

Relatorio

Julián Alonso Díaz

Bioacumulación de metales pesados y otros contaminantes en macromicetos

Recibido: 12 Abril 2006 / Aceptado: 10 Noviembre 2006
© IBADER- Universidade de Santiago de Compostela 2006

Resumen En este artículo se revisa el fenómeno de la bioacumulación de metales pesados y otros contaminantes por los macromicetos. Esta aptitud captadora depende de una serie de factores medio ambientales y del hongo (composición bioquímica, actividad descomponedora, grado de desarrollo y distribución del micelio, etc.) que se comentan.

También se resume un trabajo sobre la presencia de metales pesados (Cd, Hg, Pb, Zn y Cu) realizado en la provincia de Lugo sobre muestras de 28 especies comestibles de macromicetos. Se ha estudiado la incidencia de diversos factores en la acumulación de éstos metales: especie, ecología y parte anatómica del carpóforo, y se comentan las posibles repercusiones toxicológicas asociadas al consumo de estos hongos. Se concluye que las especies saprófitas terrícolas muestran las máximas concentraciones de metales, siendo las más bajas las de las especies lignícolas y cultivadas. La especie con mayor aptitud captadora es *Agaricus macrosporus*, especialmente para el cadmio. El himenóforo resultó la porción anatómica con mayores niveles metálicos. En general, no parecen existir riesgos alimentarios por la presencia de estos metales en los hongos, siempre que su ingestión sea moderada. Es conveniente retirar la porción del himenóforo para consumo y evitar la recogida de setas en zonas contaminadas (cascos urbanos, cercanía a carreteras, industrias, etc.). El consumo de la especie *Agaricus macrosporus* y de otras especies del género *Agaricus* sección *Arvenses* debería reducirse o evitarse completamente por sus elevados contenidos en cadmio.

Palabras clave hongos · metales · captación · contaminantes · toxicidad

Summary In this article the macrofungi's phenomenon of heavy metals and another pollutant's bioaccumulation is checked. This ability depends on some environmental factors and also in fungus' (the biochemical composition, the decomposing activity, the state of the mycelium's development and distribution, etc.) which are checked, too.

It's also resumed a project about the presence of heavy metals (Cd, Hg, Pb, Zn and Cu) done in Lugo by studying samples of twenty-eight different species of eatable macrofungi. The incidence of various factors in the accumulation of these metals has been studied: the specie, the ecology and morphological portion of the fruit-body...and the possible toxicological repercussions related to the ingestion of these mushrooms are commented. The study concludes that wild saprophytic species show the highest concentration level and the cultivated ones show the lowest. The specie which absorbs better heavy metals, specially the Cadmium, is the *Agaricus macrosporus*. The hymenium is the mushrooms' part which contents the highest levels of these metals. In general, it seems that ingestion risks don't exist as long as this ingestion was moderate. Is convenient to cut out the hymenium before eating and not to collect mushrooms in polluted areas like cities, road banks, factories, etc. The *Agaricus macrosporus* ingestion or of the *Agaricus* genus, *Arvenses* section should be reduced, even completely avoided just because its very high concentration of cadmium.

Key words mushrooms · metals, intake · pollutants · toxicity

Introducción

En los ecosistemas terrestres, el micelio de los macromicetos puede captar y bioacumular los metales pesados y otros contaminantes presentes en sus substratos de crecimiento, apareciendo posteriormente en los carpóforos o setas, en concentraciones a veces muy superiores a las del medio. Dado el carácter acumulativo de los metales pesados, las altas concentraciones de éstos elementos en macromicetos comestibles puede suponer un

problema toxicológico a medio o largo plazo cuando estos hongos son consumidos reiteradamente, especialmente en relación con aquellos metales que resultan más tóxicos como el cadmio, plomo y mercurio.

Factores que influyen en la presencia de metales pesados en los hongos

Éstos son muy diversos y podemos resumirlos en la siguiente Figura:



Figura 1. Factores que influyen en la captación de metales pesados por los hongos.

Factores medioambientales

Incluyen aspectos como la contaminación por deposición atmosférica y factores del suelo o sustrato de crecimiento como: las concentraciones, formas químicas e interacciones entre los metales, el pH, la materia orgánica, la capacidad de adsorción del suelo, su textura, etc.

Factores dependientes de los hongos

Son los que les confieren una mayor capacidad de captación respecto a otros organismos

Estructura de los hongos: El entramado que forman las hifas que constituyen el micelio de un hongo en el suelo es muy superior al de la raíz de las plantas. Esto supone un extraordinario contacto con el suelo gracias a que, como se puede observar en la Figura 2, las hifas (2) que constituyen el micelio, poseen un diámetro muy fino de 2 a 4 mm (1 a 2 mm en muchas hifas absorbentes), lo que les permite penetrar en los microporos del suelo, donde los pelos absorbentes (1) de las raíces de las plantas, de no menos de 10 - 20 mm, no pueden acceder (Mousain, 1982; Allen, 1991).

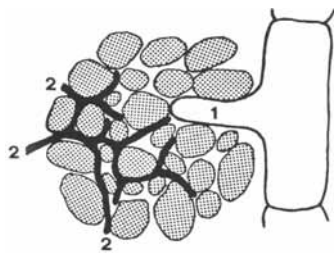


Figura 2. Hifas en la estructura del suelo.

Especie y características ecológicas en función a aspectos como:

Nutrición y actividad descomponedora, ya que la nutrición de los hongos se basa en la descomposición de la materia orgánica mediante la liberación de enzimas degradativas. La mayor parte de estas enzimas forman parte del grupo de las fenoloxidasas, que los hongos utilizan para la descomposición de la celulosa, lignina, ácido húmico, ácido fúlvico, etc., presentes en la materia orgánica que les sirve de alimento. Estas sustancias son básicamente polifenoles con una gran capacidad de fijación de metales pesados por quelación o intercambio catiónico (Hriland, 1995). Por tanto, la descomposición de estas sustancias favorece la liberación de los metales pesados que se encontraban en formas poco disponibles, facilitando su solubilización y captación. La producción de estas enzimas varía en función del tipo ecológico de hongo siendo, en general, los macromicetos saprófitos los que presentan una mayor capacidad descomponedora respecto de las especies micorrízicas.

Distribución del micelio en el sustrato: A diferencia de la raíz de las plantas, el micelio de los hongos en el suelo se desarrolla fundamentalmente en sentido horizontal, ocupando normalmente la parte más superficial (5-10 cm), salvo en algunos hongos micorrízicos en los que parte de su micelio puede extenderse a mayor profundidad, siempre en el recorrido de alguna raíz (Allen, 1991). La distribución particular que ocupa el micelio en el suelo depende en gran medida del tipo ecológico, como puede observarse en la Figura 3 para un suelo forestal (adaptada de Yoshida & Muramatsu, 1994a), aunque también varía entre las distintas especies. Los hongos saprófitos lignícolas se desarrollan sobre la madera muerta, sin apenas contacto con el suelo. En la capa 1, formada por los horizontes más orgánicos (restos vegetales y humus, con más del 30 % de materia orgánica) se encuentra el micelio de la mayor parte de los hongos saprófitos y de algunos micorrízicos facultativos (Berthelsen et al., 1995). En la capa 2 (suelo de 0 a 5 cm) se desarrolla, sobre todo, el micelio de los hongos micorrízicos facultativos y en la 3 (suelo, más de 5 cm) el de los micorrízicos obligados (Guillete et al., 1990, Yoshida & Muramatsu, 1994a, 1994b).

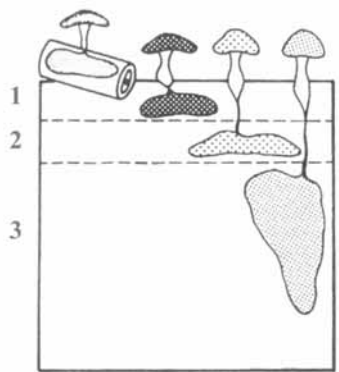


Figura 3. Distribución esquemática del micelio en el suelo.

La mayor presencia de metales como el cadmio, cobre, plomo y zinc, se encuentra en el horizonte H rico en humus (Berthelsen & Steinnes, 1995), lugar en donde se desarrolla mayoritariamente el micelio de los hongos saprófitos, que suelen presentar los mayores niveles de estos metales.

Sin embargo, la mayor acumulación de elementos radioactivos como el radiocésio ^{137}Cs en el suelo, se produce

en la capa 2 (0-5 cm del suelo), mientras que la capa 1 y 3 presentan niveles mucho más bajos de este elemento (Yoshida & Muramatsu, 1994a, 1994b). En consonancia con esta distribución, se ha observado que las mayores concentraciones de este elemento en hongos corresponden a especies micorrízicas facultativas (micelio en capa 2), mientras que las saprófitas (micelio en capa 1) y micorrízicas obligadas (micelio en capa 3) presentan generalmente concentraciones claramente inferiores (Guillete et al., 1990, Yoshida & Muramatsu, 1994a, 1994b; Baeza et al., 2004). Por todo ello, parece que la distribución del micelio en el suelo es un factor fundamental en la acumulación de los diferentes elementos contaminantes del suelo.

Composición bioquímica: La composición química de los hongos es un aspecto fundamental en la captación de metales pesados por estos organismos, poniéndose de manifiesto a 2 niveles:

1 - por la fijación de metales a la pared celular fúngica, por captación directa por grupos químicos funcionales (fosfato, carboxil, amino y especies diéster de éstos) de los componentes de la pared (sobre todo polisacáridos como la quitina), y por interacciones inorgánicas físicas y químicas de adsorción (Gadd, 1993).

2 - por el transporte y acumulación de metales al interior de la célula fúngica y su posterior traslocación a los carpóforos. Los mecanismos de transporte de metales en hongos son todavía poco conocidos y aparte de los transportes habituales asociados a proteínas transportadoras y sistemas de canalización, se consideran también otros procedimientos especiales como la fijación mediante gránulos de polifosfatos (Turnau et al., 1996) o la captación asociada a la presencia de distintas macromoléculas como metalotioneínas y polipéptidos ricos en azufre, encontrados en distintas especies de macromicetos (Münger & Lerch, 1985; Schmitt & Meisch, 1985), u otras proteínas y macromoléculas sin grupos tiol. Así, *Amanita muscaria* contiene elevadas concentraciones de vanadio fijado en un compuesto denominado Amavadin (Kneifel & Bayer, 1986), y en la especie hiperacumuladora de cadmio *Agaricus macrosporus* se ha aislado una fosfogluco proteína: cadmio-micofosfatina, directamente implicada en la captación de este elemento (Meisch et al., 1986)

En cuanto a la traslocación de los metales desde el micelio al carpóforo, ésta se ve favorecida por la existencia de poros (doliporos) en los tabiques de separación de las células fúngicas, lo que garantiza la comunicación orgánica de todas las partes de la estructura miceliar.

Factores individuales

También influyen ciertos factores individuales como:

-Edad y extensión del micelio: el grado de expansión en el sustrato del micelio depende de diversos factores pero, en gran medida, se correlaciona con la edad del micelio.

En general, la edad y superficie que ocupa el micelio son difícilmente analizables y, posiblemente, tienen gran

importancia en la captación de metales (Kala... et al., 2004). Es lógico considerar esta importancia si tenemos en cuenta los casos en que se han encontrado concentraciones muy altas de metales en algunos hongos que crecían en suelos no contaminados. Así, por ejemplo, Quinche (1987) encontró en *Agaricus arvensis* concentraciones de 97 mg/kg de cadmio en suelos con 0,2 mg/kg, y Tyler (1980) niveles de 100 a 299 mg/kg de cadmio en *Agaricus macrosporus* en suelos con sólo 0,07 a 0,25 mg/kg de este metal. Para acumular estas cantidades, cuando los niveles de metal en el suelo son muy bajos, es necesario un alto grado de expansión del micelio y un contacto con una gran cantidad de suelo. Además, los mayores niveles de metales encontrados en las especies silvestres respecto a las mismas cultivadas, no sólo pueden explicarse por las diferencias en la composición y contaminación del sustrato, sino también por la edad y extensión del micelio, que son mucho mayores en los ejemplares silvestres que en sus homólogos cultivados (Stijve & Besson, 1976; Kalaá et al., 2004).

Grado de desarrollo del carpóforo: El grado de desarrollo del carpóforo, desde el estado juvenil de primordio hasta su completo crecimiento como ejemplares adultos, también parece afectar a la presencia de metales, y posiblemente tenga relación con los cambios que se observan en la composición proteica durante el desarrollo del carpóforo, con un mayor contenido en ejemplares jóvenes (Chang & Chan, 1973). En la mayor parte de los estudios se han encontrado concentraciones más altas de metales pesados en ejemplares jóvenes (Pop & Nicoara, 1996; Thomet et al., 1999; Kalaá et al. 2004).

Parte anatómica del carpóforo: La morfología del carpóforo de los macromicetos varía en función del grupo taxonómico y de la especie considerada. Las distintas porciones anatómicas tienen importancia, ya que cada una de ellas puede mostrar distinto grado de acumulación de metales (Alonso et al., 1997). Esto puede deberse a la distinta naturaleza y concentración de proteínas que muestran las diversas regiones del carpóforo, con un espectro electroforético más complejo en el sombrero que en el pie en hongos agaricales (Chang & Chan, 1973).

Para la mayor parte de los metales se encontraron mayores concentraciones en el sombrero (himenóforo incluido) que en el pie. Cuando se analizó la región del himenóforo por separado, ésta mostró siempre los niveles metálicos más altos, seguida del resto del sombrero y con valores más bajos en el pie. (Alonso et al. 1997, 2000; Melgar et al., 1998; Thomet et al., 1999).

En resumen, la captación de metales pesados por los hongos y la presencia en los carpóforos que éstos producen, depende de una serie de factores medio ambientales y del propio hongo. Los primeros determinan la movilidad y disponibilidad de los metales y los segundos definen la mayor capacidad acumuladora de los hongos respecto a las plantas y la diferente aptitud captadora mostrada por las distintas especies.

Metales pesados en macromicetos de la provincia de Lugo (Galicia, España)

Se comenta una parte de un estudio sobre la bioacumulación de metales pesados en macromicetos comestibles de la provincia de Lugo (Galicia), desarrollado en el Departamento de Toxicología de la Facultad de Veterinaria de Lugo (USC). Los metales analizados fueron: cadmio, mercurio, plomo, zinc y cobre, aunque ya se dispone de datos de otros metales.

Para el desarrollo experimental de este estudio se seleccionaron especies frecuentes en las zonas de estudio, comestibles y/o con interés comercial (aunque actualmente la comestibilidad de *Tricholoma equestre* se considera

dudosa). Se eligieron 28 especies, 15 micorrizas y 13 saprófitas (aunque *Agrocybe cilíndrica* y *Fistulina hepatica* también se pueden considerar parásitas), de las cuales 9 son terrícolas, 2 lignícolas y 2 cultivadas.

En las zonas seleccionadas se obtuvieron un total de 238 muestras de carpóforos y 56 muestras de suelos. Las muestras de hongos cultivados se obtuvieron en los mercados locales.

El procedimiento analítico, resumidamente, se realizó de la siguiente manera:

Los carpóforos se limpiaron y se separaron las partes de estudio: el himenóforo, o zona fértil en donde se forman las esporas sexuales y el resto del carpóforo. Las muestras de

Especie	n	Cadmio	Mercurio	Plomo	Cobre	Zinc
<i>Agaricus bisporus</i>	6	0,195	0,399	0,504	67,20	65,12
<i>Agaricus campestris</i>	9	0,657	1,871	2,307	108,7	162,4
<i>Agaricus macrosporus</i>	13	33,22	4,012	1,349	202,9	194,0
<i>Agaricus sylvicola</i>	6	6,444	2,196	1,419	142,4	146,5
<i>Agrocybe cylindrica</i>	6	0,397	0,287	0,624	35,12	61,13
<i>Amanita rubescens</i>	12	0,636	0,461	0,790	54,04	151,9
<i>Boletus aereus</i>	6	0,654	3,738	0,657	71,75	115,6
<i>Boletus aestivalis</i>	6	0,699	1,789	0,929	57,79	142,6
<i>Boletus edulis</i>	10	0,819	2,389	0,706	62,12	84,61
<i>Boletus pinophilus</i>	13	0,797	5,209	0,595	60,62	100,9
<i>Calvatia utriformis</i>	7	0,515	2,437	2,316	235,6	265,8
<i>Cantharellus cibarius</i>	13	0,277	0,334	0,779	55,35	76,93
<i>Clitocybe nebularis</i>	9	0,476	1,334	1,356	78,48	117,9
<i>Coprinus comatus</i>	10	1,225	2,404	3,823	121,3	113,9
<i>Fistulina hepatica</i>	6	0,206	0,242	0,477	34,13	39,46
<i>Hydnum repandum</i>	8	0,332	0,492	0,831	36,13	32,25
<i>Lactarius deliciosus</i>	9	0,282	0,590	0,662	22,77	199,5
<i>Leccinum scabrum</i>	6	1,048	0,449	1,337	44,22	83,81
<i>Lepista nuda</i>	9	0,558	3,718	2,341	118,8	130,9
<i>Macrolepiota procera</i>	12	1,006	1,962	1,416	212,5	88,20
<i>Marasmius oreades</i>	6	0,460	0,875	1,098	110,8	111,6
<i>Russula cyanoxantha</i>	6	0,345	0,956	0,601	67,26	90,07
<i>Tricholoma columbetta</i>	12	0,341	0,495	0,789	70,28	187,6
<i>Tricholoma equestre</i>	6	0,366	0,726	0,708	45,61	144,3
<i>Tricholoma portentosum</i>	10	0,479	0,776	0,533	53,75	107,9
<i>Xerocomus badius</i>	9	0,624	0,345	0,606	52,35	181,3
<i>Xerocomus chrysenteron</i>	6	0,535	0,453	1,070	68,96	124,5

n: número de muestras

Tabla 1. Concentraciones medias (mg/kg de peso seco) en las especies estudiadas.

suelos se recogieron con extractor en los 10 cm superficiales. La determinación de los metales de estudio se llevó a cabo, previa mineralización de las muestras, mediante voltamperometría de redisolución anódica de impulso diferencial con electrodo rotativo de oro para el análisis de mercurio y con electrodo de gota de mercurio para el análisis de los demás metales.

Resultados

Los resultados generales obtenidos se resumen a continuación en la Figura 4 (R.Carpóforo: Resto del carpóforo; C.Completo: Carpóforo completo)

Puede observarse como las mayores concentraciones de metales se encuentran en himenóforo y como los valores medios son especialmente elevados en mercurio, superiores a los encontrados habitualmente en otros organismos animales o vegetales. A partir de los datos de suelos y carpóforos es posible calcular los factores de bioconcentración o FBC (cociente entre la concentración metálica en carpóforo y la concentración en el suelo de crecimiento), que nos indican el carácter bioacumulador o bioexcluyente de estos organismos. En la figura 4 se resumen estos factores observando que los hongos se comportan como activos bioacumuladores de todos los metales exceptuando el plomo, para el que se muestran como bioexcluyentes, unido a la baja movilidad y disponibilidad de este metal en el suelo.

A partir de los resultados obtenidos y de los análisis estadísticos efectuados, valoramos a continuación los factores que influyen los contenidos de metales pesados en los hongos.

En primer lugar, los niveles de metales en carpóforos en función a la Ecología.

Puede observarse en la Figura 5, como las saprófitas terrícolas muestran las máximas concentraciones para todos los metales, con diferencias estadísticamente significativas respecto a los otros grupos. Tras ellas se sitúan las especies micorrízicas, y con niveles mucho más bajos especies lignícolas y cultivadas. Entre las especies

ESTUDIO DE CAMPO - RESULTADOS GLOBALES					
CONCENTRACIONES MEDIAS (mg/kg peso seco)					
	Cd	Hg	Pb	Cu	Zn
Himenóforo	0,819	2,121	1,171	102,8	165,4
R.Carpóforo	0,454	1,427	1,122	79,60	104,7
C. Completo	0,568	1,625	1,133	86,54	122,2
Suelos	0,079	0,016	25,28	23,12	35,51
FBC MEDIOS EN CARPÓFOROS					
	Cd	Hg	Pb	Cu	Zn
Himenóforo	24,16	177,4	0,067	10,35	7,460
R.Carpóforo	14,56	119,8	0,063	7,884	4,596
C. Completo	16,5	131,3	0,064	9,366	5,172

Figura 4. Estudio de campo, resultados globales.

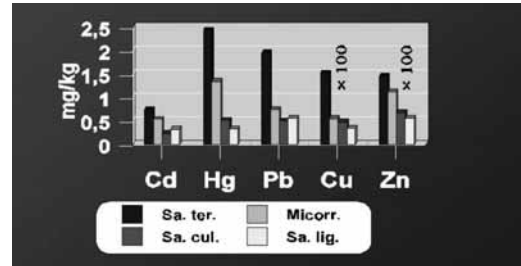


Figura 5. Estudio de campo, niveles de metales según ecología.

terricolas, los mayores valores que muestran las especies saprófitas respecto a las micorrízicas puede deberse a la mayor actividad descomponedora que muestran las primeras (Hriland, 1995), y a la localización de su micelio en los horizontes más superficiales en los que se concentran la mayor cantidad de metales (Yoshida & Muramatsu 1994a, 1994b).

Los menores contenidos encontrados en las especies cultivadas y lignícolas pueden explicarse por el pequeño volumen de sustrato sobre el que crecen, y por la baja concentración de metales que normalmente presentan estos sustratos (Tyler 1982; Gabriel et al. 1997).

Considerando las Especies individualmente, resumimos en la Tabla 1 los niveles medios de metales encontrados en las especies de estudio. Las más destacables por su aptitud captadora son las siguientes:

Para el cadmio *Agaricus macrosporus*.

Para el mercurio *Boletus pinophilus*.

Para el plomo destacamos 2 especies: *Coprinus comatus*, por presentar las mayores niveles de este metal, aunque también debe tenerse en cuenta que es la especie con mayor presencia en áreas urbanas, con niveles de contaminación más elevados. Fuera de las zonas urbanas, *Lepista nuda* es la especie más destacable.

Para el cobre destaca *Macrolepiota procera*,

Para el zinc, *Calvatia utriformis* y *Lactarius deliciosus*.

De entre todas, la especie más sobresaliente por su aptitud captadora es *Agaricus macrosporus*, ya que para todos los metales se encuentra entre las 3 especies con mayores concentraciones o FBC. Sin embargo es respecto al cadmio en donde destaca especialmente esta especie.

En la Figura 6 puede observarse como *Agaricus macrosporus* muestra una concentración media muy superior a la que presentan las demás. Tan sólo *Agaricus sylvicola*, una especie muy cercana taxonómicamente, muestra concentraciones también destacables. Respecto a los factores de bioconcentración, *Agaricus macrosporus* amplifica, por término medio, 873 veces los niveles de cadmio del suelo, frente a los 16,5 habituales en otras especies, y sólo *Agaricus sylvicola* se acerca con FBC de 350.

Diversos autores han destacado la capacidad acumuladora de las especies de *Agaricus* de la sección arvenses, a la que pertenecen *A. macrosporus* y *A. sylvicola*. La elevada

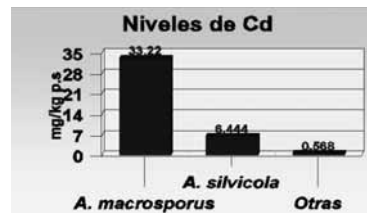


Figura 6. *Agaricus macrosporus*.

acumulación de cadmio en estos hongos se debe a la presencia de ciertas macromoléculas implicadas en la captación de este metal, como la fosfogluco proteína cadmio-micofosfotina y otras proteínas de bajo peso molecular identificadas en *Agaricus macrosporus* por Meisch & Schmitt (1986). Además estos autores han observado en estos hongos que el crecimiento miceliar se ve estimulado por la presencia de cadmio hasta un valor crítico, planteando la posibilidad de que este elemento pudiera ser un factor de crecimiento para estos hongos.

Respecto a la Parte anatómica del carpóforo, se han encontrado para todos los metales, excepto el plomo, mayores concentraciones en himenóforo, con diferencias estadísticamente significativas respecto al resto del carpóforo. En esta parte, a su vez, el sombrero muestra mayores niveles respecto al pie.

En muestras de *Agaricus campestris*, *Agaricus macrosporus* y *Agaricus silvicola*, se estudiaron también los contenidos de metales en anillo y cutícula pileica, encontrándose altas concentraciones en estas partes, similares a las correspondientes al himenóforo. En este sentido, Thomet et al. (1999) comprobaron que los mayores niveles de cadmio en muestras de *Agaricus macrosporus* se localizaban en himenóforo y las partes más altas y distales del sombrero (cutícula y zonas anexas).

Las razones de la distinta aptitud captadora pueden relacionarse con el distinta composición y contenido proteico que se observa en las diversas partes anatómicas del carpóforo (Chang & Chan, 1973).

Respecto a las repercusiones toxicológicas derivadas de la presencia de los metales pesados de estudio en los carpóforos de macromicetos, éstas se han valorado teniendo en cuenta teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

Los límites máximos que establecen las legislaciones sobre el contenido de metales pesados en hongos. A nivel europeo, el Reglamento (CE) nº 466/2001 de la Comisión,

de 8 de marzo por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios, y sus posteriores modificaciones, recogen los máximos niveles de diversos metales para alimentos, pero sólo marca límites para cadmio y plomo en setas cultivadas. A nivel nacional hay que destacar que no existe en España ninguna legislación o normativa que contemple este tipo de límites, y en otros países la legislación más específica y reciente es la de la República Checa que establece los límites máximos tanto para hongos silvestres como cultivados, y que ha sido tomada como referencia en este trabajo (Kala & Svoboda, 2000).

También se ha considerado la participación de los hongos en la dieta, que en España, según Agudo et al. (1999) se sitúa en aprox. 600 g/persona/año. En general este consumo es muy bajo respecto a otros alimentos, aunque debe tenerse en cuenta que el consumo de hongos está muy polarizado, habiendo personas que nunca las prueban y otras que consumen cantidades importantes.

También se tienen en cuenta las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) respecto a los niveles de ingesta diaria admisible (IDA) y, finalmente, se consideran los datos disponibles sobre la biodisponibilidad de los metales presentes en los hongos.

Con relación al cadmio, los límites que establece la legislación checa son de 2 mg/kg de peso seco para los macromicetos silvestres y 1 mg/kg p.s. para cultivados. Por su parte, el Reglamento 466/2001 marca un límite de 0,2 mg/kg de peso fresco (aprox. 2 mg/kg de peso seco) para setas cultivadas. En la Tabla 2 observamos como los valores medios, tanto en hongos silvestres como cultivados, no superan los límites establecidos.

Sin embargo, la especie *Agaricus silvicola* y, especialmente, *Agaricus macrosporus* sobrepasan ampliamente estos límites (valor medio de 33,22 mg/kg de peso seco en *A. macrosporus*), y si tenemos en cuenta las recomendaciones de la OMS respecto a la ingesta diaria admisible (IDA) de cadmio (60 mg, para una persona adulta

Parte anatómica			Ecología (niveles medios del carpóforo completo)			
Carpóforo completo	Himenóforo	Resto del carpóforo	Saprófitas terrícolas	Saprófitas cultivadas	Lignícolas	Micorrízicas
0,568	0,819	0,454	0,739	0,234	0,325	0,539

Tabla 2. Niveles medios de cadmio (mg/kg p.s.) en macromicetos (excepto *A. silvicola* y *A. macrosporus*).

Parte anatómica			Ecología (niveles medios del carpóforo completo)					
Carpóforo completo	Himenóforo	Resto del carpóforo	Saprófitas terrícolas	Saprófitas cultivadas	Lignícolas	Micorrízicas		
1,625	2,121	1,427	0,739	0,234	0,325	1,349*	0,558**	3,632***

Tabla 3. Niveles medios de mercurio (mg/kg p.s.) en carpóforos.

Parte anatómica			Ecología (niveles medios del carpóforo completo)			
Carpóforo completo	Himenóforo	Resto del carpóforo	Saprófitas terrícolas	Saprófitas cultivadas	Lignícolas	Micorrízicas
1,133	1,171	1,122	1,133	1,171	1,122	1,133

Tabla 4. Niveles medios de plomo (mg/kg p.s.) en macromicetos.

Parte anatómica			Ecología (niveles medios del carpóforo completo)			
Carpóforo completo	Himenóforo	Resto del carpóforo	Saprófitas terrícolas	Saprófitas cultivadas	Lignícolas	Micorrízicas
86,54	102,8	79,60	152,1	47,21	34,57	54,95

Tabla 5. Niveles medios de cobre (mg/kg p.s.) en macromicetos.

Parte anatómica			Ecología (niveles medios del carpóforo completo)			
Carpóforo completo	Himenóforo	Resto del carpóforo	Saprófitas terrícolas	Saprófitas cultivadas	Lignícolas	Micorrízicas
122,218	150,46	100,69	145,82	67,74	56,06	118,82

Tabla 6. Niveles medios de zinc en macromicetos (mg/kg p.s.).

de peso medio)(WHO, 1993), podemos calcular que el consumo de 1 kg fresco de este hongo aportaría un nivel de cadmio equivalente a superar el IDA correspondiente a casi 2 meses.

Respecto a los datos referidos sobre la biodisponibilidad de este metal en macromicetos, estudiado por autores como Seeger et al. (1986) o Lind et al. (1995), éstos indican que el cadmio presente en estos hongos es asimilado a un nivel similar o superior al de otros alimentos. Además, las concentraciones referidas por otros autores en esta especie en países como Francia, Suiza o Alemania llega a ser mucho más altas, y así, Tyler (1980) indica concentraciones de hasta 300 mg/kg y Thomet et al. (1999) encontraron niveles por encima de 400 mg/kg en algunas partes de este hongo (especialmente en himenóforo, cutícula pileica y zonas distales del sombrero).

Ya en el año 1979, la antigua Oficina Federal de Sanidad Alemana recomendó no consumir más de 200 g de hongos por semana y aún menos si se trataba de especies del género *Agaricus* (Lorenz, 1981), basándose en los datos existentes en aquellos momentos sobre la presencia de cadmio en hongos, y considerando las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud. Estas sugerencias

(equivalentes a recomendar consumos inferiores a 10 kg de hongos silvestres al año), parecen razonables e incluso demasiado estrictas para los niveles habituales de cadmio en la mayor parte de los hongos, pero deberían ser más restrictivas si se hace referencia a las especies acumuladoras de *Agaricus* (que de acuerdo con este estudio y la bibliografía consultada son *Agaricus* de la sección *Arvenses*, especialmente: *A. macrosporus*, *A. arvensis*, *A. abruptibulbus*, *A. sylvicola* y *A. augustus*). Por todo ello consideramos que el consumo de este hongo y otras especies de *Agaricus* de la sección *arvenses* debería reducirse o evitarse completamente.

Respecto al mercurio los límites establecidos por la legislación checa son de 5 mg/kg de peso seco para especies silvestres y 1 mg/kg p.s. para cultivadas. En este estudio, sólo un 4 % de las muestras los sobrepasan, mientras los niveles medios en hongos silvestres y cultivados se sitúan por debajo de estos límites.

Como puede observarse en la Tabla 3 son destacables, entre las especies micorrízicas, los altos niveles que presentan las especies de *Boletus* de la sección *Edules*, destacando especialmente la especie *Boletus pinophilus* (5,209 mg/kg p.s.), siendo esta una especie de gran calidad

comestible y muy importante por su alto valor comercial. De acuerdo con las recomendaciones de la OMS (WHO, 1978) respecto a la ingesta diaria admisible (aproximadamente 43 mg de mercurio por persona de peso medio), podría considerarse como no recomendable un consumo elevado de este hongo, aunque en este estudio se ha comprobado que los procesos culinarios habituales de cocción o fritura reducen hasta un 40 % los niveles de este metal dado su carácter volátil (Alonso et al., 2000; Kalaš et al. 2004) y además, para el consumo boletáceas se suele retirar la parte del himenóforo, que es donde mayormente se concentra el mercurio, con lo que se reduce de un modo importante la ingestión de este elemento.

Otro aspecto importante a considerar es el alto contenido de selenio que muestran las especies de *Boletus* de la sección *edules* (Kalaš & Svoboda, 2000), ya que este elemento inhibe la absorción del mercurio. Por todo ello parece que el consumo de estos macromicetos no debe plantear problemas sanitarios respecto al mercurio, siempre que este consumo sea moderado, y evitando la ingestión excesiva en crudo.

Para el plomo, los límites de la legislación checa son de 10 mg/kg de peso seco, tanto para especies silvestres como para cultivadas. El Reglamento 466/2001 indica un nivel máximo más estricto para setas cultivadas en 0,3 mg/kg de peso fresco (aprox. 3 mg/kg de peso seco).

Tan sólo un 0,8 % de las muestras han superado estos límites, mientras que los niveles medios se sitúan muy por debajo de estos valores. Sólo algunas muestras urbanas de *Coprinus comatus*, alcanzan concentraciones de casi 16 mg/kg p.s. Considerando las recomendaciones de la OMS (WHO, 1993) con relación a la ingesta diaria admisible (aprox. 215 mg de plomo por persona), el consumo de macromicetos no puede considerarse un riesgo sanitario por la presencia de plomo, aunque es recomendable no ingerir ejemplares recogidos en zonas urbanas, o cercanas a carreteras con altos índices de tráfico.

Respecto al cobre los límites checos son de 80 mg/kg p.s., sin diferenciar entre especies silvestres o cultivadas.

Hasta un 40 % de las muestras silvestres sobrepasaron estos límites, así como los valores medios de la mayor parte de las especies saprófitas silvestres terrícolas. Sin embargo, autores checos (Kalaš & Svoboda, 2000) valoran como excesivos estos límites y consideran que concentraciones de hasta 300 mg en hongos no pueden considerarse un riesgo sanitario.

En este estudio, las especies con mayores concentraciones fueron *Macrolepiota procera* (212,5 mg/kg p.s.) y *Calvatia utriformis* (235,6 mg/kg p.s.). Teniendo en cuenta las recomendaciones de la OMS (WHO, 1982), incluso el consumo reiterado de estos hongos no puede considerarse como un riesgo sanitario, mientras que, por el contrario, tan sólo 100 gramos frescos de estos hongos cubren las necesidades de un día para este elemento, que se sitúan entre 1,5-3 mg para una persona adulta (NRC, 1989).

Finalmente, para el ZINC, la legislación checa no establece limitaciones y, tan sólo la legislación polaca considera un

límite de 100 mg/kg p.s. (Zrodowski, 1995) sólo para especies cultivadas. Los valores medios no sobrepasan estos valores, mientras que la mayor parte de las especies silvestres se sitúan con concentraciones de entre 100 y 250 mg.

Estos niveles no pueden considerarse como un riesgo toxicológico, ya que, incluso suponiendo un consumo de especies con altos valores de zinc como *Calvatia utriformis* o *Lactarius deliciosus*, los niveles aportados se situarían muy por debajo de los límites máximos establecidos mientras que, por el contrario, se aportarían cantidades interesantes para cubrir las necesidades diarias de este metal.

Otros contaminantes

Las setas comestibles pueden volverse peligrosas cuando crecen en lugares tratados con pesticidas (sitios tratados con clordano, organofosforados, etc.) y pueden también contener sustancias cancerígenas como las nitrosaminas presentes en macromicetos (especialmente *Agaricus*) que crecen en terrenos ricos en nitratos como consecuencia de la utilización excesiva de purines o abonos muy nitrogenados (Moutschen et al., 1989; García Rollán, 1990).

Algunas especies son también capaces de cargarse de isótopos radiactivos, especialmente radiocésio ^{137}Cs absorbido del suelo, debido al enriquecimiento de este elemento en países del este y centro de Europa como consecuencia del desastre de Chernobyl. Según diversos estudios (Guillete et al., 1990; Yoshida & Muramatsu, 1994a, 1994b; Baeza et al., 2004) las especies con mayores contaminación son especialmente de ecología micorrízica facultativa (*Lactarius*, *Xerocomus*, *Hydnum*, etc.) debido posiblemente a que la presencia de su micelio (sobre todo en los 5 cm superiores del suelo bajo los horizontes más orgánicos) coincide con la distribución principal del cesio en el suelo (Yoshida & Muramatsu, 1994a, 1994b).

La problemática de la contaminación por elementos radioactivos en los macromicetos y otros alimentos silvestres (bayas, caza, peces carnívoros de agua dulce) preocupa seriamente en la Unión Europea y ha dado lugar a diversa legislación siendo la más destacable:

- *Reglamento (CE) no 1661/1999 de la Comisión de 27 de julio de 1999 por el que se establecen las disposiciones de aplicación del reglamento (CEE) nº 737/90 del Consejo relativo a las condiciones de importación de productos agrícolas originarios de terceros países como consecuencia del accidente ocurrido en la central nuclear de Chernobil.* De obligado cumplimiento por todos los países de la Unión, en este Reglamento se cita expresamente a las setas silvestres (no a las cultivadas) procedentes de diversos países de Europa Oriental entre los alimentos sujetos a control de niveles de radioactividad.

- *Recomendaciones de la Comisión de 20 de febrero de 2003 y de 14 de abril de 2003 sobre la protección y la información del público en relación con la exposición derivada de la contaminación persistente por cesio*

radioactivo de determinados alimentos de origen silvestre, como consecuencia del accidente ocurrido en la central nuclear de Chernobil. No son vinculantes, pero expresan la recomendación de tomar medidas para garantizar que se respetan los límites de cesio radioactivo en relación con la comercialización de, entre otros alimentos, setas silvestres.

Afortunadamente los niveles de elementos radiactivos presentes en las setas silvestres en España parecen ser bastante bajos (Baeza et al., 2004)

Conclusiones

Resumidamente, podemos considerar que en función de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta la participación habitual de los hongos en la alimentación, el consumo de la mayor parte de las especies comestibles no puede considerarse un riesgo para la salud por la presencia de metales, aunque sería recomendable no incrementar excesivamente el consumo de macromicetos silvestres terrícolas. Se reduciría la ingestión de estos metales si se eliminara la porción correspondiente al himenóforo, siendo aconsejable moderar el consumo de las especies del género *Boletus*, especialmente en crudo, por sus contenidos en mercurio, y los ejemplares de setas que se desarrollen en zonas urbanas o próximas a carreteras por sus contenidos en plomo.

Los altos contenidos de cadmio en *Agaricus macrosporus* hacen aconsejable reducir al máximo su consumo o evitarlo completamente.

Cobre y zinc no suponen riesgo toxicológico a través del consumo de hongos y, por el contrario, constituye un aporte interesante de estos elementos a la dieta.

Respecto a otros contaminantes, debe evitarse el consumo de macromicetos que crezcan en zonas donde recientemente se haya utilizado algún tipo de pesticida. Tampoco es aconsejable consumir setas que crezcan en terrenos muy abonados con purines u otros abonos altamente nitrogenados, por la posible presencia de niveles elevados de nitrosaminas.

En relación con los elementos radioactivos, no parece existir riesgo asociado a su presencia en los macromicetos que crecen en España.

Bibliografía

Agudo, A., Amiano, P., Barcos, A., Barricarte, A., Beguiristain, J.M., Chirlaque, M.D., Dorronsoro, M., González, C.A., Las Heras, C., Martínez, C., Navarro, C., Pera, G., Quirós, J.R., Rodríguez, M., Tormo, M.J. (1999). Dietary intake of vegetables and fruits among adults in five regions of Spain. *Eur. J. Clin. Nutr.* 53, 174-180.

Allen, M.F. (1991). The ecology of mycorrhizae. Ed. Cambridge University Press. Cambridge.

Alonso, J., Melgar, M.J., García, M.A. (1997). Hongos silvestres comestibles en la provincia de Lugo: contaminación por plomo y cadmio y sus repercusiones toxicológicas. Servicio de publicaciones Diputación Provincial de Lugo. Lugo.

Alonso, J., Salgado, M.J., García, M.A., Melgar, M.J. (2000). Accumulation of mercury in edible macrofungi: influence of some factors. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 38, 158-162.

Baeza, A., Hernández, S., Guillén, F.J., Moreno, G., Manjón, J.L., Pascual, R. (2004). Radiocaesium and natural gamma emitters in mushrooms collected in Spain. *The Science of the Total Environment* 318, 59-71.

Berthelsen, B.O., Olsen, R.A., Steinnes, E. (1995). Ectomycorrhizal heavy metal accumulation as a contributing factor to heavy metal levels in organic surface soils. *Sci. Total Environ.* 170, 141-149.

Berthelsen, B.O., Steinnes, E. (1995). Accumulation patterns of heavy metals in soil profiles as affected by forest clear-cutting. *Geoderma* 66, 1-14.

Chang, S.T., Chan, K.Y. (1973). Quantitative and qualitative changes in proteins during morphogenesis of the basidiocarp of *Volvariella volvacea*. *Mycol.* 65, 355-364.

Falandysz, J., Gucia, M., Frankowska, A., Kawano, M., Skwarzec, B. (2001). Total Mercury in wild mushrooms and underlying soil substrate from the city of Umea and its surroundings. Sweden. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 67, 763-770.

Gabriel, J., Baldrian, P., Rychlovský, P., Kren, M. (1997). Heavy metal content in wood-decaying fungi collected in Prague and in the National Park Šumava in the Czech Republic. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 59, 595-602.

Gadd, G.M. (1993) Interactions of fungi with toxic metals. *New Phytol.* 124, 25-60.

García Rollán, M. (1990) Setas venenosas. Intoxicaciones y prevención. Ed. Ministerio de sanidad y consumo. Madrid.

Guillite, O., Fraiture, A., Lambinon, (1990) J. Soil-fungi radiocaesium transfers in forest ecosystems. En: Desmet, G. et al. (Eds.) Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments. Ed. Elsevier Applied Science. Barking.

Høiland, K. (1995) Reaction of some decomposer basidiomycetes to toxic elements. *Nor. J. Bot.* 15(3), 305-318.

Kalaš, P., Svoboda, L., Havlíková, B. (2004) Contents of detrimental metals mercury, cadmium and lead in wild growing edible mushrooms: a review. *Energy Education Science and Technology* 13(1), 31-38.

Kalaš, P., Svoboda, L. (2000). A review of trace element concentrations in edible mushrooms. *Food Chem.* 69, 273-281.

Kneifel, H., Bayer, E. (1986). Stereochemistry and total synthesis of amavadin, the naturally occurring vanadium compound of *Amanita muscaria*. *J. Am. Chem. Soc.* 108, 3075-3077.

- Lind, Y., Wicklung Glynn, A., Engman, J., Jorhem, L. (1995). Bioavailability of cadmium from crab hepatopancreas and mushrooms in relation to inorganic cadmium: a 9-week feeding study in mice. *Food Chem. Toxicol.* 33(8), 667-673.
- Lorenz, H. (1981). Cadmium intake from wild mushrooms. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 173(1), 7-8.
- Meisch, H.U., Schmitt, J.A. (1986). Characterization studies on cadmium-mycophosphatin from the mushroom *Agaricus macrosporus*. *Environ. Health Perspectives* 65, 29-32.
- Melgar, M.J., Alonso, J., Pérez López, M., García, M.A. (1998). Influence of some factors in toxicity and accumulation of cadmium from edible wild macrofungi in NW Spain. *J. Environ. Sci. Health*, B33(4), 439-455.
- Mousain, D. (1982) Quelques aspects physiologiques et écologiques de la symbiose ectomycorhizienne. *C.R Acad. Agric. France*, 1153-1152.
- Moutschen-Dahmen, J., Moutschen-Dahmen, M., Ramaut, J., Gilot-Delhalle, J. (1989). Un danger méconnu de certains champignons que l'on consomme chez nous. *Les Naturaliste Belges* 70, 1-7.
- Münger, K., Lerch, K. (1985). Copper metallothionein from the fungus *Agaricus bisporus*: chemical and spectroscopic properties. *Biochem.* 24, 6751-6756.
- NRC (National Research Council) (1989). Recommended dietary allowances, 10th ed. Ed. National Academy Press. Washington.
- Pop, A., Nicoara, A. (1996). Heavy metals in three species of edible mushrooms. *Studia Univ. Babeş-bolyai Biologia* 41(1-2), 93-96.
- Quinche, J.P. (1987). Le cadmium, un élément présent en traces dans les sols, les plantes et les champignons. *Revue Suisse Agric.* 19 (2), 71-77.
- Schmitt, J.A., Meisch, H.U. (1985). Cadmium in mushrooms—distribution, growth effects and binding. *Trace Elements Medicine* 2(4), 163-166.
- Seeger, R., Schiefelbein, R., Seuffert, R., Zant, (1986). W. Absorption of cadmium ingested with mushrooms. En: abstracts of the 27th. Spring meeting, Dtsch. Pharmakol. Gesselsch. Naunym-Schimiedeberg's. *Arch. Pharmacol.* 332 Suppl., 110.
- Stijve, T., Besson, R. (1976). Mercury, cadmium, lead and selenium content in mushroom species belonging to the genus *Agaricus*. *Chemosphere* 2, 151-158.
- Thomet, U., Vogel, E., Krähenbühl. (1999). The uptake of cadmium and zinc by mycelia and their accumulation in mycelia and fruiting bodies of edible mushrooms.
- Turnau, K., Kottke, I., Dexheimer, J (1996). Toxic element filtering in *Rhizopogon roseolus*/Pinus sylvestris mycorrhizas collected from calamine dumps. *Mycol. Res.* 100(1), 16-22.
- Tyler, G. (1982). Metal accumulation by wood decaying fungi. *Chemosphere* 11(11), 1141-1146.
- Tyler, G. (1980). Metals in sporophores of basidiomycetes. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 74(1), 41-49.
- WHO (World Health Organization) (1993). Evaluation of certain food additives and contaminants (Forty-first report of the Joint of FAO/WHO Expert Committee of Food Additives). WHO Technical Report Series, No. 837. Geneva.
- WHO (1978). Evaluation of certain food additives and contaminants. (Twenty-second report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). WHO Technical Report Series, No. 631. Geneva.
- WHO (1982). Evaluation of certain food additives and contaminants (Twenty-sixth report of the Joint of FAO/WHO Expert Committee of Food Additives). WHO Technical Report Series, No. 683. Geneva.
- Yoshida, S., Muramatsu, Y. (1994a). Accumulation of radiocesium in basidiomycetes collected from Japanese forests. *Sci. Total Environ.* 157, 197-205.
- Yoshida, S., Muramatsu, Y. (1994b). Radiocesium concentrations in mushrooms collected in Japan. *J. Environ. Radioactivity* 22, 141-154.
- Zrodowski, Z. (1995). The influence of washing and peeling of mushrooms *Agaricus bisporus* on the level of heavy metal contaminations. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 4/45 (1), 26-33.