

# TRABAJO DE FIN DE GRADO

GRADO EN NUTRICIÓN HUMANA Y DIETÉTICA

4º CURSO



## COMPOSICION QUIMICA Y ANTIOXIDANTES EN SETAS COMESTIBLES

PRESENTADO POR:

**BEATRIZ DÍAZ CRUZ**

TUTORIZADO POR:

**TOMÁS GIRBÉS JUAN**

2015

### RESUMEN

Este trabajo consiste en una revisión bibliográfica sobre la cantidad y los tipos de antioxidantes presentes en las setas comestibles. La inclusión de lo que llamamos setas en nuestra dieta resulta beneficiosa, sobre todo en aquellas en las que se deba controlar el aporte calórico, ya que éstas destacan por su escaso contenido en calorías, principalmente en forma de grasas. Como se está demostrando en numerosos estudios, las setas contienen multitud de sustancias bioactivas en su composición que ayudan a mantener y mejorar el estado de salud de las personas. Principalmente esta función está llevada a cabo por los antioxidantes, tema principal de esta revisión, y por distintos tipos de fibras, especialmente los  $\beta$ -glucanos. Encontramos multitud de antioxidantes en las setas que, difiriendo entre especies, medios de cultivo y tratamientos culinarios y de conservación, actúan sinérgicamente neutralizando los radicales libres formados en nuestro cuerpo y con ello disminuyendo la incidencia y prevalencia de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, entre las que destacan tanto el cáncer, las enfermedades cardiovasculares e inflamatorias, como los simples procesos de envejecimiento y todo lo que ello conlleva. A pesar de sus efectos beneficiosos, no debemos olvidar la posible toxicidad que puede dar este tipo de alimento. Son comúnmente conocidas las intoxicaciones por setas venenosas, pero otras menos conocidas también pueden afectarnos aunque sea débilmente, a corto y largo plazo. Otro punto importante es la posible acumulación de sustancias tóxicas, en especial metales pesados, que puede derivarse de su cultivo en zonas contaminadas, así como la radiactividad que pueden adquirir. Por ello, resulta de gran importancia un amplio estudio de este tema y una mayor investigación sobre los efectos que pueden derivarse del consumo de estos alimentos.

**Palabras clave:** seta, antioxidante, fibra, radicales libres, comestible.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

### Tabla de contenido

<b>1. JUSTIFICACIÓN E INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>5</b>
<b>3. EL REINO FUNGI</b> .....	<b>6</b>
3.1. NUTRICIÓN.....	7
3.2. REPRODUCCIÓN .....	7
3.3. CLASIFICACIÓN .....	8
3.4. TAXONOMÍA.....	9
<b>4. COMPOSICIÓN QUÍMICA</b> .....	<b>9</b>
4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA GENERAL.....	9
4.2. CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	14
4.3. TOXICIDAD .....	15
4.4. BIOACUMULACIÓN DE METALES.....	20
4.4.1. Metales tóxicos bioacumulados.....	21
4.5. RADIOACTIVIDAD .....	22
<b>5. ANTIOXIDANTES</b> .....	<b>24</b>
5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ANTIOXIDANTES .....	25
5.2. ESTIMACIÓN DE LOS ANTIOXIDANTES EN HONGOS .....	30
<b>6. DISCUSIÓN</b> .....	<b>30</b>
<b>7. INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN HONGOS</b> .....	<b>31</b>
<b>8. CONCLUSIONES</b> .....	<b>32</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>33</b>
<b>10. ANEXOS</b> .....	<b>36</b>
10.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DETALLADA POR ESPECIE .....	36
10.2. ESTRUCTURA QUÍMICA DE LAS SUSTANCIAS TÓXICAS EN SETAS .....	46
10.3. ESTIMACIÓN DETALLADA DE ANTIOXIDANTES EN HONGOS .....	47

### 1. JUSTIFICACIÓN E INTRODUCCIÓN:

La justificación principal de este trabajo reside en la escasa revisión que podemos encontrar actualmente sobre el tema y en su importancia tanto a nivel gastronómico como a nivel de salud, puesto que es un alimento ampliamente consumido y cultivado.

Se calcula que existen aproximadamente 140.000 especies de hongos, de las cuales 14.000 son conocidas, 2.000 se consideran comestibles, y 700 con propiedades farmacológicas<sup>1,2</sup>. Actualmente, las más consumidas son *Boletus edulis*, *Lactarius deliciosus*, *Russula brevipes* y *Amanita caesarea*. Otras notablemente consumidas son las del género *Agaricus*, los comúnmente denominados champiñones.

El consumo de setas es extremadamente popular en India, China y Japón. En otros países su consumo es más limitado por cuestiones económicas, geográficas y culturales<sup>4</sup>. La producción total de hongos, incluidas las trufas, es muy abundante, de unos 10 millones de toneladas datados en 2013. China es el mayor productor, siendo las especies más cultivadas *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus spp.* y *Flammunila velutipes*<sup>3,5</sup>.

Se han descrito múltiples sustancias orgánicas en los hongos con actividad biológica, tales como polisacáridos, compuestos fenólicos, proteínas, complejos polisacárido-proteína, componentes lipídicos (ergosterol), terpenoides, alcaloides y nucleótidos. Éstas son responsables de las propiedades asociadas a estos organismos: antioxidantes, antitumorales, antimicrobianos, inmunomoduladores, antiinflamatorios, antiaterogénicos, hipoglucémicos, hepatoprotectores, antialérgicos, antitrombóticos y cardioprotectores<sup>1</sup>.

Las formas más comunes de consumo de setas son en forma de salsas o sopas. También destaca su consumo en pizzas, pastas y "rissotos" que, con una amplia variedad de recetas, favorecen una mayor inclusión de éstas a nuestra dieta. Es importante un amplio conocimiento del sector en la actividad recreacional de recogida de setas, la cual podría llegar a ser peligrosa si no se conocen adecuadamente datos sobre su comestibilidad y toxicidad.

### **2. OBJETIVOS**

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- Dar a conocer la importancia de las setas como una buena fuente de hidratos de carbono, proteínas y fibra con un escaso aporte de grasa.
- Promover dietas ricas en compuestos antioxidantes de setas comestibles para favorecer unas correctas funciones corporales reduciendo el estrés oxidativo.
- Desarrollar un estudio de los antioxidantes más característicos en las setas comestibles.
- Advertir de la posible toxicidad de las setas y la necesidad de conocimientos sólidos para poder distinguir setas comestibles de las que no lo son.
- Estudiar los efectos que pueden derivarse de los tratamientos tanto culinarios como de conservación en relación a la capacidad antioxidante y su composición química.

### 3. EL REINO FUNGI

Los hongos pertenecen al reino Fungi junto a los mohos y las levaduras. Se clasifican en un reino biológico distinto al de las plantas, animales y protistas debido a dos razones: no ingieren el alimento, sino que lo absorben, y sus células tienen pared celular, en cuya composición destaca la quitina.

Son organismos eucariotas, heterótrofos, que extraen energía de la materia orgánica. Pueden ser unicelulares (levaduras) y pluricelulares (hongos filamentosos). En este estudio nos centraremos en los hongos filamentosos dado que son estos los que pueden ser ingeridos dentro de nuestra alimentación.

Están formados por dos estructuras: el *talus*, que consta de una parte vegetativa o micelio, y de una parte reproductora, el esporoma o carpóforo. La segunda estructura es el *himenio*, la parte fértil de la seta, donde se forman las esporas. El esclerocio, parte del micelio, es la zona del hongo con más propiedades beneficiosas. Las comúnmente denominadas setas son los cuerpos fructíferos de los hongos superiores de los filos *Basidiomycota* y *Ascomycota*, es decir, sus carpóforos.

El micelio se encuentra inmerso en el sustrato, es haploide y generalmente no presenta coloración. Está compuesto por filamentos llamados hifas, las cuales a menudo están divididas por tabiques denominados septos. Cada hifa está formada por una pared delgada, transparente, que guarda en su interior un protoplasma. Su pared celular es multilaminada. Las nuevas hifas se forman por la aparición de nuevos ápices a lo largo de hifas preexistentes, de forma apical, por ramificación, o mediante bifurcación, dando lugar a dos hifas con crecimiento paralelo.

La micofagia comenzó en la prehistoria. En Chile se han encontrado setas comestibles en yacimientos arqueológicos humanos de 13.000 años de antigüedad. Durante la mayor parte de la era paleozoica, los hongos fueron acuáticos. El primer hongo terrestre apareció probablemente en el período silúrico.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

### 3.1. NUTRICIÓN

Según el tipo de nutrición que presenten, podemos encontrar:

- **Hongos saprófitos:** se nutren de materia orgánica muerta vegetal o animal, o incluso de restos quemados (hongos pirófilos). Son esenciales en la descomposición y transformación de la materia orgánica. Son responsables de la podredumbre, de las fermentaciones alimentarias y de la producción de antibióticos. Algunos géneros de este grupo son *Clitocybe*, *Clavaria*, etc.
- **Hongos parásitos:** se nutren a partir de otro organismo vivo, provocando en éstos alguna patología. Algunas familias que destacan en este grupo son *Ganodermataceae*, *Steraceae* o *Polyporaceae*.
- **Hongos simbióticos:** se nutren a partir de la asociación con otro ser vivo produciéndose un beneficio mutuo. Dentro de este grupo podemos encontrar micorrizas, asociaciones entre hongo y vegetal, como los de los géneros *Lactarius*, *Hebeloma*, etc., y líquenes, asociaciones entre hongo y alga, como los de los géneros *Omphalina*, *Cladonia*, etc.

### 3.2. REPRODUCCIÓN

Los hongos se reproducen por esporas, que cuando germinan dan lugar a una hifa, de la cual se constituirá un micelio. Las esporas se producen en los esporangios, de forma asexual o sexual:

- **R. asexual:** es la más importante para la propagación de la especie, con la máxima rapidez y extensión posible. Las formas más comunes de reproducción son por simple fragmentación del micelio, en la que cada parte da lugar a un individuo, y por gemación, en la que se origina una porción más pequeña llamada brote o yema, que al separarse dará lugar a otro individuo.
- **R. sexual:** se produce la unión de dos núcleos haploides formando uno diploide, llamado cigoto, que a través de la meiosis dará lugar a cuatro núcleos haploides o meiosporas, las cuales tienen una capacidad de resistencia que les permite sobrevivir en las condiciones más adversas.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

### 3.3. CLASIFICACIÓN

El reino *Fungi* se clasifica en cinco filos:

1. *Glomeromycota*: se caracterizan por no presentar una reproducción sexual conocida y ser simbioses obligados de plantas terrestres. Con éstas forman las endomicorrizas, un tipo de asociación micorrizógena que se caracteriza por la entrada de las hifas del hongo en el interior de las células de la raíz de la planta simbiote. Además se diferencian por el gran tamaño de sus esporas y sus hifas no septadas. La división incluye una sola clase, *Glomeromycetes*, y cuatro órdenes.
2. *Chytridiomycota*: son los únicos hongos que tienen células flageladas. Son acuáticos la mayoría, aunque algunos viven en el suelo. Son microscópicos.
3. *Zygomycota*: presentan un cigoto de resistencia, llamado zigospora, formada tras la unión completa de los gametangios. Se dividen en 6 órdenes, siendo *Mucorales* la más extensa. Son principalmente especies saprófitas, viven sobre excrementos y sustancias en descomposición.
4. *Ascomycota*: este filo engloba aproximadamente al 75% de los hongos conocidos, desde levaduras microscópicas hasta hongos complejos. La mayor parte son saprófitos. Su principal característica es la presencia de ascos, células en forma de saco que contienen ascosporas, las cuales al germinar formarán un micelio. Salvo en las levaduras, el micelio de los *Ascomycota* es septado. Pueden reproducirse tanto de forma sexual como asexual, aunque de algunas especies no se conoce alguna de las dos.
5. *Basidiomycota*: este filo incluye a los hongos de mayor complejidad morfológica, entre los que destacan las setas. Su característica común es la presencia de basidios, células que producen basidiosporas. En estos hongos es más común la reproducción sexual, pero también se puede dar la asexual, siendo la gemación la forma más prevalente.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

### 3.4. TAXONOMÍA

La taxonomía en los hongos se desarrolla mediante niveles o jerarquías, siendo las más importantes el reino, el filo, la clase, el orden, la familia, el género y la especie, existiendo subniveles entre ellos. Para la denominación común del hongo en particular, se utilizan el género y la especie, según el sistema binomial de Linneo.

## 4. ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

Algunos factores son determinantes para su composición, como el medio ambiente, el área de cultivo y la edad. Analizando hongos jóvenes, se observa un mayor contenido proteico que en otras muestras más maduras, las cuales tienen mayor contenido en carbohidratos<sup>4</sup>.

### 4.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA GENERAL<sup>3,5</sup>

**Materia seca y valor energético:** el componente mayoritario de las setas es el agua, siendo éstas higroscópicas. Por ello, tienen una baja proporción de materia seca, entre 80-140 g/kg. El valor energético es también bajo, entre 350-400 kcal/kg. A parte de por la gran cantidad de agua, otros compuestos son responsables del bajo aporte calórico: los carbohidratos. Algunos de ellos son digeribles solo parcialmente o indigeribles, tales como el manitol y la quitina, la cual además limita la biodisponibilidad de otros componentes.

**Proteínas y aminoácidos:** tienen una cantidad considerable de proteínas, entre 200-250 g/kg de materia seca, o 2-2.5 g/kg de materia fresca. Se suele utilizar para su cálculo el método de Kjeldahl, usando el factor de conversión de 6.25. Sin embargo, estos valores quedan sobreestimados debido a la gran proporción de nitrógeno no proteico, particularmente en la quitina. En publicaciones recientes se ha utilizado el factor de conversión de 4.38. Se han identificado muchas proteínas, como albúminas, globulinas, glutelinas y prolaminas. Se estima un total de aminoácidos de 93.6-230 g/kg MS<sup>i</sup> y de aminoácidos esenciales de 39.7-86.8 g/kg MS. La metionina suele ser el más abundante, junto al ácido glutámico. Sin embargo, hay un conocimiento limitado sobre los aminoácidos esenciales, su proporción y su digestibilidad. Tienen aminos

---

<sup>i</sup> MS: materia seca

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

biógenas producto de la descomposición de proteínas, destacando la putrescina, a veces excediendo de los 150 mg/kg MF<sup>ii</sup>, seguido por la feniletilamina.

**Lípidos:** destacan por su bajo contenido, comprendido entre 20-30 g/kg MS, raramente sobrepasando los 60g/kg. Se han identificado decenas de ácidos grasos, de los cuales prevalecen los ácidos linoleico (en un 25-60%) y el oleico (en un 20-50%). El tercero más abundante es el ácido palmítico (10-15%), saturado. El ácido esteárico también es predominante en algunas especies como *L. deliciosus*.

**Hidratos de carbono y fibra:** los hidratos de carbono constituyen generalmente la mitad del peso seco de los hongos. Encontramos azúcares (monosacáridos, sus derivados y oligosacáridos) y polisacáridos (glucanos). El manitol y la trealosa son los azúcares alcohol más representativos, con valores medios de 28.9 y 39.2 g/kg MS, respectivamente, aunque su contenido varía entre especies. Su digestibilidad es escasa. Se pueden encontrar otros azúcares como ramnosa, xilosa, arabinosa, fructosa, glucosa, manosa, sacarosa y maltosa. En general, las especies micorrizas muestran mayores contenidos en azúcares que los saprótrofos. Solo se ha encontrado fructosa en hongos micorrizas. El glucógeno es el polisacárido de reserva en hongos, con contenidos entre 50-100 g/kg MS. El contenido en carbohidratos también comprende la fibra y otros polisacáridos estructurales, tales como  $\alpha$  y  $\beta$ -glucanos, quitina, hemicelulosas, mananos y sustancias pécticas. Estos polisacáridos tienen potencial antioxidante, antitumoral, antiviral, y propiedades inmunomoduladoras. Los datos sobre la fibra dietética son limitados, pero se han observado contenidos entre 40-90 y 220-300 g/kg MS de fibra soluble e insoluble, respectivamente. Los carbohidratos con mayor importancia por su impacto sobre la salud son los  $\beta$ -glucanos.

Los  $\beta$ -glucanos, tales como el lentinano, se están investigando y se usan en medicina por sus propiedades inmunomoduladoras. Son polisacáridos con residuos de glucosa unidos por enlaces  $\beta$ -glucosídicos, son fermentables y forman grandes soluciones viscosas en el intestino, lo que constituye también la base de sus beneficios contra la obesidad<sup>6</sup>.

---

<sup>ii</sup> MF: materia fresca

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

Los  $\beta$ -glucanos provocan distintos efectos, sobre todo a nivel inmunitario. Activan los macrófagos, incrementando consecuentemente la cascada de activación de las células T elevando los mecanismos de defensa inmune en el cuerpo. Tienen un gran efecto antitumoral. Algunos glucanos reducen significativamente los niveles de IL-6, reduciendo además la fosfatasa alcalina y la mieloperoxidasa<sup>7</sup>. Se ha demostrado que reducen el LDL-c y aumentan el HDL-c, reduciendo la enfermedad cardiovascular y aliviando la posible dislipemia<sup>6</sup>.

El otro carbohidrato de gran importancia en las setas es la quitina, un polisacárido con función estructural, insoluble en agua, que contiene nitrógeno. Está caracterizado por tener enlaces  $\beta$ -1  $\rightarrow$  4 de N-acetilglucosamina. Se encuentra en un 80-90% en las paredes celulares de los hongos, con un contenido de 7.6-98.6 g/kg MS. La quitina es indigerible, y aparentemente disminuye la digestibilidad de otros componentes.

**Minerales:** el contenido en cenizas se suele encontrar entre los 80-120 g/kg MS. Suele haber mayores cantidades en especies silvestres que en cultivadas, debido probablemente a sustratos más variables. Como aniones inorgánicos destacan sulfatos, nitratos y cloratos. Entre los macroelementos el potasio es el más prevalente, junto con el fósforo, siendo el calcio el más escaso. El orden del contenido en macroelementos es  $K > P \sim Na > Mg > Ca$ <sup>9</sup>. Se deben tener en consideración los elementos traza, pues algunos como el cadmio y el mercurio son tóxicos y se acumulan. Entre los minerales destaca el selenio, no solo porque se encuentra en cantidades relativamente elevadas, sino también por sus efectos antioxidantes. Frecuentemente nuestra dieta es deficiente en selenio, por lo que debemos considerar fuentes como las setas para llegar a sus requerimientos. De las estudiadas es *Albatrellus pes-caprae*, con 200 mg/kg MS de media la más rica en Se. De entre las setas más populares destaca *B. edulis* como abundante en Se, ya que contiene unos 20 mg Se/kg MS. Otras relativamente ricas en este elemento son *A. strobiliformis*, *M. procera* y *Lycoperdon spp.* A pesar de las considerables cantidades que poseen de este elemento, hay que tener en cuenta las pérdidas que se sufren debidas al paso al medio de cocción. Esto se ha observado en especies como *A. bisporus*, en la que se pierde el 44% y *Lactarius torminosus*, con una pérdida del 32%. Además se ha demostrado que tiene una biodisponibilidad baja. Por ejemplo, para *B. edulis* y *B.*

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

*reticulatus*, con una media de 20 mg Se/kg MS, asumiendo un límite de biodisponibilidad cerca del 15-25% y una pérdida del 40% durante el escaldado, la bioaccesibilidad es de 24 µg en una ración de 100 g, y 72 µg por una ración de 300 g. Estos valores pueden variar significativamente según el procesamiento al que se somete al hongo, pero se demuestra que son buenas fuentes de este elemento<sup>8</sup>.

### Vitaminas y provitaminas:

- Vitamina C: el contenido normal se sitúa entre los 150-300 mg/kg MF. En el género *Agaricus* parece ser menor. Otras como *B. edulis* y *Cantharellus cibarius* están por encima de la media.
- Vitaminas del grupo B: niacina y riboflavina se observan en grandes cantidades en *B. edulis*. Los niveles decrecen durante el escaldado o el remojo.
- Vitamina E: el contenido normal en tocoferoles es 0.5-3 mg/kg MS, siendo menores que en vegetales. Algunas especies tienen elevadas cantidades, como *B. reticulatus* y *Suillus variegatus*. Especies cultivadas parecen tener menos que otras silvestres. La forma más prevalente generalmente es el  $\gamma$ -tocoferol.
- $\beta$ -carotenos: tienen menos cantidades que las plantas, unos 6 mg/kg MS.
- Vitamina D: los hongos tienen ergosterol, provitamina D, y pueden llegar a niveles de 3-7 g/kg MS, que en condiciones óptimas se transformarán en hasta 100 mg/kg MS de ergocalciferol. Otros fitosteroles se han identificado, como el brassicasterol.

### Componentes que proporcionan sabor y flavor: se distinguen cinco tipos:

- Derivados del octano y octeno
- Isoprenoides bajos
- Aldehídos
- Cetonas
- Productos de la reacción de Maillard

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

El aroma característico de los hongos proviene de derivados del octano, el 1-octeno y el 2-octeno, de alcoholes y sus ésteres con ácidos grasos volátiles, de cetonas como la 3-octanona, o del llamado “alcohol de los hongos”, el 1-octen-3-ol. Otros componentes que participan son el glutamato monosódico, en cantidades entre 1-9 g/kg MS y nucleótidos 5' libres en 2-20 g/kg MS. Las setas se caracterizan por tener un sabor sabroso, fuerte, proveniente del sabor umami. Éste se obtiene gracias al glutamato monosódico, al guanosin monofosfato y al inosin monofosfato, los cuales aparecen abundantemente en setas.

**Pigmentos:** aparecen cambios de color, normalmente oscurecidos, en algunas especies después de daños mecánicos en los tejidos. Son normalmente causados por oxidación de polifenoles a quinonas. Son reacciones indeseables particularmente en *A. bisporus*, en el champiñón blanco. La catálisis de tirosina a o-dihidroxifenilalanina (DOPA) y después a pigmentos quinónicos transforma su color a marrón, y eventualmente se producen melaninas.

**Fenoles:** los ácidos fenólicos son los principales antioxidantes en los hongos. Se dividen en dos grupos: los derivados del ácido benzoico y del ácido trans-cinámico. Del primer grupo se han detectado los ácidos p-hidroxibenzoico, protocatéutico, gálico, gentístico, vanílico y siríngico. Del segundo grupo destacan el ácido p-cumárico, caféico y ferúlico. Normalmente están unidos en estructuras complejas. Los contenidos totales varían entre 4-80 mg/kg MS entre las especies silvestres, siendo el ácido p-hidroxibenzoico el más prevalente. Las especies con más fenoles son *C. comatus*, *Calocybe gambosa* y *Clitocybe odora*.

**Otros componentes:** La mayoría de los hongos contienen ácidos carboxílicos en distintas proporciones, destacando dentro de estos los ácidos málico, fumárico, cítrico y oxálico. Algunas especies destacan por tener compuestos específicos, como *Pleurotus spp.*, que contiene ergotioneina, un antioxidante importante, o *F. velutipes* y *B. edulis*, que contienen GABA. *P. ostreatus* y *A. bisporus* tienen gran importancia por la lovastatina que producen, igual que otras del género *Boletus* y *Cantharellus* por tener nicotina.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

### 4.2. CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA<sup>10</sup>

Las setas comestibles se caracterizan por una corta vida media. Esto es debido a su alto contenido en humedad y su gran actividad enzimática, que les llevan a una rápida degradación. Por ello resulta de gran importancia utilizar procedimientos de conservación para incrementar su estabilidad y su vida media, además de para permitir su consumo en otra estacionalidad que no sea la suya propia<sup>8</sup>.

El calor favorece la hidrólisis de polisacáridos y la liberación de azúcares. Por ello, las muestras cocinadas presentan mayor cantidad de azúcares reductores. El calor produce también una pérdida de humedad, con la consiguiente concentración de nutrientes, pero también puede provocar una pérdida de nutrientes debido a las interacciones entre constituyentes, reacciones químicas y por degradación térmica.

Respecto a la composición grasa, en general, el calor provoca la disminución de los contenidos en ácidos grasos poliinsaturados mientras que los monoinsaturados aumentan. En todas las muestras cocinadas se observa una considerable disminución en ácido linoleico, que puede ser debida a alguna degradación por el calor, o por transformación del ácido linoléico a 1-octen-3-ol, lo que favorece la concentración de sabores y flvavores.

El calor también provoca una disminución significativa en el contenido proteico con notable disminución de aminoácidos termosensibles como el triptófano y los azufrados.

Los componentes antioxidantes, por ser sustancias inestables, se degradan por el calor, con lo que disminuye su actividad. Sin embargo, aplicando calor a bajas temperaturas aumenta la concentración de los fenoles. Esto se produce por rotura de la pared celular que provoca la liberación de los antioxidantes. Se ha demostrado que en calentamientos a bajas temperaturas (25-40°C) muestran mayor actividad antioxidante que en calentamientos a 100°C, porque las altas temperaturas inducen la polimerización de fenoles de baja masa molecular<sup>11</sup>.

El tratamiento con calor también desactiva enzimas como la polifenol oxidasa, evitando la degradación de los compuestos antioxidantes.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

### 4.3. TOXICIDAD<sup>2,13</sup>

Es bien sabido que determinados hongos pueden causar intoxicaciones, lo que justifica la necesidad de un amplio estudio taxonómico con el objetivo de identificar de forma sencilla las especies que puedan provocar daños durante su consumo. No se puede distinguir únicamente entre hongos comestibles y venenosos, ya que también algunos comestibles tienen componentes tóxicos y la gravedad de la intoxicación depende de la cantidad consumida. La ingestión accidental es difícil de evitar por falta de conocimiento y conciencia sobre su toxicidad.

En España se producen entre 10-50 intoxicaciones por setas hepatotóxicas al año. En Castilla y León se estiman unos 25-50 casos/año, de los cuales son graves entre dos y cinco.

A continuación se presentará un resumen sobre los géneros, especies y síndromes que estos pueden provocar.

#### **1. Género *Amanita***

Distintas especies del género *Amanita* pueden causar toxicidad a distintos niveles y estados de gravedad, debido a las sustancias tóxicas que éstas poseen, tales como las amatoxinas (amanitinas  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , etc.), que inhiben la ARN polimerasa-II dependiente de ADN, por lo que se reduce la síntesis de ARN y en consecuencia la de proteínas. Estas sustancias no se destruyen por desecación o durante la cocción. Otras sustancias tóxicas son: las falolisinas (que destruyen los glóbulos rojos pero se destruyen con el jugo gástrico; no provocan daños por vía oral), y otras como las falotoxinas (que producen alteraciones de la membrana celular de los enterocitos) y las virotóxinas, que no son absorbidas por el aparato digestivo. Todas ellas contienen entre 15-20 ciclopéptidos tóxicos. Podemos encontrar amatoxinas dentro de las familias *Amanitaceae*, *Agaricaceae* y *Cortinariaceae*.

Dentro de este género destacan especies como *Amanita phalloides*, *A. virosa*, *A. verna*, *A. ocreata*, *A. bisporigera*, *A. suballiacea*, *A. tenuifolia* y *A. hygroskopica*. Éstas provocan el síndrome hepatotóxico o faloidiano, de graves consecuencias. Este síndrome se clasifica dentro de las intoxicaciones de larga duración, y concluye con

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

lesiones hepáticas y renales que pueden provocar la muerte en un 10-30% de los afectados. Los órganos del cuerpo que tienen una alta tasa de replicación celular se ven afectados más gravemente. Además de las especies vistas anteriormente, otras como *Galerina marginata*, *G. autumnalis*, *Lepiota brunneoincarnata* y *L. subincarnata* también pueden provocarlo.

La  $\alpha$ -amanitina es la toxina más dañina, siendo responsable de la toxicidad hepática, renal y de otros órganos a largo plazo. Es termoestable, insoluble en agua y no es degradada por ninguna enzima. Con la cantidad de amanitina que contiene una sola seta se puede producir la muerte. Estas sustancias son absorbidas y después eliminadas por la bilis, reabsorbiéndose de nuevo mediante la circulación enterohepática. Finalmente se eliminan por la orina y las heces.

Otros síndromes se pueden deber a especies del género *Amanita*. Destaca el síndrome neurológico, provocado por *Amanita muscaria*, *A. pantherina* y *A. gemmata*. Poseen derivados isoxazólicos como el muscimol, el ácido iboténico, la muscazona y otros.

El muscimol tiene una estructura similar al GABA, mientras que el ácido iboténico tiene una estructura similar al ácido glutámico. Ambos actúan como agonistas. Si predominan las manifestaciones de agonismo gabaérgico habrá depresión del SNC y alucinaciones, y si predominan las manifestaciones excitatorias glutaminérgicas habrá convulsiones. Otras especies de *Amanita* resultan nefrotóxicas, como la *A. próxima*.

### **2. Género *gyromitra***

Algunas especies de este género resultan tóxicas por su contenido en giromitrina, una hidrazina soluble en agua y volátil. Se hidroliza en el estómago formando hidracinas, que son citotóxicas, convulsivantes e irritantes de las mucosas. Pueden ser comestibles tras su secado, sin riesgo de envenenamiento. No obstante, en ocasiones se desarrolla el síndrome giromitriano o hidrazínico. Las hidracinas son muy tóxicas en solución acuosa o al vapor. Actúan a dosis acumulativas. La intoxicación se puede deber también por la inhalación de vapores del cocinado.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

Los síntomas del síndrome giromitriano aparecen si las setas son consumidas poco cocinadas o en estado fresco, siendo de tipo gastrointestinal (vómitos, náuseas, diarrea) y neurológico (vértigo, fatiga, temblor, ataxia, nistagmo). Puede aparecer también daño hepático, deshidratación, alteraciones del ritmo cardiaco y hemolisis. Otro efecto incluye la carcinogénesis debido a la metabolización hepática de las hidracinas.

Las especies causantes son *Gyromitra esculenta*, *G. gigas*, *G. ínfula*. Otras especies tienen estas toxinas en cantidades pequeñas: *Helvella crispa*, *H. elástica*, *H. lacunosa*, *H. macropus*, *Leotia lubrica*, *Spathularia flavida*, *Cudonia circinans*.

### 3. Género *Cortinarius*

Algunas especies de este género pueden provocar el llamado síndrome nefrotóxico o intoxicación orellánica. Las sustancias responsables de este síndrome son las orellaninas y las cortinarinas. Provocan tubulopatía aguda retardada que puede progresar a insuficiencia renal crónica. La orellanina es estable al calor, no se elimina mediante la cocción. Las cortinarinas (A, B y C) son de naturaleza ciclopeptídica. La más tóxica es la cortinarina B.

Algunas de las especies dentro de este género son *Cortinarius cinnamomeus*, *C. cotoneus*, *C. gentilis*, *C. limonius*, *C. orellanus*, *C. phoenicus*, *C. pseudosulphureus*, *C. rubellus*, *C. splendens*, *C. venetus* y *C. speciosissimus*.

### 4. Género *Clitocybe*

Toxinas importantes presentes en este género son los ácidos acromélicos A y B. Son sustancias hidrosolubles y termoestables, que actúan como agonistas de los receptores del glutamato. Provocan la acromelalgia o “síndrome japonés”. Causan violentos dolores paroxísticos, sensación de quemazón en las manos y pies, entumecimiento, eritema y edema. Hongos causantes de este síndrome son *Clitocybe amoenolens* y *C. acromelalga*.

Otra toxina comúnmente hallada en el género *Clitocybe* es la muscarina, responsable del síndrome colinérgico o sudorífico, cuyo exceso produce una estimulación de los receptores muscarínicos colinérgicos. En este síndrome aparece inicialmente un

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

cuadro de náuseas, vómitos, diarrea y retortijones. Aumenta copiosamente la salivación y el lagrimeo, y se origina broncorrea e intensa sudoración. Son habituales la miosis y la visión borrosa. Puede aparecer además bradicardia, hipotensión, broncoespasmo y/o shock. No hay manifestaciones centrales, ya que no atraviesa la barrera hematoencefálica y la muerte es poco frecuente. Las especies responsables son *Clitocybe dealbata*, *C. illudens*, *C. rivulosa*, *C. candidans*, *C. cerussata*, *C. phyllophila* y otras del género *Inocybe* tales como *Inocybe lacera*, *I. geophyllia*, *I. fastigiata*.

### 5. Género *Inocybe*

Son 40 las especies conocidas no comestibles dentro de este género por sus efectos neurotóxicos y psicotrópicos. Se deben a la presencia de aminas biógenas, muscarina, y otras. Estas intoxicaciones son similares a las provocadas por las del género *Clitocybe*.

### 6. Género *Coprinus*

La toxicidad de este género radica en la toxina llamada coprina, una combinación de glutamina y un derivado de la ciclopropanona. Interfiere con el metabolismo del alcohol, provocando la acumulación de acetaldehído en el organismo, lo que es conocido como síndrome coprínico o “pseudoantabus”. Los síntomas solo se presentan si se ha consumido etanol, apareciendo 15-30 min después de ingerir alcohol habiendo ingerido las setas incluso los 2-3 días previos. Las especies causantes son *Coprinus atramentarius*, *C. micaceus*, y de otros géneros como *Clitocybe clavipes*.

### 7. Género *Psilocybe*

La sustancia tóxica presente en este género es la psilocibina, un derivado indólico que actúa como un falso neurotransmisor provocando una intoxicación alucinógena, junto con la psilocina y otras toxinas. Empiezan a manifestarse síntomas como ansiedad, náuseas, vértigo, astenia, síntomas neurosensoriales y síntomas simpaticomiméticos. Destacan como especies causantes de este síndrome alucinógeno *Psilocybe*

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

*semilanceata*, *P. mexicana*, *P. bohemica*, *P. cubensis*, *P. baeocistis*, y de otros géneros como *Gymnopilus spectabilis*, *Conocybe cyanopus* y *Psathyrella foenicisii*.

### **8. Género *Morchella***

Las llamadas colmenillas pueden resultar tóxicas tras su consumo en fresco. Provocan el llamado síndrome cerebeloso, con hipotonía muscular, alteración del equilibrio, disimetría, habla escandida, disdiadococinesia, y temblor. Por lo general es una intoxicación leve. Destacan entre las especies causantes *Morchella conica*, *M. vulgaris* y *M. pseudoumbrina*.

### **9. Género *Tricholoma***

Varios metabolitos de especies del género *Tricholoma* producen toxicidad manifestada como rabdomiolisis. Provoca síntomas tales como debilidad, rigidez de piernas, orina oscura, eritema facial, náuseas, transpiración profusa e hiperpnea. Las especies responsables son *Tricholoma equestre*, *T. flavovirens* y *T. auratum*.

### **10. Género *Pleurotus***

Aunque algunas de las setas comestibles más consumidas pertenecen a este género, dependiendo de la dosis ingerida pueden causar toxicidad debido a la ostreolisina, una proteína citolítica capaz de formar poros. Se puede observar un aumento de la presión sanguínea, isquemia cardíaca, taquicardia, hipoxia y niveles elevados de potasio en suero.

### **11. Género *Agaricus***

Dentro del género *Agaricus* encontramos unas 300 especies, algunas comestibles y otras venenosas. Aunque la más conocida sea *Agaricus bisporus*, consumida en grandes cantidades puede resultar carcinogénica debido a las cantidades sustanciales de una hidracina aromática que contiene denominada agaritina. Otras especies como *Agaricus silvaticus*, consumidas en grandes cantidades pueden causar apatía, alteraciones respiratorias y piloerección.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

### 12. Otros géneros

Los hongos que contienen colina en grandes cantidades pueden provocar aumento de la presión sanguínea, bradicardia, contracción de las pupilas, aumento del flujo sanguíneo y aumento de la actividad del sistema digestivo. Las especies responsables son *Rhodophyllus rhodopolius*, *Russula emetica* y *Lactarius chrysorrheus*.

*Pleurocybella porrigens* contiene sustancias análogas a la vitamina D que cuando es consumida en exceso es capaz de causar encefalopatía criptogénica en pacientes con fallo renal. Los síntomas del llamado síndrome encefalopático son hipotonía en las extremidades inferiores, movimientos incontrolados de los miembros, convulsiones y coma.

Especies variadas tales como *Boletus satanas*, *Chlorophyllum esculentum*, *C. molybdites*, *Entoloma lividum*, *Lactarius torminosus*, *Omphalotu silludens*, *O. solearius*, *Rhodophyllus spp.*, *Tricholoma spp.*, *Ramaria spp.*, y otras son causa del síndrome gastrointestinal benigno, debido a la acción tóxica directa sobre la mucosa intestinal, la malabsorción de proteínas o azúcares, a alergia o a la presencia de sustancias irritantes. La gastroenteritis también es producida por setas comestibles deterioradas por fermentación en la bolsa de plástico, mal congeladas o parasitadas por larvas o microorganismos.

#### 4.4. BIOACUMULACIÓN DE METALES<sup>8</sup>

Los hongos pueden acumular en sus cuerpos fructíferos concentraciones extremadamente altas de elementos metálicos incluso cuando crecen en suelos con bajo contenido en minerales.

Se mide mediante el factor de bioacumulación (BAF), definido como el ratio de un elemento en el cuerpo fructífero y su concentración en el suelo. Por lo tanto describe la capacidad de un hongo para acumular un elemento en particular.

Los elementos acumulados incluyen Au, Ag, As, Br, Cd, Cl, Cs, Cu, Hg, Rb, Se, V y Zn.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

Factores que influyen en la bioacumulación:

1. Factores naturales: el tipo de roca madre geológica influye en las concentraciones de elementos traza. Además, las condiciones de pH y potencial redox, el contenido en materia orgánica y otros factores influyen en la “movilidad” de los elementos y su biodisponibilidad.
2. Áreas metalíferas y contaminación ambiental: los niveles elevados de metales en suelos conllevan mayores concentraciones de metales en los cuerpos fructíferos.
3. Condiciones de vida de los hongos: concentraciones de Hg, Cd y Pb normalmente predominan en hongos saprótrofos. Sin embargo, las concentraciones de metales alcalinos generalmente destacan en especies micorrizas.
4. Especie: la bioacumulación de elementos metálicos, metaloides y no metales en los cuerpos fructíferos es muy específica según especies. Influye además la parte morfológica del cuerpo fructífero, la etapa del desarrollo, la edad del micelio, los intervalos entre fructificaciones y la composición bioquímica.
5. Elemento: el proceso de acumulación es muy específico según el elemento de que se trate.

Para que una especie se considere hiperacumuladora, debe contener un metal en una concentración al menos cien veces mayor que la esperada en especies no acumuladoras en el mismo sustrato.

### 4.4.1. Minerales tóxicos bioacumulados<sup>8,12</sup>

**Mercurio**: puede bioacumularse eficazmente, sobre todo cuando se encuentra en pequeñas concentraciones en el sustrato. Es un elemento mucho más prevalente en hongos que en plantas o animales. El metilmercurio es más biodisponible que otras formas inorgánicas, encontrándose entre el 2-60% del Hg total. La ingesta estimada de Hg por una ración de 300g se sitúa entre 39-210 µg. La ingesta tolerable semanal de Hg es 300 µg, por lo que se debe tomar en consideración especialmente en ingestas

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

frecuentes. Estos hongos a la vez suelen tener altas cantidades de selenio, lo que puede tener un papel protector importante.

**Arsénico:** debido a su riesgo carcinogénico, no hay niveles de ingesta segura. Los hongos generalmente tienen bajas cantidades de este elemento, pero algunos son ricos en él, como *Laccaria amethystina* y *L. fraterna*. Se acumula eficazmente en otras especies como *Sarcodon imbricatus*, *Entoloma lividum*, *Lycoperdon perlatum* y algunas del género *Agaricus*. Esta bioacumulación tiene importancia en zonas con acuíferos contaminados con arsénico.

**Cadmio:** se bioacumula eficazmente y se encuentra en elevadas concentraciones en hongos silvestres. Muchas especies contienen Cd en concentraciones excedentes de los 2 mg/kg MS pero raramente sobrepasan los 10 mg/kg MS, dándose el caso en muestras de zonas contaminadas. Especies como *B. edulis*, *M. procera* y algunas del género *Leccinum* pueden tener un elevado contenido en Cd. La ingesta de Cd resultante del consumo de 300 g de *M. procera* se estima en 4.7-111 µg. El consumo de grandes cantidades de este hongo puede conllevar a corto plazo una dosis de exposición de Cd tan elevada que excede de las recomendaciones. No obstante, durante el escaldado se pierde entre un 30-36% del contenido en Cd y su biodisponibilidad es limitada, siendo mayor al ingerir las especies crudas.

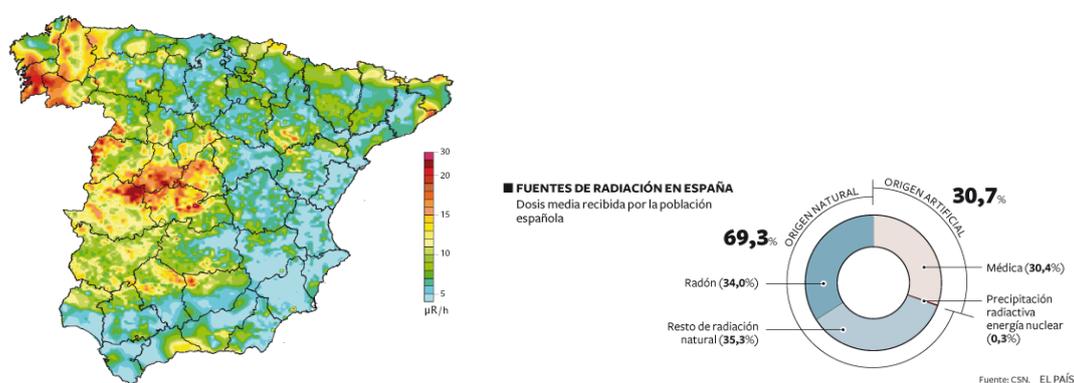
**Plomo:** es un elemento abundante en capas superficiales de los suelos forestales. El potencial de bioacumulación es bajo, pero preocupante para la salud. En especies cultivadas las concentraciones son menores que en silvestres al poder controlarse el substrato de crecimiento. La ingesta aceptable diaria de Pb está entre 210-250 µg. En el caso de *M. procera* la ingesta estimada por un consumo de 300g es de 42-267 µg, dato preocupante si se ingieren de forma continuada. En áreas muy contaminadas, este elemento se bioacumula eficazmente.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

### 4.5. RADIATIVIDAD<sup>8</sup>

La radiactividad natural de los hongos es comúnmente mayor que la de las plantas debido a su alto contenido en potasio y en el radioisótopo  $^{40}\text{K}$ . Otros también son importantes como  $^{210}\text{Pb}$  ( $t_{1/2} = 22$  años) y  $^{210}\text{Po}$  ( $t_{1/2} = 138$  días).

La situación ha cambiado desde el desastre de Chernobyl en 1986. Durante los años siguientes al accidente nuclear se observaron altas cantidades de  $^{137}\text{Cs}$  en distintas especies de hongos, particularmente en micorrizas, en muchas partes de Europa<sup>3</sup>. Tal fue el impacto de este suceso que se detectaron altos niveles de radiación incluso en España, en la zona de Cataluña. Aparte de los desastres nucleares, los suelos presentan radiación natural: en España hay zonas con niveles altos de radiactividad, en las que las setas recolectadas o cultivadas sin control pueden poseer mayores cantidades de radioisótopos. Las zonas más afectadas son las Comunidades Autónomas de Galicia, Extremadura y la parte sur de Castilla y León, como se observa en la **Figura 1**:



De entre las setas más consumidas, *Xerocomus badius*, *X. chrysenteron*, *Suillus variegatus*, *Rozites caperata*, *Laccaria amethystina* y *Hydnum repandum* acumulan radiocesio. Este isótopo tiene una vida media de 30.17 años.

Las setas generalmente son ricas en K y Rb, por lo que también son ricas en los radionucleidos  $^{40}\text{K}$  y  $^{87}\text{Rb}$ . Varias especies de setas silvestres actúan como bioindicadores de difusión ambiental de radionucleidos. No obstante, hay escasos datos sobre otros radionucleidos, resultando de gran importancia que se realicen estudios en este campo.

### 5. ANTIOXIDANTES<sup>25,26</sup>

Los radicales libres son inestables y altamente reactivos debido a su configuración electrónica, puesto que rápidamente extraen electrones de moléculas cercanas. Se generan siempre que exista actividad vital. Los más frecuentes son los derivados del oxígeno y colectivamente se denominan ROS (siglas de “reactive oxygen species”). A pesar de que pueden causar muerte celular y daño tisular cuando no son neutralizados son necesarios para el buen funcionamiento de distintos procesos vitales como por ejemplo la activación del sistema inmune.

El daño oxidativo causado por radicales libres se relaciona con el envejecimiento y otras enfermedades como aterosclerosis, diabetes, cáncer y cirrosis<sup>14</sup>. Entre los ROS más importantes destacan el radical superóxido ( $O_2^-$ ), el radical perhidroxilo ( $HO_2^-$ ), el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), el radical hidroxilo ( $OH^\cdot$ ) y otros como el oxígeno singlete ( $^1O_2$ ) o el ozono ( $O_3$ ).

Para contrarrestar el efecto pernicioso del exceso de radicales libres, las células poseen sistemas para eliminarlos: los antioxidantes. Existe una gran diversidad de sustancias con esta función, de naturaleza tanto enzimática como no enzimática que se encargan de prevenir o retardar la oxidación de otras moléculas, neutralizándolas o reduciendo su impacto. No obstante, estos sistemas no son totalmente efectivos contra todo el estrés celular que sufren nuestros tejidos a lo largo de la vida, por lo que es importante un aporte adecuado de éstos en la dieta. Además, los niveles intracelulares de los antioxidantes endógenos dependen del aporte externo de antioxidantes a través de la dieta.

Podemos encontrar antioxidantes en multitud de alimentos, tales como verduras, frutas, cereales, leche, huevos o pescado. Las setas también destacan por su alto contenido en estas sustancias.

Se ha demostrado la implicación de los radicales libres de oxígeno en el desarrollo de muchas patologías y en los procesos de envejecimiento.

Los radicales libres dañan distintos componentes celulares:

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

- Proteínas: provocan oxidación, desnaturalización y escisión de las cadenas polipeptídicas.
- Hidratos de carbono: producen oxidación y despolimerización de polisacáridos.
- Lípidos: provocan peroxidación de ácidos grasos poliinsaturados.
- Ácidos nucleicos: producen oxidación y modificación de las bases nitrogenadas y provocan roturas en las hebras de ADN.
- Moléculas de bajo peso molecular: pueden provocar pérdida de su funcionalidad<sup>14</sup>.

### 5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ANTIOXIDANTES

Los antioxidantes sintéticos son muy utilizados en la industria alimentaria. Entre ellos se pueden citar el hidroxianisol butilado (BHA), el hidroxitolueno butilado (BHT) y la butil hidroquinona terciaria (TBHQ). Debido a las dudas sobre su inocuidad se está restringiendo su uso. Esta situación ha promovido la búsqueda de antioxidantes potenciales de fuentes naturales<sup>17</sup>.

Los antioxidantes se suelen clasificar en tres grupos: antioxidantes exógenos, endógenos y cofactores (**Tabla 2**):

Exógenos	Endógenos	Cofactores
Compuestos fenólicos	Glutati3n	Cobre
Tocoferoles	Coenzima Q	Zinc
Vitamina C	Ácido lip3ico	Selenio
Carotenoides	Enzimas (super3xido dismutasa, catalasa, glutati3n peroxidasa)	Manganeso
		Hierro

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

Dentro de la composición química de los hongos, los antioxidantes más destacados son los **compuestos fenólicos**. Hay más de 8000 estructuras fenólicas identificadas<sup>27</sup>, existiendo desde moléculas simples hasta compuestos altamente polimerizados. Los mayoritarios son los flavonoides, con más de 5000 tipos distintos.

Los podemos dividir en *fenoles simples* (con un grupo hidroxilo) y *polifenoles* (formados por hasta ocho o diez fenoles simples). La mayoría provienen de la fenilalanina, de la que se obtiene el ácido cinámico, precursor de muchos de estos compuestos.

Los fenoles simples son poco frecuentes en la naturaleza. Suelen estar unido a otras moléculas más complejas. Más prevalentes son los ácidos fenólicos, es decir, un fenol unido a un ácido carboxílico. Se dividen en dos grupos: derivados del ácido benzoico, como el ácido gálico, elálgico, o el alcohol salicílico, y derivados del ácido cinámico, de los cuales el ácido p-cumárico es el más prevalente, seguido por los ácidos caféico, ferúlico y sinápico.

Dentro de los polifenoles distinguimos numerosos grupos: flavonoides, curcuminoides, estilbenos y taninos<sup>25</sup>.

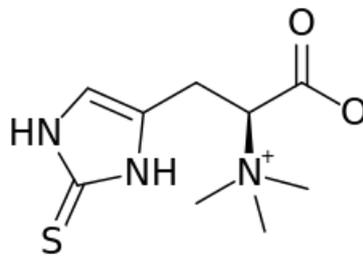
En el reino *Fungi* encontramos el polifenol **ergotioneina** (2-mercaptohistidina trimetilbetaína). Es un aminoácido derivado de la histidina presente en los tejidos humanos predispuestos a tener mucho estrés oxidativo e inflamación, como son el hígado, el riñón, los eritrocitos, el fluido seminal, el músculo esquelético y el ojo, en concentraciones desde 100  $\mu\text{M}$ -2  $\text{mM}$ <sup>19</sup>. La ergotioneina es capaz de atrapar especies reactivas de oxígeno y nitrógeno así como mediadores inflamatorios. En condiciones fisiológicas, tiene gran estabilidad. Dado que se acumula débilmente, para obtener efectos de este antioxidante se requiere una ingesta elevada de éste. La ergotioneina destaca en la especie *Lentinus edodes*, apareciendo en cantidades de  $1.98 \pm 0.11$  mg/g MS. Un adulto consume aproximadamente 7 mg de ergotioneina al día en su dieta de la que se absorbe un 90%<sup>20</sup>. Es capaz de regular la síntesis de citoquinas, observándose los siguientes efectos:

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

- Efectos protectores en eritrocitos y células mononucleares periféricas
- Elevación de la concentración de óxido nítrico.
- Estimulación de la activación funcional de macrófagos, favoreciéndose la fagocitosis.
- Incremento paralelo de óxido nítrico, IL-6 y IL-10.
- Cambios en el glutatión por interacciones con las enzimas glutatión peroxidasa y glutatión reductasa.

**Figura 2:** fórmula química de la ergotioneína:

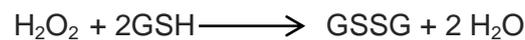


Dentro de la composición química de los hongos también destacan las vitaminas como compuestos antioxidantes. Éstas son los tocoferoles, la vitamina C y los  $\beta$ -carotenos. Los tocoferoles son capaces de proteger al organismo frente al daño oxidativo que producen algunas sustancias, actuando mayoritariamente sobre membranas biológicas, lipoproteínas y tejidos, mediante la eliminación de radicales libres<sup>21</sup>. La vitamina C actúa como cofactor biológico de numerosas enzimas, por lo que se considera que tiene distintos efectos beneficiosos, entre los que destacan la disminución de peroxidaciones lipídicas y lipoproteicas, una menor oxidación de la hemoglobina, eliminación de agentes oxidantes, mejora de la función vascular y otras como la protección frente a enfermedades y contaminantes. Los carotenoides pueden desempeñar un papel como antioxidantes en la protección del organismo frente a los radicales libres.

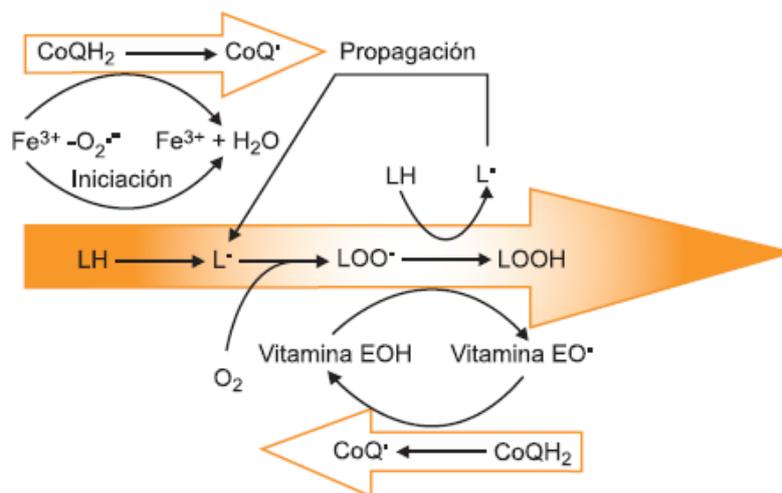
Como se ha visto previamente, son los antioxidantes exógenos los que favorecen unos adecuados niveles de antioxidantes endógenos<sup>26</sup>, que actúan de la siguiente manera:

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

Glutación: es un tripéptido formado por L-cisteína, ácido L-glutámico y glicina. Se sintetiza endógenamente. Reduce el grupo tiol de la cisteína, actuando como donante de electrones, pasando el glutatión a su forma oxidada. En condiciones normales se encuentra mayoritariamente en su forma reducida (GSH). Un aumento de la proporción entre su forma oxidada (GSSG) y GSH se considera un indicativo de estrés oxidativo. La reacción que tiene lugar al neutralizar radicales libres es la siguiente:



Coenzima Q: la también llamada ubiquinona o ubidecarenona puede provenir de la dieta o bien formarse mediante síntesis endógena. Se localiza principalmente en la membrana mitocondrial interna. También se halla en niveles elevados en la molécula de LDL. Un mecanismo por el cual se piensa que ejerce su acción antioxidante sugiere que el CoQ reducido (ubiquinol) regenera  $\alpha$ -tocoferol. También ejerce su acción antioxidante inactivando la ferril-mioglobina, una especie capaz de provocar peroxidación lipídica a nivel cardíaco y muscular. Los mecanismos se describen en la **figura 3<sup>15</sup>**:



Ácido lipoico: destaca por tener cuatro propiedades: antioxidante, antiinflamatoria, detoxificante y quelante. Actúa sinérgicamente con otros antioxidantes, ayudando a regenerarlos y restaurar sus niveles. Deriva del ácido caprílico. Tiene dos átomos de azufre unidos por un puente disulfuro.

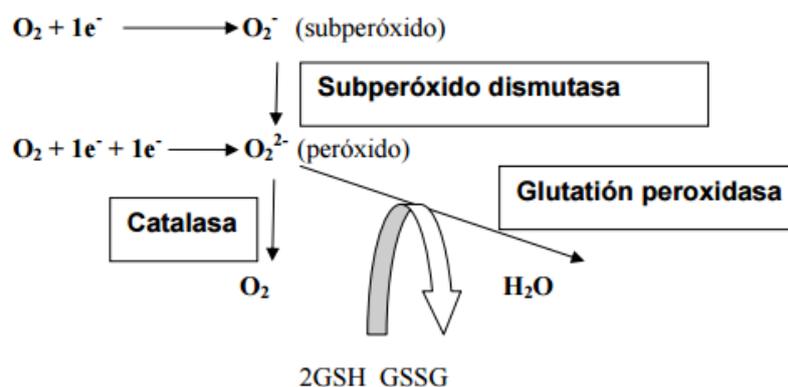
## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

Enzimas (*superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa*):

- *Superóxido dismutasa*: protege a las células de las reacciones dañinas del superóxido. En nuestro cuerpo existen tres formas de SOD: SOD1, localizada en el citoplasma, SOD2, en las mitocondrias y SOD 3, en el líquido extracelular.
- *Catalasa*: cataliza la descomposición del peróxido de hidrógeno.
- *Glutatión peroxidasa*: cataliza la reacción en la que se oxida el glutatión a glutatión disulfuro, como se ha estudiado previamente, descomponiéndose el peróxido de hidrógeno.

Entre los cofactores destaca el selenio, pues forma parte del glutatión y es necesario para una correcta actividad de la glutatión peroxidasa. Éste es frecuentemente deficiente en suelos y comidas en todo el mundo, teniendo grandes impactos en la salud. Necesitamos una buena fuente biodisponible de Se para la correcta síntesis de selenoenzimas y la expresión de selenoproteínas con función antioxidante, particularmente en enfermedades asociadas al estrés oxidativo. Se recomienda una ingesta diaria mínima de 30-85 µg, recomendándose llegar a ingerir hasta 100-200 µg.

Estas reacciones se resumen en la **figura 4**:



## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

### 5.2. ESTIMACIÓN DE ANTIOXIDANTES EN HONGOS

Se pueden utilizar distintos métodos para la estimación de la capacidad antioxidante. Los más importantes consisten en estimar el contenido en fenoles totales o en estimar la capacidad antioxidante que éstos tienen. Por ejemplo, se utilizan métodos como el de Folin-Ciocalteu, el DPPH<sup>iii</sup>, el TBARS<sup>iv</sup>, el del blanqueamiento del  $\beta$ -caroteno o el método CUPRAC<sup>v</sup>. Los resultados se han obtenido de extractos acuosos de las muestras, previamente desecados y congelados. Estas condiciones pretenden asemejar el tratamiento culinario que en condiciones normales recibirían las setas, es decir, la cocción en medios acuosos. Estos resultados se detallan en el **Anexo 3**.

### 6. DISCUSIÓN

El valor nutricional de las setas comestibles reside fundamentalmente en su alto contenido en glucanos, de gran poder inmunomodulador, de proteínas y de minerales, particularmente selenio y zinc, así como en el contenido en compuestos con actividad antioxidante incluidos los tocoferoles, carotenos y vitamina C.

La composición química de las setas es muy variable y depende de las condiciones de cultivo. Dado que las setas se utilizan como alimento complementario, las cantidades de proteínas y minerales ingeridos en forma de setas es muy reducida en comparación con los alimentos a los que acompañan. Por el contrario, la cantidad de glucanos, vitaminas y particularmente compuestos antioxidantes de carácter fenólico es importante.

Los estudios más recientes indican que en general hay una buena correlación ( $R^2=0.8181$ ) entre los fenoles totales y la actividad de barrido del radical libre DPPH, así como con el ensayo de poder reductor ( $R^2= 0.8546$ ) y CUPRAC ( $R^2= 0.8279$ ), sugiriendo que este potencial es debido a los compuestos fenólicos<sup>16</sup>. De hecho, se ha mostrado que la actividad antioxidante es concomitante con la capacidad reductora, indicando que la capacidad antioxidante de los extractos podría ser debido a esa capacidad reductora.

---

<sup>iii</sup> DPPH: método de barrido de radicales libres por el DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo)

<sup>iv</sup> TBARS: ensayo de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico

<sup>v</sup> CUPRAC: Cupric-Ion-Reducing Antioxidant Capacity

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

Se ha sugerido que la variación en la actividad antioxidante total podría ser atribuida al efecto combinado de diferentes compuestos fenólicos. Basándonos en la estrecha relación entre fenoles totales y las capacidades antioxidantes, se puede afirmar que los fenoles son los mayores compuestos antioxidantes en hongos, contribuyendo directamente a la acción antioxidante.

Otros constituyentes activos no fenólicos presentes en algunas especies deben tomarse en consideración, como en *S. commune*, en que la cantidad de fenoles totales fue baja pero los extractos mostraron una gran acción inhibitoria en el blanqueo de  $\beta$ -carotenos. Esto ha ocurrido también con otras especies como *A. auricular-judae* y *P. florida*. Quizá, las capacidades antioxidantes observadas podrían ser atribuidas a otros compuestos con capacidades reductoras como los polisacáridos. Además, algunos de los antioxidantes naturales en estas especies, como el ácido ascórbico, los tocoferoles o los  $\beta$ -carotenos, no se extraen adecuadamente en extractos acuosos, debido a su termolabilidad y liposolubilidad.

### 7. FUTURAS FUENTES DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN CON HONGOS

Se está estudiando la adición de hongos a alimentos para complementar su composición química y mejorar sus propiedades nutricionales. Por ejemplo, se ha desarrollado un queso con un residuo de *Agaricus blazei* con  $\beta$ -glucanos. Ha sido aceptado sensorialmente puesto que no se altera su aspecto visual y morfológico, obteniéndose una mejoría en su composición. También se ha desarrollado una hamburguesa con *A. brasiliensis* en vez de carne. Así, en su composición se observan mayores cantidades de proteínas, carbohidratos, fibra dietética y minerales, con una disminución considerable del contenido en grasa, que pasa a ser de un 1.60%. Se ha elaborado también pan con harina de *Boletus edulis*. Resulta importante la investigación en este campo porque las setas aportan propiedades sensoriales, además de saludables, que podrían ser de gran relevancia en nuestra dieta<sup>4</sup>.

### 8. CONCLUSIONES

- Las setas comestibles son una adecuada fuente de nutrientes esenciales para el correcto funcionamiento de nuestro cuerpo, por lo que se recomienda una inclusión de éstas en nuestra dieta.
- A pesar de sus efectos beneficiosos tienen sustancias que pueden resultar perjudiciales para nuestra salud. Por ello es esencial identificar con absoluta certeza la seta de que se trata y si es comestible, teniendo esto en consideración a la hora de consumir una dieta rica en setas.
- Debido a todo el estrés oxidativo al que estamos sometidos diariamente, es conveniente un consumo abundante de antioxidantes en nuestra dieta, siendo las setas una fuente biodisponible de estos, que además está disponible comercialmente.
- Además de los antioxidantes, los  $\beta$ -glucanos presentes en la composición química de las setas, que tienen efectos inmunomoduladores notables, nos ayudan a mantener nuestras funciones corporales y prevenir ciertas enfermedades.
- El reino *Fungi* es muy amplio y no se conocen adecuadamente todas sus especies, sus posibles efectos beneficiosos, ni tampoco los perjudiciales, por lo que se requiere un mayor estudio en este ámbito de trabajo.
- No se recomienda el consumo de las setas en crudo por las posibles sustancias tóxicas que puedan tener, aunque estén presentes en bajas cantidades, siendo óptimo su consumo tras un calentamiento a bajas temperaturas para conservar al máximo sus sustancias funcionales. No obstante existen determinadas especies cuya toxicidad no desaparece después de la cocción.
- La recogida de setas silvestres y su consumo llevado a cabo por personas sin sólidos conocimientos sobre micología y la clasificación de las setas no es recomendable por el posible riesgo de intoxicación.

### 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Assunção Soares A, Babeto de Sá-Nakanishi A, Bracht A, Gomes da Costa SM, Angélica Koehnlein E, Peralta RM et al. Hepatoprotective Effects of Mushrooms. *Molecules*. 2013;18:7609-7630.
2. Lima ADL, Costa Fortes R, Garbi Novaes MRC, Percário S. Poisonous mushrooms; a review of the most common intoxications. *Nutr Hosp*. 2012;27(2):402-408.
3. Kalač P. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. [Versión electrónica de Wiley Online Library Books. 2012].
4. Vinal Costa-Orsine J, Vinhal da Costa R, Carvalho Garbi Novaes M<sup>a</sup>R. Mushrooms of the genus *Agaricus* as functional foods. *Nutr Hosp*. 2012;27(4):1017-1024.
5. Reis FS, Barros L, Martins A, Ferreira ICFR. Chemical composition and nutritional value of the most widely appreciated cultivated mushrooms: An inter-species comparative study. *Food Chem Toxicol*. 2012;50:191-197.
6. Kanagasabapathy G, Malek SNA, Mahmood AA, Chua KH, Vikineswary S, Kuppusamy UR. Beta-Glucan-Rich Extract from *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Singer Prevents Obesity and Oxidative Stress in C57BL/6J Mice Fed on a High-Fat Diet. *eCAM*. 2013;2013:1-10.
7. Nascimento Santos MdS, Magalhães JEdM, Will Castro LSEP, de Sousa Pinheiro T, Araujo Sabry D, Lisboa Leite et al. Effect of Glucans from *Caripia montagnei* Mushroom on TNBS-Induced Colitis. *Int J Mol Sci*. 2014;15:2368-2385.
8. Falandysz J, Borovička J. Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms: health benefits and risks. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2013;97:477-501.
9. Obodai M, Ferreira ICFR, Fernandes Â, Barros L, Narh Mensah DL, Takli RK et al. Evaluation of the Chemical and Antioxidant Properties of Wild and Cultivated Mushrooms of Ghana. *Molecules*. 2014;19:19532-19548.
10. Barros L, Baptista P, Correia DM, Sá Morais J, Ferreira ICFR. Effects of Conservation Treatment and Cooking on the Chemical and Antioxidant Activity

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

- of Portuguese Wild Edible Mushrooms. *J Agric Food Chem.* 2007;55:4781-4788.
11. Hakime-Silva RA, Velloso JCR, Khalil NM, Khalil OAK, Brunetti IL, Oliverira O. Chemical, enzymatic and cellular antioxidant activity studies of *Agaricus blazei* Murrill. *An Acad Bras Cienc.* 2013; 85(3): 1073-1081.
  12. Gucia M, Jarzyńska G, Rafal E, Roszak M, Kojta AK, Falandysz J et al. Multivariate analysis of mineral constituents of edible Parasol Mushroom (*Macrolepiota procera*) and soils beneath fruiting bodies collected from Northern Poland. *Environ Sci Pollut Res.* 2012;19:416-431.
  13. Jo WS, Hossain MA, Park SC. Toxicological Profiles of Poisonous, Edible, and Medicinal Mushrooms. *Mycobiology.* 2014;42(3):215-220.
  14. Martínez Cayuela M. Estrés oxidativo y mecanismos de defensa antioxidante. En: Gil Hernández A, coordinador. *Tratado de nutrición, tomo I.* Sevilla: Grupo Acción Médica; 2005. p. 628-656.
  15. Ramírez Tortosa M<sup>a</sup>C, Quiles Morales JL. Vitamina C, Vitamina E y otros antioxidantes de origen alimentario. En: Gil Hernández A, coordinador. *Tratado de nutrición, tomo I.* Grupo Acción Médica; 2005. p. 663-694.
  16. Abdullah N, Ismail SM, Aminudin N, Shuib AS, Lau BF. Evaluation of Selected Culinary-Medicinal Mushrooms for Antioxidant and ACE Inhibitory Activities. *eCAM* 2012; 2012:1-12.
  17. Kosanić M, Ranković B, Dašić M. Mushrooms as Possible Antioxidant and Antimicrobial Agents. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research.* 2012; 11(4):1095-1102.
  18. Hoan Im K, Kien Nguyen T, Bin Shin D, Rim Lee K, Soo Lee T. Appraisal of Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Various Extracts from the Fruiting Bodies of *Pleurotus florida*. *Molecules.* 2014; 19:3310-3326.
  19. Cheah IK, Halliwell B. Ergothioneine; antioxidant potential, physiological function and role in disease. *Biochim Biophys Acta.* 2012;1822:784-793.
  20. Zembron-Lancy A, Gajewski M, Nacz M, Siatkowski I. Effect of shiitake (*Lentinus edodes*) extract on antioxidant and inflammatory response to prolonged eccentric exercise. *J Physiol Pharmacol.* 2013;64(2):249-254.
  21. Heleno SA, Barros L, Martins A, Queiroz MJRP, Santos-Buelga C, Ferreira ICFR. Phenolic, Polysaccharidic, and Lipidic Fractions of Mushrooms from

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

- Northeastern Portugal: Chemical Compounds with Antioxidant Properties. *J Agric Food Chem.* 2012;60:4634-4640.
22. Vieira V, Barros L, Martins A, Ferreira ICFR. Expanding Current Knowledge on the Chemical Composition and Antioxidant Activity of the Genus *Lactarius*. *Molecules.* 2014;19:20650-20663.
23. Yap HYY, Aziz AA, Fung SY, Ng ST, Tan ST, Tan NH. Energy and Nutritional Composition of Tiger Milk Mushroom (*Lignosus tigris* Chon S. Tan) Sclerotia and the Antioxidant Activity of Its Extracts. *Int J Med Scie.* 2014;11(6): 602-607.
24. Costa Orsine JV, Garbi Novaes M<sup>ª</sup>RC, Ramírez Asquieri E. Nutritional value of *Agaricus silvaticus*; mushroom grown in Brazil. *Nutr Hosp.* 2012;27(2):449-455.
25. Myburgh KH. Polyphenol Supplementation: Benefits for Exercise Performance or Oxidative Stress? *Sports Med.* 2014;44(Suppl 1):57-70.
26. Yavari A, Javadi M, Mirmiran P, Bahadoran Z, Exercise-Induced Oxidative Stress and Dietary Antioxidants. *Asian J Sports Med.* 2015;6(1):1-7.
27. Mercado-Mercado G, de la Rosa Carrillo L, Wall-Medrano A, López Díaz JA, Álvarez-Parrilla E. Polyphenolic compounds and antioxidant capacity of typically consumed species in Mexico. *Nutr Hosp.* 2013;28(1):36-46.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

### 10. ANEXOS

#### 10.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DETALLADA POR ESPECIE

**Tabla 1:** revisión de la composición química de especies comestibles de hongos. Datos expresados en g/kg de materia seca y la energía en kcal/kg de materia fresca<sup>3,9,22,23,24</sup>.

Especie	Energía	CHO	Proteínas	Grasas	Cenizas
<i>Agaricus bisporus</i>	-	509-622	264.9-363	8-25.3	87.8-120
<i>A. bisporus White</i>	325	740	140.8	21.8	97.4
<i>A. bisporus Brown</i>	303	715.4	154.3	16.7	113.6
<i>A. brasiliensis</i>	-	638.3	267.4	26.2	68.1
<i>A.campestris</i>	364	581.6	185.7	1.1	231.6
<i>A.sylvaticus</i>	-	362.1-456	394-411.6	30-66	73.8-76
<i>Armillaria mellea</i>	470	638.5-12.8	163.8-72.5	55.6-65.6	67.8-123.4
<i>Auricularia auricula</i>	391.88	768.6	192.7	8.2	30.5
<i>Boletus aereus</i>	306	728.3	178.6	4.4	88.7
<i>B. armeniacus</i>	1053	681	182.5	15.6	120.9
<i>B. edulis</i>	423	709.5	210.7	24.5	55.3
<i>B. erythropus</i>	349	524.3	209.2	7.5	259
<i>B. reticulatus</i>	297	523.4-51.6	225.7-279	25.5-31.4	166.2-197.2
<i>Calocybe gambosa</i>	317	698.2	154.6	8.3	138.9
<i>Calvatia utriformis</i>	744	599.2	203.7	19	178.1
<i>Cantharellus cibarius</i>	-	563.2	357.9	14.7	64.2
<i>Clitocybe odora</i>	431	706.6	173.3	24.6	95.5
<i>Coprinus comatus</i>	525	492.3-703.5	156.7-294.7	11.3-54.2	128.5-158.8
<i>Fistulina hepatica</i>	286	316.2	500.9	18.9	164

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

<i>Flammulina velutipes</i>	346-467	566.1-859.9	38.7-266.5	3-92	72.5-94.2
<i>Hypsizigus marmoreus</i>	-	650.6-685.6	196-210.6	40.9-56.2	77.5-82.6
<i>Laccaria laccata</i>	345	127.7	627.8	37.6	206.9
<i>Lactarius citriolens</i>	398.87	767.6	108.9	53.7	69.9
<i>L.deliciosus</i>	-	646.3	202	80.2	71.5
<i>L. turpis</i>	381.47	776.8	130.6	20.6	72.1
<i>L. salmonicolor</i>	389	374.1-792.2	135.3-372.8	10.9-20.3	61.6-232.8
<i>Lentinula edodes</i>	772	679.3-871.4	44-204.6	17.3-63.4	52.7-67.3
<i>Lentinus squarrosulus</i>	385.39-386.16	724.5-801.7	125.1-194.3	17.2-19.8	56-61.3
<i>Lignosus tigris</i>	204-385	84.4-91.6	5.2-9.1	0.1-2	0.5-1.1
<i>Lycoperdon echinatum</i>	544	658.3	235.2	12.2	94.3
<i>Pleurotus eryngii</i>	421	813.7	110	14.5	61.8
<i>P.ostreatus</i>	383.64-416	641.4-858.6	70.2-284	14-35.8	57.2-80.8
<i>P. sajor-caju</i>	389.88	553-768.6	192.7-374	8.2-10	30.5-63
<i>P. tuber-regium</i>	381.34	791	133.1	13	62.9
<i>Russula cyanoxantha</i>	590	746.5	168	15.2	70.3
<i>R. delica</i>	416	255.7	505.9	9.1	229.3
<i>R. olivácea</i>	399	433.9	168.4	19.9	377.8
<i>Sparassis crispa</i>	-	215	134	20	18
<i>Suillus mediterraneensis</i>	266	454.3	243.2	26.1	276.4
<i>S. variegatus</i>	328	637.6	175.7	33.1	153.6
<i>Termitomyces robustus</i>	382.26	776	147.8	14.2	62.1
<i>Tricholoma imbricatum</i>	674	412.2	504.5	18.8	64.5

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

**Tabla 2:** revisión de la composición química de especies comestibles de hongos. Datos expresados en g/kg de materia fresca y la energía en kcal/kg de materia fresca<sup>5</sup>.

	<i>Agaricus bisporus white</i>	<i>Agaricus bisporus brown</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>	<i>Pleurotus eryngii</i>	<i>Lentunila edodes</i>	<i>Fammulina velutipes</i>
<b>Humedad</b>	91.27	91.64	89.17	89	79.78	87.87
<b>Cenizas</b>	0.85	0.95	0.62	0.68	1.36	0.88
<b>Proteínas</b>	1.23	1.29	0.76	1.21	0.89	0.47
<b>Grasas</b>	0.19	0.14	0.15	0.16	0.35	0.21
<b>CHO</b>	6.46	5.98	9.3	8.95	17.62	10.57
<b>Energía</b>	30.86	28.85	39.27	39.84	72.79	43.41
<b>Fructosa</b>	0.03	0.04	0.01	0.03	0.69	4.6
<b>Manitol</b>	5.6	4.01	0.54	0.6	10.01	0.97
<b>Trealosa</b>	0.16	0.22	4.42	8.01	3.38	2.63
<b>Sacarosa</b>	Nd	Nd	Nd	0.03	Nd	0.09
<b>Azúcares totales</b>	5.79	4.27	4.97	8.67	14.08	8.29
<b>AGS %</b>	20.3	18.4	17	17.4	15.1	18.5
<b>AGM %</b>	1.4	1.8	13.6	13.1	2.9	7.2
<b>AGP %</b>	78.3	79.8	69.4	69.4	82	74.3
<b>Tocoferoles</b>	5.19	11.16	3.72	4.86	10.83	1.81

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

**Tabla 3:** revisión de la composición de azúcares en especies comestibles de hongos. Datos expresados en g/100 g de materia seca<sup>3,5,9,21,22</sup>.

Especie	Manitol	Trealosa	Azúcares totales
<i>Agaricus campestris</i>	16.94	3.62	20.56
<i>Amanita caesarea</i>	2.1	3.15	5.25
<i>Armillaria mellea</i>	5.45	9.33	14.78
<i>Auricularia auricular</i>	0.68	2.52	3.87
<i>Boletus aereus</i>	1.34	4.65	5.99
<i>B. edulis</i>	2.45-5.88	3.27-12.4	5.72-18.28
<i>B. erythropus</i>	27.9	4.84	34.54
<i>B. reticulatus</i>	2.93	3.92	6.85
<i>Calocybe gambosa</i>	0.29	7.96	8.25
<i>Calvatia utriformis</i>	Nd	0.4	0.4
<i>Clitocybe odora</i>	0.59	7.77	8.36
<i>Coprinopsis atramentaria</i>	Nd	5.35	6.19
<i>Coprinus comatus</i>	0.4	42.8	43.2
<i>Fistulina hepatica</i>	2.12	2.95	5.07
<i>Flammulina velutipes</i>	5.98	15.08	21.06
<i>Hygrophoropsis aurantiaca</i>	4.31	7.56	11.87
<i>Laccaria laccata</i>	0.64	5.81	6.45
<i>Lactarius bertollini</i>	11.71	1.61	13.32
<i>L. citriolens</i>	8.31	0.45	8.76
<i>L. salmonicolor</i>	13.5	0.35	13.85
<i>L. turpis</i>	19.21	0.33	19.54

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

<i>L. vellereus</i>	24.77	2.41	27.18
<i>L. volemus</i>	2.73	0.93	3.66
<i>Lentinus squarrosulus</i>	0.7-1.43	11.09-12.76	11.79-14.74
<i>Lepista inversa</i>	1.86	4.32	6.18
<i>Lycoperdon pechinatum</i>	0.85	1.38	2.23
<i>Pleurotus ostreatus</i>	0.87	12.74	13.91
<i>Pleurotus tuber-regium</i>	0.35	1.5	1.85
<i>P. sajor-caju</i>	1.99	6.61	8.92
<i>Rhodotus palmatus</i>	2.62	0.9	32.86
<i>Russula cyanoxantha</i>	16.18	1.64	17.82
<i>R. delica</i>	18.4	0.21	18.61
<i>R. olivácea</i>	15.25	0.71	15.96
<i>Suillus luteus</i>	1.29	1.35	2.64
<i>S. mediterraneensis</i>	2.89	1.18	4.07
<i>S. variegatus</i>	Nd	4.85	4.85
<i>Termitomyces robustus</i>	4.71	9.92	14.63
<i>Tricoloma imbricatum</i>	10.5	6.56	17.06
<i>Xerocomus chrysenteron</i>	5.81	4.16	9.98

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

**Tabla 4:** revisión de la composición de tocoferoles en especies comestibles de hongos. Datos expresados en  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  de materia seca<sup>21,22</sup>.

Especie	$\alpha$ -tocoferol	$\beta$ -tocoferol	$\gamma$ -tocoferol	$\delta$ -tocoferol	Tocoferoles totales
<i>Coprinopsis atramentaria</i>	4	20.18	52.66	1.50	78.34
<i>Coprinus comatus</i> (cultivated)	Nd	375.99	165.57	46.67	588.24
<i>Coprinus comatus</i> (wild)	13.24	Nd	Nd	31.76	45.01
<i>Lactarius bertillonii</i>	22.08	9.59	65.43	17.08	114.18
<i>Lactarius citriolens</i>	20.43	70.65	4.69	5.28	101.05
<i>L. vellereus</i>	14.55	242.41	36.86	22.04	315.86
<i>L. turpis</i>	45.84	14.79	72.32	Nd	132.94
<i>Rhodotus palmatus</i>	6.48	25.92	13.66	6.48	52.54
<i>Xerocomus chrysenteron</i>	1.77	133.78	220.51	16.92	372.98

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

**Tabla 5:** revisión de la composición de tocoferoles en especies comestibles de hongos. Datos expresados en  $\mu\text{g}/100\text{ g}$  de materia fresca<sup>5</sup>.

<b>Especie</b>	<b><math>\alpha</math>-tocoferol</b>	<b><math>\beta</math>-tocoferol</b>	<b><math>\gamma</math>-tocoferol</b>	<b><math>\delta</math>-tocoferol</b>	<b>Tocoferoles totales</b>
<i>Agaricus bisporus white</i>	0.23	0.85	1.51	2.6	5.19
<i>Agaricus bisporus brown</i>	0.28	0.71	7.63	2.54	11.16
<i>Flammulina velutipes</i>	0.19	Nd	1.62	Nd	1.81
<i>Lentulina edodes</i>	0.92	Nd	5.55	4.36	10.83
<i>Pleurotus eryngii</i>	0.25	2.16	1.83	0.62	4.86
<i>P. ostreatus</i>	0.59	Nd	1.49	1.64	3.72

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

**Tabla 6:** revisión de la composición grasa de especies comestibles de hongos<sup>5,9,21,22</sup>.

<b>Especie</b>	<b>C16:0</b>	<b>C18:1n9c</b>	<b>C18:2n6c</b>	<b>C18:3n3c</b>	<b>%SFA</b>	<b>%MUFA</b>	<b>%PUFA</b>
<i>Auricularia auricula</i>	18.75	27.20	34.61	1.63	35.82	27.74	36.44
<i>Coprinopsis atramentaria</i>	11.11	30.65	46.69	7.94	13.56	31.71	54.73
<i>Lactarius bertillonii</i>	10.07	6.98	13.23	0.10	79.03	7.17	13.80
<i>Lactarius citriolens</i>					51.85	25.42	22.72
<i>Lactarius vellereus</i>	8.86	6.84	22.13	0.19	70.58	6.99	22.43
<i>L. turpis</i>					23.73	27.18	49.09
<i>Lentinus squarrosulus</i>	18.04	8.67	63.34	1.03	25.78	9.36	64.87
<i>Pleurotus ostreatus</i>	14.31	18.3	58.46	0.20	21.87	18.92	59.21
<i>P. sajor-caju</i>	17.84	22.62	48.57	0.24	26.62	24.1	49.17
<i>P. tuber-regium</i>	21.19	21.21	32.28	1.08	42.19	24.07	33.75
<i>Rhodotus palmatus</i>	11.38	32.21	47.28	3.39	14.22	34.36	51.42
<i>Termitomyces robustus</i>	20.87	9.52	59.19	0.20	30.1	10.28	59.62
<i>Xerocomus chrysenteron</i>	14.96	18.43	43.95	2.20	23.71	29.81	46.48

Siendo C16:0 (ácido palmítico), C18:1n9c (ácido oleico), C18:2n6c (ácido linoleico), C18:3n3c (ácido  $\alpha$ -linolénico)

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

**Tabla 7:** revisión de compuestos fenólicos en especies comestibles, expresados en mg / 100 g materia seca<sup>9,21</sup>.

	Á. protocatéutico	Á. p-hidroxibenzóico	Á. p-cumárico	Á. fenólicos totales	Á. cinámico
<i>Auricularia auricula</i>	-	1.09 ± 0.02	Nd	1.09 ± 0.02	0.10 ± 0.01
<i>Coprinopsis atramentaria</i>	Nd	4.71 ± 0.14	0.82 ± 0.04	5.53 ± 0.09	1.7 ± 0.11
<i>Lactarius bertillonii</i>	0.16 ± 0.02	0.2 ± 0.02	0.13 ± 0.01	0.5 ± 0.05	0.77 ± 0.09
<i>L. citriolens</i>		0.15 ± 0.01		0.15 ± 0.01	0.15 ± 0.00
<i>L. turpis</i>		0.12 ± 0.00		0.20 ± 0.01	0.12 ± 0.00
<i>L. vellereus</i>	0.99 ± 0.07	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.01	1.33 ± 0.1	1.07 ± 0.22
<i>Lentinus squarrosulus</i>	-	1.40 ± 0.03	Nd	1.40 ± 0.03	0.79 ± 0.01
<i>Pleurotus ostreatus</i>	-	1.56 ± 0.01	0.21 ± 0.01	1.77 ± 0.02	1.82 ± 0.01
<i>P. sajor-caju</i>	-	0.43 ± 0.03	Nd	0.43 ± 0.03	0.13 ± 0.01
<i>P. tuberregium</i>	-	0.08 ± 0.00	Nd	0.08 ± 0.02	Nd
<i>Rhodotus palmatus</i>	8.6 ± 0.64	1.96 ± 0.23	Nd	10.55 ± 0.87	4.15 ± 0.19
<i>Termitomyces robustus</i>		2.43 ± 0.02	0.24 ± 0.01	2.67 ± 0.03	8.06 ± 0.01
<i>Xerocomus chrysenteron</i>	0.54 ± 0.04	0.98 ± 0.13	0.55 ± 0.01	2.06 ± 0.18	0.55 ± 0.02

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

**Tabla 8:** revisión de la composición en minerales en especies comestibles, expresado en mg / 100 g materia seca <sup>3</sup>.

Macroelemento	Contenido	Elemento Traza	Contenido	Elemento Traza	Contenido
<b>K</b>	2000-4000	<b>Al</b>	0.2-1.5	<b>Fe</b>	0.5-3
<b>P</b>	500-1000	<b>Sb</b>	<0.001	<b>Pb</b>	<0.01-0.05
<b>Cl</b>	100-600	<b>As</b>	0.005-0.05	<b>Mn</b>	0.1-0.6
<b>S</b>	100-600	<b>Ba</b>	0.02-0.04	<b>Hg</b>	<0.005-0.05
<b>Mg</b>	80-1800	<b>Cd</b>	0.01-0.05	<b>Ni</b>	<0.05-0.15
<b>Ca</b>	100-500	<b>Cs</b>	0.05-1	<b>Rb</b>	0.1-1
<b>Na</b>	100-400	<b>Co</b>	<0.005	<b>Se</b>	<0.02-0.2
		<b>Cu</b>	0.2-1	<b>Ag</b>	<0.1
		<b>Cr</b>	0.005-0.05	<b>Va</b>	<0.005
		<b>I</b>	$7 \times 10^{-4}$ - $5 \times 10^{-3}$	<b>Zn</b>	0.25-2



## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

### 10.3. ESTIMACIÓN DETALLADA DE ANTIOXIDANTES EN HONGOS<sup>16</sup>

#### Estimación del contenido de fenoles totales

Considerando la importancia fisiológica de los compuestos fenólicos y su contribución hacia la capacidad total antioxidante, el método Folin-Ciocalteu se ha usado para estimar el contenido en fenoles totales de los extractos de hongos. Este reactivo no solo reacciona con fenoles, sino también con otros agentes reductores como el ácido ascórbico, por lo que tiende a sobreestimar los niveles de compuestos fenólicos. Algunos resultados de estudios se muestran en la **Tabla 9**, observándose los contenidos en fenoles frente a los controles positivos quercetina, BHA y ácido ascórbico. Destacan como especie ricas en fenoles *Ganoderma lucidum*, *Coprinopsis atramentaria*, *Xerocomus chrysenteron* y *Agrocybe sp.*

#### Ensayo de la capacidad antioxidante

No hay un método universal capaz de promover un perfil de antioxidantes exacto. Un único ensayo no es suficiente para medir la capacidad antioxidante de los hongos. Se suelen utilizar varios métodos, descritos a continuación.

- Efecto de barrido de radicales DPPH: método de Brand-Williams

Los hongos muestran buenas actividades de barrido de radicales libres DPPH, actuando como antioxidantes primarios. El hongo que mostró una mayor actividad entre los estudiados fue *G. lucidum*, seguido por *Agrocybe sp.* y *P. eryngii*, como se muestra en la **Tabla 10**. También se ha descrito una excelente capacidad antioxidante en extractos de agua caliente de *Ganoderma tsugae*, así como de otras especies como del género *Agaricus*, *Pleurotus* o *Hypsizygus*.

- Actividad blanqueadora de  $\beta$ -caroteno

Comparando con los controles positivos se ha observado que *S. comune* tiene niveles comparables a la quercetina, y es más potente que el BHA. Tres especies: *G. lucidum*, *H. erinaceus* y *L. edodes* fueron más potentes que el ácido ascórbico. La actividad antioxidante más débil fue la de *F. velutipes*.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

- Inhibición de la peroxidación lipídica con yema de huevo tamponada

En una concentración de 10 mg/ml, la inhibición de la peroxidación lipídica por los extractos fue moderada (30.54-57.18%) mientras que los controles positivos mostraron un mayor porcentaje de inhibición (77.92-81.93%). *G. lucidum* mostró la mayor inhibición, seguido por *P. florida* y *A. auricular-judae*. *V. volvacea* y *P. flabellatus* tienen un porcentaje comparable.

- Capacidad de poder reductor

Los controles positivos mostraron una capacidad de poder reductor bastante mayor que cualquiera de los extractos. La de estos fue variable, incrementándose a medida que aumentaba la concentración. Entre los hongos, fueron significantes los incrementos en especies como *G. lucidum* y *Agrocibe sp.* En general, el género *Pleurotus* mostró bajo poder reductor, aunque algunas especies como *P. florida*, *P. citrinupileatus* y *P. cornucopiae* sí tienen buena capacidad.

- Método CUPRAC (Cupric-Ion-Reducing Antioxidant Capacity)

Este método es dependiente de la concentración del extracto. Como se esperaba, los controles positivos mostraron un más pronunciado CUPRAC que los extractos. Comparando entre las especies de hongos, fue *G. lucidum* la más destacada en capacidad antioxidante.

Como se observa en la **Tabla 10**, bajos  $IC_{50}$  se observan en los controles positivos quercetina y BHA, y uno mayor para el ácido ascórbico, lo que sugiere que es un antioxidante débil a pesar de ser un antioxidante polar. Esto es llamado la “paradoja polar”, donde los antioxidantes polares que quedan en la fase acuosa de la emulsión están más diluidos en la fase lipídica y son menos efectivos.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

---

- Índice antioxidante

Los extractos contienen una mezcla de muchos compuestos polares. Esto complica la investigación detallada de sus actividades antioxidantes. Las distintas especies mostraron diferentes niveles de actividades antioxidantes según el ensayo empleado, mostrando grandes capacidades antioxidantes en unos y pequeñas en otros. Es difícil comparar estos resultados individualmente, por eso se utiliza el índice antioxidante para combinar la media de resultados.

*G. lucidum* exhibió el mayor potencial antioxidante relativo (30.1%), seguido de cerca por *S. commune* (27.6%). Otros hongos mostraron un potencial antioxidante moderado, como *H. erinaceus* (17.7%), *V. volvaceae* (17.4%), *A. auricular-judae* (16.9%) y *T. heimii* (16.4%). La especie estudiada con un menor potencial antioxidante fue *F. velutipes* (12%), como se observa en la **Tabla 11**<sup>16</sup>.

- Ensayo inhibitorio ACE (enzima convertidora de angiotensina)

Este ensayo refleja el potencial antihipertensivo *in vivo* puesto que la inhibición de ACE conlleva una disminución de la presión sanguínea en animales. Se asume que la actividad ACE está directamente relacionada con el grado de liberación de ácido hipúrico, por lo que una menor cantidad de ácido hipúrico indica una mayor actividad inhibitoria. Se ha demostrado que el extracto de *G. lucidum* mostró la mejor actividad inhibitoria ACE, seguido por el género *Pleurotus*, en el orden *P. eryngii* > *P. flabellatus* > *P. sajor-caju* > *P. cystidiosus* > *P. florida*.

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

**Tabla 9:** contenido en fenoles totales (mg GAE / g extracto)<sup>16,21</sup>

Espece	Fenoles totales (mg GAE/g extracto)	Espece	Fenoles totales (mg GAE/g extracto)
<i>Agrocybe sp.</i>	25.40 ± 1.52	<i>P. eryngii</i>	20.95 ± 2.39
<i>Auricularia auricular-judae</i>	6.19 ± 0.87	<i>P. flabellatus</i>	20.24 ± 0.68
<i>Coprinopsis atramentaria</i>	33.58 ± 0.64	<i>P. florida</i>	12.24 ± 1.17
<i>Flammulina velutipes</i>	16.69 ± 2.62	<i>P. sajor-caju</i>	17.70 ± 2.12
<i>Ganoderma lucidum</i>	63.51 ± 3.11	<i>Rhodotus palmatus</i>	28.55 ± 0.3
<i>Hericium erinaceus</i>	10.20 ± 2.25	<i>Schizophyllum commune</i>	16.47 ± 0.42
<i>Lactarius bertillonii</i>	23.09 ± 0.67	<i>Termitomyces heimii</i>	11.31 ± 0.42
<i>L. citriolens</i>	13.13 ± 0.17	<i>Volvariella volvaceae</i>	0.88 ± 3.13
<i>L. turpis</i>	22.02 ± 0.09	<i>Xerocomus chrysenteron</i>	36.28 ± 0.57
<i>L. vellereus</i>	12.62 ± 0.18	Controles positivos	
<i>Lentunila edodes</i>	14.70 ± 3.01	Quercetina	194.24 ± 7.58
<i>Pleurotus cystidiosus</i>	9.26 ± 0.77	BHA	931.86 ± 49.78
		Ácido ascórbico	25.40 1.39

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

**Tabla 10:** actividades antioxidantes en especies de hongos<sup>16</sup>:

Especie	DPPH (IC <sub>50</sub> )	β-CB (IC <sub>50</sub> )	Peroxidación lipídica (% inhibición)
<i>Agrocybe sp.</i>	9.559 ± 0.462	12.95 ± 0.842	33.33 ± 18.14
<i>A. auricular-judae</i>	23.916 ± 0.106	27.82 ± 0.498	56.41 ± 2.74
<i>F. velutipes</i>	39.050 ± 5.717	38.80 ± 0.039	41.71 ± 4.23
<i>G. lucidum</i>	5.280 ± 0.263	7.94 ± 0.783	57.18 ± 14.05
<i>H. erinaceus</i>	25.471 ± 0.039	8.76 ± 1.567	47.52 ± 4.87
<i>L. edodes</i>	19.093 ± 0.296	8.33 ± 0.020	38.29 ± 4.16
<i>P. cystidiosus</i>	31.500 ± 0.053	26.08 ± 0.383	49.83 ± 4.3
<i>P. eryngii</i>	15.422 ± 0.037	24.71 ± 0.542	47.86 ± 9.22
<i>P. florida</i>	21.233 ± 0.045	25.08 ± 0.333	56.58 ± 7.43
<i>P. sajor.caju</i>	23.100 ± 0.156	17.50 ± 0.012	42.99 ± 3.34
<i>S. commune</i>	35.659 ± 0.055	2.21 ± 0.237	36.24 ± 9.41
<i>T. heimii</i>	26.839 ± 0.189	12.79 ± 0.381	46.32 ± 2.73
<i>V. volvaceae</i>	17.832 ± 0.020	17.92 ± 0.197	50.00 ± 1.4
<i>Controles positivos</i>			
<i>Quercetina</i>	0.032 ± 0.007	1.86 ± 0.014	87.35 ± 6.11
<i>BHA</i>	0.097 ± 0.012	2.76 ± 0.014	75.13 ± 2.02
<i>Ácido ascórbico</i>	0.078 ± 0.005	11.50 ± 0.135	81.54 ± 1.09

## Composición química y antioxidantes en setas comestibles

**Tabla 11:** potencial antioxidante relativo entre especies.

Especie	Porcentaje relativo de cada ensayo					IA
	DPPH	$\beta$ -CB	ILP	RPA	CUPRAC	
<i>Quercetina</i>	100	100	100	100	100	100
<i>G. lucidum</i>	0.6	23.4	65.5	10.8	50.1	30.1
<i>S. commune</i>	0.1	84.1	41.5	0.9	11.6	27.6
<i>P. flabellatus</i>	0.2	15.5	57.3	3.2	15.5	18.4
<i>H. erinaceuz</i>	0.1	21.2	54.4	0.9	12	17.7
<i>V. volvaceae</i>	0.2	10.4	57.2	4.7	14.4	17.4
<i>A. auricular-judae</i>	0.1	6.7	64.6	2.4	10.8	16.9
<i>P. florida</i>	0.2	7.4	64.8	2.8	7.8	16.6
<i>T. heimii</i>	0.1	14.6	53	5.5	8.7	16.4
<i>L. edodes</i>	0.2	22.4	43.8	1.4	11.8	15.9
<i>P. eryngii</i>	0.2	7.5	54.8	2.3	13	15.6
<i>Agrocybe sp.</i>	0.3	14.4	38.2	3.4	18.8	15
<i>P. sajor-caju</i>	0.1	10.6	49.2	3.2	9.9	14.6
<i>P. cystidiosu</i>	0.1	7.1	57	1.6	7.1	14.6
<i>F. velutipes</i>	0.1	4.	47.7	0.7	6.5	12