

Revisión

Micología como herramienta aplicada en la ciencia forense. Mycology as an applied tool in forensic science

Matías Navarrete M^a, Arlette Jiménez M^a, Luis Zaror C^{a*}

^a Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud, Carrera de Tecnología Médica, Universidad Mayor, Temuco-Chile.

*Autor de correspondencia: Dr. TM. Luis Zaror C, Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud, Carrera de Tecnología Médica, Universidad Mayor sede Temuco, Avda. Alemania 0281, Temuco, Chile. Dirección de email: lzaror@yahoo.es

Los autores no tienen conflicto de intereses.

DOI: 10.22370/bolmicol.2025.40.1.4936

Resumen.

Las ciencias forenses se aplican en casos que requieren de una investigación minuciosa, para demostrar la veracidad del hecho ocurrido en un acto presuntamente delictivo. Éstas, utilizan el conocimiento empírico para analizar y evaluar los sucesos ocurridos en un evento criminal, accidental o suicida. La testificación es un proceso clave en dichas investigaciones y es realizada por peritos, que deben defender sus análisis científico-pericial ante los hechos y elementos examinados en el ámbito jurídico, en la sede penal, para establecer una sentencia justa. La micología, a través de estudios experimentales y reportes de casos en medicina legal, puede cooperar en el ámbito forense al determinar el intervalo post mortem, eventos de micetismo y de micotoxicosis. Sin embargo, no está validada para su aplicación en medicina

legal. Ello, conduce a omitir información, principalmente en entierros clandestinos. Los hongos pueden proporcionar información crítica cuando otras disciplinas forenses no son aplicables en casos reportados para estimar el intervalo postmortem. Hoy, se busca sistematizar la identificación de los hongos y sus esporas a través del análisis tafonómico forense, y aprovechar, a los profesionales de la biomedicina, para la interpretación micológica. Además, es útil para determinar la causa de muerte en micetismos y micotoxicosis que, ocasionalmente, se atribuyen erróneamente a causas naturales u otros factores, que pueden causar la impunidad de los responsables. El objetivo de la revisión fue, mostrar la utilidad de la micología forense en la investigación pericial, su impacto en medicina legal e

identificar las limitaciones que impiden su utilización en la práctica.

Palabras claves: Intervalo post-mortem, micetismo, medicina legal, tafonomía forense, código de barras.

Abstract.

Forensic sciences is applied in cases requiring a thorough investigation to demonstrate the veracity of the events that occurred in an alleged criminal act. These sciences use empirical knowledge to analyze and evaluate the events that occur in a criminal, accidental, or suicidal incidents. Testimony is a key process in such investigations and is carried out by expert witnesses, who must defend their scientific and forensic analyses before the facts and elements examined in the legal field, specifically in criminal court, to establish a fair sentence. Mycology, through experimental studies and case reports in legal medicine, can contribute to the forensic field by determining the postmortem interval (PMI), mycetism, and mycotoxicosis events. However, it has not been validated for application in legal medicine. This limitation leads to the omission of crucial information, particularly in cases involving clandestine burials. Fungi can provide critical information when other forensic disciplines are not applicable in reported cases where PMI estimation is required. Currently, efforts are being made to systematize the identification of fungi and their spores through forensic taphonomic analysis and to integrate biomedical professionals for mycological interpretation. Furthermore, forensic mycology is useful in determining the

cause of death in cases of mycetism and mycotoxicosis, which are occasionally misattributed to natural causes or other factors, potentially leading to the impunity of those responsible. The objective of the review was to demonstrate the usefulness of forensic mycology in expert investigation, its impact on legal medicine, and to identify the limitations that prevent its application in practice.

Keywords: Post-mortem interval, micetism, legal medicine, forensic taphonomy, barcode.

1. Introducción.

Los cadáveres humanos son degradados gradualmente por zoosaprófagos y carnívoros, en especial los cuerpos frescos, desatendidos. De aquí nace la entomología forense, que proporciona información práctica para la identificación de especies insectívoras y las etapas de su ciclo biológico, y que permite estimar el intervalo post mortem (PMI). Sin embargo, en cadáveres humanos, gravemente descompuestos, el método anterior no está disponibles para esa evaluación (1).

En investigaciones o autopsias, patólogos forenses han encontrado colonias de hongos en diferentes etapas de su desarrollo, en cadáveres descompuestos. Sin embargo, no se ha sistematizado la identificación de estos microorganismos, ni su aplicación práctica como herramienta utilizable en ciencia forense y medicina legal. Los hongos por sí solos, no son utilizados como herramienta forense por falta de evidencia científica. La detección e identificación de

especies de hongos que se encuentran en cadáveres humanos permitiría su uso para estimar el PMI (2). Al igual que otros palinomorfos, las esporas de hongos y otros restos pueden ser recogidos por cualquier objeto que entre en contacto directo con ellos y están sujetos a consideraciones tafonómicas similares (3). Los hongos pueden adherirse y crecer en una variedad de superficies y tornarse la fuente de la evidencia micológica, como piedra, ladrillos, tejas, adoquines, madera, cuero, plástico, caucho y textiles (4). Las esporas fúngicas, pueden proporcionar indicios en situaciones en que otros palinomorfos son escasos o están ausentes, ya que a menudo son indicadores secundarios de especies de plantas, siendo de utilidad para la caracterización taxonómica, posibilitando la determinación de especie (5).

En cuanto a las fuentes del rastro de evidencias en las investigaciones criminales, las principales son suelos, sedimentos, vegetación y sus desechos. Los hongos que crecen frecuentemente sobre y dentro de los cadáveres, son aquellos que normalmente no pueden colonizar el tejido vivo. Sorprendentemente, hay escasa información del rol de la comunidad fúngica saprobia, sobre la descomposición de cadáveres humanos (6). Sin embargo, se ha mencionado con frecuencia que en restos enterrados directamente en el suelo muestran signos de descomposición húmeda, con deslizamiento de la piel y desarrollo de colonias de hongos (7,8). Estos organismos que han demostrado ser de mayor interés para estimar el PMI, no son hongos especializados de importancia

médica, ni están restringidos a tejidos humanos muertos, sino que son descomponedores que pueden colonizar directamente las superficies de cadáveres. Patólogos forenses han observado eventualmente estos microorganismos en la superficie de cadáveres humanos (9).

Un texto referente clave, para patólogos, informa crecimiento extenso en un cadáver de un niño después de seis semanas. Otra publicación, refiere el desarrollo de hongos, al realizar la autopsia de un cadáver embalsamado (10). Las colonias de hongos que se desarrollen en cadáveres humanos o que sean asociados con ellos, pueden dar indicaciones del tiempo transcurrido desde la muerte, ya que existe información sobre las tasas de crecimientos de estos. La confiabilidad de cualquier estimación dependerá de la precisión de la identificación del hongo, métodos de almacenamiento del cuerpo y la disponibilidad de datos sobre temperatura y humedad en el sitio del suceso (11).

Aún, cuando se ha demostrado que la micología forense proporciona pruebas útiles en un espectro amplio para las investigaciones periciales y el esclarecimiento de los hechos, para la obtención de condenas, en la práctica, rara vez se emplea. La falta de conciencia por parte de los investigadores acerca de la escena del crimen subestima el potencial de los hongos, los cuales pueden contribuir con información significativa para el seguimiento de hechos delictuales o la resolución pericial del caso en medicina legal. Por otro lado, no hay profesionales, calificados, para la detección e identificación de hongos en el contexto

forense. Esta revisión, expone las aplicaciones de la micología en el contexto forense, su falta de sistematización, el desconocimiento judicial sobre el tema e identifica las limitaciones que impiden utilizarla en la práctica.

Health y en capítulos específicos de literatura en medicina legal y ciencias forenses. Se utilizó el software Mendeley para el almacenamiento y enlazamiento de citas. El siguiente esquema visualiza el proceso para la selección del material bibliográfico.

2. Materiales y Métodos.

La revisión bibliográfica se desarrolló, usando bibliografía obtenida en los motores de búsqueda: PubMed, ScienceDirect, National Institutes of

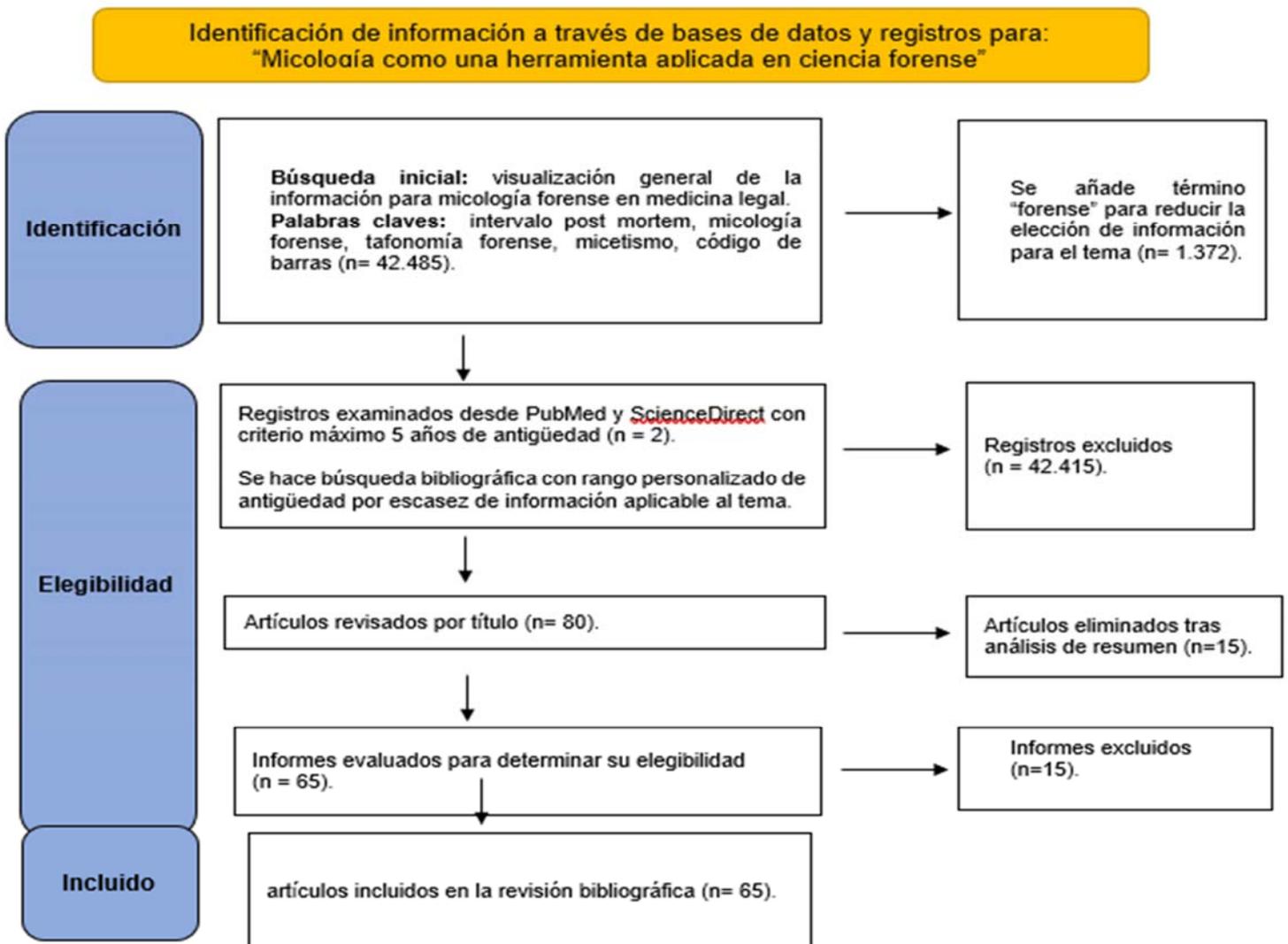


Figura 1. Flujograma de la búsqueda de material bibliográfico, sobre Micología forense

Resultados y discusión.

Hongos forenses: Claves ocultas en la descomposición cadavérica, geolocalización y toxicidad en investigaciones criminales.

El papel de los hongos microscópicos y macroscópicos en medicina forense se limitaba inicialmente al diagnóstico micológico en casos judiciales de diferentes escalas, desde opiniones de expertos sobre la presencia de moho en edificios recién construidos, hasta intentos de identificar un patógeno tóxico que cause la muerte en humanos y animales. En casos de asesinato es común encontrar el cadáver en un entierro clandestino o un lugar abandonado, experimentando descomposición cadavérica. La estimación del PMI es especialmente útil en casos, donde no hay testigos, siendo crucial para el proceso de investigación (12).

Cuando los investigadores forenses especializados necesitan resolver un crimen, emplean variedades de técnicas para estudiar los cambios del cadáver, y el suelo donde ocurre la descomposición cadavérica. Estas técnicas provienen de disciplinas como entomología, genética, botánica, microbiología del suelo, arqueología, palinología, tafonomía, geología y micología (13). El principal objetivo de la tafonomía forense es estudiar las condiciones ambientales que influyen en la descomposición cadavérica, con el fin de estimar PMI, determinar la causa y forma de muerte. Esta disciplina, ha propuesto el uso de la micología como

una herramienta forense adicional (14). Los hongos, generalmente están escasamente representados en las preparaciones palinológicas, por lo que el hallazgo de esporas raras aumenta el valor de este tipo de evidencia (15). Ishii et.al, identificaron *Aspergillus chevalieri* y *Gliocladium sp*, en la superficie de un cadáver momificado, encontrado en una casa abandonada, y en restos óseos descubiertos en un bosque. Los datos micológicos obtenidos concordaron con resultados de las autopsias correspondientes, respaldando la afirmación de los autores, de que los hongos “pueden revelar hábitats locales” (1,2,16).

El entierro de cadáveres humanos en entornos naturales o semi naturales ocurre principalmente, como un intento de ocultar las pruebas criminales. En consecuencia, la capacidad para localizar tumbas clandestinas es una de las tareas más importantes en el proceso de investigación (12). Carter y Tibbett fueron los primeros en intentar simular la contribución de compuestos nitrogenados que un cadáver humano en descomposición aporta a los suelos forestales. Estos autores distinguieron dos grupos fúngicos heterogéneos durante la sucesión; hongos de nitrógeno, que aparecen en una sucesión temprana y esporulan de uno a diez meses después de la incorporación de compuestos nitrogenados al suelo, por ejemplo, anamorfos, ascomicetos, basidiomicetos saprotróficos y, hongos post putrefacción, que esporulan de uno a cuatro años después del suministro de nitrógeno, como basidiomicetos ectomicorrízicos (7,13).

Sagara, Carter y Tibbett, destacaron el potencial del reino fungí como herramienta de geolocalización (7,17,18).

Los hongos como agentes de envenenamiento, alucinaciones y causas de muerte, debido al consumo accidental o deliberado son bien conocidos, principalmente la intoxicación que ocurre debido a la identificación errónea de las especies. Los géneros con setas más tóxicas son *Amanita Dill Boehm*, *Gyromitra Fr*, *Conocybe Fayod*, *Inocybe (Fr)* y *Cortinarius (Pers) Gray*. Estos producen amanitina, giromitrina, muscarina y orellanina, respectivamente, que pueden ser mortales en pequeñas cantidades. El número de especies venenosas es limitado, pero un gran número puede causar trastornos gástricos. En los casos de envenenamientos, donde no se dispone de especímenes intactos para examinar, se pueden utilizar esporas u otros restos microscópicos del sistema gastro-intestinal para la detección e identificación de la especie, o aplicaciones de biología molecular y proteómica lo cual es esencial para el diagnóstico y tratamiento correcto (19). El uso de hongos alucinógenos y neurotrópicos tiene sus raíces en tiempos antiguos, en el viejo mundo como en el nuevo mundo. Los países han firmado la Convención de las Naciones Unidas de 1971, respecto al uso de sustancias psicotrópicas derivadas de hongos, que está controlada por legislación. Por ejemplo, el uso y posesión de hongos que producen psilocibina y psilocina son ilegales. Se conocen al menos 216 especies de hongos que producen sustancias neurotrópicas, pero las más populares son *Psilocybe* y

Amanita, donde sus concentraciones de psilocibina y amanitina puede variar ampliamente dentro de una misma especie, como resultados de factores biológicos y ecológicos (19). En escenas del crimen es común encontrar especies de hongos que no son nativas de la región, debido a su exportación y tráfico. Los compuestos de *psilocina* y *psilocibina* pueden ser detectados mediante métodos de cromatografía en capa fina, cromatografía de gases, cromatografía de gases líquidos y cromatografía de líquidos de alto rendimiento (HPLC) y espectroscopía de masas. Los métodos químicos son especialmente valiosos para la detectar la presencia de hongos alucinógenos en preparaciones en polvo o cápsulas. El uso irresponsable de las especies mencionadas no suele ser fatal, pero puede conducir a la muerte, como consecuencia del comportamiento bajo la influencia de drogas que contienen extractos de hongos o la mezcla con otras sustancias (19,20,21).

La tafonomía forense.

Es el estudio de los procesos post-mortem que afectan la preservación y recuperación de organismos muertos, lo que permite determinar las circunstancias, y así poder reconstruir la biología y ecología, frecuentemente con ayuda de otras aplicaciones de diferentes disciplinas de las ciencias naturales y físicas, logrando comprender mejor el momento de la muerte, en su eventual descubrimiento (22). Sin embargo, uno de los problemas a los que se enfrenta la antropología forense y su subdisciplina, la tafonomía forense, es la insuficiencia de modelos

experimentales sobre descomposición humana, por lo cual, investigadores proponen un modelo de estudio, realizado concretamente con exhumaciones de restos humanos, que no fueron reclamados en el cementerio de Terrassa, España (23). La utilización de los restos humanos como un modelo de estudio tafonómico en un contexto forense permiten: A) análisis de compatibilidad entre el escenario – restos, B) discriminar qué alteraciones son imputables a los hechos antrópicos previos y posteriores a la muerte, y cuales se pueden relacionar con factores derivados de sistemas biológicos, físicos, químicos y geológicos propios del lugar, y C) reconstruir la historia y evolución de cadáveres en un contexto determinado (23). Los primeros intentos de documentar e informar sobre los cambios de descomposición se limitaron a observaciones cualitativas en tejidos blandos, las cuales resultaron ser subjetivas e influenciadas por la variabilidad del observador. Esto se evidenció cuando diferentes personas describieron los signos visuales de putrefacción de manera distinta (24). En consecuencia, surge la necesidad de estandarizar tanto los datos como procedimientos para minimizar la variabilidad entre observadores. En particular, se destaca la importancia del estándar Dauberten en derecho procesal, que establece un criterio jurídico de prueba para la aceptación, formación o educación, siempre que se cumplan los requisitos para evaluar la admisibilidad científica en los juicios. Estos principios fundamentales, son claves para cualquier método de estimación de PMI y deben ser aplicados

en la actualidad para fomentar el uso de la micología forense como herramienta adicional. Entre estos principios destacan: relevancia, fiabilidad, uso de método científico aceptado, revisión y publicación, tasa de error, generalidad, control de la experiencia del operador (25,26).

El uso de cerdos como análogos para humanos en la investigación tafonómica.

No es factible tener el conocimiento completo sobre todos los organismos de vida existentes. Por consiguiente, es necesario seleccionar un organismo adecuado para profundizar los estudios. Este proceso da lugar a un cuerpo de conocimientos en un “sistema modelo”, que permite diseñar estudios adecuados para investigar y resolver preguntas relevantes sobre la biología de otros sistemas no modelos (27). En cuanto a estos estilos de sistemas, suelen ser fáciles de desarrollar, observar y manipular experimentalmente. Este proceso permite que el conocimiento se construya rápida y eficientemente, ya que los factores de confusión son conocidos y se pueden controlar en experimentos futuros (27).

A fines de la década de 1980, el cerdo doméstico estaba siendo recomendado como un análogo para humanos en talleres de investigación y capacitación de entomología y tafonomía forense (28). A partir de la década de 1990, se propusieron estudios de campo y modelos estadísticos para probar diferentes aspectos de la afirmación del cerdo doméstico, como análogo en la tafonomía y entomología forense (29,30).

Algunos de los efectos tafonómicos observados en los cadáveres son producidos por hongos. Sin embargo, hay escasa información sobre micología forense centrada en entierros o relacionadas con otras situaciones post-mortem (31,32). Los estudios micológicos más habituales en Ciencias Forenses están relacionados con intoxicaciones por hongos venenosos o alucinógenos. La evolución de los procesos metodológicos/instrumentales en el muestreo y la aplicación en los laboratorios han aumentado la utilidad de la micología forense. Esto, permite la obtención de información micológica pertinente, que es extraída de diferentes contextos. Por esto, es posible conocer la causa de muerte, estimar el PMI y localizar un lugar de entierro o incluso el lugar donde tuvo lugar un asesinato mediante el estudio de esporas fúngicas encontradas en el cadáver (32).

Micología forense: Métodos de muestreo óptimo para la identificación de hongos en cuerpos descompuestos.

Los hongos presentes en los cuerpos sin vida permiten entender mejor el proceso de la descomposición. Sin embargo, no existen trabajos que estudien la presencia de estos organismos en los cuerpos descompuestos, probablemente porque se desconocen los métodos de muestreo efectivos. A través de un experimento, realizado por Malgosa. et al, se muestran los métodos de muestreo óptimo, probando su eficiencia en la identificación de las colonias de hongos presentes en las pieles de cerdos (*Sus scrofa domesticus*) enterrados en

diferentes tipos de fosas, de manera experimental (33).

Existen varios métodos para obtener muestras micológicas de restos antiguos; pinzas, tiras de cinta adhesiva, torulas estériles, espátulas o placas de contacto por medios de agar (34,35,36). Para evitar dañar en los restos cadavéricos, las torulas estériles es el método de muestreo más utilizado. Sin embargo, las placas de contacto (RODAC) son un medio no destructivo, que se ha utilizado para muestrear datos delicados, como momificaciones (33,36). El estudio experimental seleccionó trece entierros de *Sus scrofa domesticus*, en donde a cuatro de ellos se le agrega óxido de calcio en su fosa de entierro. Se recolectaron muestras de huesos o tejidos, según el estado cadavérico de los canales de cerdos, los cuales presentaban diferentes estados de descomposición, como: 1) Esqueletización, 2) Momificación, 3) Saponificación o algún estado intermedio de la descomposición. El muestreo se llevó a cabo tres años después de que los cuerpos fueron enterrados, entre los años 2015-2018 (37).

Los investigadores utilizaron cuatro estrategias y diferentes materiales para el muestreo de campo en las fosas de entierro: A) Espátula previamente desinfectada (2015-2016), B) Torulas estériles (2017), C) Placas de contacto RODAC, Agar extracto de malta (MEA), y Agar rosa de Bengala con cloranfenicol (RBA) (2017), y D) Agar infusión cerebro-corazón (BHI), y dos placas de contacto RODAC (MEA) y (RBA) (2018). En la recolección de muestras con espátula sólo se recogieron colonias fúngicas

visibles en tubos estériles Falcón. Para el resto de las técnicas, el muestreo se realizó de forma sistemática, incluso cuando no observó crecimiento fúngico aparente, recolectando muestras de cráneo, tórax y extremidades posteriores (37). Las muestras se mantuvieron entre 3°C y 5°C antes del procedimiento en el Laboratorio de Micología de la Unidad de Botánica de la Universidad Autónoma de Barcelona. Además, se recogió muestras de suelo de las fosas y del área que rodea las instalaciones en las diferentes campañas, que fueron usadas como muestras control. En cuanto a los métodos utilizados para estudiar las muestras obtenidas, se utilizaron medios nutricionales (MEA, RBA y BHI) adaptando el factor temperatura para cada uno de los medios, otorgando la posibilidad de desarrollo de variadas colonias fúngicas, que fueron transferidas a placas individuales, para aislar cada especie de hongo, para su identificación morfológica, y utilizando diferentes claves de identificación dicotómica. Por similitudes morfológicas de los géneros encontrados, se crearon dos grupos de estudio: *Acremonium* y *Fusarium*, *Geotrichum* y *Chrysonilia* (37).

Para la evaluación de los diferentes métodos de muestreo, para la recolección de hongos, en los canales de cerdo en descomposición, se rechazó el muestreo con espátula por ser invasivo, y se encontró que las muestras recogidas con hisopo estéril y con placas de contacto (RODAC) y medio de cultivo RBA, fueron los métodos más efectivos. Además, los investigadores observaron que la rápida propagación bacteriana en cuerpos en descomposición pudo inhibir la

proliferación de hongos en algunos medios de cultivos. El medio nutricional BHI no tuvo crecimiento fúngico esperado. En total, se identificaron especies de treinta géneros de hongos, en diferentes sustratos. La mayoría de ellos, ya habían sido vinculados a cuerpos en descomposición, pero no siempre se encontraron en el mismo sustrato (37).

Granjas de cuerpos: Explorando la tafonomía humana para la estimación del intervalo post-mortem.

El advenimiento de instalaciones de tafonomía humana al aire libre a menudo mal denominadas como “granja de cuerpos”, facilitó estudios experimentales utilizando cadáveres humanos (38). El primero de ellos, fue el Centro de Investigación Antropológica de la Universidad de Tennessee, Estados Unidos, posteriormente fue el Centro Australiano de Investigación Experimental Tafonómica (38,39). Actualmente, existen al menos ocho instalaciones para el estudio de la tafonomía humana, seis de ellas están ubicadas en los Estados Unidos, una en Australia y otra en los Países Bajos (40). Las instalaciones han permitido la comparación experimental de la descomposición en modelos humanos y no humanos, bajo una variedad de condiciones (41,42). Antes de las instalaciones tafonómicas, la bibliografía relativa de la descomposición humana se basaba en muestras obtenidas a través de la exhumación de tumbas (43). Un estudio del Centro de Antropología Forense (FAC) de la Universidad de Tennessee, comparó la descomposición humana

versus la descomposición en cerdos, donde se manifiestan las diferencias de descomposición, y es la razón por la que se recomienda los humanos para estudios de tafonomía forense (38). El equipo de investigación descubrió que los restos de cerdos se descomponen más rápido que los humanos, hallazgo que también confirma el Centro AFTER de Australia (40). Desde entonces, se ha cuestionado el uso de cerdos, por el impacto que puede tener en la estimación PMI. Por otro lado, se destaca la importancia de investigar con cadáveres humanos para mejorar la capacidad de estimación del PMI, dado que este parámetro es clave en la investigación de una muerte (44). A partir de estos análisis, se ha generado una discusión en torno a la importancia de los estudios tafonómicos en la medicina forense, así como en los protocolos experimentales y, la ética que se relaciona con ellos (45).

Utilización de la región espacio transcrito interno (ITS) para identificación y detección de especies en hongos.

Se ha establecido que una región de secuencias cortas de ADN ribosómico permite la identificación del 85% de los hongos y que puede mejorarse. El código de barras de ADN utiliza secuencias estandarizadas de 500 a 800 pares de bases para la identificación de especies de todos los reinos eucariotas, utilizando cebadores aplicables al grupo taxonómico más amplio posible (46).

Rol de técnicas moleculares en el estudio de la diversidad biológica.

Muchos procesos biológicos y ecológicos que anteriormente no podían ser abordados por su elevado coste, pueden ser estudiados en la actualidad a través de la secuenciación de genomas y transcriptomas masivo de individuos (47). Desde el punto de vista del estudio de la diversidad biológica, la secuenciación masiva permite, entre otras aproximaciones, obtener de manera relativamente sencilla un gran número de marcadores genéticos en especies no modelo, para estudios filogenéticos, de diversidad o de mapeo genético, determinación de patrones de expresión y regulación génica o la identificación de especies de microorganismos presentes en muestras ambientales (48,49,50,51). La secuenciación de genomas completos sólo se ha aplicado de manera excluyente a estudios filogenéticos, filogeográficos o de genética de poblaciones de plantas y animales por el elevado coste de trabajar con un tamaño muestral amplio. No obstante, la secuenciación masiva puede ser aplicada a bibliotecas genómicas que consigan una reducción del genoma de los organismos, y partir de las cuales se obtenga un número elevado de variantes genómicas para loci polimórficos en múltiples individuos. Por último, las técnicas de espectrometría de masas están siendo probadas con éxito (52).

A continuación, se presenta un esquema que destaca las aplicaciones de la micología en el campo forense, basado en la recopilación de casos reportados y experimentos asociados a su estudio. Este enfoque disciplinario, resulta invaluable

en situaciones que requieren investigaciones minuciosas, y se incluye información sobre los autores de los casos reportados, así como el título correspondiente de cada uno de ellos (Ver figura 2).

La micología forense tiene el potencial para ser una herramienta útil en la investigación pericial y la medicina legal, especialmente en la estimación del PMI y la determinación de la causa de muerte en casos de intoxicaciones por hongos. Sin embargo, su aplicación práctica se ve limitada por la falta de conciencia y capacitación de los investigadores, como por la falta de especialistas calificados en la detección e identificación de hongos en el contexto forense y su sistematización de los procesos de estudios.

Los hongos pueden proporcionar información significativa en la resolución de casos criminales, especialmente en la localización de tumbas clandestinas. Su presencia y desarrollo en cadáveres descompuestos puede ayudar a estimar el PMI y revelar hábitats locales. Sin embargo, la identificación de especies de hongos en cadáveres humanos no se ha sistematizado, lo que limita su aplicación práctica como herramienta forense.

Los hongos desempeñan un papel en casos de envenenamiento e intoxicaciones. Algunas especies son altamente tóxicas y pueden causar la muerte en pequeñas cantidades. La identificación de especies de hongos en el contenido estomacal e intestinal puede ser crucial para el diagnóstico y tratamiento adecuados en casos de micetismo o de micotoxicosis. Además, algunos hongos

alucinógenos y neurotrópicos son objeto de control legal, debido a sus efectos psicotrópicos, lo que los convierte en importantes evidencias en investigaciones relacionadas con drogas ilícitas.

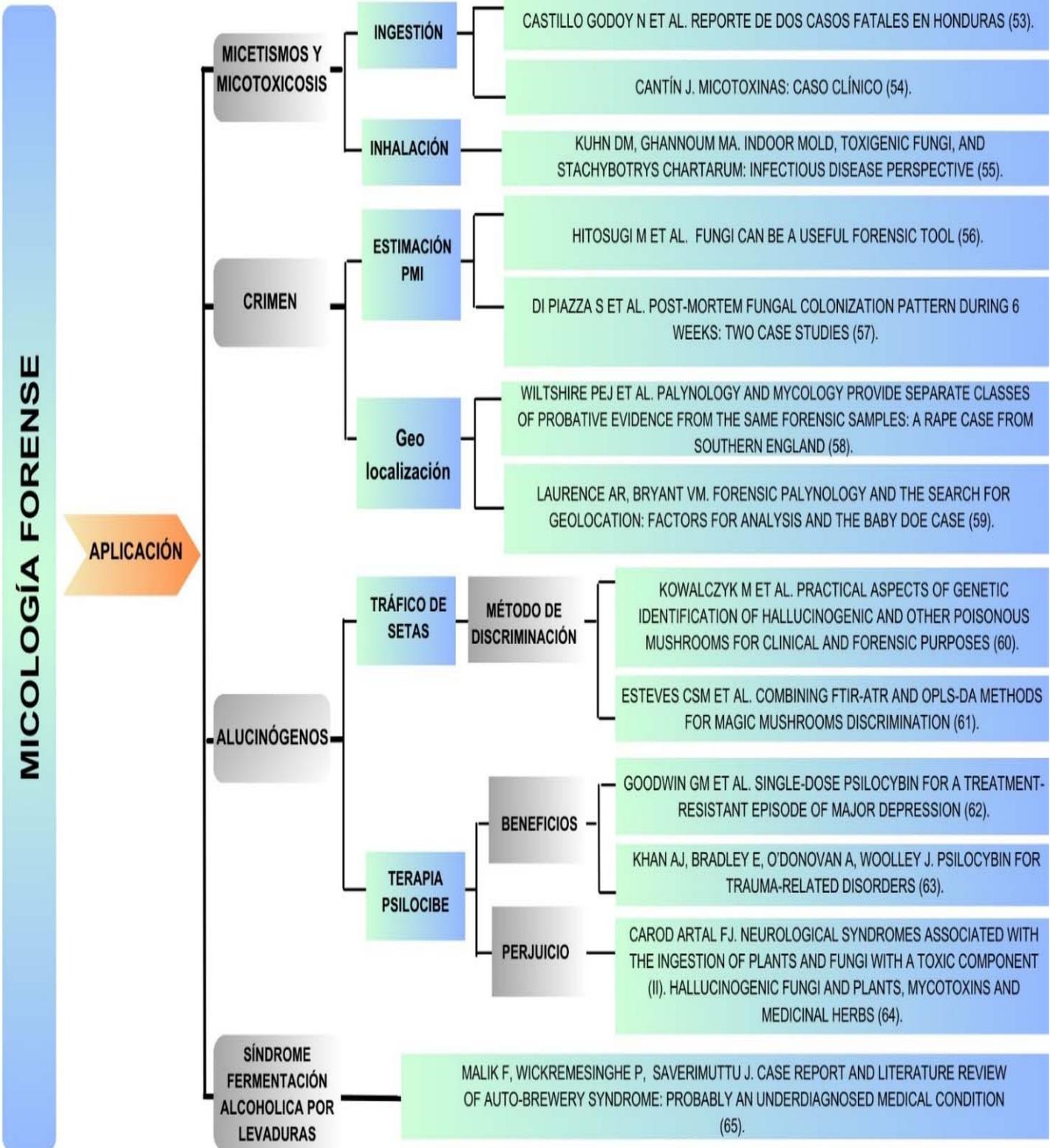


Figura 2: Esquema resumen sobre las aplicaciones de la Micología forense.

Bibliografía.

1. Ishii K, Hitosugi M, Yaguchi T, Tokudome S. The importance of forensic mycology. *Leg Med.* 2007; 9(5): 287.
2. Ishii K, et al. Analysis of fungi detected in human cadavers. *Leg Med.* 2006; 8(3): 188-90.
3. Wiltshire PEJ. Forensic ecology, botany, and palynology: Some aspects of their role in criminal investigation. En: Ritz K, Dawson L, Miller D. *Criminal and Environmental Soil Forensics.* Reino Unido: Springer; 2009. p. 129-149.
4. Allsopp D, Seal K, Gaylarde C. Built Environment, Structures, Systems and Transportation. En: Allsopp D, Seal K, Gaylarde C. *Introduction to biodeterioration.* 2nd ed. Reino Unido: Cambridge; 2004. p. 112-117.
5. Tranchida MC, Cabello MN. Micología Forense. En: Lillo FM. *Biología Forense.* Argentina: Opera Lilloana; 2019. p. 80-91.
6. Heron C, Hunter J, Knupfer G, Martin A, Pollard M, Roberts C. The decay of buried human remains and their associated materials. En: Heron C, Hunter J, Knupfer G, Martin A, Pollard M, Roberts C. *Studies in Crime: An Introduction to Forensic Archaeology.* Londres: Routledge; 1996. p. 58-85.
7. Carter DO, Yellowlees D, Tibbett M. Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. *Naturwissenschaften.* 2007; 94(1): 12–24.
8. Galloway A. The process of decomposition: a model from the Arizona-Sonoran Desert. En: William D, Marcella H. *Forensic taphonomy: The Postmortem Fate of Human Remains.* Estados Unidos: CRC Press; 1996. p. 139-150.
9. Illana C. Micología forense. *Boletín de la Sociedad Micológica de Madrid.* 2013; 37: 229-244.
10. Saukko P, Knight B. The pathophysiology of death. En: Saukko P, Knight B. *Knight's Forensic Pathology.* 4th ed. Estados Unidos: CRC Press; 2016. p. 55-94.
11. Lew E, Matshes E. Sharp force injuries. En: David Dolinak D, Matshes E, Lew E. *Forensic Pathology: Principles and Practice.* Amsterdam: Elsevier Academic Press; 2005. p. 146-162.
12. Hawksworth DL, Wiltshire PEJ. Forensic mycology: the use of fungi in criminal investigations. *Forensic Science International.* 2011; 206(1–3): 1–11.
13. Wiltshire, P.E.J. Mycology in palaeoecology and forensic science. *Fungal Biology,* 2016;120, 1272–1290.

14. Tranchida M, Cabello M. The Mycology as Forensics Tool. *Advanced Techniques Biology Medicine*. 2017; 5:2.
15. Carter DO, Tibbett M. Taphonomic Mycota: Fungi with Forensic Potential. *Journal of Forensic Sciences*. 2003; 48(1): 168-171.
16. Hawksworth D, Wiltshire P. Forensic mycology: current perspectives. *Research and reports in Forensic Medical Science*. 2015; 5: 75.
17. Ishii K, Hitosugi M, Kido M, Yaguchi T, Nishimura K, Hosoya T, Tokudome S Analysis of fungi detected in human cadavers. *Legal Medicine*. 2006; 8(3):188-190.
18. Sagara, N. (1992). Experimental disturbances and epigeous fungi. In *The fungal community* (pp. 427-454). En: Carroll G, Wicklow D. *The Fungal Community: Its Organization and Role in the Ecosystem*. 2nd ed. New York: Marcel Dekker; 1992. p.427-440.
19. Tranchida M, Pelizza S, Elíades L. The use of fungi in forensic science, a brief overview. *Canadian Society of Forensic Science Journal*. 2021; 54(1): 1-14.
20. Stamets P. Global ecologies and the world distribution of psilocybin mushrooms. En: Stamets P. *Psilocybin Mushrooms of the World An Identification Guide*. California: Ten Speed Press; 1996. p. 16-21.
21. Heim R, Genest K, Hughes D, Belec G. Botanical and Chemical Characterisation of a Forensic Mushroom Specimen of the Genus *Psilocybe*. *Journal of the Forensic Science Society*. 1966; 6(4): 192-201.
22. Haglund W, Sorg M. Method and Theory of forensic taphonomy research. En: Haglund W, Sorg M. *Forensic Taphonomy: The Postmortem Fate of Human Remains*. Estados Unidos: Crc Press; 1996. p. 13-26.
23. Nociarová D, Adserias MJ, Armentano N, Galtés I, Malgosa A. Exhumation of unclaimed human remains as taphonomic model. *Revista Española de Medicina Legal*. 2015; 41(2): 53–57.
24. Reverte J. Tafonomía forense. En: Reverte J. *Antropología forense*. 2ª ed. Madrid: Ministerio de justicia; 1999. p. 925-966
25. Víctor J. ¿Son los criterios Daubert aplicables a la prueba pericial en el sistema procesal penal chileno? Disponible: [Repositoriobibliotecas.uv.cl](https://repositoriobibliotecas.uv.cl/). Universidad de Valparaíso; <https://repositoriobibliotecas.uv.cl/items/478bf664-6fb9-458f-84b1-cb3d3ca00f25>
26. Cornell Legal Information Institute. *Certiorari a la corte de apelaciones de los Estados Unidos para el undécimo circuito*. Disponible:

<https://www.law.cornell.edu/supct/html/97-1709.ZS.html>

27.Zuk M, Garcia F, Herberstein M, Simmons L. Model Systems, Taxonomic Bias, and Sexual Selection: Beyond *Drosophila*. *Annual Review Entomology*. 2014; 59(1): 321–338.

28.Catts EP, Goff ML. Forensic entomology in criminal investigations. *Annual Review Entomology*. 1992; 37(1): 253–272.

29.Schoenly K. A statistical analysis of successional patterns in carrion-arthropod assemblages: implications for forensic entomology and determination of the postmortem Interval. *Journal of Forensic Sciences*. 1992; 37(6): 1489-1513.

30.Schoenly K, Griest K, Rhine S. An experimental field protocol for investigating the postmortem interval using multidisciplinary indicators. *Journal of Forensic Sciences*. 1991; 36(5): 1395-1415.

31.Šimonovičová A, et al. Fungi on mummified human remains and in the indoor air in the Kuffner family crypt in Sládkovičovo (Slovakia). *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2015; 99(1): 157–64.

32.Tranchida M, Centeno N, Cabello M. Soil Fungi: Their Potential use as a Forensic Tool. *Journal of Forensic Sciences*. 2014; 59(3): 785–789.

33.Chandel R, Sharma S. Forensic Analysis of Fungal Evidence: A Systematic Approach. *Journal of the Indian Society of Toxicology*. 2018; 14(1): 33-41.

34.Gutiérrez A, Guardia L, Nociarová D, Malgosa A, Armentano N. Taphonomy of experimental burials in Taphos-m: The role of fungi. *Revista Iberoamericana de Micología*. 2021; 38(3): 125–131.

35.Palla F, Sineo L, Manachini B. Bacteria, fungi and arthropod pests collected on modern human mummies. *Journal of Entomological and Acarological Research*. 2011; 43(2): 69-76.

36.Pangallo D, Kraková L, Chovanová K, Bučková M, Puškarová A, Šimonovičová A. Disclosing a crypt: Microbial diversity and degradation activity of the microflora isolated from funeral clothes of Cardinal Peter Pázmány. *Microbiological Research*. 2013; 168(5): 289-299.

37.Gutiérrez A, Guardia L, Nociarová D, Malgosa A, Armentano N. Taphonomy of experimental burials in Taphos-m: The role of fungi. *Revista Iberoamericana de Micología*. 2021; 38(3): 125–131.

38.Forbes S. Body farms. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2017; 13(4): 477–479.

- 39.Wallman JF. Body farms. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2017; 13(4): 487–489.
- 40.Schoenly K, Haskell N, Hall R, Gbur J. Comparative performance and complementarity of four sampling methods and arthropod preference tests from human and porcine remains at the Forensic Anthropology Center in Knoxville, Tennessee. *Journal of Medical Entomology*. 2007; 44(5): 881-894.
- 41.Dautartas A, Kenyhercz MW, Vidoli GM, Meadows Jantz L, Mundorff A, Steadman DW. Differential Decomposition Among Pig, Rabbit, and Human Remains. *Journal of Forensic Sciences*. 2018; 63(6): 1673–1683.
- 42.O’Connor T. Death, Decay and Reconstruction. Approaches to Archaeology and Forensic Science. By A. Boddington, AN Garland, and RC Janaway. *American Journal of Archaeology*. 1989; 93(3): 462–2.
- 43.Hrala J. Human “Body Farm” Reveals We Need to Stop Using Pigs to Establish Time of Death. *ScienceAlert*. 2016 Disponible en: https://www.sciencealert.com/pigs-may-not-be-the-most-amazing-forensic-tool-after-all-finds-body-farm-researchers?0_2075605927966535
=
- 44.Bytheway JA, Connor M, Dabbs GR, Johnston CA, Sunkel M. The Ethics and Best Practices of Human Decomposition Facilities in the United States. *Forensic Science Policy & Management: An International Journal*. 2015; 6(3–4): 59–68.
- 45.Blackwell M. The fungi: 1, 2, 3 ... 5, 1 million species? *American Journal of Botany*. 2011; 98(3): 426–438.
- 46.Hebert PDN, Cywinska A, Ball SL, DeWaard JR. Biological identifications through DNA barcodes. *Proc Biol Sci*. 2003; 270(1512): 313–21.
- 47.López de Heredia U. Las técnicas de secuenciación masiva en el estudio de la diversidad biológica. *Munibe*. 2016; 64(1): 7-31.
- 48.Baird NA, et al. Rapid SNP discovery and genetic mapping using sequenced RAD markers. *PLoS One*. 2008; 3(10): 1-7.
- 49.Davey JW, Hohenlohe PA, Etter PD, Boone JQ, Catchen JM, Blaxter ML. Genome-wide genetic marker discovery and genotyping using next-generation sequencing. Genome-wide genetic marker discovery and genotyping using next-generation sequencing. *Natural Reviews Genetics*. 2011; 12(7): 499–510.
- 50.Wang Z, Gerstein M, Snyder M. RNA-Seq: a revolutionary tool for transcriptomics. *Natural Reviews Genetics*. 2009; 10(1): 57–63.

- 51.Venter JC, Remington K, Heidelberg JF, Halpern AL, Rusch D, Eisen JA, Wu D, Paulsen I, Nelson KE, Nelson W, Fouts DE, Levy S, Knap AH, Lomas MW, Nealson K, White O, Peterson J, Hoffman J, Parsons R, Baden-Tillson H, Pfannkoch C, Rogers YH, Smith HO. Environmental genome shotgun sequencing of the Sargasso Sea. *Science*. 2004; 304(5667): 66–74.
- 52.López de Heredia U. Las técnicas de secuenciación masiva en el estudio de la diversidad biológica. *Munibe*. 2016; 64(1): 7-31.
- 53.Castillo Godoy ND, Durán López CA, Matamoros M. Micetismo: Reporte de dos casos fatales y revisión bibliográfica. *Rev. cienc. forenses Honduras*. 2019;5(2): 25-34.
- 54.Cantín J. Micotoxinas: Caso clínico. *Anaporc*. 2020; 17 (174): 24-9.
- 55.Kuhn DM, Ghannoum MA. Indoor Mold, Toxigenic Fungi, and *Stachybotrys chartarum*: Infectious Disease Perspective. *Clinical Microbiology Reviews*. 2003; 16(1): 144–72.
- 56.Hitosugi M, Ishii K, Yaguchi T, Chigusa Y, Kurosu A, Kido M, et al. Fungi can be a useful forensic tool. *Legal Medicine*. 2006; 8(4): 240–2.
- 57.Di Piazza S, Zotti M, Barranco R, Cecchi G, Greco G, Ventura F. Post-mortem fungal colonization pattern during 6 weeks: Two case studies. *Forensic Science International*. 2018; 289: 18–23.
- 58.Wiltshire PEJ, Hawksworth DL, Webb JA, Edwards KJ. Palynology and mycology provide separate classes of probative evidence from the same forensic samples: A rape case from southern England. *Forensic Science International*. 2014; 244: 186–95.
- 59.Laurence AR, Bryant VM. Forensic palynology and the search for geolocation: Factors for analysis and the Baby Doe case. *Forensic Science International*. 2019; 302: 109903.
- 60.Kowalczyk M, Sekuła A, Mleczko P, Olszowy Z, Kujawa A, Zubek S, et al. Practical aspects of genetic identification of hallucinogenic and other poisonous mushrooms for clinical and forensic purposes. *Croatian Medical Journal*. 2015; 56(1): 32–40.
- 61.Esteves CSM, de Redrojo EMM, Luis García Manjón J, Moreno G, Antunes FE, Montalvo G, et al. Combining FTIR-ATR and OPLS-DA methods for magic mushrooms discrimination. *Forensic Chemistry*. 2022; 29: 100421.
- 62.Goodwin GM, Aaronson ST, Alvarez O, Arden PC, Baker A,

Bennett JC, et al. Single-Dose Psilocybin for a Treatment-Resistant Episode of Major Depression. *New England Journal of Medicine*. 2022; 387(18): 1637–48.

63.Khan AJ, Bradley E, O'Donovan A, Woolley J. Psilocybin for Trauma-Related Disorders. *Current Topics in Behavioral Neurosciences*. 2022; 56: 319-332.

64.Carod Artal FJ. Neurological syndromes associated with the ingestion of plants and fungi with a toxic component (II). Hallucinogenic fungi and plants, mycotoxins and medicinal herbs. *Revista de neurologia*. 2003; 36(10): 951–60.

65.Malik F, Wickremesinghe P, Saverimuttu J. Reporte de caso y revisión de la literatura sobre el síndrome de la auto cervecería: probablemente una condición médica infradiagnosticada. *BMJ Open Gastroenterology* 2019; 6(1): E000325. Disponible en: <https://bmjopengastro.bmj.com/content/6/1/e000325.full>