

MICOLOGÍA FORENSE

C. ILLANA-ESTEBAN

Departamento de Biología Vegetal, Facultad de Ciencias, Universidad de Alcalá
E-28871 Alcalá de Henares, Madrid.
carlos.illana@uah.es

Summary. ILLANA-ESTEBAN, C. (2013). Forensic Mycology. *Bol. Soc. Micol. Madrid* 37: 229-244.

The study of fungi has significant potential to clarify forensic investigations. In this review, some examples of the usefulness of the fungi in the resolution of legal proceedings are summarized.

Key words: forensic investigation, hallucinogens, mycoses, mycotoxicosis, palynology, poisons, post-mortem interval, taphonomic mycota.

Resumen. ILLANA-ESTEBAN, C. (2013). Micología forense. *Bol. Soc. Micol. Madrid* 37: 229-244.

El estudio de los hongos tiene un importante potencial para esclarecer investigaciones forenses. En esta revisión se comentan algunos ejemplos que demuestran la utilidad de los hongos en la resolución de procesos judiciales.

Palabras clave: alucinógenos, hongos y tafonomía, intervalo post-mortem, intoxicaciones, investigación forense, micosis, micotoxicosis, palinología.

INTRODUCCIÓN

Las ciencias forenses son un conjunto de disciplinas científicas que se aplican para establecer e investigar los hechos relacionados con el derecho penal o civil. La palabra “forense” viene del latín *forensis*, que significa “perteneciente o relativo al foro”. Actualmente el término “forense” se emplea como un sinónimo de “ciencia forense” y se usa en temas relacionados con los tribunales.

Los conceptos más usados son los de “medicina forense” y “médico forense”, que es el “médico encargado por la justicia para dictaminar los problemas de medicina legal”. Entre las ciencias

forenses podemos encontrar también la informática forense, contabilidad forense, arqueología forense, química forense, geología forense, psicología y psiquiatría forense, toxicología forense, dactiloscopia forense, antropología forense, genética forense, criminalística, etc. También existe una entomología forense (estudia la sucesión de los insectos durante la descomposición de los cadáveres) y una botánica forense en la que el estudio de las plantas puede ayudar a resolver algunas cuestiones legales. Una variante de esta última es la micología forense, que trata de como el estudio de los hongos puede contribuir con nueva información a aclarar cualquier tipo de cuestión legal.

El estudio de los hongos en investigaciones judiciales, prácticamente ha estado restringido a casos de intoxicaciones producidos por la ingestión de setas venenosas (HAWKSWORTH & WILTSHIRE, 2011). En esta revisión se analizan distintos procesos en los cuales la información recogida a partir de los hongos puede proporcionar nuevas evidencias.

INTOXICACIONES POR CONSUMO DE SETAS VENENOSAS

La recolección y consumo de setas es una afición muy popular en España, especialmente en el otoño. Las intoxicaciones (también denominadas micetismos) se producen cuando se ingieren setas con sustancias que producen reacciones tóxicas en el organismo. La mayoría de intoxicaciones se producen de manera accidental, excepto las producidas por el consumo de los llamados hongos alucinógenos que se hace de modo voluntario y se comentan más adelante.

En los medios de comunicación se realizan todas las temporadas otoñales campañas que alertan del riesgo de consumir setas mal identificadas. Pero a pesar de las advertencias, todos los años se producen casos de intoxicación de mayor o menor gravedad. Los individuos que han consumido setas venenosas, no se dan cuenta de ello hasta que se presentan los primeros síntomas y en muchas ocasiones no lo dan importancia, retrasando así la atención hospitalaria.

Cuándo se acude a un hospital por una posible intoxicación por setas es importante conocer la especie que se ha consumido. La correcta identificación por expertos de las especies causantes es sencilla, si se ha tenido la precaución de guardar ejemplares enteros. En caso contrario hay que examinar las esporas y restos fúngicos presentes en el estómago e intestinos (heces) del paciente, para así poder determinar la especie que se ha consumido. Otras veces se analiza la presencia de toxinas o se emplean marcadores genéticos. En España el laboratorio del Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses (INTCF) es el centro técnico y de investigación en temas toxicológicos por ingestión de setas (ITURRALDE & *al.*, 2002, 2003). El conocimiento de la

especie causante de la intoxicación es fundamental porque condiciona el protocolo terapéutico a seguir. En el INTCF las líneas de actuación en materia de identificación de setas son el análisis macroscópico y microscópico, el diagnóstico molecular de la especie por medio del estudio de las regiones ITS-1 e ITS-2 del ADN ribosomal y el análisis de toxinas de muestras fúngicas mediante cromatografía en capa fina de alta resolución (HPTLC).

En casos de muerte por ingestión de *Amanita phalloides* Secr. -una de las intoxicaciones más frecuentes-, la autopsia ha revelado alteraciones típicas en hígado y riñón, que se ponen de manifiesto a través del examen histopatológico (McCLAIN & *al.*, 1989; FINESCHI & *al.*, 1996). Igualmente en casos de envenenamiento por consumo de *Lepiota brunneoincarnata* Chodat & C. Martín la autopsia ha revelado la aparición de edema cerebral y hemorragias en el hígado (BEN KHELIL & *al.*, 2010).

En 2003 ocurrió un caso de envenenamiento en Japón. Un hombre de 75 años y su mujer consumieron setas en la comida y cena. A la mañana siguiente el hombre acudió al hospital -falleciendo poco después- y su mujer fue encontrada muerta en la cama. La investigación forense encontró un trozo de *Amanita phalloides* en el fregadero. Análisis posteriores realizados a los cuerpos de las dos víctimas revelaron la presencia de α -amanitina en sangre, hígado y cerebro (GONMORI & YASHIOKA, 2003).

Hemos encontrado en la bibliografía consultada un caso en el que la ingestión de setas de la especie *Lentinus edodes* (Berk.) Singer (shiitake) provocó una obstrucción en el duodeno, lo que provocó la muerte de una mujer de 74 años (HITOSUGI & *al.*, 1998).

Son varios los personajes históricos que se dice murieron por haber comido setas venenosas. A menudo las referencias se repiten copiándose entre sí, sin producirse ninguna verificación. A continuación citamos algún caso de envenenamiento por setas de personajes famosos, de los cuáles hemos encontrado referencias bibliográficas.

Carlos VI emperador del Sacro Imperio Romano Germánico murió el 20 de octubre de 1740

tras haber consumido setas. Se cuenta que unos días antes sufrió una indigestión después de comer un plato de setas salteadas, que comió con gran voracidad. Es muy probable que la especie consumida fuera una *Amanita* mortal. La muerte precipitada de Carlos VI le dejó sin descendencia, lo que provocaría la Guerra de Sucesión austríaca. Al respecto Voltaire escribiría: “Un plato de setas cambió el destino de Europa” (WASSON & WASSON, 1957; WASSON, 1972).

Se dice que el emperador romano Claudio (10 a.C.-54 d.C.) murió tras ingerir un plato de setas. Para explicar este asunto hay dos hipótesis. La primera apoyada por autores clásicos dice que, las setas que ingirió eran comestibles, pero fueron envenenadas previamente por su esposa Agripina. La segunda considera que Claudio ingirió de modo accidental un plato de setas venenosas. Esta última versión es matizada por algún autor que dice que en realidad lo que ocurrió es que Agripina ofreció a Claudio un plato de setas venenosas, concretamente de la especie *Amanita phalloides* (VILLALBA, 2009).

Otras personalidades cuya muerte se atribuye al consumo de setas venenosas fueron el Papa Clemente VII, el zar Aleksei de Rusia y tras él, su viuda (WASSON & WASSON, 1957; 1972). Del compositor francés Johann Schobert también se dice que en agosto de 1767, recolectó setas en un bosque cercano a París. Tras la ingesta de las mismas murió en una lenta agonía (LEWIS, 2010).

Según algunas páginas de Internet, un médico francés barajó la hipótesis de que el líder palestino Yasser Arafat fuera envenenado con una toxina procedente de *Amanita phalloides*. Su afirmación se basa en que los síntomas que llevaron a la hospitalización comenzaron cuatro horas después de que Arafat cenara y coinciden con una intoxicación por ingestión de *A. phalloides*.

MICOSIS

Existen especies de hongos que producen infecciones al vivir sobre los tejidos vivos del hombre denominadas micosis. Al efectuarse las autopsias de los cuerpos, se pueden apreciar indi-

cios de infecciones fúngicas en los cortes histológicos efectuados, que pueden explicar la causa de la muerte. Las micosis producidas por hongos patógenos oportunistas afectan especialmente a personas inmunodeprimidas (como enfermos de VIH). Se conocen casos en los que tras la muerte de consumidores de droga (cocaína y anfetaminas), se descubrió que la causa del fallecimiento fue una infección fúngica fulminante en el cerebro, provocada por *Acremonium alabamense* Morgan-Jones y especies de *Rhizopus* (WETLI & al., 1984; MICOZZI & al., 1985; SÁNCHEZ & al., 1994).

La autopsia de un trabajador de una empresa dedicada a cultivar *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer (enoki) demostró que había muerto por insuficiencia respiratoria, provocada al inhalar esporas de *Aspergillus fumigatus* Fresen. suspendidas en el polvo del ambiente (SHIMAOKA & al., 2006).

La contaminación por hongos de productos médicos puede ocasionar daños a la salud. Los fabricantes de los artículos pueden sufrir sanciones económicas en el caso que se establezcan procesos judiciales. En mayo de 2006 la compañía Bausch & Lomb suspendió la venta de la solución de limpieza de lentes de contacto Renu MoistureLoc en todo el mundo. El motivo fue el existir una relación entre el uso del producto y la aparición de infecciones oculares (queratitis) provocadas por hongos del género *Fusarium*. La investigación abierta por la compañía reveló que el problema residía en la composición del limpiador. Si bien otras soluciones de limpieza tenían solamente un polímero, este limpiador tenía tres. Esta formulación impedía que los hongos fuesen eliminados eficazmente usando este producto. Posteriormente se presentaron demandas judiciales contra Bausch & Lomb (www.elmundo.es).

En octubre de 2012 un brote de meningitis se detectó en Estados Unidos. La causa fue la comercialización de tres lotes de inyecciones epidurales con esteroides, fabricados por la compañía NECC, contaminados por un hongo. Las dosis se administraron a cerca de 14.000 pacientes. El hongo contaminante de las muestras resultó ser *Exserohilum rostratum* (Drechsler) K.J. Leonard & Suggs. Como consecuencia de la

infección provocada a los pacientes a los que se administró esos lotes, 496 personas enfermaron de meningitis, de las que 36 murieron. Las familias de los pacientes afectados han presentado varias demandas judiciales contra NECC (www.pritzkerlaw.com).

Tras producirse tornados en zonas de Estados Unidos, las víctimas además de sufrir múltiples traumas y neumonía, han desarrollado infecciones debidas a hongos (zigomicosis). Esta es una infección fatal que se propaga rápidamente en ambientes insalubres y afecta a personas sanas y sobre todo a personas inmunológicamente debilitadas.

MICOTOXICOSIS

1.- Micotoxinas introducidas en el organismo por ingestión.

Los hongos filamentosos al crecer sobre alimentos, pueden producir al final de la fase exponencial de crecimiento metabolitos secundarios de bajo peso molecular llamados micotoxinas. Estas son tóxicas en bajas concentraciones para animales y otros vertebrados. Ejemplos de micotoxinas son las aflatoxinas (G1, B1, M1...), fumonisinas, ocratoxina, patulina, tricotecenos o zearalenona.

La producción de micotoxinas por los hongos puede requerir investigación forense, ya que tiene importancia económica y para la salud. La contaminación por micotoxinas puede ocurrir tanto en la naturaleza, como debido a las condiciones de almacenamiento de los alimentos. La micotoxina puede llegar directamente al hombre por la ingestión de productos contaminados o a través de aquellos derivados de animales que se hubieran alimentado con piensos con toxinas. Los productos susceptibles de contaminación incluyen frutos secos (especialmente cacahuetes y pistachos), cereales (sobre todo maíz), leche, queso, zumos, sidra, papillas infantiles... (SORIANO, 2007; SAID AL NA'IMI, 2008). Muchos países tienen legislaciones donde se indican los niveles permitidos de micotoxinas en alimentos. Para comprobar si un alimento es apto para el consumo se realizan análisis alimentarios, que aseguran que cualquier producto que se comer-

cializa es apto para el consumo. En la página Web de la "Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición" se puede encontrar toda la reglamentación europea relativa al contenido de micotoxinas en alimentos.

Un ejemplo de la validez de esta reglamentación europea, es la detección en agosto de 2009 de micotoxinas (ocratoxina) en un cargamento de café colombiano sin tostar. La contaminación fue detectada en los laboratorios de la Comunidad Europea y al incumplir la normativa europea se impidió la comercialización del producto. En España la OCU ha realizado análisis periódicos independientes, en los que ha encontrado presencia de micotoxinas en vinos elaborados con pasas, aperitivos de maíz, cervezas y pimentón (ver revista OCU-COMPRAMAESTRA nº 294).

2.- Micotoxinas introducidas en el organismo por inhalación.

Además de por ingestión, se pueden producir casos de intoxicación por inhalación de micotoxinas, cuando estas se encuentran suspendidas en el aire en determinados ambientes susceptibles al crecimiento de mohos.

Algunas muertes ocurridas en Estados Unidos se han relacionado con la inhalación de micotoxinas. La actriz norteamericana Brittany Murphy falleció en su casa de Los Ángeles en diciembre de 2009, a consecuencia de una combinación de neumonía, anemia y una intoxicación por fármacos. Cinco meses más tarde fue encontrado muerto en la misma casa su marido, Simon Monjack. El informe del forense encontró que la causa del fallecimiento fue la misma atribuida a su esposa. Según una teoría expuesta por la madre de la actriz y no confirmada por la policía, que se ha publicado en la prensa, en las paredes de la vivienda del matrimonio se encontró creciendo moho. Las micotoxinas producidas por el hongo al ser inhaladas podrían haberles provocado a ambos problemas respiratorios y finalmente la muerte. Parece ser que la vivienda fue mal construida, permitiendo la filtración de agua y la creación de condiciones adecuadas para el desarrollo de mohos tóxicos. La especie responsable sería *Stachybotrys chartarum*

(Ehrenb.) S. Hughes conocido en Estados Unidos como “black mold”.

Stachybotrys es uno de los géneros de mohos responsables en Estados Unidos del llamado “síndrome del edificio enfermo” (lo que se conoce en inglés, como Building Related Illness o BRI). Entre los factores que favorecen la aparición de mohos en los edificios está el tipo de material empleado (paredes de madera o fabricadas con placas de yeso, paredes empapeladas), los sistemas de ventilación y especialmente la temperatura y la humedad (FUNG & *al.*, 1998; PAGE & TROUT, 2001). Una vez desarrollado un hongo sobre una superficie idónea, distintas circunstancias pueden provocar que en el aire queden suspendidos fragmentos del hongo o metabolitos excretados por este (micotoxinas). Estas partículas suspendidas en el aire pueden entrar en contacto con las personas presentes en el edificio ocasionándoles enfermedades, de dos formas, por contacto con la piel o por inhalación.

Varios casos de hemorragia pulmonar se diagnosticaron a niños recién nacidos en una zona de Ohio (Estados Unidos) en los años 90. Una investigación encontró que era *Stachybotrys chartarum* el responsable de la enfermedad -autores posteriores lo han puesto en duda (KUHN & GHANNOUM, 2003)-, ya que los pulmones en crecimiento de los niños son especialmente vulnerables a las toxinas producidas por el hongo (DEARBORN & *al.*, 1999).

En 2009 el matrimonio Ballard y su hijo de cuatro años fueron a vivir a una gran mansión en Texas (Estados Unidos). Al poco tiempo el niño contrajo lo que parecía un resfriado con problemas respiratorios y asma y al mes los síntomas se agravaron con trastornos neurológicos y gastrointestinales. Posteriormente enfermó el padre con los mismos síntomas. Los médicos no lograron saber la causa del mal, hasta el descubrimiento en la casa donde vivía la familia de una filtración de agua. La humedad favoreció el crecimiento del moho *Stachybotrys chartarum*, el cuál sería el responsable de la enfermedad (www.cbsnews.com).

En España la ingestión de la micotoxina “estaquiobotriotoxina” producida por *Stachybotrys*

alternans Bonord. afecta solamente al ganado que consume paja y heno contaminado, que se ha almacenado en lugares húmedos (LOSTE & *al.*, 2002).

La aparición de moho en edificios públicos y privados es un problema importante en zonas de Estados Unidos, donde la humedad ambiental es elevada. La Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (EPA) ha desarrollado una técnica de análisis forense de ADN de mohos. El índice denominado ERMI permite conocer el grado de enmohecimiento de un edificio y el riesgo de sufrir enfermedades (SOBEK, 2007).

TAFONOMÍA Y HONGOS

La tafonomía se encarga de estudiar los cambios que se producen durante la descomposición de los restos biológicos, así como los factores que intervienen en el proceso. El tiempo requerido para su degradación se denomina intervalo post-mortem (PMI). La tafonomía se apoya en otras disciplinas como la arqueología, la entomología, la química, la microbiología y también la micología.

Los primeros descomponedores de organismos muertos son los insectos, y tras ellos los únicos que son capaces de proseguir con la degradación de la materia orgánica son las bacterias y los hongos. Estos últimos son unos de los mayores degradadores de la Tierra, tanto de materia vegetal muerta, como de restos humanos y de animales. Los factores ambientales (especialmente humedad y temperatura) pueden acelerar o retrasar este proceso de deterioro.

Cuando comienza la descomposición de un cuerpo, el estudio de la sucesión temporal de insectos necrófagos puede determinar el PMI. Junto a los insectos, los hongos también van a intervenir en la descomposición. En investigaciones criminales o autopsias, los patólogos forenses pueden encontrar colonias de hongos que crecen sobre cadáveres en descomposición. Estudiando el crecimiento de los hongos sobre su superficie se pueden obtener indicios para estimar el PMI.

Establecimiento del PMI por hongos

Una de las primeras ocasiones en las que se

utilizó a los hongos para establecer el PMI fue en una investigación efectuada por la policía belga. En el mes de enero se encontró el cuerpo de una mujer muerta sobre su cama, en la casa donde vivía sola. Aparentemente había muerto por las heridas recibidas con un cuchillo. La sequedad del cuerpo y la aparición de hongos sobre la piel indicaron que la muerte se produjo varias semanas antes. Los investigadores consideraron interesante cultivar los hongos hallados sobre la piel de la mujer, bajo las mismas condiciones en las que se encontraron, con el fin de determinar cuánto tiempo habían tardado en crecer. Esto daría una idea del tiempo que llevaba muerta la víctima. Las colonias de hongos originales que crecían sobre piel humana fueron congeladas, para parar así su crecimiento. La temperatura de la casa estaba mantenida a 12° C por un termostato y es a esta temperatura a la que se realizó el cultivo. Tras el experimento se dedujo que la víctima llevaba muerta al menos 18 días. Paralelamente se identificaron las especies de hongos como pertenecientes a los géneros: *Cladosporium*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Hormodendron*, *Mortierella* y *Penicillium* (VAN DE VOORDE & VAN DIJCK, 1982).

En otra investigación efectuada en Japón los hongos que crecían sobre un cadáver ayudaron a establecer el PMI. El cuerpo de un hombre de 71 años fue hallado en el interior de un pozo a 6 m. de profundidad. El cadáver estaba de rodillas y cubierto 30 cm por el agua. Hacía 12 días que nadie le había visto. Dadas las condiciones de oscuridad y de baja temperatura existentes en el interior del pozo se encontraron pocas larvas de insectos, por lo que la entomología forense no aportó datos concluyentes acerca del PMI. Un examen interno del cuerpo de la víctima reveló que el hombre había sufrido numerosas hemorragias internas producidas por la caída, lo que motivó su muerte. Sobre el rostro del cadáver encontraron colonias de hongos que fueron identificadas como pertenecientes a los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*. Estos hongos de hábitat cosmopolita pueden formar colonias en 3-7 días, a partir de la germinación de una espora. La apariencia del cuerpo de la víctima, el estado de descomposición de algunos órganos, las

colonias de hongos encontrados, junto al hecho que el hombre hacía 12 días que no había sido visto por nadie, llevó a la policía a deducir que llevaba muerto cerca de 10 días (HITOSUGI & *al.*, 2006).

En otra ocasión el cuerpo de un hombre fue encontrado al noroeste de Londres. El médico forense consideró -dado el estado de conservación- que no llevaba allí más de 48 horas, puesto que no había actividad de insectos. Sin embargo, la ausencia de estos se atribuyó más tarde, a las bajas temperaturas. El hallazgo de una colonia de hongos bajo la barbilla, y el análisis de su tasa de crecimiento, evidenció que el cuerpo había permanecido en el lugar del hallazgo más de 4 semanas (HAWKSWORTH & WILTSHIRE, 2011).

Se han estudiado en varias ocasiones más, los hongos que crecen sobre cadáveres humanos. Hace unos años en Japón se analizaron los hongos que crecían sobre dos cuerpos (ISHII & *al.*, 2006). El primero pertenecía a una persona que llevaba desaparecida 10 meses y sus restos momificados fueron encontrados en el interior de una casa. En el segundo caso pertenecían a una persona que, aparentemente se había ahorcado en un árbol hacía seis meses y su cadáver fue hallado en el suelo. En ambos casos se aislaron algunas especies de hongos que habían colonizado los huesos y las partes blandas que quedaban, y se identificaron como pertenecientes a los géneros *Eurotium* y *Gliocladium*. Recientemente también se han realizado observaciones sobre el crecimiento de hongos postmortem en Brasil (SIDRIM & *al.*, 2009).

Acción de los hongos sobre hueso y pelo

Los cadáveres abandonados a la intemperie se descomponen rápidamente. En el proceso de descomposición de los cuerpos lo primero que se degrada son las partes blandas, quedando al final los huesos. En cuerpos que permanecen expuestos al exterior, los huesos al principio son amarillos y grasos, pero con el tiempo los aceites se filtran fuera y los restos óseos emblanquecen por la acción de la luz solar. Si los huesos están expuestos durante muchos años en zonas bien iluminadas, se pueden desarrollar colonias de líquenes (de los géneros *Caloplaca* y *Lecanora*). Estimando lo

que han tardado en crecer los líquenes, podemos tener una idea del período mínimo que los huesos llevan expuestos en el lugar de su hallazgo (HAWKSWORTH & WILTSHIRE, 2011).

Al conocer como se produce la descomposición que efectúan los hongos en las diferentes partes de un cadáver enterrado (como el hueso y el pelo), se puede tener información sobre el tiempo que un cuerpo ha permanecido bajo tierra (SAID AL NA'IMI, 2008). Las hifas de los hongos pueden penetrar en los huesos y producirse el lixiviado de los minerales por su acción enzimática (PIEPENBRINK, 1986). El género *Mucor* se ha considerado un hongo responsable de la osteoclasia (proceso de destrucción y absorción del tejido óseo) de huesos enterrados (MARCHIAFAVA, 1974).

El cabello es una evidencia importante en la escena de un crimen. En una Tesis doctoral reciente se ha indicado que el deterioro que sufre el pelo en los cadáveres por la acción de los hongos queratinofílicos podía servir para determinar el PMI. Hay una sucesión de hongos que participan en su descomposición, primero actúan los saprofitos y finalmente los hongos que pueden degradar la queratina, que es un sustrato más resistente (COLLIER, 2005). Se ha apreciado en cabello humano de cuerpos enterrados que las hifas de los hongos que degradan el pelo, penetran en su estructura y forman canales (fungal tunnels) (DeGAETANO & al., 1992). Especies pertenecientes a los géneros *Chrysosporium*, *Microsporum* y *Acremonium* se han estudiado como degradadores queratinofílicos del cabello humano (KATIYAR & KUSHWAHA, 2002; MARUTHI & al., 2011).

El empleo de los hongos para establecer el PMI ha sido cuestionado por algunos autores, ya que se necesita profundizar en este tema para tener datos concluyentes, pero es probable que el estudio de la sucesión fúngica podría convertirse en una herramienta forense fiable. Sin embargo, nos encontramos con problemas legales para realizar estudios experimentales de descomposición por hongos en cadáveres humanos (MENEZES & al., 2008). El único estudio relacionado que conocemos ha consistido en comparar los cambios que se producen en las comunidades de microor-

ganismos del suelo (hongos y bacterias), tras la deposición de un cadáver humano en la superficie (PARKINSON & al., 2009).

Hongos indicadores de tumbas

Al iniciarse el proceso de descomposición de los cuerpos enterrados, se produce la liberación de amoníaco u otros compuestos nitrogenados, por la acción de los llamados “hongos del amoníaco o *ammonia fungi*” (AF). Estos son hongos ascomicetes y basidiomicetes saprófitos que se desarrollan en un período entre 1-10 meses (CARTER & TIBBETT, 2003; SAGARA & al., 2008). Cerca de 40 especies de AF han sido reconocidas (TIBBETT & CARTER, 2003).

Posteriormente a los 1-4 años, fructifican otros basidiomicetos (saprófitos y no saprófitos), dependiendo de la concentración de amoníaco, que se llaman “hongos de la putrefacción o *postputrefaction fungi*” (PPF) (CARTER & TIBBETT, 2003, 2009; SAGARA & al., 2008). Entre estos se han observado especies de setas que crecen sobre el lugar donde había enterrados mamíferos, conejos y pájaros, como: *Hebeloma aminophilum* R.N. Hilton & O.K. Miller, *H. spoliatum* (Fr.) Gillet y *H. vinosophyllum* Hongo) (CARTER & TIBBETT, 2003; FUKIHARU & IGUCHI, 2000; FUKIHARU & al., 2000; SAGARA, 1976; YOUNG, 2002). La peculiar ecología de este tipo de hongos puede indicar donde hay un enterramiento. Una tumba es una anomalía del terreno y por ello se diferencia física, biológica o químicamente de su entorno. La localización en el campo de zonas donde existen hongos de la putrefacción puede dar indicios de la situación de una tumba (CARTER & TIBBETT, 2003, 2009; FORBES & al., 2008).

En una ocasión el crecimiento de un hongo dio un indicio erróneo sobre la existencia de un cadáver. Una llamada telefónica a la policía de Dresde (Alemania) informó de un olor a putrefacción en el bosque, como si hubiera un cuerpo en descomposición. Cinco oficiales de policía y un perro acudieron al lugar y lo único que descubrieron es un ejemplar de *Phallus impudicus* L. de 20 cm de largo, que era el causante del mal olor (www.abc.net.au).

Por último citaremos un curioso caso en el

que cambios en el crecimiento de una seta, demostraron que se había alterado el escenario de un crimen. Una persona encontró una tumba en el bosque. La tumba estaba cubierta por ramas de árboles, sobre los que habían crecido especies del género *Marasmius*. La persona que encontró el enterramiento dijo a la policía que no había tocado nada, pero cambios en el crecimiento de las setas demostraron que mentía. Las setas en su crecimiento tienen geotropismo negativo, y se observó que algunos de los ejemplares tenían curvado el pie, lo que se interpretó que la rama sobre la que crecía había sido movida, y el pie había recuperado el crecimiento vertical (HAWKSWORTH & WILTSHIRE, 2011).

Producción de alcohol por levaduras que crecen sobre cadáveres

Durante el examen toxicológico de víctimas de accidentes se ha comprobado la presencia de alcohol postmortem. Muchas bacterias, levaduras y mohos pueden producir etanol al descomponer los cadáveres, contenido que se puede incrementar en cuerpos sometidos a procesos traumáticos, como pueden ser los accidentes de aviación o de tráfico. En caso de incendio los daños ocasionados en la epidermis pueden favorecer la invasión de microorganismos y por tanto el incremento del contenido de etanol postmortem (O'NEAL & POKLIS, 1996; CANFIELD & *al.*, 2007). La presencia de alcohol en los cadáveres, producido por bacterias y hongos, puede complicar la interpretación forense de los resultados, porque no se interpretarían bien los resultados en casos de una posible intoxicación etílica de las víctimas. Uno de los microorganismos detectados ha sido *Candida albicans* (C.P. Robin) Berkhout, una levadura común del medio natural (YAJIMA & *al.*, 2006). En análisis toxicológicos se puede prevenir la formación de etanol por levaduras, especialmente en muestras de orina y sangre, añadiendo fluoruro sódico (LEWIS & *al.*, 2004).

LAS ESPORAS DE LOS HONGOS CÓMO EVIDENCIA

El polen y las esporas son importantes para asociar un sospechoso a la escena de un crimen.

La ciencia que estudia el polen y las esporas para aplicar la información obtenida en una investigación criminal se llama palinología forense (MILDENHALL 2004, 2006).

Durante el desarrollo de una investigación, las esporas de los hongos se pueden extraer del calzado, la ropa o de cualquier tipo de material sobre el que se haya depositado. Las esporas de los hongos están presentes en casi cualquier entorno, por lo que se pueden considerar unas pruebas de seguimiento en investigaciones forenses. Esta será más valiosa cuánto más raro sea el hongo encontrado o más localizada sea su distribución. Muchos hongos tienen una distribución geográfica muy específica y la producción de las esporas ocurre en una determinada época del año. Algunas investigaciones criminales se han podido resolver tras el estudio de esporas fúngicas encontradas en un escenario.

Esporas de hongos como prueba en casos de desaparición

En febrero de 2004 el cuerpo de una mujer se encontró dentro de una tumba poco profunda en las cercanías de Londres. Sobre la tumba crecían tallos jóvenes de zarza (*Rubus fruticosus*). Entre la tierra que rellenaba la tumba se encontraron hojas del arbusto, que estaban parasitadas por un hongo (roya) que forma pústulas y que fue determinado como *Phragmidium violaceum* (Schultz) G. Winter. El color negruzco de las pústulas del hongo, permitió precisar en qué momento de su ciclo biológico fue introducido en la tumba junto a las hojas de zarza. El color del hongo se debía a que éste estaba produciendo un tipo de esporas (teliósporas) que se forman en el otoño. Cuando la víctima fue identificada, se comprobó que su desaparición se produjo en octubre del año anterior (HAWKSWORTH & WILTSHIRE, 2011).

En 2002 desaparecieron dos niñas y posteriormente fueron halladas muertas en el interior de una zanja en un bosque de Lakenheath (Suffolk, Inglaterra). Analizando muestras del suelo del escenario, la policía relacionó la escena del crimen y el vehículo de un sospechoso. Adheridas a las ruedas del vehículo se encontraron esporas de otro hongo que crece sobre ortigas (*Urtica dioica*) muertas. Por otro lado, en el lugar donde se

encontraron los cuerpos de las niñas crecían muchas ortigas, sobre las que crecía el mismo hongo. Las esporas del hongo demostraron de manera convincente la presencia del vehículo en la escena del crimen (www.forensicmag.com).

Esporas de hongos como prueba en caso de asesinato

En una investigación de asesinato, el cuerpo de una mujer joven se encontró sobre ortigas. Hay 17 especies de hongos que solamente crecen sobre esta planta. Dos de ellos [*Periconia* sp. y *Torula herbarum* (Pers.) Link.] se encontraron tanto en la escena del crimen como en el coche del sospechoso, lo que demostraba una conexión entre ambos que permitió su inculpación (HAWKSWORTH & WILTSHIRE, 2011).

En un tiroteo relacionado con un asunto de drogas, un hombre armado mató a su socio, con él que se había reunido. El sospechoso se escondió tras el tronco de un roble situado al lado de un seto de ciprés. Debido a la intensa sombra del roble, el seto de ciprés no estaba en su óptimo de crecimiento y estaba infectado por un hongo -*Pestalotiopsis funerea* (Desm.) Steyaert-. El pistolero escondido tras el roble, pisó restos de hojarasca y ramitas muertas tanto del roble como del ciprés, llevándose adheridas esporas del hongo que también fueron encontradas en su coche. De esta forma se evidenció que el sospechoso fue la persona que estuvo en el escenario del crimen (HAWKSWORTH & WILTSHIRE, 2011).

Esporas de hongos como prueba en un caso de violación

Una investigación por un delito de violación pudo ser resuelta por la Policía de Wiltshire (Inglaterra) en 2009, gracias a las evidencias que aportaron los hongos. La víctima dijo haber sido forzada en el suelo bajo unos árboles, mientras que el sospechoso decía que había tenido relaciones sexuales consentidas en el césped de un parque a unos 200 m. de allí. Al estudiar la ropa y calzado de la persona violada y del sospechoso se encontraron hasta 19 especies de esporas de hongos característicos de hojas muertas y ramas. De estos, 16 estaban presentes en muestras obtenidas en el lugar indicado por la mujer y sólo

4 en el parque. Los resultados indicaron que la mujer estaba diciendo la verdad y ante la evidencia el sospechoso confesó (HAWKSWORTH & WILTSHIRE, 2011).

HONGOS ALUCINÓGENOS

En el mundo se conocen 216 especies de hongos alucinógenos (GUZMÁN & *al.*, 1998). Se denominan así porque su consumo provoca alteraciones en la percepción del cerebro.

Psilocybe es el género más numeroso en especies con 116 (GUZMÁN & *al.*, 1998). La mayoría de las especies del género *Psilocybe* no son nativas de España. En nuestro país solamente se han encontrado 15 especies. De ellas solamente tres son alucinógenas (GUZMÁN & CASTRO, 2003): *P. semilanceata* (se ha encontrado en el centro y norte de España), *P. galleciae* (Galicia) y *P. hispanica* (pirineo aragonés).

Los hongos alucinógenos son también conocidos por los siguientes nombres: hongos enteógenos, hongos embriagantes, hongos psicodislépticos, hongos mágicos, hongos sagrados, hongos lisérgicos, monguis, mexicani, smell bag, aroma pads, shrooms, duftkissen, liberty-cap, mexicani, hawaiian mushroom, amazonian mushroom, paddos, etc.

En los últimos años el uso recreativo de los hongos que provocan alucinaciones se ha convertido en un problema social importante en numerosos países. Su consumo se ha vuelto muy popular ya que se pueden conseguir con facilidad vía Internet.

Procedencia y forma de consumo

La comercialización de los hongos mágicos (en cualquier presentación) está prohibida en España (BOEs de 6 de febrero de 2004 y 23 de enero de 2009) y en otros países (EMCDDA, 2006). No obstante su consumo está muy extendido y se realiza de diferentes formas (BOGUSZ & *al.*, 1998; BALLESTEROS & *al.*, 2006; HUSKINS & DOCKERY, 2009; REYNAUD-MAURUPT & *al.*, 2009):

- Setas frescas, bien recolectadas en el campo u obtenidas a partir de cultivo.
- Setas mezcladas con bebidas: zumos, infusio-

- nes, batidos, café, bebidas con guaraná o bebidas alcohólicas (vodka, whisky, ron, licores de anís, tequila).
- **Setas formando parte de sopas, tortilla, galletas, pizza, manteca de cacahuete, tartas de cumpleaños, yogurt, gelatina.** También se hierven y con el agua de la cocción (donde están los componentes tóxicos) se puede hacer arroz.
 - **“Chocolate mágico” o “Chocolate mágico de hongos”.** En este caso las setas deshidratadas se mezclan con chocolate para enmascarar su sabor amargo.
 - **Setas mezcladas con cannabis.**
 - **Setas conservadas en tarros de miel.**
 - **En forma de “Blue mead”, que es una mezcla de hidromiel (bebida alcohólica obtenida de la fermentación de agua con miel) con psilocibes.**

Se conoce algún caso de personas que han recibido una inyección intravenosa de extractos de *Psilocybe* (CURRY & ROSE, 1985).

En cuanto a la procedencia de las setas consumidas, esta es diversa:

- **Setas frescas recolectadas en el campo.** La seta más consumida en España es *Psilocybe semilanceata* (Fr.) P. Kumm.
- **Setas frescas compradas y obtenidas a partir de cultivos industriales.**
- **Setas obtenidas a partir de kit de cultivo (denominados “pan de setas”).** Se compran por Internet y se cultivan en casa.
- **Esporas de setas alucinógenas (se venden dentro de jeringuillas) para realizar cultivos.**
- **Trufas alucinógenas.** Son esclerocios de algunas especies de *Psilocybe* (ILLANA-ESTEBAN, 2011).

Identificación forense de hongos alucinógenos

Para identificar el material que es confiscado por la policía, si éste está completo se estudian los caracteres macro y microscópicos, utilizando microscopía óptica y microscopía electrónica de transmisión (WATLING, 1983; TSUJIKAWA & *al.*, 2003). A menudo el material está dañado,

descompuesto o reducido a polvo y los caracteres morfológicos no se aprecian. Cuando esto no es posible y sólo se tienen fragmentos de los hongos o simplemente están reducidos a polvo y su identificación morfológica se hace muy difícil, se recurren a pruebas químicas: test de color, cromatografía en capa fina (TLC), cromatografía de gases (GC), cromatografía líquida de alta presión (HPLC), electroforesis capilar (CZE) y técnicas espectroscópicas (ANASTOS & *al.*, 2006; UNITED NATIONS, 1989; PEDERSEN-BJERGAARD & *al.*, 1997; MUSSHOF & *al.*, 2000).

En los últimos años también ha comenzado a utilizarse como prueba en los tribunales el análisis forense del ADN procedente de hongos alucinógenos. La identificación se realiza al analizar las variaciones que se producen en la secuencia de los nucleótidos, usando la reacción en cadena de la polimerasa. Para ello se secuencian la región ITS del ADN ribosomal (LEE & *al.*, 2000; NUGENT & SAVILLE, 2004; ZUBER & *al.*, 2011).

En ciertas investigaciones puede ser también interesante conocer la concentración de psilocibina y psilocina. Para ello se emplean procedimientos químicos, como la cromatografía de intercambio catiónico (IEC) (LAUSSMANN & MEIER-GIEBING, 2010). Hay variaciones en el contenido de psilocina y psilocibina en las distintas especies de hongos mágicos, que oscila desde el 0,5 hasta 1,44% del peso de las setas (TSUJIKAWA & *al.*, 2003). En otro estudio se da un rango de 0,1-2% de su peso seco (BALLESTEROS & *al.*, 2006). Existe una gran variabilidad en la concentración de toxinas en las diferentes especies e incluso dentro de la misma especie puede haber distintas cantidades dependiendo de dónde y cómo se haya recogido en el campo. En el caso de cultivos depende de las condiciones de crecimiento de las setas y de su edad. Incluso en cultivos controlados de *Psilocybe cubensis* (Earle) Singer se notó que los niveles de psilocina y psilocibina en las distintas cosechas obtenidas del mismo micelio eran variables (BIGWOOD & BEUG, 1982).

A partir de una jeringuilla de esporas de *Psilocybe cyanescens* adquirida por Internet, se han obtenido setas de las que se han analizado

el contenido de psilocina y psilocibina en diferentes fases de desarrollo, usando cromatografía en capa fina y cromatografía de gases. Los resultados demuestran que en las esporas no se encontró psilocina o psilocibina, ni tampoco en las primeras fases de desarrollo del micelio cuando éste es de color blanco. La presencia de toxinas se empezó a detectar cuando se comienzan a formar los primordios de las setas. También se observó que la presencia o ausencia de luz en los cultivos, no afectaba al contenido de psilocina/psilocibina (GROSS, 2000).

A las personas intoxicadas por haber consumido hongos alucinógenos se les hace análisis de suero y orina, para así detectar los niveles de psilocina (la psilocibina se convierte en psilocina tras sufrir una defosforilación) (STICHT & KÁFERSTEIN, 2000; KAMATA & *al.*, 2003; TISCIONE & MILLER, 2006).

Consecuencias del consumo de hongos alucinógenos

Los síntomas producidos por el consumo de hongos alucinógenos son conocidos, pero los efectos de las toxinas pueden ser agravadas por distintas circunstancias (BALLESTEROS & *al.*, 2005, 2006), cómo son:

- El contexto en el que ocurrió la ingestión de los hongos: sólo, en casa, cómo parte de una ceremonia. También influye el entorno socio-cultural en el que se produce la ingestión.
- Las condiciones psicológicas del individuo. El efecto alucinógeno varía mucho entre las distintas personas. En la mayoría de las páginas web se recomienda no ingerir este tipo de hongos a las personas en tratamiento psiquiátrico o con antecedentes familiares.
- Experiencias previas con la ingestión de hongos alucinógenos.
- La forma de consumo.

En general las estimaciones de prevalencia para el uso de hongos alucinógenos en la UE son considerablemente inferiores a los del cannabis (VAN AMSTERDAM & *al.*, 2011).

La mayoría de los consumidores de hongos mágicos no solicitan atención médica, pues lo

que buscan precisamente son los efectos alucinógenos. Pocas personas se notan lo suficientemente enfermos para acudir a un médico (BALLESTEROS & *al.*, 2005). Intoxicaciones fatales debido a la ingestión de setas alucinógenas son poco frecuentes y, a menudo es debido a la combinación de hongos mágicos con otras drogas, sobre todo el alcohol (VAN AMSTERDAM & *al.*, 2011).

Las principales consecuencias del consumo de hongos alucinógenos son los accidentes que ocurren durante el período en el que el comportamiento está alterado. En casos graves el cambio de comportamiento que se produce suele ser el responsable de casos de suicidio. Un ejemplo es el de una persona de 23 años que falleció en Holanda, al lanzarse desde el segundo piso de un edificio, creyendo que podía volar. La autopsia demostró que había tomado hongos mágicos y había fumado cannabis. Los análisis mostraron que había consumido alrededor de 90 mg de psilocibina (ASSELBORN & *al.*, 2000). En Francia ocurrió un caso de muerte por sobredosis en un joven de 22 años tras el consumo de *Psilocybe semilanceata* (GERAULT & PICART, 1996).

En Japón un hombre de 27 años después de consumir *Psilocybe subcubensis*, comenzó a sufrir alucinaciones que le provocaron la caída a un canal de riego en pleno invierno lo que provocó la muerte por hipotermia (GONMORI & YOSHIOKA, 2003).

Un caso de trastorno perceptivo persistente por alucinógenos (HPPD) se ha dado en un consumidor habitual de cannabis tras ingerir por primera vez *Psilocybe semilanceata*. El HPPD se caracteriza por la reexperimentación (flashbacks) de los síntomas del consumo de alucinógenos, pero sin que se hayan consumido de nuevo. En el caso referido la recurrencia a los síntomas persistió más de 8 meses (ESPIARD & *al.*, 2005).

En Alemania se presentó el caso de un hombre de 33 años (con una historia de abuso de alcohol y hachís) que desarrolló dos veces una desmielinización cerebral multifocal confirmada por resonancia magnética tras la ingestión de setas del género *Psilocybe*. El tratamiento con corticoides logró su recuperación en ambas ocasiones (SPENGOS & *al.*, 2000).

Se han hecho distintos estudios en diversos países sobre el consumo de hongos alucinógenos: Dinamarca (LASSEN & *al.*, 2009), Estados Unidos (THOMPSON & *al.*, 1985; SCHWARTZ & SMITH, 1998), Francia (REYNAUD-MAURUPT & *al.*, 2009), Reino Unido (RILEY & BLACKMAN, 2008), incluso a nivel europeo (EMCDDA, 2006).

En España se ha realizado un estudio por el Instituto Nacional de Toxicología entre 1991 y 2002, de todos los casos de envenenamiento por hongos conocidos (521 casos). Un 14,4% correspondió a intoxicaciones debidas al género *Psilocybe*. Las intoxicaciones con hongos mágicos ocurrían mayormente en hombres (74,7%), de alrededor de 18 años, si bien el rango de edad iba de los 13-40 años. La mayoría de los episodios ocurrió en fin de semana y durante la noche. Casi todos los episodios ocurrieron en otoño, pero también en otras estaciones debido al consumo de hongos procedentes de cultivo (BALLESTEROS & *al.*, 2005, 2006).

BIBLIOGRAFÍA

- ANASTOS N., S.W. LEWIS, N.W. BARNETT & D.N. SIMS (2006). The determination of psilocin and psilocybin in hallucinogenic mushrooms by HPLC utilizing a dual reagent acidic potassium permanganate and tris (2,2'-bipyridyl) ruthenium (II) chemiluminescence detection system. *J. Forensic Sci.* 51(1): 45-51.
- ASSELBORN G., R. WENNING & M. YEGLES (2000). Tragic flying attempt under the influence of "magic mushrooms". *Probl. Forensic Sci.* 42: 41-46.
- BALLESTEROS S., M.F. RAMÓN, R. MARTÍNEZ-ARRIETA & M.J. ITURRALDE (2005). Una visión médica del consumo de setas con finalidad alucinógena en España. *Bol. Soc. Micol. Madrid* 29: 19-26.
- BALLESTEROS S., M.F. RAMÓN, M.J. ITURRALDE & R. MARTÍNEZ-ARRIETA (2006). Natural sources of drugs of abuse: magic mushrooms. In COLE S.M.: *New research on street drugs*, 167-18. Nova Science Publishers, Inc., New York.
- BEN KHELIL M., M. ZHIOUA, O. BAKIR, M. ALLOUCHE, F. GLOULOU, A. BANASR, S. HAOUET, A. HEDHILI & M. HAMDOUN (2010). Four cases of deadly intoxication by *Lepiota brunneoincarnata*. *Anales Biol. Clin.* 68(5): 561-567.
- BIGWOOD J. & M.W. BEUG (1982). Variation of psilocybin and psilocin levels with repeated flushes (harvests) of mature sporocarps of *Psilocybe cubensis* (Earle) Singer. *J. Ethnopharmacol.* 5: 287-291.
- BOGUSZ M.J., R.D. MAIER, A.T. SCHÄFER & M. ERKENS (1998). Honey with *Psilocybe* mushrooms: a revival of a very old preparation on the drug market? *Int. J. Legal Med.* 111(3): 147-150.
- CANFIELD D.V., J.D. BRINK, R.D. JOHNSON, R.J. LEWIS & K.M. DUBOWSKI (2007). *Postmortem ethanol testing procedures available to accident investigators*. Federal Aviation Administration, Office of Aerospace Medicine, Washington.
- CARTER D.O. & M. TIBBETT (2003). Taphonomic mycota: fungi with forensic potential. *J. Forensic Sci.* 48(1): 1-4.
- COLLIER J.H. (2005). *Estimating the postmortem interval in forensic cases through the analysis of postmortem deterioration of human head hair*. Master Thesis. Northwestern State University, 2005.
- CURRY S.C. & M.C. ROSE (1985). Intravenous mushroom poisoning. *Ann. Emerg. Med.* 14(9): 900-902.
- DEARBORN D.G., I. YIKE, W.G. SORENSON, M.J. MILLER & R.A. ETZEL (1999). Overview of investigations into pulmonary hemorrhage among infants in Cleveland, Ohio. *Environm. Health Perspect.* 107(3): 495-499.
- DeGAETANO D.H., J.L. KEMPTON & W.F. ROWE (1992). Fungal tunneling of hair from a buried body. *J. Forensic Sci.* 37(4): 1048-1054.
- EMCDDA. European monitoring centre for drugs and drug addiction. Legal status of hallucinogenic mushrooms. (<http://www.emcdda.europa.eu/html.cfm/index17341EN.html>).
- ESPIARD M.L., L. LECARDEUR, P. ABADIE, I. HALBECQ & S. DOLLFUS (2005). Hal-

- lucinogen persisting perception disorder after psilocybin consumption: a case study. *Eur. Psychiat.* 20: 458-460.
- FINESCHI V., M. DI PAOLO & F. CENTINI (1996). Histological criteria for diagnosis of *Amanita phalloides*. *J. Forensic Sci.* 41(3): 429-432.
- FORBES S.L. (2008). Potential determinants of postmortem and postburial interval of buried remains. In TIBBETT M. & CARTER D.O.: *Soil analysis in forensic taphonomy. Chemical and biological effects of buried human remains*, 225-246. CRC Press.
- FUKIHARU T. & K. IGUCHI (2000). Occurrence of ammonia fungi on the forest ground after decomposition of a dog carcass. *Nat. Hist. Res.* 6(1): 9-14.
- FUKIHARU T., G. YOKOYAMA & T. OBA. (2000). Occurrence of *Hebeloma vinosophyllum* on the forest ground after decomposition of crow carcass. *Mycoscience* 41: 401-402.
- FUNG F., R. CLARK & S. WILLIAMS (1998). *Stachybotrys*, a mycotoxin-producing fungus of increasing toxicologic importance. *Clin. Toxicol.* 36(1&2): 79-86.
- GERAULT A. & D. PICART (1996). Intoxication mortelle à la suite de la consommation volontaire et en groupe de champignons hallucinogènes. *Bull. Soc. Mycol. France* 112: 1-14.
- GONMORI K. & N. YOSHIOKA (2003). The examination of mushroom poisonings at Akita University. *Legal Med.* 5: S83-S86.
- GROSS S.T. (2000). Detecting psychoactive drugs in the developmental stages of mushrooms. *J. Forensic Sci.* 45(3): 527-537.
- GUZMÁN G., J. ALLEN & J. GARTZ (1998). A worldwide geographical distribution of the neurotropic fungi, an analysis and discussion. *Ann. Mus. Civ. Rovereto* 14: 189-280.
- GUZMÁN G. & M.L. CASTRO (2003). Observations on some known species of *Psilocybe* (Basidiomycotina, Agaricales, Strophariaceae) from Spain and description of a new species. *Bol. Soc. Micol. Madrid* 27: 181-187.
- HAWKSWORTH D.L. & P.E.J. WILTSHIRE (2011). Forensic mycology: the use of fungi in criminal investigations. *Forensic Sci. Intern.* 206: 1-11.
- HITOSUGI M., O. KITAMURA, A. TAKATSU & Y. YOSHINO (1998). Autopsy case of duodenal obstruction from impacted mushroom. *J. Gastroenterol.* 33: 562-565.
- HITOSUGI M., K. ISHII, T. YAGUCHI, Y. CHIGUSA, A. KUROSU, M. KIDO, T. NAGAI & S. TOKUDOME (2006). Fungi can be a useful forensic tool. *Legal Med.* 8: 240-242.
- HUSKINS B. & C.R. DOCKERY (2009). Detection of psilocybin mushroom analogs in chocolate: incorporating current events into the undergraduate teaching laboratory. *Chem. Educator* 14: 236-238.
- ILLANA-ESTEBAN C. (2011). Trufas alucinógenas. *Bol. Soc. Micol. Madrid* 35: 187-190.
- ISHII K., M. HITOSUGI, M. KIDO, T. YAGUCHI, K. NISHIMURA, T. HOSOYA & S. TOKUDOME (2006). Analysis of fungi detected in human cadavers. *Legal Med.* 8: 188-190.
- ITURRALDE M.J., S. BALLESTEROS & F. RAMÓN (2002). Retos en el diagnóstico de las intoxicaciones por setas. *Rev. Toxicol.* 19: 97-144.
- ITURRALDE M.J., S. BALLESTEROS & F. RAMÓN (2003). Diagnóstico de laboratorio en la resolución de casos por ingestión de setas: casuística del Instituto Nacional de Toxicología durante 15 años. *Bol. Soc. Micol. Madrid* 27: 189-198.
- KAMATA T., M. NISHIKAWA, M. KATAGI & H. TSUCHIHASHI (2003). Optimized glucuronide hydrolysis for the detection of psilocin in human urine samples. *J. Chromatogr. B* 796: 421-427.
- KATIYAR S. & R.K.S. KUSHWAHA (2002). Invasion and biodegradation of hair by house dust fungi. *Intern. Biodeterior. & Biodegr.* 50: 89-93.
- KUHN D.M. & M.A. GHANNOUM (2003). Indoor mold, toxigenic fungi, and *Stachybotrys chartarum*: infectious disease perspective. *Clin. Microbiol. Rev.* 16(1): 144-172.
- LASSEN J.F., N.F. LASSEN & J. SKOV (1993). Hallucinogenic mushroom use by Danish students: pattern of consumption. *J. Internal Med.* 233(2): 111-112.
- LAUSSMANN T. & S. MEIER-GIEBING

- (2010). Forensic analysis of hallucinogenic mushrooms and khat (*Catha edulis* Forsk) using cation-exchange liquid chromatography. *Forensic Sci. Intern.* 195: 160-164.
- LEE J.C., M. COLE & A. LINACRE (2000). Identification of members of the genera *Panaeolus* and *Psilocybe* by a DNA test. A preliminary test for hallucinogenic fungi. *Forensic Sci. Intern.* 112: 123-133.
- LEWIS J.W. (2010). *What killed the great and not so great composers*. Bloomington, Indiana.
- LEWIS R.J., R.D. JOHNSON, M.K. ANGIER & N.T. VU (2004). Ethanol formation in unadulterated postmortem tissues. *Forensic Sci. Intern.* 146: 17-24.
- LOSTE A., T. SÁEZ, J.J. RAMOS & A. FERNÁNDEZ (2002). Principales micotoxicosis en el ganado ovino. *PR (pequeños rumiantes)* 3: 8-13.
- MARCHIAFAVA V., E. BONUCCI & A. ASCENZI (1974). Fungal osteoclasia: a model of dead bone resorption. *Calc. Tiss. Res.* 14: 195-210.
- MARUTHI A., A. LAKSHMI, R.S. RAMAKRISHNA & A. CHAITANYA (2011). Degradation of feather and hair by *Chrysosporium tropicum*: a potent keratinophilic fungus. *African J. Biotechnol.* 10(18): 3579-3584.
- McCLAIN J.L., D.W. HAUSE & M.A. CLARK (1989). *Amanita phalloides* mushroom poisoning: a cluster of four fatalities. *J. Forensic Sci.* 34(1): 83-87.
- MENEZES R.G., T. KANCHAN, S.W. LOBO, A.J. AIN, N.B. BHAT, N.G. RAO (2008). Cadaveric fungi: not yet an established forensic tool. *J. Forensic and Legal Medicine* 15: 124-126.
- MICOZZI M.S. & C.V. WETLI (1985). Intravenous amphetamine abuse, primary cerebral mucormycosis, and acquired immunodeficiency. *J. Forensic Sci.* 30(2): 504-510.
- MILDENHALL D.C. (2004). An example of the use of forensic palynology in assessing an alibi. *J. Forensic Sci.* 49(2): 312-316.
- MILDENHALL D.C. (2006). *Hypericum* pollen determines the presence of burglars at the scene of a crime: An example of forensic palynology. *Forensic Sci. Inter.* 163(3): 231-235.
- MUSSHOFF F., B. MADEA & J. BEIKE (2000). Hallucinogenic mushrooms on the German market — simple instructions for examination and identification. *Forensic Sci. Intern.* 113: 389-395.
- NUGENT K.G. & B.J. SAVILLE (2004). Forensic analysis of hallucinogenic fungi: a DNA-based approach. *Forensic Sci. Intern.* 140: 147-157.
- O'NEAL C.L. & A. POKLIS (1996). Postmortem production of ethanol and factors that influence interpretation: a critical review. *Am. J. Forensic. Med. Pathol.* 17(1): 8-20.
- PAGE E.H. & D.B. TROUT (2001). The role of *Stachybotrys* mycotoxins in building-related illness. *AIHAJ* 62: 644-648.
- PARKINSON R.A., K.R. DIAS, J. HORSWELL, P. GREENWOOD, N. BANNING, M. TIBBETT & A.A. VASS (2009). Microbial community analysis of human decomposition on soil. In RITZ K., L. DAWSON & D. MILLER (eds): *Criminal and Environmental Soil Forensics*, 379-394. Springer Science and Business Media, Dordrecht.
- PEDERSEN-BJERGAARDS., E. SANNES, K.E. RASMUSSEN & F. TØNNESEN (1997). Determination of psilocybin in *Psilocybe semilanceata* by capillary zone electrophoresis. *J. Chromatogr. B* 694(2): 375-81.
- PIEPENBRINK H. (1986). Two examples of biogenous dead bone decomposition and their consequences for taphonomic interpretation. *J. Archaeol. Sci.* 13(5): 417-430.
- REYNAUD-MAURUPT C., A. CADET-TAÏROU & A. ZOLL (2009). The contemporary uses of hallucinogenic plants and mushrooms: a qualitative exploratory study carried out in France. *Subst. Use Misuse* 44: 1519-1552.
- RILEY S.C.E. & G. BLACKMAN (2008). Between prohibitions: patterns and meanings of magic mushroom use in the UK. *Subst. Use Misuse* 43(1): 55-71.
- SAGARA N. (1976). Presence of a buried mammalian carcass indicated by fungal fruiting bodies. *Nature* 262: 816.

- SAGARA N., T. YAMANAKA & M. TIBBETT (2008). Soil fungi associated with graves and latrines: toward a Forensic Mycology. In TIBBETT M. & D.O. CARTER: *Soil analysis in forensic taphonomy. Chemical and biological effects of buried human remains*, 67-107. CRC Press.
- SAID AL NA'IMI K. (2008). Basics of forensic fungi. In M. COYLE: *Non human DNA typing: theory and casework applications*, 135-165. CRC Press/Taylor & Francis.
- SÁNCHEZ M.R., I. PONGE-WILSON & J.A. MOY (1994). Zygomycosis and HIV infection. *J. Amer. Acad. Dermatol.* 30 (2): 904-908.
- SCHWARTZ R.H. & D.E. SMITH (1998). Hallucinogenic mushrooms. *Clin. Pediatr.* 27: 70-73.
- SHIMAOKA Y., T. ISHIDA, S. KAWASAKI & O. KOBAYASHI (2006). An autopsy case of *Aspergillus* pneumonia after inhalation of a great deal of dust in a mushroom factory. *J. Jap. Resp. Soc.* 44(9): 659-664.
- SIDRIM J.J.C., R.E. MOREIRA, R.A. CORDEIRO, M.F.G. ROCHA, E.P. CAETANO, A.J. MONTEIRO & R.S.N. BRILHANTE (2009). Fungal microbiota dynamics as a postmortem investigation tool: focus on *Aspergillus*, *Penicillium* and *Candida* species. *J. Appl. Microbiol.* 108(5): 1751-1756.
- SOBEK E.A. (2007). DNA forensic mold detection. *Techn. Brief* april: 1.
- SORIANO J.M. (2007). *Micotoxinas en alimentos*. Ed. Díaz de Santos, Madrid.
- SPENGOS K., A. SCHWARTZ & M. HENNERICI (2000). Multifocal cerebral demyelination after magic mushroom abuse. *J. Neurol.* 247: 224-225.
- STICHT G. & H. KÄFERSTEIN (2000). Detection of psilocin in body fluids. *Forensic Sci. Intern.* 113: 403-407.
- THOMPSON J.P., M.D. ANGLIN, W. EMBODEN & D.G. FISHER (1985). Mushroom use by college students. *J. Drug Educ.* 15(2): 111-124.
- TIBBETT M. & D.O. CARTER (2003). Mushrooms and taphonomy: the fungi that mark woodland graves. *Mycologist* 17(1): 20-24.
- TIBBETT M. & D.O. CARTER (2009). Research in forensic taphonomy: a soil-based perspective. In K. RITZ, L. DAWSON & D. MILLER (eds.): *Criminal and Environmental soil forensics*, 317-331, Springer Science.
- TISCIONE N.B. & M.I. MILLER (2006). Psilocin identified in a DUID investigation. *J. Analytical Toxicol.* 30: 342-345.
- TSUJIKAWA K., T. KANAMORI, Y. IWATA, Y. OHMAE, R. SUGITA, H. INOUE & T. KISHI (2003). Morphological and chemical analysis of magic mushrooms in Japan. *Forensic Sci. Int.* 138: 85-90.
- UNITED NATIONS DIVISION OF NARCOTIC DRUGS (1989). Recommended Methods for Testing Peyote Cactus (Mescal Buttons)/Mescaline and *Psilocybe* Mushrooms/Psilocybin, United Nations, New York.
- VAN AMSTERDAM J., A. OPPERHUIZEN & W. VAN DEN BRINK (2011). Harm potential of magic mushroom use: a review. *Regulat. Toxicol. Pharmacol.* 59: 423-429.
- VAN DE VOORDE H. & P.J. VAN DIJCK (1982). Determination of the time of death by fungal growth. *Z. Rechtsmed* 89: 75-80.
- VILLALBA J. (2009). "Boletum medicatum". La seta que mató al emperador Claudio. *Tejuelo* 5: 71-85.
- WASSON R.G. (1972). The death of Claudius or mushrooms for murderers. *Bot. Mus. Leaflet*. 23(3): 101-128.
- WASSON V.P. & R.G. WASSON (1957). *Mushrooms Russia and History*. Pantheon Books. New York.
- WATLING R. (1983). Hallucinogenic mushrooms. *J. Forensic Sci. Soc.* 23: 53-66.
- WETLI C.V., S.D. WEISS, T.J. CLEARY & E. GYORI (1984). Fungal cerebritis from intravenous drug abuse. *J. Forensic Sci.* 29(1): 260-268.
- YAJIMA D., H. MOTANI, K. KAMEI, Y. SATO, M. HAYAKAWA & I. HIROTARO (2006). Ethanol production by *Candida albicans* in postmortem human blood samples: effects of blood glucose level and dilution. *Forensic Sci. Inter.* 164: 116-121.
- YOUNG AM. (2002). Brief notes on *Hebeloma aminophilum* RN Hilton & OK Miller ("Ghoul

Fungus”) from northern Queensland and Tasmania. *Australas. Mycologist* 21(2): 79-80.
ZUBER A., M. KOWALCZYK, A. SEKULA,
P. MLECZKO & T. KUPIEC (2011). Meth-

ods used in species identification of hallucinogenic and other poisonous mushrooms in forensic investigations. *Probl. Forensic Sci.* 86: 151-161.