecimiento acelerado constituye una herramienta ampliamente empleada para evaluar la fotoestabilidad de materiales artísticos, este método comprime en periodos cortos de tiempo una exposición equivalente a años de uso real, lo que puede no reproducir completamente la complejidad de los procesos de degradación a largo plazo, los cuales involucran fluctuaciones térmicas, variaciones de humedad y exposiciones lumínicas intermitentes (Whitmore et al., 1999). En este sentido, estudios complementarios de envejecimiento natural en condiciones controladas de museo o galería permitirían una validación más robusta de los resultados obtenidos.

Asimismo, el análisis se limitó a una matriz específica de acuarela a base de goma arábica, pese a que las interacciones entre pigmento y aglutinante influyen de manera significativa en la estabilidad cromática. Se ha demostrado que distintos medios pictóricos pueden modificar la respuesta fotoquímica y mecánica del sistema, por lo que la evaluación de estos pigmentos en matrices alternativas, como acrílicos, óleos o temple, resulta necesaria para comprender su comportamiento y versatilidad en diversos contextos de aplicación (Mecklenburg et al., 2013).

Finalmente, una caracterización química detallada de los pigmentos mediante técnicas analíticas de alta resolución, como cromatografía líquida de alta eficacia, espectrometría de masas y resonancia magnética nuclear, permitiría identificar los compuestos responsables de la coloración y establecer relaciones directas entre estructura molecular y estabilidad cromática (Dufossé et al., 2014). Esta información

es fundamental para orientar estrategias de mejora basadas en la selección de especies o cepas fúngicas con perfiles cromáticos más estables, así como en el diseño de formulaciones que permitan incrementar la permanencia y el desempeño de los pigmentos fúngicos.

En conjunto, el reconocimiento de estas limitaciones constituye un paso esencial para consolidar el potencial de los pigmentos fúngicos como materiales artísticos viables, asegurando que su ventaja en términos de sostenibilidad no comprometa la permanencia ni la integridad de la obra a largo plazo.

México

10. Conclusiones

Los resultados del presente estudio demuestran que los pigmentos de origen fúngico presentan una estabilidad cromática variable y, en general, inferior a la de pigmentos sintéticos comerciales cuando se someten a condiciones controladas de exposición a luz de xenón. En particular, los pigmentos obtenidos de *Gymnopilus lepidotus* exhibieron una inestabilidad marcada que limita de manera significativa su aplicabilidad en materiales artísticos. En contraste, los pigmentos de *Pycnoporus cinnabarinus*, *Pisolithus tinctorius*, *Calvatia rubrotinta* e *Inonotus rickii* mostraron comportamientos de estabilidad moderados y estadísticamente similares entre sí.

La fotodegradación se identificó como el principal mecanismo responsable del deterioro cromático; no obstante, procesos no fotoquímicos también contribuyeron de forma relevante a la pérdida de color. La variabilidad observada entre especies refleja la heterogeneidad química inherente a los pigmentos fúngicos, derivada de diferencias en las rutas biosintéticas y en las estructuras moleculares de los compuestos cromóforos producidos.

Si bien los pigmentos fúngicos evaluados no alcanzan actualmente los estándares de permanencia exigidos para pigmentos sintéticos de alta calidad, esta limitación no debe interpretarse como una inferioridad en términos de calidad visual. De hecho, los pigmentos naturales suelen ofrecer tonalidades más complejas, profundas y cálidas, asociadas a su diversidad estructural, mientras que los pigmentos sintéticos tienden a presentar una coloración más uniforme y predecible, aunque no necesariamente más rica desde el punto de vista estético. En este sentido, la estabilidad cromática y la calidad visual no constituyen atributos necesariamente equivalentes.

Desde una perspectiva integral, el desarrollo de pigmentos fúngicos continúa siendo promisorio, particularmente por su potencial en sostenibilidad y diversidad cromática. La implementación de estrategias avanzadas de estabilización, junto con una caracterización química detallada y la optimización de los procesos de producción, podría permitir que ciertos pigmentos fúngicos se posicionen como

alternativas viables en nichos específicos del mercado de materiales artísticos, donde la riqueza visual y el origen natural representen un valor añadido.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

ANEXO FOTOGRAFICO

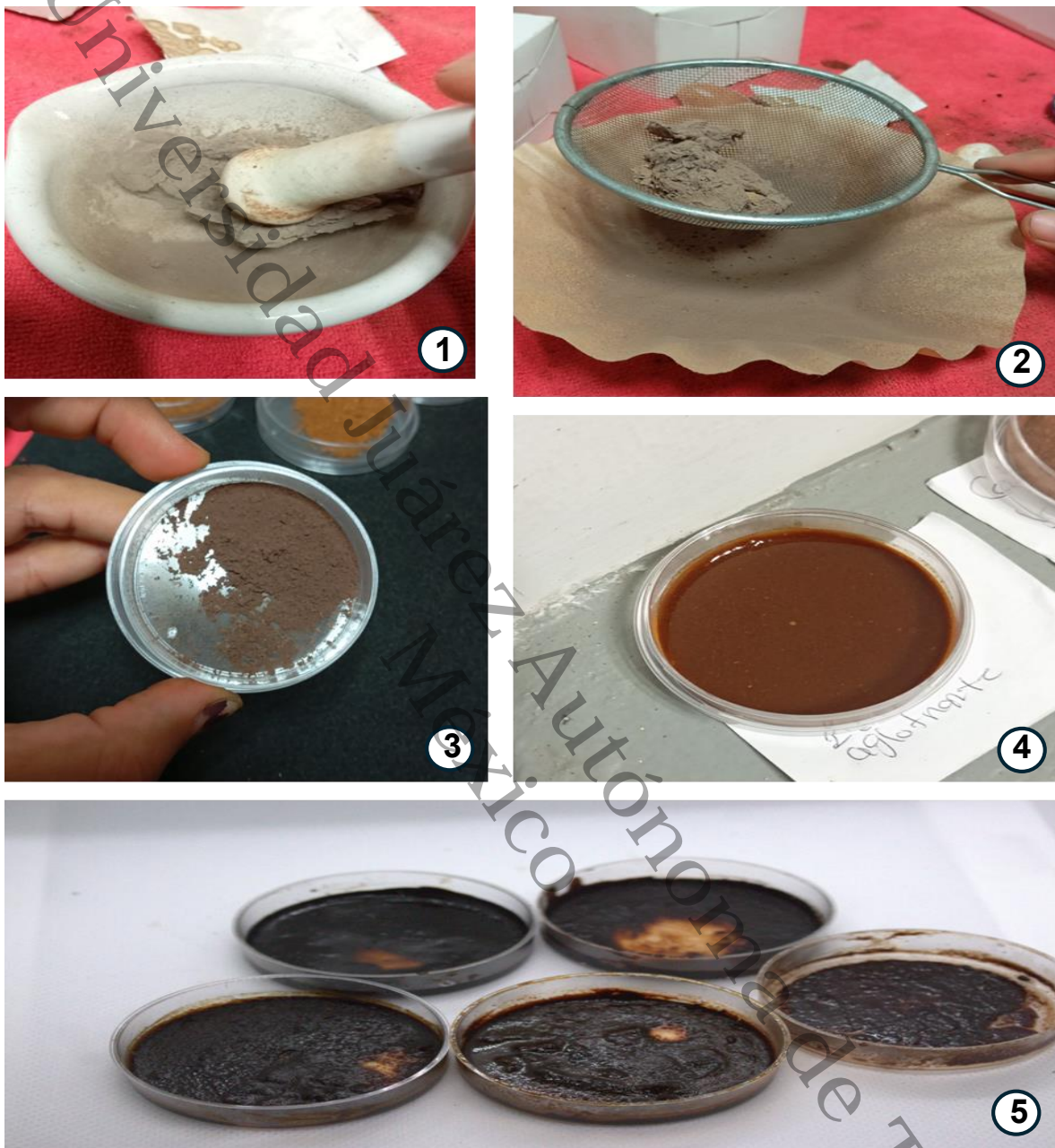


Figura 1. Formulación de la acuarela a partir de pigmentos fúngicos.

Las imágenes muestran las principales etapas del proceso de formulación de la acuarela. El pigmento seco fue molido y tamizado para obtener un polvo fino y homogéneo, el cual se mezcló con el aglutinante añadido de forma gradual hasta alcanzar una consistencia adecuada. Finalmente, la preparación se colocó en recipientes para su reposo, obteniéndose acuarelas listas para su evaluación.

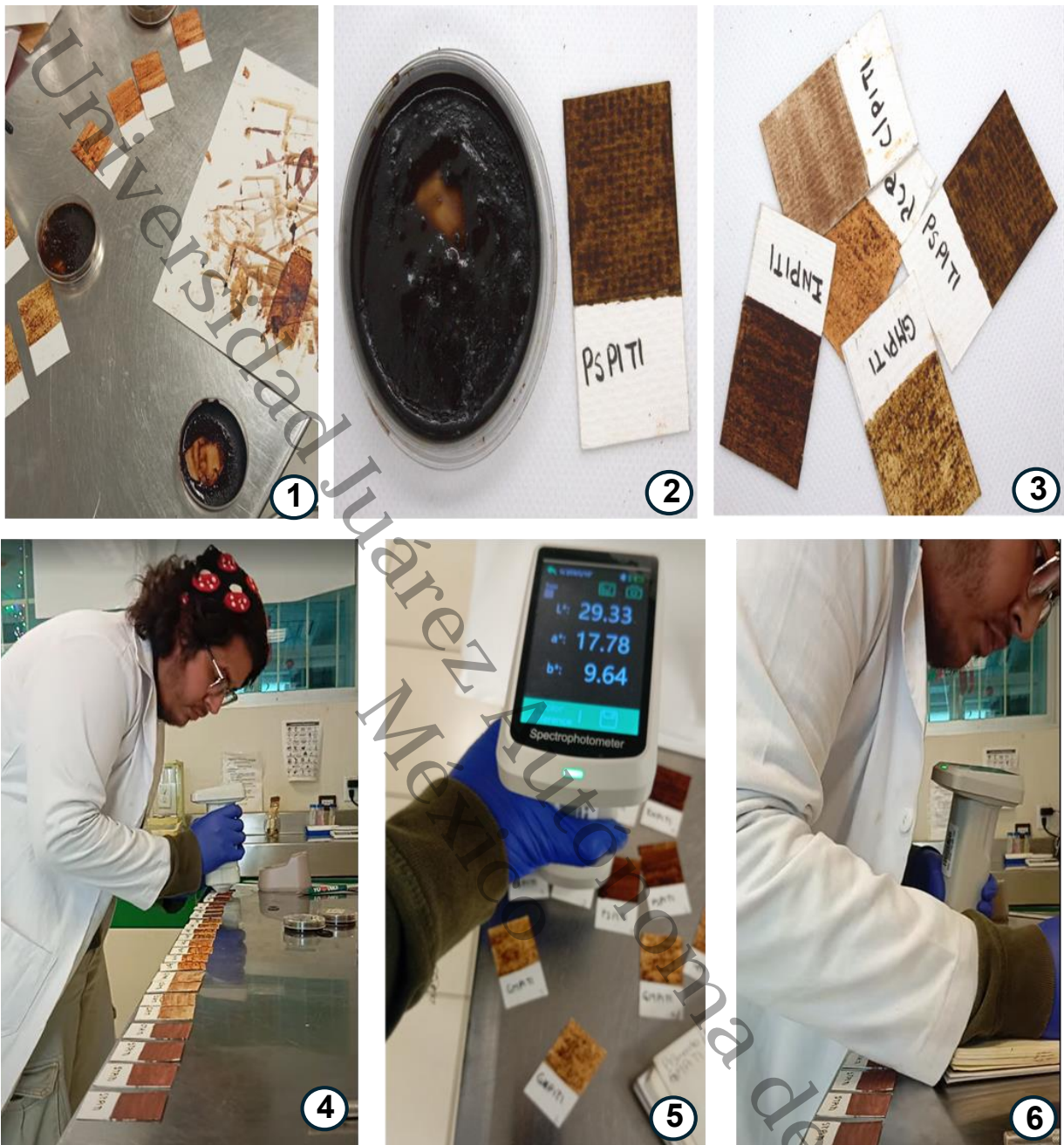


Figura 2. Tinción de las muestras y análisis cromático a tiempo 0.

Las imágenes muestran la aplicación de las acuarelas sobre el sustrato (hojas de acuarela de $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, marca Mecanorma) y el registro inicial del color (tiempo 0 h). Posteriormente, se realizó el análisis colorimétrico mediante un colorímetro, estableciendo los valores iniciales de referencia previos a los ensayos de exposición a la luz.



Figura 3. Exposición a la luz y análisis colorimétrico de las muestras.

Las imágenes muestran la disposición de las muestras durante el ensayo de exposición a la luz, así como la medición colorimétrica realizada mediante espectrofotómetro. El registro de los valores L^* , a^* y b^* permitió evaluar los cambios cromáticos de las acuarelas en función del tiempo de exposición.



Figura 4. Muestras de *Calvatia rubrotinta* en distintos tiempos de exposición.

La imagen muestra las cuatro muestras correspondientes a los tiempos 0, 1, 2 y 3 h de exposición, teñidas con el pigmento obtenido a partir de *Calvatia rubrotinta*. Las muestras se presentan como referencia visual del cambio cromático a lo largo del tiempo.



Figura 5. Muestras de *Gymnopilus lepidotus* en distintos tiempos de exposición.

La imagen muestra las cuatro muestras correspondientes a los tiempos 0, 1, 2 y 3 h de exposición, teñidas con el pigmento obtenido a partir de *Gymnopilus lepidotus*. Las muestras se presentan como referencia visual del cambio cromático a lo largo del tiempo.



Figura 6. Muestras de *Inonotus rickii* en distintos tiempos de exposición.

La imagen muestra las cuatro muestras correspondientes a los tiempos 0, 1, 2 y 3 h de exposición, teñidas con el pigmento obtenido a partir de *Inonotus rickii*. Las muestras se presentan como referencia visual del cambio cromático a lo largo del tiempo.



Figura 7. Muestras de *Pycnopus cinnabarinus* en distintos tiempos de exposición.

La imagen muestra las cuatro muestras correspondientes a los tiempos 0, 1, 2 y 3 h de exposición, teñidas con el pigmento obtenido a partir de *Pycnopus cinnabarinus*. Las muestras se presentan como referencia visual del cambio cromático a lo largo del tiempo.

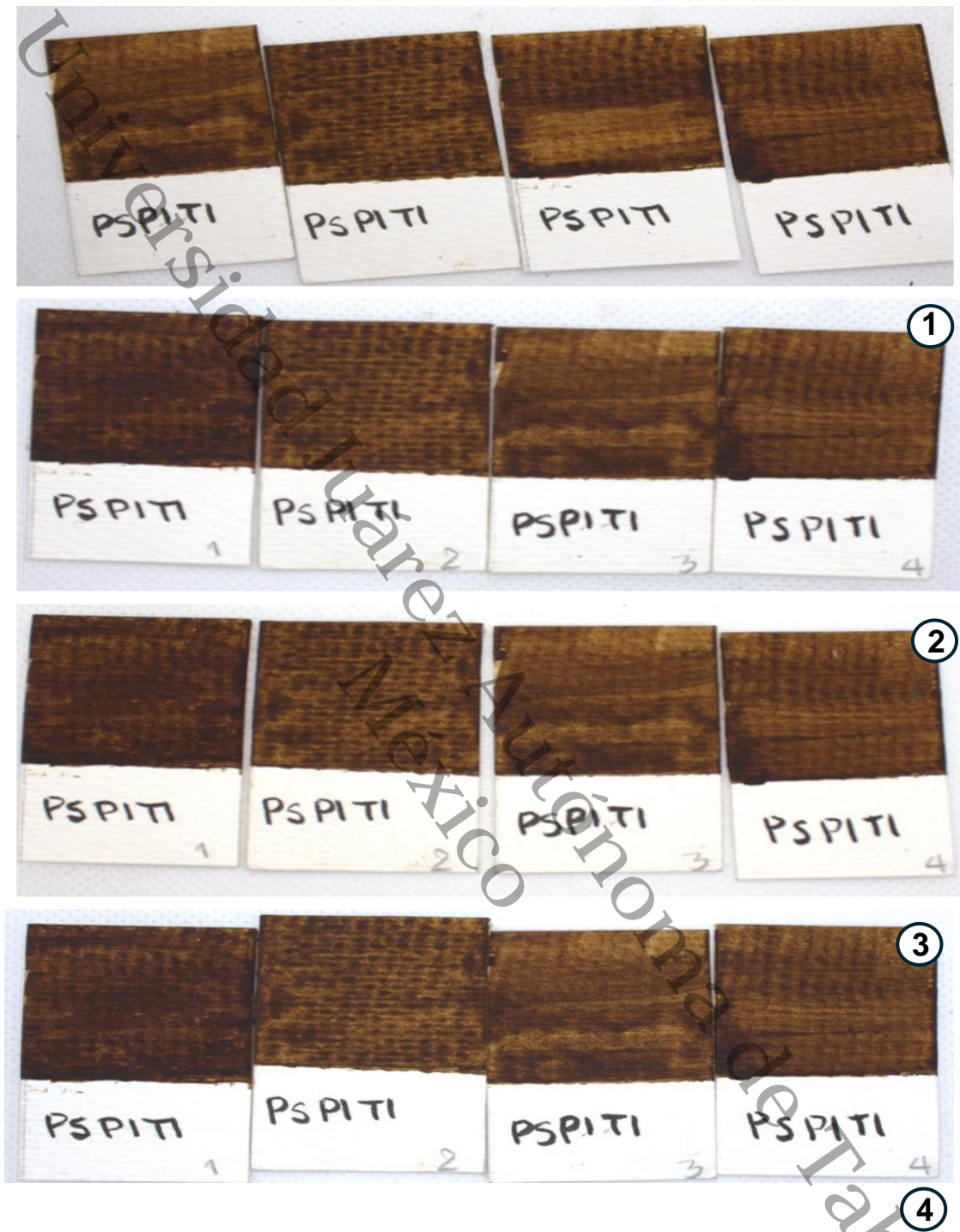


Figura 8. Muestras de *Pisolithus tintorius* en distintos tiempos de exposición.

La imagen muestra las cuatro muestras correspondientes a los tiempos 0, 1, 2 y 3 h de exposición, teñidas con el pigmento obtenido a partir de *Pisolithus tintorius*. Las muestras se presentan como referencia visual del cambio cromático a lo largo del tiempo.



Figura 9. Muestras del pigmento artificial Smarty en distintos tiempos de exposición.

La imagen muestra las cuatro muestras correspondientes a los tiempos 0, 1, 2 y 3 h de exposición, teñidas con el pigmento artificial de referencia (Smarty). Las muestras se presentan como referencia visual del cambio cromático a lo largo del tiempo.

13. Referencias

Afroz T. M., Rahman, M. H., Rahman, M. S., Arif, M., Nazir, K. H. M. N. H., & Dufossé, L. (2023). Fungal Pigments: Carotenoids, Riboflavin, and Polyketides with Diverse Applications. *Journal of Fungi*, 9(4), 454. <https://doi.org/10.3390/jof9040454>.

Anchana, A. (2014). Extraction of Natural Dyes from Fungus-An Alternate for Textile Dyeing. In *Journal of Natural Sciences Research* www.iiste.org ISSN (Vol. 4, Issue 7). Online. www.iiste.org.

Andrade A. C. D. & Prieto G. D. (2021). *Evaluación de la extracción de genipina para la producción de colorante azul a partir del fruto de la genipa americana I.* (Trabajo de grado, Fundación Universidad De América Facultad De Ingenierías Programa De Ingeniería Química Bogota D.C). <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8661>.

Arciniega Y. M.J., Gallegos S. S. J., Jesús Mar M. J. J. & Martínez V. A., (2018). *Extracción de pigmentos naturales por el método de liofilización para la elaboración de acuarelas no tóxicas (Artículo, Universidad Iberoamericana Puebla)* <http://hdl.handle.net/20.500.11777/3855>.

Arroyo F. G., Casimiro R. M. G., Córdova P. N. C., Hernández C. N. J., Yessica G. Leal S. Y. G. & Jacqueline Javier S. J. (2022). Comparación de la normatividad de las pruebas de solidez del color entre la empresa textil y el laboratorio de productos naturales. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 16. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3581>.

ASTM D5098-19. (2012). *Standard test method for determining lightfastness of artists' paints*. ASTM International. <https://www.wewontech.com/testing-standards/190125046.pdf>.

Atenas-Rodríguez I. J. (2014). Biotecnología asociada a la generación de pigmentos microbianos. <https://www.researchgate.net/publication/318307135>

Awadh A. N. A., Mothana R. A., Lesnau A., Pilgrim H. & Lindequist U. (2003). *Antiviral activity of Inonotus hispidus*. *Fitoterapia*, 74(5), 483–485. [https://doi.org/10.1016/s0367-326x\(03\)00119-9](https://doi.org/10.1016/s0367-326x(03)00119-9).

Ayala P. K. B., Pineda I. J. A., Duarte T. A. S., Soto A. C. P., & Pineda S. C. A. (2018). Toxicidad de los colorantes sintéticos: de lo global al Ecuador. *Revista Biorrefinería*, 1(1), 40-48. <http://www.ceba.org.ec/publicaciones/revista-biorrefineria/>.

Berns, R. S., & de la Rie, E. R. (2003). *The Effect of the Refractive Index of a Varnish on the Appearance of Oil Paintings*. *Studies in Conservation*, 48(4), 251–262. <https://doi.org/10.1179/sic.2003.48.4.251>.

Bide, M. (2010). *Medición del color || Medición del color y evaluación de la solidez*. , (), 196–217. doi:10.1533/9780857090195.1.196.

Boa, E. (2005). *Los hongos silvestres comestibles: Perspectiva global de su uso e importancia para la población (Productos forestales no madereros, No. 17)*. <https://www.fao.org/4/y5489s/y5489s00.pdf>.

Caldas L. A., Soares D. M.M., Menolli J.N., Stevani V. C. & Santorelli P. (2021). Metabolomics of the wild mushroom *Gymnopilus imperialis* (Agaricomycetes, Basidiomycota) by UHPLC-HRMS/MS analysis and molecular network. *Fungal Biology*. 126. 10.1016/j.funbio.2021.11.005.

Cappello G. S., Carreño, S. D., García G. M. A., & Xicoténcatl Ma. P. I. (2021). Potencial tintóreo de cinco especies de macromicetes silvestres nativos de Tabasco, México, sobre fibras de origen natural. *Scientia Fungorum*, 52, e1404. <https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1404>.

Cedano Maldonado, M., & Villaseñor Ibarra, L. (2006). *Colorantes orgánicos de hongos y líquenes*. *Scientia-CUCBA*, 8(2), 141–161. https://cucba.udg.mx/sites/default/files/Publicaciones_DPF/articulo/2006_Gallegos_et_al_Scientia_8_2_variacion_uso_suelo.pdf.

Ciesla, W. M. (1998). *Non-wood forest products from conifers* (FAO Forestry Paper No. X0453E). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/4/x0453e/x0453e.pdf>.

Contreras J. B. (2015) Reconocimiento del valor biocultural de la producción artesanal a través del intercambio de saberes el caso de los textiles de lana en Tlaquilpa, Veracruz. (Tesis de maestría, Universidad Veracruzana Centro De Investigaciones Tropicales) https://www.uv.mx/met/files/2013/11/ContrerasJaimésBelinda_Junio2015a.pdf.

Cristea, D., & Vilarem, G. (2005). Improving light fastness of natural dyes on cotton yarn. *Dyes and Pigments*, 70(3), 238–245. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2005.03.006>.

de Oliveira, Z. B., Silva da Costa, D. V., da Silva Dos Santos, A. C., da Silva Júnior, A. Q., de Lima Silva, A., de Santana, R. C. F., Costa, I. C. G., de Sousa Ramos, S. F., Padilla, G., & da Silva, S. K. R. (2024). Synthetic Colors in Food: A Warning for Children's Health. *International journal of environmental research and public health*, 21(6), 682. <https://doi.org/10.3390/ijerph21060682>.

Díaz-Domínguez G, Soriano-Santos J, Peña-Solis K. & Díaz-Godínez G. (2024) Biological Activities and Potential Applications of Lichens,9. <https://medwinpublishers.com/OAJMB/biological-activities-and-potential-applications-of-lichens.pdf>.

Divya, Joshi, S., Appukuttan, J., Chandrapala, J., & Majzoobi, M. (2025). Impact of Conventional and Advanced Techniques on Stability of Natural Food Colourants. *Foods*, 14(18), 3187. <https://doi.org/10.3390/foods14183187>

Dufossé L., Fouillaud M., Caro Y., Mapari S. AS & Sutthiwong N. (2014). Los hongos filamentosos son productores a gran escala de pigmentos y colorantes para la industria alimentaria. *Current Opinion in Biotechnology*, 26(), 56–61. doi:10.1016/j.copbio.2013.09.007.

Dufossé L., Galaup P., Yaron A., Malis A. S., Blanc P., Chidambara M. K. N. & Ravishankar G. A. (2005). Microorganismos y microalgas como fuente de pigmentos para uso alimentario: ¿una rareza científica o una realidad industrial?. , 16(9), 0–406. doi:10.1016/j.tifs.2005.02.006.

Durán, N., Teixeira, M. F., De Conti, R., & Esposito, E. (2002). Ecological-friendly pigments from fungi. *Critical reviews in food science and nutrition*, 42(1), 53–66. <https://doi.org/10.1080/10408690290825457>.

Espinoza R. (22 julio, 2024). Pigmentos Antiguos: secretos de la pintura a través del tiempo. <https://www.ttamayo.com/2024/07/pigmentos-antiguos/>.

Farbe Naturals. (2025, 24 noviembre). Colorante vegetal | Farbe Naturals. Farbe. <https://farbe.com.mx/colorante-vegetal/>.

Fried, R., Oprea, I., Fleck, K., & Rudroff, F. (2022). Biogenic colourants in the textile industry – a promising and sustainable alternative to synthetic dyes. *Green Chemistry*, 24(1), 13–35. <https://doi.org/10.1039/D1GC02968A>

Gill, M. (1994). Pigmentos de hongos (macromicetos). , 11(0), 67–0. doi:10.1039/np9941100067.

Gómez A. W. E., Pineda I. J. A., & Checa, A. (2018). Banco de recursos genéticos para *Pycnoporus* spp. *Revista Biorrefinería*, 1(1), 90-100. <http://www.ceba.org.ec/publicaciones/revista-biorrefineria/>.

Hernández V. A., Galleguillos F., Thibaut R., & Müller, A. (2019). Fungal dyes for textile applications: testing of industrial conditions for wool fabrics dyeing. *The Journal of The Textile Institute*, 110(1), 61–66. <https://doi.org/10.1080/00405000.2018.1460037>.

Hernández H. S. (2021). *Actividad insecticida de extractos de Pycnoporus cinnabarinus sobre Spodoptera frugiperda y Diatraea magnifactella* (Trabajo de maestría, Universidad Autónoma Del Estado De Morelos, Centro De Investigación En Biotecnología). <https://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/2058>.

Hinsch, E. M., & Robinson, S. C. (2018). Comparing Colorfastness to Light of Wood-Staining Fungal Pigments and Commercial Dyes: An Alternative Light Test Method for Color Fastness. *Coatings*, 8(5), 189. <https://doi.org/10.3390/coatings8050189>.

In-Kyoung L., Young-Sook K., Yoon-Woo J., Jin-Young j. & Bong-Sik Y. (2007). New antioxidant polyphenols from the medicinal mushroom *Inonotus obliquus*. 17(24), 6678–6681. doi:10.1016/j.bmcl.2007.10.072.

Jemo D. & Parac-Osterman D. (2017). Identification of Natural Dyes on 18th Century Liturgical Textiles from Dubrovnik. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 25. 113-120. 10.5604/12303666.1227891.

Jung, J. Y., Lee, I. K., Seok, S. J., Lee, H. J., Kim, Y. H., & Yun, B. S. (2008). Antioxidant polyphenols from the mycelial culture of the medicinal fungi *Inonotus xeranticus* and *Phellinus linteus*. *Journal of applied microbiology*, 104(6), 1824–1832. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03737>.

Kaiser R. (2006) Flowers and Fungi Use Scents to Mimic Each Other, 311. DOI: 10.1126/science.1119499.

Kramell, A. E., García-Altare, M. & Pötsch, M. (2019). Mapeo de tintes naturales en textiles arqueológicos mediante espectrometría de masas por imágenes. *Sci Rep* 9, 2331. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38706-4>.

Kirti, K., Amita, S., Priti, S., Kumar, A. M., & Jyoti, S. (2014). Colorful World of Microbes: Carotenoids and Their Applications. *Advances In Biology*, 2014, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2014/837891>.

Kivrak, I., Kivrak, S., & Harmandar, M. (2016). Bioactive Compounds, Chemical Composition, and Medicinal Value of the Giant Puffball, *Calvatia gigantea* (Higher Basidiomycetes), from Turkey. *International journal of medicinal mushrooms*, 18(2), 97–107. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.v18.i2.10>.

Learner T. J., Smithen P., Krueger W. J. y Schilling R. M. (2007). *Pinturas modernas al descubierto: Actas del Simposio sobre Pinturas Modernas al Descubierto*. Los Ángeles: Instituto de Conservación Getty. http://hdl.handle.net/10020/gci_pubs/paints_uncovered.

Lin, L., & Xu, J. (2020). Fungal Pigments and Their Roles Associated with Human Health. *Journal of fungi (Basel, Switzerland)*, 6(4), 280. <https://doi.org/10.3390/jof6040280>.

López-Vázquez, E., & Álvarez-Cervantes, J. (s. f.). Los hongos, una maravillosa sinfonía de colores. *SaberMás*. <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/608-numero-68/1227-los-hongos-una-maravillosa-sinfonia-de-colores.html>.

Mattenet, F. J., Goyheneix, M., & Peri, P. L. (2015). *Tintes naturales de plantas nativas: Colores de la Patagonia*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). <http://hdl.handle.net/11336/186598>.

Martin, F., Laurent, P., de Carvalho, D., Voiblet, C., Balestrini, R., Bonfante, P., & Tagu, D. (1999). Cell wall proteins of the ectomycorrhizal basidiomycete *Pisolithus tinctorius*: identification, function, and expression in symbiosis. *Fungal genetics and biology : FG & B*, 27(2-3), 161–174. <https://doi.org/10.1006/fgbi.1999.1138>.

Mapari S. AS., Thrane U. & Meyer S. A. (2010). ¿ Pigmentos fúngicos de policétido azafilona como futuros colorantes alimentarios naturales?, 28(6), 300–307. doi:10.1016/j.tibtech.2010.03.004.

Mapari, S. A., Thrane, U., & Meyer, A. S. (2010). Fungal polyketide azaphilone pigments as future natural food colorants? *Trends in Biotechnology*, 28(6), 300–307. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2010.03.004>.

Mecklenburg M. F., Charola A. E. & Koestler R. J. (2013). New Insights into the Cleaning of Paintings (Proceedings from the Cleaning 2010 International Conference, Universidad Politécnica de Valencia and Museum Conservation Institute).

Mokrzycki W. & Tato M. (2011). Color difference Delta E - A survey. *Machine Graphics and Vision*. 20. 383-411.

Molina, A. K., Corrêa, R. C. G., Prieto, M. A., Pereira, C., & Barros, L. (2023). Bioactive Natural Pigments' Extraction, Isolation, and Stability in Food Applications. *Molecules*, 28(3), 1200. <https://doi.org/10.3390/molecules28031200>

Mukherjee, G., Mishra, T. & Deshmukh, SK (2017). Pigmentos fúngicos: una descripción general. Smithsonian Institution Scholarly Press. Book. <https://doi.org/10.5479/si.19492359.3.1>.

Negi, A. (2025). Natural Dyes and Pigments: Sustainable Applications and Future Scope. *Sustainable Chemistry*, 6(3), 23. <https://doi.org/10.3390/suschem6030023>.

Olennikov, D. N., & Gornostai, T. G. (2023). New Inonotus Polysaccharides: Characterization and Anticomplementary Activity of Inonotus rheades Mycelium Polymers. *Polymers*, 15(5), 1257. <https://doi.org/10.3390/polym15051257>.

Patakova P. (2013). Metabolitos secundarios de *Monascus*: producción y actividad biológica. , 40(2), 169–181. doi:10.1007/s10295-012-1216-8.

Pfaff, G. The world of inorganic pigments. *ChemTexts* 8, 15 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40828-022-00166-1>

Roque, G. (2012). Pigmentos, tintes y formas. (*Tópicos del Seminario*), (28), 39–62. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-12002012000200004.

Sandmann, G. (2022). Carotenoids and Their Biosynthesis in Fungi. *Molecules*, 27(4), 1431. <https://doi.org/10.3390/molecules27041431>

Sarangarajan R, & Apte S. P. (2006). La polimerización de la melanina: un fenómeno poco comprendido con graves implicaciones biológicas. *Melanoma Research*, 16(1), 3–10. Doi:10.1097/01.cmr.0000195699.35143.df.

Salminen L. (2014). The influence of solar reflective black pigments on the durability of wood coatings. (Tesis de Licenciatura en Ingeniería, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences). <https://www.theseus.fi/handle/10024/76741>

Sen T., Barrow J. C. & Deshmukh K. S. (2019) Microbial Pigments in the Food Industry Challenges and the Way Forward. *Front. Nutr.* 6:7. doi: 10.3389/fnut.2019.00007.

Solano, F. (2014) Melanins Skin Pigments and Much More Types, Structural Models, Biological Functions, and Formation Routes, *New Journal of Science*, 498276, 28 pages, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/498276>.

Sigurdson, G. T., Tang, P., & Giusti, M. M. (2017). Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources. *Annual review of food science and technology*, 8, 261–280. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-025923>.

Sandmann, G. (2022). Carotenoids and Their Biosynthesis in Fungi. *Molecules*, 27(4), 1431. <https://doi.org/10.3390/molecules27041431>.

Schmidt-Dannert C. (2000). Engineering novel carotenoids in microorganisms. *Current opinion in biotechnology*, 11(3), 255–261. [https://doi.org/10.1016/s0958-1669\(00\)00093-8](https://doi.org/10.1016/s0958-1669(00)00093-8)

Schoenemann A. & Edwards H. (2011). Raman and FTIR microspectroscopic study of the alteration of Chinese tung oil and related drying oils during ageing. *Analytical and bioanalytical chemistry*. DOI: 10.1007/s00216-011-4855-0.

Slama, H. B., Chenari Bouket, A., Pourhassan, Z., Alenezi, F. N., Silini, A., Cherif-Silini, H., Oszako, T., Luptakova, L., Golińska, P., & Belbahri, L. (2021). Diversity of

Synthetic Dyes from Textile Industries, Discharge Impacts and Treatment Methods. *Applied Sciences*, 11(14), 6255. <https://doi.org/10.3390/app11146255>

Teixeira MC, Carbone C. & Souto EB. (2017). Más allá de los liposomas: Avances recientes en nanoestructuras lipídicas para la administración de fármacos poco solubles/poco permeables. *Avances en la investigación de lípidos*, (), S0163782717300401–. doi:10.1016/j.plipres.2017.07.001.

Veláek, J. & Cejpek, K. (2011). Pigmentos de hongos superiores: una revisión. *Revista Checa de Ciencias de la Alimentación*, 29 (n.º 2), 87–102. doi:10.17221/524/2010-cjfs.

Venil, C. K., Velmurugan, P., Dufossé, L., Renuka Devi, P., & Veera Ravi, A. (2020). Fungal Pigments: Potential Coloring Compounds for Wide Ranging Applications in Textile Dyeing. *Journal of Fungi*, 6(2), 68. <https://doi.org/10.3390/jof6020068>.

Velisek J. & Cejpek K. (2011). Pigments of Higher Fungi: A Review. *Czech Journal of Food Sciences*. 29. 87-102.

Wanping C., Runfa C., Qingpei L., Yi H., Kun He X. D., Lijing K., Xiaoxiao G., Nana X., Youxiang Z., Yuanyuan L., Russell J. C., Istvan M., Mu L., Yanchun S. & Fusheng C. (2017). Orange, Red, Yellow: Biosynthesis of Azaphilone Pigments in *Monascus Fungi*. *Chem. Sci.*, (), 10. 1039.C7SC00475C–. doi:10.1039/C7SC00475C.

Weber WS. R., Anke. & Davoli P. (2007). Método simple para la extracción y análisis cromatográfico líquido de alta resolución en fase reversa de pigmentos carotenoides de levaduras rojas (Basidiomycota, hongos). , 1145(1-2), 118–122. doi: 10.1016/j.chroma.2007.01.052.

Whitmore P. M., Pan X. & Bailie C. (1999). Predicción de la decoloración de objetos: Identificación de colorantes fugitivos mediante mediciones directas no destructivas de la fotorresistencia. *Revista del Instituto Americano para la Conservación*, 38(3), 395–409. doi:10.1179/019713699806113420.

Yusuf M., Shabbir M. & Mohammad F. Colorantes naturales: perspectivas históricas, de procesamiento y sostenibles. *Nat. Prod. Bioprospect.* 7 , 123–145 (2017). <https://doi.org/10.1007/s13659-017-0119-9>

Zumbühl, S. (2014). Parametrization of the solvent action on modern artists' paint systems. *Studies in Conservation*, 59(1), 24–37. <https://doi.org/10.1179/2047058413Y.0000000099>.

Zhong-Yu Z. & Ji-Kai L. (2010). Pigments of Fungi (Macromycetes). *Natural product reports*. 27. 1531-70. 10.1039/c004593d.

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional	
Título de Tesis:	Evaluación de la estabilidad cromática de pigmentos para acuarela extraídos de hongos.
Autor de la Tesis:	Nelson Gil Rodríguez
ORCID:	0009-0007-5196-7309
Resumen de la Tesis:	Esta investigación evaluó la estabilidad cromática de pigmentos obtenidos de distintas especies de hongos con potencial para su uso en acuarelas, comparándolos con un pigmento sintético. Se analizaron los cambios de color bajo diferentes condiciones de exposición lumínica mediante mediciones colorimétricas y espectrofotométricas. Los resultados mostraron que, aunque los pigmentos fúngicos presentaron menor estabilidad cromática que el sintético, conservaron características químicas relativamente estables y una amplia riqueza tonal, lo que respalda su viabilidad como alternativa sostenible en aplicaciones artísticas.
Palabras claves de la Tesis:	Pigmentos fúngicos; estabilidad cromática; colorimetría; espectrofotometría; acuarelas; luz solar; luz de xenón; ΔE^*ab ; pigmentos naturales; sostenibilidad.
Referencias citadas:	<p>Anchana, A. (2014). Extraction of Natural Dyes from Fungus-An Alternate for Textile Dyeing. In Journal of Natural Sciences Research www.iiste.org ISSN (Vol. 4, Issue 7). Online. www.iiste.org.</p> <p>Andrade A. C. D. & Prieto G. D. (2021). <i>Evaluación de la extracción de genipina para la producción de colorante azul a partir del fruto de la genipa americana I.</i> (Trabajo de grado, Fundación Universidad De América Facultad De Ingenierías Programa De Ingeniería Química Bogota D.C). https://hdl.handle.net/20.500.11839/8661.</p> <p>Arciniega Y. M.J., Gallegos S. S. J., Jesús Mar M. J. J. & Martínez V. A., (2018). <i>Extracción de pigmentos naturales por el método de liofilización para la elaboración de acuarelas no tóxicas (Artículo, Universidad Iberoamericana Puebla)</i> http://hdl.handle.net/20.500.11777/3855.</p> <p>Arroyo F. G., Casimiro R. M. G., Córdova P. N. C., Hernández C. N. J., Yessica G. Leal S. Y. G. & Jacqueline Javier S. J. (2022). Comparación de la normatividad de las pruebas de solidez del color entre</p>

la empresa textil y el laboratorio de productos naturales. JÓVENES EN LA CIENCIA, 16.

<https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3581>.

ASTM D5098-19. (2012). *Standard test method for determining lightfastness of artists' paints*. ASTM International. <https://www.wewontech.com/testing-standards/190125046.pdf>.

Atenas-Rodríguez I. J. (2014). Biotecnología asociada a la generación de pigmentos microbianos.

<https://www.researchgate.net/publication/318307135>

Awadh A. N. A., Mothana R. A., Lesnau A., Pilgrim H. & Lindequist U. (2003). *Antiviral activity of Inonotus hispidus*. *Fitoterapia*, 74(5), 483–485.

[https://doi.org/10.1016/s0367-326x\(03\)00119-9](https://doi.org/10.1016/s0367-326x(03)00119-9).

Ayala P. K. B., Pineda I. J. A., Duarte T. A. S., Soto A. C. P., & Pineda S. C. A. (2018). Toxicidad de los colorantes sintéticos: de lo global al Ecuador. *Revista Biorrefinería*, 1(1), 40-48.

<http://www.ceba.org.ec/publicaciones/revista-biorrefineria/>.

Berns, R. S., & de la Rie, E. R. (2003). *The Effect of the Refractive Index of a Varnish on the Appearance of Oil Paintings*. *Studies in Conservation*, 48(4), 251–262.

<https://doi.org/10.1179/sic.2003.48.4.251>.

Bide, M. (2010). *Medición del color || Medición del color y evaluación de la solidez*. , (), 196–217.

doi:10.1533/9780857090195.1.196.

Boa, E. (2005). *Los hongos silvestres comestibles: Perspectiva global de su uso e importancia para la población (Productos forestales no madereros, No. 17)*. <https://www.fao.org/4/y5489s/y5489s00.pdf>.

Caldas L. A., Soares D. M.M., Menolli J.N., Stevani V. C. & Santorelli P. (2021). Metabolomics of the wild mushroom *Gymnopilus imperialis* (Agaricomycetes, Basidiomycota) by UHPLC-HRMS/MS analysis and molecular network. *Fungal Biology*. 126. 10.1016/j.funbio.2021.11.005.

Cappello G. S., Carreño, S. D., García G. M. A., & Xicoténcatl Ma. P. I. (2021). Potencial tintóreo de cinco especies de macromicetes silvestres nativos de Tabasco, México, sobre fibras de origen

natural. *Scientia Fungorum*, 52, e1404.
<https://doi.org/10.33885/sf.2021.52.1404>.

Cedano Maldonado, M., & Villaseñor Ibarra, L. (2006). *Colorantes orgánicos de hongos y líquenes*. *Scientia-CUCBA*, 8(2), 141–161.
https://cucba.udg.mx/sites/default/files/Publicaciones_DPF/articulo/2006_Gallegos_et_al_Scientia_8_2_variacion_uso_suelo.pdf.

Ciesla, W. M. (1998). Non-wood forest products from conifers (FAO Forestry Paper No. X0453E). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://www.fao.org/4/x0453e/x0453e.pdf>.

Contreras J. B. (2015) Reconocimiento del valor biocultural de la producción artesanal a través del intercambio de saberes el caso de los textiles de lana en Tlaquilpa, Veracruz. (Tesis de maestría, Universidad Veracruzana Centro De Investigaciones Tropicales)
https://www.uv.mx/met/files/2013/11/ContrerasJaimesBelinda_Junio2015a.pdf.

Cristea, D., & Vilarem, G. (2005). Improving light fastness of natural dyes on cotton yarn. *Dyes and Pigments*, 70(3), 238–245.
<https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2005.03.006>.

de Oliveira, Z. B., Silva da Costa, D. V., da Silva Dos Santos, A. C., da Silva Júnior, A. Q., de Lima Silva, A., de Santana, R. C. F., Costa, I. C. G., de Sousa Ramos, S. F., Padilla, G., & da Silva, S. K. R. (2024). Synthetic Colors in Food: A Warning for Children's Health. *International journal of environmental research and public health*, 21(6), 682.
<https://doi.org/10.3390/ijerph21060682>.

Díaz-Domínguez G, Soriano-Santos J, Peña-Solis K. & Díaz-Godínez G. (2024) Biological Activities and Potential Applications of Lichens,9.
<https://medwinpublishers.com/OAJMB/biological-activities-and-potential-applications-of-lichens.pdf>.

Divya, Joshi, S., Appukuttan, J., Chandrapala, J., & Majzoobi, M. (2025). Impact of Conventional and Advanced Techniques on Stability of Natural Food Colourants. *Foods*, 14(18), 3187.
<https://doi.org/10.3390/foods14183187>

Dufossé L., Fouillaud M., Caro Y., Mapari S. AS & Sutthiwong N. (2014). Los hongos filamentosos son

productores a gran escala de pigmentos y colorantes para la industria alimentaria. *Current Opinion in Biotechnology*, 26(), 56–61.
doi:10.1016/j.copbio.2013.09.007.

Dufossé L., Galaup P., Yarón A., Malis A. S., Blanc P., Chidambara M. K. N. & Ravishankar G. A. (2005). Microorganismos y microalgas como fuente de pigmentos para uso alimentario: ¿una rareza científica o una realidad industrial?. , 16(9), 0–406.
doi:10.1016/j.tifs.2005.02.006.

Durán, N., Teixeira, M. F., De Conti, R., & Esposito, E. (2002). Ecological-friendly pigments from fungi. *Critical reviews in food science and nutrition*, 42(1), 53–66.
<https://doi.org/10.1080/10408690290825457>.

Espinoza R. (22 julio, 2024). Pigmentos Antiguos: secretos de la pintura a través del tiempo.
<https://www.ttamayo.com/2024/07/pigmentos-antiguos/>.

Farbe Naturals. (2025, 24 noviembre). Colorante vegetal | Farbe Naturals. Farbe.