

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

Facultades de Ciencias Químicas, Ciencias Agropecuarias, Ciencias Exactas, Físicas y
Naturales y Ciencias Médicas



Caracterización química y nutricional de *Hericium rajchenbergii* y *Phlebopus bruchii*, hongos comestibles nativos de las Sierras de Córdoba

Ing. Agr. María Eugenia Rodríguez

Trabajo de tesis para obtener el título de Magíster en Ciencia y Tecnología de los
Alimentos

Córdoba, Argentina

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA)
Centro de Biotecnología Aplicada al Agro y Alimentos (BioTECA³)

Directora: Dra. Florencia V. Grasso

Co-Director: Dr. Gerardo L. Robledo

Comisión de tesis: Dra. María Alejandra Pérez Agostini

Dr. Martín G. Theumer

Evaluadora externa: Dra. Verónica A. Alonso

Córdoba, Argentina

2021

DEDICATORIA

*A mis dos grandes pilares,
mi hija Camila y mi amor Rodolfo.*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a la Fundación FungiCosmos por contagiarme su inspiración, enseñarme sus saberes y por brindar el apoyo financiero que constituyó una parte fundamental del conocimiento científico generado en este trabajo.

A mis directores, la Dra. Florencia Grasso y el Dr. Gerardo Robledo por su guía y colaboración científica-intelectual. A Florencia por brindarme su ayuda, sus consejos, su apoyo y haberme recibido en su lugar de trabajo. A Gerardo por transmitirme su pasión por los hongos, el trabajo científico, por su experiencia y dedicación. Gracias a ambos puedo disfrutar la culminación de esta Tesis.

A mí querida amiga del alma Graciela Pergassere, por su apoyo incondicional, calidez, amistad, experiencia y sostén durante todos estos años. A Patricia Montoya, por su amistad y acompañamiento en los trabajos realizados en el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICTA). Al Dr. Edgardo Calandri, por sus valiosos aportes, experiencia y su calidad humana. Gracias por su guía en la realización de la Práctica Profesional en el ICTA y parte del trabajo experimental de mi tesis. Al Ing. Ariel Ortiz y el Dr. Ricardo Mignone, gracias por brindarme su amistad, empatía, solidaridad y permitirme utilizar su laboratorio para realizar mi tesis.

A mi familia por la contención y su apoyo incondicional.

Agradecer a todos aquellos que de alguna manera cooperaron en la elaboración de este trabajo con su apoyo afectivo, científico y material.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	vi
ABSTRACT	viii
PRESENTACIÓN A CONGRESO	x
LISTADO DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	xi
LISTADO DE ILUSTRACIONES	xii
LISTADO DE TABLAS	xiii
GLOSARIO	xv
INTRODUCCIÓN	1
PARTICULARIDADES DEL REINO FUNGI	1
ATRIBUTOS DE LOS HONGOS COMESTIBLES	2
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS HONGOS COMESTIBLES	3
VALOR NUTRICIONAL DE LOS HONGOS COMESTIBLES	4
HIDRATOS DE CARBONO	5
FIBRA	5
LÍPIDOS	6
PROTEÍNAS	6
MINERALES	7
VITAMINAS	7
COMPUESTOS BIOACTIVOS	8
PRODUCCIÓN DE HONGOS COMESTIBLES	10
HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES	11
VALOR ECONÓMICO	11
MERCADO Y CONSUMO DE HONGOS	15
LEGISLACIÓN VIGENTE	17
IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	19
OBJETIVOS	20
GENERAL	20
ESPECÍFICOS	20
HIPÓTESIS	20

MATERIALES Y MÉTODOS	21
MUESTRAS ANALIZADAS DE <i>P. bruchii</i> y <i>H. rajchenbergii</i>	21
PROCESAMIENTO DE MUESTRAS	22
COMPOSICIÓN PROXIMAL	22
HUMEDAD	22
CENIZAS	22
PROTEÍNA CRUDA	23
GRASA CRUDA	24
HIDRATOS DE CARBONO	25
VALOR ENERGÉTICO	25
PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS	26
PERFIL DE AMINOÁCIDOS	27
CONTENIDO DE FENOLES TOTALES	27
COMPOSICIÓN ELEMENTAL	28
ANÁLISIS FTIR-ATR	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL	
DEL HONGO COMESTIBLE SILVESTRE <i>Phlebopus</i>	
<i>bruchii</i>	32
INTRODUCCIÓN	32
COMPOSICIÓN PROXIMAL	34
HUMEDAD	34
CENIZAS	34
PROTEÍNAS	35
GRASAS	37
HIDRATOS DE CARBONO	38
VALOR ENERGÉTICO	40
ANÁLISIS DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS	41
ANÁLISIS DEL PERFIL DE AMINOÁCIDOS	44
CONTENIDO DE FENOLES TOTALES	47
ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN ELEMENTAL	48
ANÁLISIS FTIR-ATR	51
CONCLUSIONES PARCIALES	54

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL DEL HONGO COMESTIBLE SILVESTRE <i>Heridium rajchenbergii</i>	56
INTRODUCCIÓN	56
COMPOSICIÓN PROXIMAL	57
HUMEDAD	57
CENIZAS	58
PROTEÍNAS	59
GRASAS	60
HIDRATOS DE CARBONO	61
VALOR ENERGÉTICO	62
ANÁLISIS DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS	63
ANÁLISIS DEL PERFIL DE AMINOÁCIDOS	65
CONTENIDO DE FENOLES TOTALES	68
ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN ELEMENTAL	69
ANÁLISIS FTIR-ATR	71
CONCLUSIONES PARCIALES	74
CONCLUSIÓN GENERAL	76
PERSPECTIVAS FUTURAS	79
BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXO I: The Global Fungal Red List Initiative, <i>Phlebopus bruchii</i> (datos no publicados)	93
ANEXO II: The Global Fungal Red List Initiative, <i>Heridium rajchenbergii</i> (datos no publicados)	101

RESUMEN

Los hongos comestibles presentan un gran número de especies con aportes nutricionales importantes y han sido reconocidos como alimentos saludables. Poseen cualidades sensoriales únicas por su gran diversidad en colores, sabores, aromas, texturas y tamaños. En las sierras de Córdoba existen dos especies nativas y endémicas de hongos comestibles. Una de ellas es *Phlebopus bruchii*, que es una especie silvestre muy apreciada por su aptitud culinaria y alto valor gastronómico. Posee una gran demanda por parte de los consumidores y es comercializado en los circuitos turísticos locales como el “hongo de coco”. La otra especie es *Hericium rajchenbergii*, recientemente descrita para la ciencia y de gran interés por su cercanía taxonómica a *H. erinaceus*, ampliamente reconocido por sus propiedades medicinales. A diferencia del hongo de coco, *H. rajchenbergii* se puede producir bajo cultivo, pero no se encuentra incluido en el Código Alimentario Argentino.

El objetivo de este estudio fue caracterizar química y nutricionalmente a los hongos comestibles *P. bruchii* y *H. rajchenbergii*.

La evaluación de las propiedades nutricionales y composición química se efectuaron sobre basidiomas secos. Se realizaron análisis químicos analíticos y se cuantificaron el contenido de humedad, cenizas, proteína cruda, grasa cruda, hidratos de carbono y valor energético. Se determinaron los perfiles de ácidos grasos y aminoácidos, composición mineral, contenido de fenoles totales y se identificó la presencia de β - glucanos, α -glucanos y complejos glucanos-proteína por espectroscopia infrarroja (FTIR-ATR).

P. bruchii presentó en base seca un 53,15% de carbohidratos totales; $16,34 \pm 0,31\%$ de proteínas cruda; $4,45 \pm 0,21\%$ de grasa cruda y $14,22 \pm 0,09\%$ de cenizas, en

tanto que *H. rajchenbergii* 61,37%; $16,35 \pm 1,61\%$; $2,99 \pm 0,21\%$ y $10,40 \pm 0,47\%$, respectivamente. A través de espectroscopia infrarroja se comprobó en ambas especies la presencia de α -glucanos, β -glucanos y complejos glucano-proteína, como representantes de polisacáridos con propiedades nutraceuticas. En ambas especies los ácidos grasos mayoritarios son el oleico, linoleico, esteárico y palmítico, siendo el total de grasas insaturadas del $72,21 \pm 0,89\%$ para *P. bruchii* y $36,26 \pm 0,55\%$ para *H. rajchenbergii*. El contenido de metales mostró una gran variedad de elementos, considerándolos fuentes importantes de potasio, fósforo, magnesio. Aportan cantidades considerables de microminerales y elementos trazas que cubren totalmente o gran parte de las recomendaciones de ingesta diaria. Los más importantes fueron el hierro, cobre, manganeso, zinc, selenio. Son buenas fuentes de compuestos bioactivos ya que contienen un alto contenido de fenoles totales.

Estas especies de hongos comestibles contienen excelentes propiedades nutricionales, representan fuentes alimenticias hipocalóricas, ricas en proteínas, minerales, ácidos grasos insaturados, lisina y otros aminoácidos esenciales, bajos en grasas y sodio. Proporcionan complejos glucanos, antioxidantes como polifenoles y selenio, por lo que su consumo es altamente beneficioso para la salud. En este trabajo se generaron las primeras bases científicas sobre la composición química y nutricional de las especies *P. bruchii* y *H. rajchenbergii*.

Palabras clave: Hongos alimenticios, Hongo de coco, género *Hericiium*, composición química, valor nutricional.

ABSTRACT

Edible mushrooms have a large number of species with important nutritional contributions and are recognized as healthy foods. They have unique sensory qualities due to their great diversity in colors, flavors, aromas, textures and sizes. In the Cordoba mountains there are two native and endemic species of edible fungi. One of them is *Phlebopus bruchii*, which is a wild species highly prized for its culinary aptitude and high gastronomic value. It is in high demand from consumers and is marketed on local tourist circuits as the "coconut mushroom". The other species is *Hericium rajchenbergii*, recently described for science and of great interest for its taxonomic proximity to *H. erinaceus*, widely recognized for its medicinal properties. Unlike the coconut fungus, *H. rajchenbergii* can be produced under cultivation, but it is not included in the Argentine Food Code.

The objective of this study was to characterize chemically and nutritionally the edible fungi *P. bruchii* and *H. rajchenbergii*.

The evaluation of the nutritional properties and chemical composition were carried out on dry basidiomas. Analytical chemical analyzes were performed and quantified the content of moisture, ash, crude protein, crude fat, carbohydrates and energy value. Fatty acid and amino acid profiles, mineral composition, total phenol content, and the presence of β -glucans, α -glucans and glucan-protein complexes were determined by infrared spectroscopy (FTIR-ATR).

P. bruchii presented on a dry basis 53.15% of total carbohydrates, $16.34 \pm 0.31\%$ of crude proteins, $4.45 \pm 0.21\%$ of crude fat and $14.22 \pm 0.09\%$ of ashes, whereas *H. rajchenbergii* 61.37%, $16.35 \pm 1.61\%$, $2.99 \pm 0.21\%$ and $10.40 \pm 0.47\%$, respectively. Through infrared spectroscopy, the presence of α -glucans, β -glucans and glucan-protein

complexes were verified in both species, as representatives of polysaccharides with nutraceutical properties. In both species the main fatty acids are oleic, linoleic, stearic and palmitic, the total of unsaturated fats being $72.2 \pm 0.89\%$ for *P. bruchii* and $36.26 \pm 0.55\%$ for *H. rajchenbergii*. The metal content showed a great variety of elements considering them important sources of potassium, phosphorus, magnesium. They provide considerable amounts of trace minerals and trace elements that fully or largely cover daily intake recommendations, the most important being iron, copper, manganese, zinc, selenium. They are good sources of bioactive compounds due to they contain a high content of total phenols.

These edible mushroom species contain excellent nutritional properties, represent low-calorie food sources, are rich in protein, minerals, unsaturated fatty acids, lysine and other essential amino acids, low in fat and sodium. They provide complex glucans, antioxidants such as polyphenols and selenium, which is why their consumption is highly beneficial for health. In this work, the first scientific bases on the chemical and nutritional composition of the *P. bruchii* and *H. rajchenbergii* species were generated.

Key words: Food mushrooms, coconut mushroom, genus *Hericium*, chemical composition, nutritional value.

PRESENTACIÓN A CONGRESO

Rodríguez M. E., Pergassere G. B., Grasso F. V. y Robledo G. L. “Caracterización química y nutricional de *Hericiium rajchenbergii* y *Phlebopus bruchii*, hongos comestibles nativos de las Sierras de Córdoba”. VIII Jornadas Integradas de Investigación, Extensión y Enseñanza de la Facultad de Ciencias Agropecuarias – UNC, “AgTech: Innovación en tecnología en las Ciencias Agropecuarias”. Córdoba, 20 de noviembre de 2019. Resol. HCD N° 772/2019.

LISTADO DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

AOAC	Association of Official Analytical Chemists
b.s	base seca
CAA	Código Alimentario Argentino
CR	critically endangered
ECM	ectomicorriza
et al.	del latín <i>et alii</i> , y otros, y colaboradores
f	factor de conversión de nitrógeno a proteínas
FD	fibra dietaria
FDI	fibra dietaria insoluble
FDS	fibra dietaria soluble
FDT	fibra dietaria total
FOSHU	Foods for Specified Health Use
g	gramo
GAE	ácido gálico
Hab	habitante
Kcal	kilocaloría
H₂SO₄	ácido sulfúrico
KHz	kilohertzios
MS	materia seca
Nm	nanómetro
N	nitrógeno
N_{total}	nitrógeno total
OMS	Organización Mundial de la Salud
PFNM	productos forestales no madereros.
Ref.	referencia bibliográfica
sp., spp.	del latín <i>species</i> , especie, especies
SAGyP	Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca
SPReI	Secretaría de Políticas, Regulación e Institutos
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. <i>Phlebopus bruchii</i>	14
Figura 2. <i>Hericium rajchenbergii</i>	15
Figura 3. Perfil de aminoácidos del hongo comestible <i>P. bruchii</i>	44
Figura 4. Curva de calibrado representativa de ácido gálico por el método de Folin-Ciocalteu	47
Figura 5. Espectro infrarrojo (FTIR - ATR) de fructificaciones secas de <i>P. bruchii</i>	51
Figura 6. Perfil de aminoácidos del hongo comestible <i>H. rajchenbergii</i>	65
Figura 7. Espectro infrarrojo (FTIR - ATR) de fructificaciones secas de <i>H. rajchenbergii</i>	72

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Composición proximal de especies cultivadas de hongos comestibles.....	4
Tabla 2. Composición proximal del hongo comestible <i>P. bruchii</i>	34
Tabla 3. Comparación del contenido de cenizas (g/100 g MS) de Boletaceas silvestres comestibles.	35
Tabla 4. Comparación de valores de proteína cruda (g/100 g MS) de varias especies de <i>Boletus</i> y <i>Suillus</i> comestibles de hongos silvestres.	36
Tabla 5. Comparación de valores de grasa cruda (g/100 g MS) de especies de hongos comestibles silvestres.....	38
Tabla 6. Datos del contenido de hidratos de carbono (g/100 g MS) en hongos comestibles silvestres.	39
Tabla 7. Valor energético (Kcal/100 g MS) en hongos comestibles silvestres.	40
Tabla 8. Perfiles de ácidos grasos en las especies <i>P. bruchii</i> , <i>B. edulis</i> y género <i>Suillus</i>	43
Tabla 9. Composición porcentual de aminoácidos libres en hongos comestibles.....	45
Tabla 10. Composición de aminoácidos esenciales (g aa/ 100 g de proteína).	46
Tabla 11. Contenido de fenoles totales en <i>P. bruchii</i>	48
Tabla 12. Composición mineral de <i>P. bruchii</i> (mg/100 g MS)	49
Tabla 13. Comparación del contenido de metales pesados en <i>P. bruchii</i> , los límites permitidos por CAA y Ingesta Diaria Admisible por la FAO.	51
Tabla 14. Composición proximal del hongo comestible <i>H. rajchenbergii</i>	57
Tabla 15. Contenidos de cenizas (g/ 100g MS) en especies cultivadas del género <i>Hericiium</i> y comerciales de la Argentina.	58
Tabla 16. Contenido de proteína cruda (g/100 g MS) en especies cultivadas.....	59
Tabla 17. Comparación de valores de grasa cruda (g/100 g MS) en especies de hongos comestibles cultivados	61
Tabla 18. Contenido de hidratos de carbono (g/100 g MS) en hongos comestibles cultivados.....	62
Tabla 19. Valor energético (Kcal/100 g MS) en hongos comestibles cultivados.....	63
Tabla 20. Composición del perfil de ácidos grasos de la especie <i>H. rajchenbergii</i>	63
Tabla 21. Perfil de ácidos grasos (g/ 100 g _{grasa}) de especies del género <i>Hericiium</i>	64

Tabla 22. Composición porcentual de aminoácidos en las especies <i>H. rajchenbergii</i> y <i>H. erinaceus</i>	66
Tabla 23. Composición de aminoácidos esenciales (g de aa/ 100 g de proteína).....	67
Tabla 24. Contenido de fenoles totales (mg GAE/g MS) en hongos comestibles cultivados.....	69
Tabla 25. Composición mineral de <i>H. rajchenbergii</i> (mg/100 g MS) y Recomendaciones de Ingesta Diaria.....	71

GLOSARIO

Basidioma: esporocarpio de un hongo basidiomiceto, que consiste en una estructura multicelular sobre la que se dispone el himenio productor de esporas.

Esporoma: estructura reproductiva macroscópica de los hongos.

Boletales: orden de hongos de la división Basidiomycota.

INTRODUCCIÓN

EL REINO FUNGI Y LOS HONGOS COMESTIBLES

Los hongos han sido parte de la dieta humana desde tiempos inmemoriales. Las primeras civilizaciones de los griegos, egipcios, romanos, chinos y mexicanos apreciaban los hongos como un manjar, sabían algo sobre su valor terapéutico y a menudo los usaban en ceremonias religiosas (Chang y Miles, 2004). Históricamente el uso de hongos con fines medicinales se remonta al menos hace 2000 años, en la Medicina Tradicional China, pero sus propiedades recién han sido objeto de la investigación científica moderna desde los años 1960's (Pala y Wani, 2011).

Históricamente los hongos han sido considerados plantas, no obstante poseen características suficientes y significativamente diferentes a las plantas y los animales como para clasificarlos en un reino separado: el Reino Fungi. Intuitivamente el hombre siempre relacionó la falta de movilidad de los hongos con las plantas. Las esporas que producen los hongos para su reproducción y para su dispersión, fueron siempre comparadas o analogadas con las semillas de los vegetales, siendo ambas totalmente diferentes en estructura y función. Los organismos que integran el Reino Fungi no contienen clorofila y por lo tanto no realizan fotosíntesis. Son heterótrofos, es decir dependen de nutrientes orgánicos preformados, al igual que los animales. Sin embargo, difieren de los animales en que obtienen los nutrientes solubles absorbiéndolos a través de la pared celular y la membrana plasmática. Además, las paredes celulares de los hongos están compuestas principalmente por quitina y glucanos, a diferencia de las de las plantas, compuestas de celulosa. Fabrican glucógeno como sustancia de reserva celular al igual que el ser humano y los animales, y no almidón como las plantas (Deacon, 2006).

La más reciente clasificación del Reino Fungi propone la división en 9 subreinos y 18 filos: Ascomycota, Aphelidiomycota, Basidiobolomycota, Basidiomycota, Blastocladiomycota, Calcarisporiellomycota, Chytridiomycota, Entomophthoromycota, Entorrhizomycota, Glomeromycota, Kickxellomycota, Monoblepharomycota, Mortierellomycota, Mucoromycota, Neocallimastigomycota, Olpidiomycota, Rozellomycota y Zoopagomycota (Tedersoo et al., 2018). Una gran diversidad de hongos forma sus esporas en esporomas, cuerpos reproductivos visibles a simple vista, por lo que son llamados hongos macroscópicos. Los hongos macroscópicos se presentan

principalmente en el filo Basidiomycota (basidiomas), y en menor medida al filo Ascomycota (ascomas). Esos cuerpos reproductivos, comúnmente llamados “setas” o simplemente “hongos” son los que se encuentran en el bosque y los prados sobre la tierra, los troncos y las ramas, con formas y colores más o menos vistosos, con consistencias y aromas variados. Muchos de ellos son carnosos y son comestibles, y han sido distinguidos por el ser humano por su sabor, consistencia, aroma y la facilidad de conseguirlos (De Michelis y Rajchenberg, 2006). Sin embargo, algunos no son comestibles ya que carecen de atributos nutritivos o pueden ser especies venenosas y tóxicas, presentando un riesgo para la salud. La recolección de hongos silvestres es una práctica recomendada para personas que conocen las características de las diversas especies, saben distinguir y evitar las especies tóxicas. Hoy en día los hongos pueden ser cultivados en cualquier parte, siempre y cuando se garanticen las condiciones para su crecimiento y cultivo. Las tecnologías disponibles para el cultivo de hongos varían en complejidad. Los hongos tienen ciertamente un enorme potencial para alimentar a la población de países del tercer mundo y han sido considerados una solución para la desnutrición como también una cura posible para el cáncer (Boa, 2005; Smith et al., 2002; Pala y Wani, 2011). En occidente los hongos son considerados como alimentos de lujo o gourmet y en varios países los hongos forman parte de la dieta básica y constituyen una importante fuente de ingresos (Curvetto, 2005).

ATRIBUTOS DE LOS HONGOS COMESTIBLES

Algunos hongos son un alimento de buen valor nutricional, otros tienen valor medicinal como suplementos dietéticos, o bien tienen ambas propiedades (Jayakumar et al., 2007). El público se ha preocupado cada vez más por cuestiones de salud y nutrición en los últimos años, y esto ha provocado la comercialización de alimentos naturales consumidos como suplementos dietéticos. Hay un número creciente de estudios científicos que respaldan firmemente que algunos alimentos funcionales, como los hongos, desempeñan un papel en la prevención de enfermedades y, en algunos casos, provocan la supresión o la remisión de una enfermedad (Hong, 2008; Chan et al., 2011; Agrawal et al., 2010; Mori et al., 2009).

Desde los primeros tiempos, los hongos han sido tratados como un tipo especial de alimento. Los griegos creían que los hongos proporcionaban fuerza a los guerreros en la batalla. Los faraones apreciaban los hongos como un manjar, y los romanos

consideraban los hongos como un "alimento de los dioses" y los servían solo en ocasiones festivas. Los chinos atesoraban los hongos como alimento saludable, el "elixir de la vida". Los indios mexicanos usaban hongos como alucinógenos en ceremonias religiosas y en brujería, así como con fines terapéuticos. Los primeros humanos por prueba y error se familiarizaron con las especies valiosas para recolectar y consumir, y las que deben evitarse (Chang y Miles, 2004).

Muchos hongos comestibles han sido “domesticados”, el cultivo y producción de esporomas se desarrollan a distintas escalas (Albertó, 2007). Los hongos de rápido crecimiento en condiciones de cultivo han recibido un notable interés en las últimas décadas al identificarlos como una buena fuente de alimentos con altos atributos nutricionales, incluso medicinales en algunos casos (Chang y Miles, 2004). Cabe señalar que la determinación del valor nutricional de las setas requiere mucho trabajo científico debido a que la composición química depende de la genética, condiciones ambientales, sustrato de crecimiento, entre otros factores. Las técnicas de cultivo, así como las inexactitudes inherentes a los diferentes métodos de análisis, pueden introducir variaciones en los datos analíticos; por ello se han desarrollado métodos de análisis químicos para hongos así como los procedimientos y las precauciones que deben tomarse para obtener resultados precisos (Chang y Miles, 2004).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS HONGOS COMESTIBLES

Los hongos comestibles poseen un alto valor nutricional y son reconocidos como alimentos "saludables". Sin embargo, su valor nutritivo no es muy conocido por los consumidores.

Existen múltiples factores que dificultan la generalización de la composición química de los hongos. Diferentes cepas de una especie e incluso diferentes etapas de desarrollo (micelio vegetativo, esporoma y distintas edades de estos) de una misma cepa pueden mostrar diferencias químicas. Las condiciones de crecimiento, tales como la composición del suelo o medio de cultivo (cultivo en medio sólido, en medio líquido superficial o sumergido), puede provocar cambios en la composición química (Chang y Miles, 2004).

El análisis químico de composición proximal de los hongos comestibles refleja la presencia de compuestos de importancia en la nutrición humana. Así, en la tabla 1 se puede observar la composición proximal de 12 especies de hongos comestibles, de los

cuales los hongos cultivados que se consumen en grandes cantidades son *Agaricus bisporus*, *Flammulina velutipes*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus ostreatus*, *Volvariella volvacea* y *Auricularia* spp. Se muestran valores de proteína (estimado como Nitrógeno total*4,38), grasas, carbohidratos libres de N, fibras y cenizas.

Tabla 1: Composición proximal de especies cultivadas de hongos comestibles

Especie	Humedad	Proteína cruda (N*4,38)	Grasa cruda	Carbohidratos		Fibra cruda	Ceniza	Valor Energético
				Total	N libre			
<i>Agaricus bisporus</i>	78.3-90.5	23.9-34.8	1.7-8.0	51.3-62.5	44.0-53.5	8.0-10.4	7.7-12.0	328-368
<i>Agaricus campestris</i>	89.7	33.2	1.9	56.9	48.8	8.1	8.0	354
<i>Auricularia</i> sp. (<i>Philippine</i> var.)	89.1	4.2	8.3	82.5	63.0	19.8	4.7	351
<i>Boletus edulis</i>	87.3	29.7	3.1	59.7	51.7	8.0	7.5	362
<i>Flammulina velutipes</i>	89.2	17.6	1.9	73.1	69.4	3.7	7.4	378
<i>Lentinula edodes</i>	90.0-91.8	13.4-17.5	4.9-4.8	67.5-78.0	59.5-70.7	7.3-8.0	3.7-7.0	387-392
<i>Pleurotus cous</i>	92.2	25.0	1.1	59.2	-	12.0	9.1	261
<i>Pleurotus florida</i>	91.5	27.0	1.6	58.0	-	11.5	9.3	265
<i>Pleurotus ostreatus</i>	73.7-90.8	10.5-30.4	1.6-2.2	57.6-81.8	48.9-74.3	7.5-8.7	6.1-9.8	345-367
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	90.1	26.6	2.0	50.7	-	13.3	6.5	300
<i>Volvaricella diplasia</i>	90.4	28.5	2.6	57.4	40.0	17.4	11.5	304
<i>Volvariella volvacea</i>	89.1	25.9	2.4	-	45.3	9.3	8.8	276

Nota: Todos los datos se presentan como porcentaje de peso seco, excepto humedad (porcentaje de peso fresco) y valor energético (Kcal por 100 g de peso seco).

Fuente Chang y Miles (2004).

Otros factores nutricionales importantes para los cuales los hongos se analizan comúnmente incluyen la composición en aminoácidos, vitaminas y minerales.

VALOR NUTRICIONAL DE LOS HONGOS COMESTIBLES

Los hongos son alimentos con alto poder saciante y con baja densidad energética, que es la relación entre las calorías y el volumen de un alimento (Roncero Ramos, 2015). Por el alto grado de humedad que tienen en su estado fresco y el bajo aporte calórico, son alimentos muy útiles para dietas hipocalóricas. Algunos autores proponen incluir más alimentos de baja densidad calórica, como el champiñón, en la dieta diaria en lugar de alimentos con mayor densidad energética, como estrategia para disminuir la prevalencia de obesidad y sobrepeso en la población (Cheskin et al., 2008). Los champiñones frescos presentan un contenido de materia seca de alrededor del 10% y tienen un porcentaje de humedad de 81,8 a 94,8%. La variabilidad en dichos porcentajes

depende de la especie, condiciones de crecimiento y de almacenamiento (Manzi et al., 1999).

HIDRATOS DE CARBONO

El contenido total de carbohidratos de las setas varía con la especie desde 35% a 70% del peso seco (Díez y Alvarez, 2001; Mau et al., 2001). Se presentan en forma de hexosas, pentosas, metil pentosas, oligosacáridos, aminoazúcares y azúcares alcohol. Algunos estudios reportan los siguientes tipos y valores de carbohidratos digeribles presentes en hongos (expresados en % de materia seca): manitol (0,3-5,5%) (Vaz et al., 2011), glucosa (0,5-3,6%) (Kim et al., 2009) y glucógeno (1-1,6%) (Diez y Alvarez, 2001). Los carbohidratos no digeribles incluyen oligosacáridos tales como la trehalosa y polisacáridos no amiláceos tales como quitina, β -glucanos y mananos, que representan la mayor porción de carbohidratos de los hongos.

FIBRA

La American Association of Cereal Chemist (2001) define a la fibra dietética o alimentaria como: *“la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas de la planta. Las fibras dietéticas promueven efectos beneficiosos fisiológicos como el laxante, y/o atenúa los niveles de colesterol en sangre y/o atenúa la glucosa en sangre”*.

Es posible clasificar a la fibra de acuerdo a su solubilidad en agua:

*Fibra dietética insoluble (FDI): celulosa, gran parte de las hemicelulosas y lignina.

*Fibra dietética soluble (FDS): pectinas, gomas, mucílagos, ciertas hemicelulosas, polisacáridos de algas y celulosa modificada.

Los hongos son buenas fuentes de fibra dietética, no contienen lignina y el polisacárido estructural principal es la quitina, que forma parte de la fracción insoluble junto a los β -glucanos (Ciappini et al., 2014; Kalač, 2016). Según datos bibliográficos contienen más cantidad de fibra insoluble (2,28–8,99 g/100 g porción comestible) que de soluble (0,32–2,20 g/100 g porción comestible) (Manzi et al., 2004). Los polisacáridos que se encuentran en mayor proporción en la fibra del champiñón son los β -glucanos (4-13% de la fibra dietética total) seguidos de la quitina (Guillamon et al.,

2010). El consumo de fibra dietética y sus componentes promueve el mantenimiento de la salud y la prevención de ciertas enfermedades.

LÍPIDOS

Los hongos son, en general, bajos en grasa (menos del 5% en peso seco) (Alam et al., 2008). Los factores ambientales afectan al contenido de lípidos en las setas dependiendo su concentración de las condiciones de crecimiento como pueden ser factores nutricionales, oxígeno, temperatura y la naturaleza del sustrato (Pedneault et al., 2007). El contenido en ácidos grasos insaturados es predominante. El ácido linoleico es el que está presente en mayor proporción (Diez y Álvarez, 2001).

Los ácidos linolénico (omega 3) y linoleico (omega 6) son ácidos grasos poliinsaturados y esenciales para el ser humano. Además el ácido linoleico tiene función precursora de los compuestos volátiles, tales como 1-octen-3-ol, 3-octanol, 1-octen-3-ona y 3-octanona (Combet et al., 2006), que son los principales compuestos aromáticos en la mayoría de las especies (Maga, 1981). Estos compuestos contribuyen también al flavor de la mayoría de las especies de hongos analizados (Guedes de Pinho et al., 2008).

Según el trabajo de Reis et al. (2012a), en el que realizó un estudio comparativo de diferentes setas cultivadas, se concluyó que el shiitake es la que tiene los mayores niveles de poliinsaturados y menor cantidad de saturados que el resto de los hongos estudiados. Las especies del género *Pleurotus* tienen un perfil de ácidos grasos muy similar y destacan por ser las que más ácidos grasos monoinsaturados presentan.

PROTEÍNAS

El contenido proteico de los hongos oscila entre 15 y 35% de peso seco, dependiendo de las especies, de las variedades y de la etapa de desarrollo del cuerpo fructífero (Manzi et al., 2004; Diez y Álvarez, 2001). La digestibilidad proteica de las setas en general es bastante buena (Adewusi et al., 1993; Dabbour y Takruri, 2002) comparables con las leguminosas pero son inferiores a los de la proteína animal. El champiñón, a diferencia del resto de hortalizas, contiene todos los aminoácidos esenciales (Ile, Leu, Lys, Met, Phe, Thr, Trp, Val).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los champiñones son especialmente ricos en ácido glutámico, ácido aspártico y arginina; los aminoácidos que presentan menor cantidad en el champiñón son metionina y cisteína (Manzi et al.,

1999). El género *Pleurotus* parece ser el que mayor calidad proteica presenta, algunas de las variedades de este género tiene una buena distribución tanto de aminoácidos esenciales como de no esenciales (Dundar et al., 2008; Patil et al., 2010).

La presencia de aminoácidos en forma libre es escasa, algunos de los que pueden encontrarse son ácido glutámico, ornitina o alanina (Kim et al., 2009). Su importancia radica en que pueden contribuir al aroma y sabor propio de los champiñones, por ejemplo el ácido glutámico es el responsable mayoritario del sabor umami. La composición en aminoácidos de las proteínas de los hongos es comparable a la de alimentos proteicos de origen animal (Guillamon et al., 2010).

MINERALES

El contenido de minerales en los hongos varía entre 6 y 11% sobre materia seca según la especie, por ejemplo, *P. ostreatus* tiene 6,9%, *Pleurotus eryngii* 8,6%, *L. edodes* 5,85% y *H. erinaceus* 9,35%. Los macroelementos que más abundan en los hongos cultivados son calcio, fósforo, potasio y magnesio, y de los microelementos destacan cobre, selenio, hierro y zinc. Los que aparecen en mayor cantidad son selenio, potasio y fósforo. Algunos de los hongos cultivados más comunes, *A. bisporus*, *P. ostreatus* y *L. edodes*, entre otros, son ricos en potasio y se consideran una buena fuente de fósforo, magnesio, zinc y cobre (Cheung, 2008).

Las setas aportan muy bajo contenido de sodio por lo que son el alimento ideal para una dieta baja en sal. Además tienen la ventaja que contienen glutamato de forma natural, este aminoácido es el responsable mayoritario del sabor umami, que permite reducir la cantidad de sal en las comidas sin reducir la percepción de salado.

La fortificación de sustratos es una vía potencial para incrementar los niveles de elementos trazas con capacidad antioxidante como el selenio y zinc en hongos cultivados (Yan y Chang, 2012).

VITAMINAS

Los hongos se consideran una buena fuente de vitaminas, sobre todo de riboflavina (B2), niacina (B3) y folatos (B9) que son aquellas que contienen en mayor cantidad. Contienen folatos en cantidades relativamente altas y muy similares a la concentración que presentan los vegetales (Beelman y Edwards, 1989). El contenido en riboflavina en los hongos también supera la concentración presente en los vegetales, incluso, algunas variedades de *A. bisporus* presentan concentraciones de riboflavina tan

altas como las que se pueden encontrar en el huevo o el queso (Mattila et al., 2001). Además contienen cantidades pequeñas de vitamina C y B1 y trazas de Vitamina B12 y D2 (Mattila et al., 2002). La vitamina D no se encuentra presente como tal en los hongos sino como precursor, el ergosterol. Los niveles de ergosterol, la provitamina del ergocalciferol (vitamina D2), son relativamente altos (Mattila et al., 2002). Las setas silvestres presentan niveles más altos que las cultivadas. La presencia de la vitamina D en los hongos se atribuye a la exposición de la luz solar, que cataliza la conversión de ergosterol en los hongos a la vitamina D2 a través de una serie de reacciones fotoquímicas. Los cultivadores de hongos han incorporado tratamientos de luz UV en el cultivo, de esta manera, las setas contienen una cantidad de vitamina D similar a las silvestres (Simon et al., 2013).

COMPUESTOS BIOACTIVOS

Las setas han sido empleadas por el hombre desde hace milenios tanto para la alimentación, como para el tratamiento de diferentes enfermedades, siendo los países del lejano oriente, como Japón, China y Corea, los consumidores más habituales (Yang et al., 2001). En las últimas décadas las investigaciones científicas se han centrado en el estudio de los compuestos biológicamente activos que poseen los hongos, y debido a la comprobación de las diversas actividades biológicas exhibidas por sus metabolitos secundarios, entre las que se encuentran actividades antioxidantes, hipocolesterolémica, hipoglucémica, antibacteriana, antiviral, reguladora del sistema cardiovascular, anticancerígena e inmunomoduladora. A nivel mundial se ha intensificado no sólo el cultivo, sino el consumo de este tipo de hongos y el estudio de sus bioactivos. Se puede mencionar, polisacáridos de alto peso molecular, polisacáridos ligados a proteínas de bajo peso molecular, glicoproteínas, alcaloides, triterpenoides y proteínas fúngicas inmunomoduladoras (Fips) (Chang y Miles, 2004; Pala y Wani, 2011). Varios de los polisacáridos de hongos se encuentran en distintas fases de ensayo clínico y se utilizan, especialmente en Asia, para tratar cáncer y otras enfermedades.

La utilización de hongos en la Medicina Tradicional ha quedado registrada en antiguos manuscritos chinos (Smith et al., 2002) para tratar epilepsia, heridas, enfermedades de la piel, enfermedades coronarias, artritis reumatoidea, cólera, fiebres intermitentes, diaforesis, diarrea, disentería, resfríos y enfermedades hepáticas (Pala y Wani, 2011). Existe un volumen creciente de reportes que describen efectos

medicinales, tanto en ensayos *in vivo* e *in vitro* en animales, como en ensayos clínicos en humanos (Lindequist et al., 2005; Wasser, 2011; Roupas et al., 2012).

Por otro lado, pueden actuar frente a un rango de enfermedades autoinmunes, como las alergias. Es por ello que se considera que estos hongos son inmunoreguladores, activando o disminuyendo la producción de leucocitos de acuerdo a la circunstancia (Smith et al., 2002).

Por sus propiedades, los hongos pueden considerarse dentro del grupo de alimentos denominados “funcionales”, es decir, aquellos que presentan un efecto saludable, más allá de su efecto puramente nutricional, mostrando ventajas en la prevención y tratamiento de enfermedades. El concepto de alimento funcional fue introducido en Japón a mediados de los años 1980, donde los platillos elaborados bajo este concepto recibieron el nombre de Alimentos para el Uso Específico de la Salud (FOSHU por sus siglas en inglés) (Shimizu, 2002). Esta corriente ocasionó que las actuales investigaciones sobre alimentos se enfoquen en la eliminación de sustancias poco favorables para la salud e incrementar el contenido de sustancias con efectos positivos para el ser humano. Las propiedades de los hongos son únicas y su potencial como alimento medicinal es muy amplio pero poco difundido entre la población.

Los alimentos funcionales toman distintos nombres de acuerdo a su procesamiento nutracéuticos (alimentos naturales consumidos como parte de la dieta normal), nutricéuticos (compuestos extraídos por ejemplo del fruto o del micelio de los hongos y que poseen propiedades medicinales y nutricionales), suplementos dietarios y fitoquímicos.

Desde hace mucho tiempo, se observó que muchos hongos comestibles y no comestibles tienen propiedades medicinales o funcionales, incluidas dentro de los primeros a las especies de *Lentinula*, *Auricularia*, *Hericiium*, *Grifola*, *Flammulina*, *Pleurotus*, *Tremella*, *Agaricus* y dentro de los segundos, *Ganoderma* y *Trametes*. A diferencia de la mayoría de los productos farmacéuticos, estos compuestos biológicamente activos extraídos de los hongos medicinales tienen toxicidad extremadamente baja, incluso a dosis altas. En la actualidad se han desarrollado productos farmacéuticos derivados de los hongos *Ganoderma* spp., *L. edodes*, *Schizophyllum commune*, *Tremella fuciformis*, *Trametes versicolor*, *Grifola frondosa*, *Phellinus linteus*, *H. erinaceus*, *Agaricus blazei* con un alto valor comercial (Curvetto, 2005).

PRODUCCIÓN DE HONGOS COMESTIBLES

El cultivo de hongos comestibles se ha incrementado considerablemente en los últimos años a nivel mundial y se prevé que la tendencia siga una línea ascendente.

China es el líder mundial en la producción de hongos comestibles seguida por la Unión Europea. En Estados Unidos aumentaron las ventas del hongo shiitake (*L. edodes*) y las de gírgola (*P. ostreatus*) y, en general, la venta de hongos comestibles creció un 25% (Halpern, 2007). Las especies más comúnmente producidas son *A. bisporus* (champiñón u hongo Paris), *L. edodes* (shiitake) y *P. ostreatus* (gírgolas). El shiitake es tan común en los países asiáticos como *A. bisporus* se encuentra en el mundo occidental (Ghorai et al., 2009).

En Argentina se cultivan comercialmente tres especies de hongos comestibles, *A. bisporus* (champiñón, desde 1941), *P. ostreatus* (gírgola, desde los años '80) y *L. edodes* (shiitake, intermitentemente desde 1993), y el total de la producción se destina al consumo interno (Albertó y Gasoni, 2003). Es difícil calcular la producción de hongos en Argentina ya que no existen estadísticas oficiales. En los últimos años se evidenció un aumento de producción acompañando el creciente interés por parte de los consumidores (Urrutibehety, 2009).

El cultivo de hongos es una actividad con alto potencial de desarrollo en Argentina por varias razones: hay un creciente interés por parte de la población en el valor nutricional y medicinal de los hongos, los niveles de consumo son bajos (en torno a 50g/hab/año) comparado con otras regiones (por ejemplo, Europa, 2 kg/hab/año), la posibilidad de incorporar nuevas especies comestibles y medicinales que hoy no son cultivadas (entre ellas *Ganoderma lucidum*) y la posibilidad de exportar el excedente de la producción (Bidegain, 2017). En nuestro país, el cultivo de hongos comestibles está representado por algunos grandes productores, pero principalmente por PYMES y emprendimientos familiares, con una fuerte tendencia al asociativismo (Alimentos Argentinos – SAGyP, 2014). Esta actividad representa una alternativa económica promisoriosa para muchos productores agrícolas, ya que la demanda interna no ha sido cubierta por la producción local (Bidegain, 2017). Cabe mencionar que la producción de hongos comestibles trae una contribución significativa al manejo de los desechos agrícolas e industriales a nivel regional y nacional, ya que utiliza dichos sustratos transformando la biomasa lignocelulósica en alimento (Postemsky et al., 2014).

HONGOS SILVESTRES COMESTIBLES

VALOR ECONÓMICO

Los hongos comestibles que crecen espontáneamente en la naturaleza sobre diversos sustratos y que denominamos “silvestres”, son aquellos que no se cultivan en forma comercial y que presentan actualmente un enorme interés gastronómico. El interés deviene de los siguientes factores (Deschamps, 2002):

a) Son alimentos que pueden ser fácilmente certificados como ecológicos, orgánicos o biológicos y que pueden ser recolectados y procesados para su venta a muy bajo costo.

b) Están categorizados entre aquellas personas que aprecian los gustos y aromas delicados, como productos especiales por los cuales se puede pagar un precio más elevado.

c) La tendencia a consumir alimentos sanos, con bajas calorías y libres de colesterol. Su forma de comercialización, sin productos químicos de síntesis, los hace muy atractivos.

En general los hongos silvestres comestibles constituyen uno de los productos forestales no madereros (PFNM) más diversos y abundantes del bosque patagónico. La amplia distribución de ambientes boscosos ofrece la oportunidad de obtener estos productos novedosos para la gastronomía, que pueden aprovecharse en una oferta particular y exclusiva de micogastronomía regional. Además, pueden ser incorporados en actividades ecoturísticas tales como sendas de búsqueda, reconocimiento, fotografía y/o cosecha de ejemplares para degustación (micoturismo). Estas actividades implican el uso múltiple de los ambientes boscosos favoreciendo su valoración y conservación (Barroetaveña y Toledo, 2016).

Asimismo, los hongos macroscópicos conforman uno de los grupos más importantes entre los productos forestales no madereros (PFNM) a nivel mundial, y constituyen una significativa fuente de ingresos económicos y de alimento, tanto en países en desarrollo como desarrollados (Boa, 2005; Toledo et al., 2014).

En Argentina se conocen pocas especies de hongos silvestres comestibles distribuidos en distintos ecosistemas boscosos nativos, como bosques andinos patagónicos y la selva paranaense. Algunas especies se encuentran en el monte nativo y otras resultan ser ectomicorrizas que han sido importadas con los pinos; en algunos

casos originarios del Mediterráneo europeo y en otros de California, en la costa oeste de los Estados Unidos (Albertó et al., 2010).

La región oeste de Patagonia Argentina posee una extensa faja de bosque nativo dominado por *Nothofagus* spp. (Lenga, ñire, coigue), que alberga numerosas especies de hongos silvestres comestibles mundialmente conocidas y codiciadas. Hacia el este, en la zona de ecotono bosque-estepa patagónica, se han establecido plantaciones de coníferas exóticas donde también fructifican especies de hongos comestibles. Junto a la instalación de forestaciones con coníferas exóticas comenzaron a aparecer también, en los meses del otoño y algunas primaveras lluviosas, especies de hongos silvestres comestibles asociados a los árboles, de las cuales *Suillus luteus* (Fr.) S. F. Gray, conocido en la región como “hongo de pino”, es el más cosechado. Otras especies comestibles más ampliamente distribuidas y abundantes son: *Suillus lakei* y *Rhizopogon roseolus*. Con distribución más marginal y menos abundante fructifican también las especies: *Suillus granulatus* y *Lactarius deliciosus* (Toledo et al., 2014).

En el estudio realizado por Toledo et al. (2014, 2016) determinaron la presencia de las siguientes especies de hongos silvestres comestibles: *Grifola gargal*, *Fistulina antarctica*, *Fistulina endoxantha*, *Aleurodiscus vitellinus*, *Cortinarius xiphidipus*, *Cortinarius magellanicus*, *Ramaria patagonica*, *Hydropus dusenii*, *Macrolepiota procera*, *Lepista nuda*, *Lycoperdon* sp., *Cyttaria hariotti* y *Morchella* spp. Informaron que dichas especies tenían fructificaciones de tamaño apropiado, buena disponibilidad y características organolépticas atractivas en relación al color, aroma y/o textura para ser aprovechadas como alimento (Toledo et al., 2014; 2016).

A escala global, las especies silvestres de hongos comestibles son numerosas, sin embargo solo unas pocas se cultivan, se usan ampliamente como alimento (Kalač, 2013) y se producen a escala industrial (Reis et al., 2012a).

En la zona serrana mediterránea, que incluye a las sierras centrales de Argentina perteneciente al oeste de Córdoba y al este de San Luis, existe la especie *Phlebopus bruchii* (figura 1). Este hongo resulta ser una de las especies más codiciadas dentro de las boletáceas que crecen en la región. Desde principios del siglo XX se lo consume en la zona en fresco y desde los años 50 en Buenos Aires. Sin embargo su venta en la Capital Federal se restringe a dos o tres locales que lo expenden a verdaderos gourmets. Se lo expende deshidratado y al compararlo con los verdaderos *Boletus* se observan ciertas características que los asemejan. El color y la consistencia de sus tejidos en seco lo diferencian de las especies de *Suillus* que se expenden como hongos del pino u

hongos de Chile. La verdadera diferenciación para evitar las consabidas estafas, es trabajo de un especialista, por lo que se recomienda adquirirlos en casas especializadas en la venta de especias (Deschamps, 2002).

Según Deschamps (2002), *P. bruchii* es una especie que tiene muchas posibilidades de comercialización, principalmente en el exterior, ya que su semejanza a los boletos del «complejo edulis» lo hacen sumamente apetecible. Las dificultades estriban en la extensión que se debe recorrer para su recolección y en los problemas ambientales que surgen de años con alta insolación y pocas precipitaciones. Precisamente en esos años su precio alcanza valores muy altos que imposibilitan la compra a un público ávido de productos de calidad. La formación de plantas micorrizadas en vivero y su posterior implantación en el campo con el *Phlebopus bruchii* es una posibilidad que no debe descuidarse. Casualmente en ese tema se continúa trabajando, tratando en lo posible que se interesen empresarios regionales y que hagan un seguimiento de la especie fúngica desde un principio hasta su comercialización mayorista.

En un trabajo publicado por Nouhra (1999) se realizó un relevamiento de hongos de la familia Boletaceas en especies forestales pináceas y otras introducidas, como así también en árboles autóctonos de la zona serrana de la provincia de Córdoba. Resultaron 14 especies identificadas distribuidas en cinco géneros, de las cuales 13 especies de hongos eran exóticas y solo una era nativa *P. bruchii* (Speg.) Heineman & Rammeloo. Esta es una especie endémica distribuida únicamente en las zonas serranas de la provincia de Córdoba y San Luis (Deschamps y Moreno, 1999) y fructifica en el bosque serrano formando asociaciones micorrízicas con la rutácea *Fagara coco*. Todos los años, las poblaciones de *F. coco* son visitadas por recolectores de hongos en busca de los muy apreciados y nativos *P. bruchii*. Este hongo fue recolectado y consumido por pueblos indígenas en el pasado y hoy en día se comercializa seco y en rodajas por los lugareños en las aldeas en los mercados de la ciudad. Como ocurre con la mayoría de los boletes, se supone que esta especie forma ectomicorrizas (ECM) (Deschamps, 2002), por lo cual no existen cultivos de este hongo. Sin embargo, esto aún no se ha demostrado experimentalmente. Nouhra et al. (2008) en base a los resultados obtenidos, sugieren que el comportamiento del género *Phlebopus* es una excepción al hábito micorrízico que se encuentra en la mayoría de los boletales.

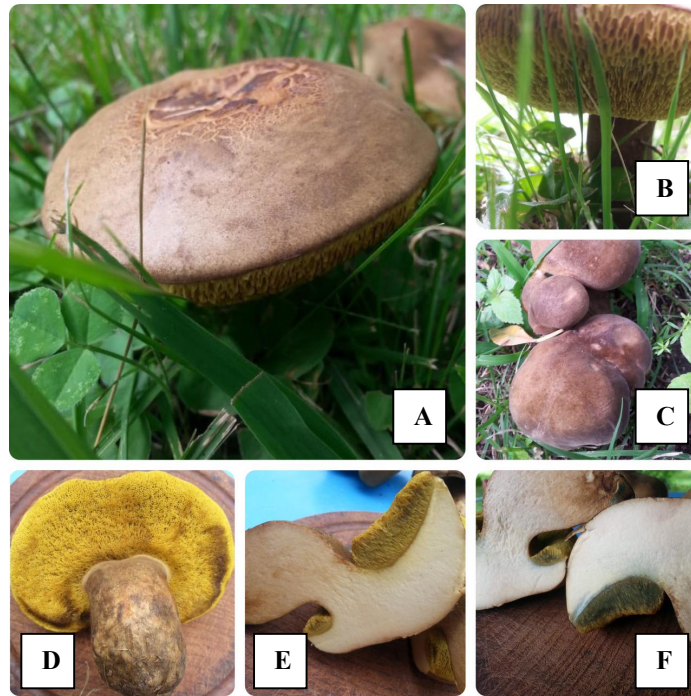


Figura 1: **a-f** *Phlebobus bruchii*. **a-c)** detalle del basidioma; **b-d)** vista de los poros; **e-f)** sección longitudinal mostrando la oxidación del basidioma.

Otra especie comestible nativa y endémica de la región central de la Argentina, es *Hericium rajchenbergii* (figura 2), que ha sido descrita para la ciencia recientemente (Hallenberg et al., 2012). Crece exclusivamente sobre árboles de molles vivos *Lithraea molleoides* (Anacardiaceae) en los bosques de Chaco Serrano. Las especies del género *Hericium* Pers., se caracterizan por tener hermosos basidiomas en forma de coral y crecen sobre la madera. Debido al aspecto de sus fructificaciones se los llaman “melena de león (lion’s mane)” y han atraído la atención por mucho tiempo. Las especies son comestibles y algunas se han utilizado con fines médicos, siendo *Hericium erinaceus* (Bull.) Pers., la más estudiada (Pegler 2003; Mori et al. 2008). Esta especie de hongo comestible ha sido cultivada y es famosa en China, descrita por algunos como delicioso y muy apreciado, por otros como sabroso. También tiene fama de tener buenas propiedades medicinales. Una droga tradicional china preparada con cuerpos fructíferos secos se llama "Houtou" y se utiliza para tratar enfermedades estomacales crónicas. Se ha informado que los polisacáridos contenidos en el cuerpo fructífero de *H. erinaceus* tienen efectos carcinostáticos sobre el cáncer gástrico, esofágico, hepático y de la piel, según la regulación de las funciones inmunológicas (Chang y Miles, 2004). Los basidiomicetos del género *Hericium* se encuentran entre los hongos medicinales y

comestibles más elogiados, que se sabe que producen metabolitos secundarios con el potencial de tratar enfermedades neurodegenerativas (Allen et al., 2013; Chiu et al., 2018).

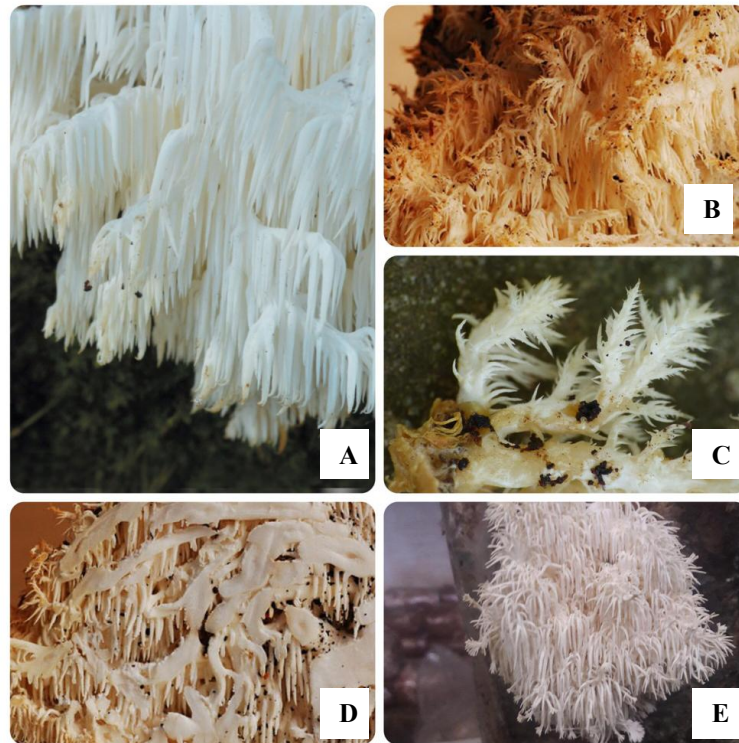


Figura 2. **a-e** *Hericium rajchenbergii*. **a-b)** vista general del basidioma. **c)** detalle de ramas y espinas. **d)** sección longitudinal del basidioma que muestra la disposición de las espinas. **e)** basidioma producido en cultivo. Fuente: fotos **a, b, d** de Dr. Gerardo Robledo y **c-e** de Leticia Terzoli.

Debido principalmente a la pérdida del bosque nativo (más del 90% en los últimos 100 años) y a la explotación del recurso sin un marco regulatorio de recolecciones sustentable y comercialización, ambas especies *Phlebopus bruchii* y *Hericium rajchenbergii* han sido recientemente evaluadas en estado CR (especie en peligro crítico) por la IUCN (International Union for Conservation of Nature's, <http://iucn.ekoo.se/en/iucn/welcome>).

MERCADO Y CONSUMO DE HONGOS

A pesar de la inexistencia de campañas promotoras de las cualidades alimenticias, medicinales y culinarias, la producción y la demanda de hongos comestibles presentan

una tendencia creciente. Las especies cultivadas como la gírgola u hongo ostra, el shiitake y el champiñón, son los más consumidos en nuestro país.

En la Argentina no existe una fuerte tradición cultural de consumo de hongos silvestres debido a que no forman parte importante de la dieta de la población (Albertó et al., 2010; Lechner y Albertó, 2007; Niveiro et al., 2009); aunque muchas personas demuestran interés en su consumo. Frecuentemente se generan dudas respecto a su comestibilidad, debido al escaso conocimiento que se tiene sobre hongos silvestres comestibles y al temor de confundirlos con hongos tóxicos o venenosos.

Respecto a las exigencias actuales del consumidor, en primer lugar buscan combinación de calidad y precio, desafortunadamente, aún hasta ahora consideran a los hongos como un producto exclusivo que sólo se utilizan en comidas y ocasiones especiales (Le Fosse et al., 2006) y en restaurantes caros. En general, el conocimiento sobre recetas para cocinar y combinar distintos tipos de hongos es muy limitado (Le Fosse et al., 2006).

Entre las especies exóticas comestibles en los bosques serranos encontramos a los conocidos “hongos de pino” que incluyen varias especies como *Suillus luteus*, *S. granulatus* y *Lactarius deliciosus*, muy apreciados y disponibles en el mercado.

La especie *P. bruchii* es localmente muy abundante durante los meses de enero y febrero, se caracteriza por sus basidiomas robustos, cuya carne blanco amarillenta se torna color azul cuando se corta (Nouhra, 1999). La recolección se realiza en las zonas serranas por medio de las familias que viven en esos lugares y que además de este producto se dedican a la venta de leña (Flamini et al., 2015). Con las altas temperaturas del verano y al ser cortados en rebanadas, los ejemplares se deshidratan rápidamente en unas 12 o 24 horas de exposición al sol. La cantidad cosechada en cada temporada oscila entre los 5 a 10 kilogramos por hectárea y año, en fresco (Deschamps, 2002).

El precio de venta es oscilante y depende de la época del año en que se comercializa (Deschamps, 2002). También en la zona se comercializan los hongos de pinos, mezcla no identificada que puede incluir las especies de *Suillus* anteriormente mencionadas. Su comercialización se realiza en pequeñas bolsas de polietileno o polipropileno y su precio nunca adquiere los valores del hongo del coco. Generalmente el valor de los hongos del pino se aproxima a la mitad de los del «coco» (Deschamps, 2002).

“En la provincia de Córdoba es conocido el comercio de hongos de coco y hongos de pino o simplemente “hongos de las Sierras” en los circuitos turísticos de sierras y

valles. Este mercado informal ofrece hongos silvestres comestibles como productos propios de la región que carecen de rotulación los envases e identificación certera de la especie o especies que se están vendiendo” (G. L. Robledo, comunicación personal, 6 de agosto de 2018).

Estudios realizados por Flamini et al. (2015) muestran evidencias concretas del conocimiento etnomicológico que tienen los campesinos serranos cordobeses sobre los hongos presentes en su entorno. Los resultados mostraron que los serranos cuentan con un léxico específico relativo a la morfología y nomenclatura de las partes de los hongos estudiados, aplican términos concretos para referirse a distintas partes o características de los hongos y en sus nombres se explicitan ciertas particularidades de cada especie, como los sustratos sobre los que crecen, colores, toxicidad, entre otros. Nuestro país cuenta con una notable diversidad de especies silvestres que son utilizadas por grupos de campesinos con larga tradición en su recolección, ya que constituyen una fuente alimenticia y de ingresos económicos para numerosas familias.

El aprovechamiento exitoso de estos recursos no madereros dependerá en gran medida de generar estrategias para fomentar usos novedosos de las especies, a nivel nutricional (proveer información de la composición química), medicinal (productos nutracéuticos), en micogastronomía y micoturismo (Barroetaveña y Toledo, 2016).

LEGISLACIÓN VIGENTE

En el 2012, se realizó una reforma del Capítulo XVI sobre Hongos Comestibles del Código Alimentario Argentino. Los principales cambios apuntaron a permitir la comercialización de varias especies de hongos comestibles que no estaban contempladas en el texto antiguo, asimismo se hizo hincapié en el origen de los hongos, respecto si son silvestres o de cultivo. Otra de las modificaciones apuntó a la comercialización de hongos enteros o trozados, y la presentación en un mismo envase con hongos de diferentes especies, tanto fresco como seco. Se modificaron los artículos 1249 y 1249bis (Resolución Conjunta SPReI N° 92/2012 y SAGyP N° 287/2012) del Código Alimentario Argentino referidos a la denominación, definición, clasificación, géneros y especies permitidas y especificaciones. Dicha modificación se realizó principalmente para incluir las especies más cultivadas en el mundo y facilitar el desarrollo de la producción de hongos evitando el vacío en la legislación que frena las actividades productivas (Albertó et al., 2010).

El Artículo 1249 denomina a los hongos comestibles como “el cuerpo fructífero de hongos superiores pertenecientes al Reino Fungi (Ascomycetes y Basidiomycetes) silvestres o de cultivo y que frescos, secos o en conserva, se emplean en alimentación humana”. De acuerdo con el origen los hongos comestibles se clasifican en:

A) Hongos silvestres comestibles: son aquellos colectados en la naturaleza y que crecen espontáneamente.

Dentro de esta clasificación se encuentra incluida *P. bruchii* entre otras como especie autorizada.

B) Hongos comestibles de cultivo: son aquellos que se obtienen mediante prácticas de producción sembrando el micelio en sustratos específicos, debidamente pasteurizados o esterilizados.

En esta clasificación permite comercializar algunas especies cultivadas, dentro de las mencionadas únicamente se autoriza la especie exótica *H. erinaceus* del género *Hericium*, quedando exceptuada del CAA la especie *H. rajchenbergii*. Esta situación debería tratarse para que en el futuro sea incorporada como especie permitida por la Autoridad Sanitaria Nacional (Código Alimentario Argentino, Capítulo XVI, Hongos comestibles).

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

Los hongos comestibles *P. bruchii* y *H. rajchenbergii* son dos especies nativas y endémicas de las sierras de Córdoba actualmente en peligro crítico de extinción (The Global Fungal Red List initiative, <http://iucn.ekoo.se/en/iucn/welcome>, Anexo I y II). Esta peculiaridad resalta la importancia de su estudio y hasta el momento no hay registros de publicaciones científicas referidas a composición y valor nutricional de estas especies. Si bien las investigaciones orientadas a composición de los hongos comestibles son escasas, es notable la importancia de la existencia de estudios que destaquen sus aptitudes nutricionales. Los hongos comestibles son alimentos saludables y en general, son buenas fuentes alimenticias hipocalóricas, ricos en proteínas, fibras, ácido oleico y linoleico, bajos en grasas y sodio. Además son fuente de compuestos bioactivos y su consumo es altamente beneficioso para la salud.

P. bruchii es uno de los hongos comestibles silvestres más apreciados por su aptitud culinaria y tiene una alta demanda por los consumidores. Es comercializado en los circuitos turísticos locales como el “hongo de coco” y muchas veces confundido con los “hongos de pino” que poseen menor valor gastronómico.

Respecto a *H. rajchenbergii*, es una especie comestible recientemente descrita para la ciencia, perteneciente al género *Hericium*. En la actualidad, las especies que pertenecen a este género reciben gran atención por sus propiedades comestibles y principalmente por sus propiedades medicinales. Cabe destacar que es *H. rajchenbergii* es un hongo comestible que se puede producir bajo condiciones de cultivo y actualmente su comercialización no está contemplada en el código alimentario.

Este estudio presenta un notable interés y alto valor científico, otorgando los primeros y únicos datos referenciales con respecto al valor nutricional y alimenticio de estas especies comestibles nativas y endémicas, impulsando su consumo, producción, comercialización y conservación.

OBJETIVOS

GENERAL

- Caracterizar química y nutricionalmente las especies de hongos comestibles nativas y endémicas de las sierras de Córdoba: *Hericiium rajchenbergii* y *Phlebopus bruchii*.

ESPECÍFICOS

- Determinar la composición proximal de las especies *H. rajchenbergii* y *P. bruchii*.
- Analizar el perfil de ácidos grasos y el perfil de aminoácidos.
- Caracterizar la composición mineral.
- Cuantificar el contenido de fenoles totales.
- Identificar los complejos glucanos por espectroscopia infrarroja.

HIPÓTESIS

La caracterización de la composición química de las especies de hongos comestibles *Hericiium rajchenbergii* y *Phlebopus bruchii* suministra información científica de referencia del alto valor nutricional y atributos alimentarios de dos especies endémicas y nativas de nuestra región.

MATERIALES Y MÉTODOS

MUESTRAS ANALIZADAS DE *P. bruchii* y *H. rajchenbergii*

Las muestras de las especies de hongos comestibles analizadas procedieron de cosechas manuales realizadas en bosques serranos y en sistemas cultivados.

En relación a la especie *P. bruchii*, el material de partida consistió en una mezcla de basidiomas provenientes de varias colectas realizadas en su ambiente natural de fructificación, tal cual como se produce y fracciona para la venta. Los ejemplares recolectados tenían diferentes tamaños entre 10 - 20 cm de diámetro del píleo. La identidad de los ejemplares fue corroborada por sus características macroscópicas (reacción azul de la pulpa al corte) y microscópicas diagnósticas del basidioma (observación de esporas elipsoides), por el especialista Dr. Gerardo Robledo. El área de recolección de los basidiomas se ubicó en el corredor de traslasierra entre el municipio de La Paz (Departamento San Javier, Provincia de Córdoba) hasta la ciudad de Merlo (Provincia de San Luis). La colecta del material se realizó durante los meses de enero y febrero del año 2018, registrando temperaturas mínimas y máximas de 16,5°C y 34°C (Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica, Estación Villa Dolores – EEA Manfredi, INTA). La temperatura media anual fue de 18,3°C y la precipitación anual de 650 mm (Estadísticas Climáticas Normales del Servicio Meteorológico Nacional, Estación Villa Dolores).

Con respecto a la especie *H. rajchenbergii*, los basidiomas provienen de cultivo en bolsas con residuos orgánicos estériles y bajo condiciones ambientales controladas. El inóculo se desarrolló en el Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV - CONICET, UNC) según el protocolo del STAN ST 3793. Inicialmente se generaron las semillas miceliadas con la cepa de *H. rajchenbergii* CCC70 proveniente de placas de Petri con medio agarizado. Se colocaron pequeños trozos de la cepa sobre granos de *Sorghum almum* (Parodi), los cuales fueron previamente hidratados y esterilizados en autoclave a 121°C durante 45 minutos. Una vez que las semillas quedaron totalmente colonizadas por el hongo, se transfirieron sobre bolsas de cultivo con sustrato lignocelulósico (viruta de *Eucalyptus saligna* y salvado de trigo) hidratado al 60% para producción de basidiomas. La incubación del sustrato definitivo se realizó en cámara de cultivo durante 62 días a 25 °C. Los rangos de humedad variaron entre 70 – 90% durante el período de fructificación. Trece días posteriores se realizaron las cosechas de

las setas (datos no publicados, L. Terzzoli, F. Kuhar y G. Robledo). Finalmente el material recolectado de ambas especies se colocó en estufa con aire forzado a 60°C durante 24 hs para su conservación.

PROCESAMIENTO DE MUESTRAS

Las muestras de hongos secas se procesaron en un molinillo de hélice a un tamaño de partícula aproximado de 1 mm, quedando conformada la materia prima para las posteriores determinaciones analíticas de composición química.

COMPOSICIÓN PROXIMAL

Las determinaciones químicas analíticas de composición efectuadas fueron: humedad, cenizas, proteína cruda, grasa cruda. El contenido de hidratos de carbono se calculó por diferencia. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

HUMEDAD

El contenido de humedad fue cuantificado por método directo termogravimétrico usando un analizador de humedad halógeno HE53 Mettler Toledo. La rampa de calentamiento empleada fue para materiales con alto contenido de humedad (Nielsen, 2017).

Procedimiento: se pesaron 5 g de muestra procesada y se calentó con un radiador de infrarrojo (lámpara halógena) a 105 °C, hasta que la muestra alcanzó un peso constante. La pérdida de peso se registró de forma continua y automática, calculándose el contenido de humedad automáticamente por la diferencia de peso. Los valores obtenidos se expresaron como porcentajes de humedad en base seca.

CENIZAS

El contenido de cenizas se realizó por método gravimétrico, previa calcinación en mufla (marca Indet modelo 273) a 600 °C por 24 horas. La técnica utilizada fue 923.03, AOAC internacional (1999). Los resultados se expresaron el porcentaje de cenizas. Cálculos:

$$C = \frac{P_f}{P_i} \times 100$$

donde P_i es el peso inicial calculado como gramos de hongo seco (24 hs en estufa a 60 °C) y P_f es el peso final calculado como gramos de hongo calcinado (24 hs a 600°C).

PROTEÍNA CRUDA

Para el contenido de proteínas totales se utilizó el método de Kjeldahl, Técnica 984.13, AOAC Internacional (1999).

En la determinación analítica del contenido de proteína total, se establece por lo general el contenido de nitrógeno (N_{total}) tras eliminar la materia orgánica con ácido sulfúrico (método de Kjeldahl), calculándose finalmente el contenido de proteína con ayuda de un factor (en general f es 4,38). Se asume que el trióxido de azufre que se forma durante el tratamiento a altas temperaturas se adiciona como ácido de Lewis al grupo -NH- del enlace peptídico (base de Lewis) de la proteína, formándose el correspondiente ácido amidosulfónico, el que posteriormente se transforma en sulfato amónico por degradación. El sulfato amónico se determina a continuación, tras liberación del amoníaco y destilación, por medio de una valoración ácido-base.

Como en el tratamiento Kjeldahl de alimentos no se cuantifican sólo proteínas o aminoácidos libres, sino también ácidos nucleicos, sales de amonio y nitrógeno ligado de compuestos orgánicos o vitaminas. El nitrógeno orgánico ligado se expresa como “nitrógeno total calculado como proteína” o como “proteína total” ($N_{total} \times f$).

Se realizó una digestión ácida seguida de una destilación por arrastre de vapor en ácido bórico con un indicador mixto, el cual se tituló con ácido clorhídrico diluido y se calculó por retroceso la concentración de nitrógeno inicial de la muestra. Se utilizó un equipo semiautomático marca Buchii modelo K-350.

Procedimiento:

a) Digestión ácida: se colocó 1 g de muestra con una precisión de ± 1 mg, en un balón Kjeldahl de 500 ml. Se agregó 1 cucharadita de catalizador, perlas de vidrio y 15 ml de H_2SO_4 concentrado. Inicialmente se calentó la mezcla suavemente hasta que cesó el desprendimiento de espuma y luego enérgicamente hasta completar la digestión de la materia orgánica. La digestión demandó entre 1 y 2 hs. Luego se enfrió agregando cuidadosamente 100 – 200 mL de agua.

b) Destilación: el balón con la muestra digerida se conectó a un refrigerante por medio de una trampa adecuada. En un erlenmeyer se adicionó 25-50 mL de ácido bórico

4% (sobre el cual se va a recoger el amoníaco destilado) y gotas de indicador mixto (rojo de metilo - azul de metileno) y colocó a la salida del refrigerante cuidando que el extremo del mismo quede sumergido en la solución ácida. Antes de conectar completamente el balón se fue agregando con cuidado la cantidad necesaria de solución de hidróxido de sodio 40% para neutralizar el ácido sulfúrico, se conectó el balón, se agitó y simultáneamente se comenzó el calentamiento a ebullición del contenido del balón. Se destiló hasta llegar a aproximadamente 200 mL en el erlenmeyer colector (los primeros 150 ml de destilado contienen generalmente la totalidad del amoníaco). Una vez alcanzado dicho volumen, se retiró el erlenmeyer enjuagando dentro del mismo el extremo del refrigerante con agua destilada.

c) Titulación: El destilado se valoró con solución de ácido clorhídrico diluido (0,05 M), hasta lograr el viraje del indicador mixto al color inicial rojo.

d) Blanco: Se realizó un blanco de reactivos, siguiendo las mismas indicaciones pero sin colocar muestra en el balón.

Cálculos:

$$Proteína\ total\ (\%) = \frac{(V_m - V_b) * N * 0,014 * f * 100}{P_m}$$

donde V_m son los mL de ácido sulfúrico gastados en la valoración de la muestra, V_b son los mL de ácido sulfúrico gastados en la valoración del blanco, N la normalidad del ácido sulfúrico, 0,014 peso de miliequivalentes de nitrógeno expresado en gramos, f es el factor de conversión de nitrógeno a proteína, P_m es el peso en gramos de hongo seco.

En los cálculos para convertir nitrógeno a proteínas, se usó el factor 4,38 para hongos comestibles (Chang y Miles, 2004). Los resultados se expresaron en porcentaje de proteína total en base seca.

GRASA CRUDA

El contenido de grasas totales se realizó por determinación gravimétrica directa de grasas libres totales. El procedimiento de extracción semicontinuo se llevó a cabo con un equipo de Soxhlet utilizando n-hexano como solvente, durante 12 hs y desolventización posterior con un evaporador rotatorio. Técnica 920.39, AOAC Internacional (1999).

El contenido de aceite se determinó como “grasa cruda”, que incluye en la determinación los triglicéridos, que constituyen cerca del 99%, y el 1% restante

constituido por diglicéridos, monoglicéridos, fosfolípidos, pigmentos liposolubles, vitaminas liposolubles, esteroides, alcoholes de alto peso molecular. El contenido de grasa cruda se determinó por extracción directa a partir de material seco con un disolvente orgánico.

Procedimiento: se pesaron 10 g de hongo seco dentro de un cartucho de papel de filtro. Se dispuso un volumen de hexano grado analítico suficiente en el balón de destilación previamente tarado. Se armó el equipo de Soxhlet y calentó el hexano sobre un manto calefactor. Se mantuvo el goteo de solvente suave y constante durante 12 hs. Posteriormente se destiló el hexano contenido en el balón con evaporador rotatorio. Se dejó enfriar un desecador con silica gel durante 2 horas y posteriormente se registró el peso del balón.

El contenido graso se calcula como:

$$\% \text{ Grasa total} = \frac{(P_2 - P_1) * 100}{P_m}$$

donde P_1 es el peso en gramos del balón de destilación empleado, P_2 es el peso del balón en gramos conteniendo el extracto post destilación, P_m es el peso en gramos de la muestra de hongo seco.

Los resultados se expresaron como porcentajes de grasa total en base seca.

HIDRATOS DE CARBONO

El contenido de carbohidratos totales fue determinado por método indirecto y calculado como la diferencia entre el total menos el contenido de humedad, cenizas, grasas y proteínas totales.

Cálculo:

$$\% \text{ Hidratos de Carbono} = 100 - (\% H + \% C + \% P. \text{total} + \% G. \text{total})$$

donde % H es el porcentaje de humedad, % C es el porcentaje de cenizas, % P. total es el porcentaje de proteínas totales, % G. total es el porcentaje de grasas totales.

VALOR ENERGÉTICO

Para el cálculo de valor energético se utilizó los valores de referencia los denominados números Atwater: 4 kcal/g para los hidratos de carbono y proteínas, y 9 kcal/g para los lípidos, aplicando la siguiente ecuación (Nielsen, 2017):

$$VE \text{ (Kcal/g)} = \% P. \text{total} * 4 + \% H. \text{de Carbono} * 4 + \% G. \text{total} * 9$$

donde VE es el valor energético, % P. total es el porcentaje de proteínas totales, % H. de Carbono es el porcentaje de hidratos de carbono y % G. total es el porcentaje de grasas totales.

PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS

La identificación y cuantificación de la composición de los ácidos grasos presentes se efectuaron por cromatografía gaseosa.

Los aceites extraídos por el método de Soxhlet del hongo *P. bruchii*, se aprovecharon para el análisis cromatográfico. Inicialmente las muestras de aceites fueron sometidas a los procesos de saponificación y esterificación con metanol en medio ácido, adoptando la técnica descrita por Maestri et al. (2015). Estos procesos son necesarios para liberar los ácidos grasos presentes y formar los ésteres metílicos. La muestra metilada fue diluida 1/10 antes de ser analizada por cromatografía gaseosa. Se utilizó un cromatógrafo gaseoso con detector de Ionización de llama (GC-FID) marca Clarus 500 Perkin Elmer, equipado con columna ZB-WAX 30 m, 0.50 mm ID, 0.25 μ m de partícula, marca PHENOMENEX. Las condiciones del análisis fueron, carrier: nitrógeno 1 mL/min., inyector: 250 °C, programa: temperatura inicial: 180°C (0 min.), rampa: 2.0°C/min. hasta 220°C (20 min.). La muestra se inyectó en modo de inyección Split 20:1. Detector FID 250°C. Los datos fueron adquiridos empleando el programa Total Chrom Navigator 6.3.1.

El análisis descrito por GC-FID fue realizado en el Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de la Universidad Nacional de Córdoba.

En relación al hongo *H. rajchenbergii*, el análisis de perfil de ácidos grasos se llevó a cabo en el Centro de Química Aplicada (CEQUIMAP) de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Córdoba. La metodología utilizada para la preparación de muestras fue siguiendo la norma Método oficial AOCS Ce 2-66, "Preparation of Methyl Esters of Fatty Acids"- Edition 07th -Year: 2017.

El equipo empleado fue un cromatógrafo gaseoso con detector de Ionización de llama (CG/FID). Marca Clarus 500 Perkin Elmer. La norma utilizada fue el Método oficial AOCS Ce 1h-05, "cis- trans-, Saturated, Monounsaturated, and Polyunsaturated Fatty Acids in Vegetable or Non- Ruminant Animal Oils and Fats by Capillary GLC". Edition 07th -Year: 2017.

Los perfiles de ácidos grasos se realizaron por triplicado. Los resultados fueron expresados como porcentajes relativos, gramos de materia grasa en 100 gramos de aceite.

PERFIL DE AMINOÁCIDOS

La determinación del perfil de aminoácidos se realizó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Las muestras de hongos secos se sometieron primeramente a una hidrólisis ácida (relación 1:50) utilizando ácido clorhídrico concentrado 6 M. Este proceso fue bajo condiciones de reflujo durante 24 horas, siguiendo la metodología AOAC 994.12.

Posteriormente se llevó a cabo la identificación y cuantificación de aminoácidos utilizando un equipo de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), con detector UV (Perkin Elmer R 600 Series). La separación se realizó con una columna Zorbax Eclipse Plus C18 (4.6 × 150 mm y tamaño de partícula de 5 µm) Agilent Technologies; previa derivatización de aminoácidos con dietiletoximetilenmalonato (Alaiz, Navarro, Girón y Vioque, 1992). La adquisición y procesamiento de datos se realizó utilizando el Software Total Chrom de estación de trabajo (versión 6.3).

La identificación de los compuestos de las muestras fue posible mediante el uso de un método estándar externo, comparando los cromatogramas obtenidos con un estándar de aminoácidos (AAS18, Fluka Analytical, Sigma Aldrich). Para cuantificación, se construyeron curvas de calibración para cada aminoácido a partir de la solución estándar, con concentraciones entre 500 y 25000 µg / L (con coeficientes de ajuste entre 0.992 y 1). Además, se determinaron los límites de detección (0.5 y 5 mg / 100 g de muestra) y límites de cuantificación (1.5 y 16 mg / 100 g de muestra) de cada aminoácido. Las cantidades de aminoácidos se informaron como g por 100 g de proteína.

La técnica de hidrólisis ácida, utilizada para liberar los aminoácidos de las cadenas proteicas, provoca la destrucción del triptófano, por lo cual las concentraciones de este aminoácido no fueron consideradas.

CONTENIDO DE FENOLES TOTALES

El contenido de fenoles totales fue determinado por el método colorimétrico de Folin Ciocalteu usando ácido gálico como estándar (Folin y Ciocalteu, 1927).

Se utilizó como reactivo una mezcla de ácidos fosfowolfrámico y fosfomolibdico en medio básico, que se redujeron al oxidar los compuestos fenólicos, originando óxidos azules de wolframio y molibdeno. La absorbancia del color azul desarrollado se mide a 760 nm (Singleton et al., 1999).

Procedimiento: inicialmente se realizó una extracción por sonicación de los fenoles contenidos en 100 mg de muestra de hongo seco y se colocaron en un tubo de ensayo con 10 mL de acetato de etilo grado analítico. La mezcla se introdujo en el ultrasonido (modelo Baku BK-3550) durante 30 minutos a una potencia de 50 Watts y una frecuencia de 45 KHz. Posteriormente se filtró con sulfato de sodio anhidro y evaporó el solvente con un evaporador rotatorio. El residuo fue redissuelto con 5 mL de agua destilada. Consecutivamente se tomó una alícuota de 2 mL de líquido extraído y se añadió 500 µL de carbonato de sodio al 20%, 500 µL de agua destilada y 100 µL del reactivo de Folin Ciocalteu 2N. Durante 60 minutos se dejó en reposo, a resguardo de la luz y finalmente se midieron los valores de absorbancia a 760 nm en espectrofotómetro. Los resultados fueron expresados en mg de ácido gálico equivalentes por gramos de hongo seco (Mullinaci et al. 2001). La curva de referencia se realizó en un rango de valores de concentración entre 0,05 mM – 0,25 mM.

COMPOSICIÓN ELEMENTAL

Los hongos son organismos acumuladores de metales y en función del tipo de sustrato de crecimiento varía su composición. Este aspecto es fundamental en especies silvestres ya que pueden contener metales contaminantes.

Se seleccionaron 21 elementos y según los requerimientos nutricionales, se clasificaron en cuatro grupos: macroelementos (magnesio, potasio, fósforo, calcio, sodio), microelementos (cobre, hierro, manganeso, zinc), elementos traza (cromo, molibdeno, selenio, cobalto, níquel) y metales contaminantes (aluminio, arsénico, boro, cadmio, mercurio, plata, plomo).

El análisis de metales se llevó a cabo en el Centro de Química Aplicada (CEQUIMAP) de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Córdoba.

El tratamiento de muestras consistió en una digestión con microondas (Marca Berghof Modelo Speedwave). Posteriormente se determinó el contenido de minerales

presentes por espectrometría de masas con fuente de plasma de acoplamiento inductivo ICP-MS marca Agilent Technologies, Series 7500.

Los resultados fueron expresados como μg de elemento por gramos de muestra seca.

El contenido de fósforo total se cuantificó por el método de análisis oficial internacional AOAC, técnica 970.39. Los valores detectados fueron expresados como gramos de fósforo en 100 gramos de muestra seca.

ANÁLISIS FTIR-ATR

La espectroscopia transformada de Fourier para infrarrojos (FTIR) es una técnica poderosa que puede proporcionar información sobre la estructura molecular. Además de ser un método no destructivo, rápido y efectivo, requiere una pequeña cantidad de muestra (Choong et al., 2011). La región del espectro infrarrojo medio ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) puede ser utilizada para estudiar las vibraciones fundamentales de las moléculas y la estructura rotacional vibracional asociada. Una serie de compuestos orgánicos y grupos funcionales pueden identificarse por su número de bandas de ondas.

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) con reflectancia total atenuada (ATR) es una técnica analítica útil para la identificación de grupos orgánicos característicos en polisacáridos presentes en hongos comestibles, específicamente los β -glucanos que son polímeros de glucosa de elevado peso molecular y su interés se centra en los efectos benéficos para a la salud.

Fundamento:

Los espectros infrarrojos provocan vibraciones en los enlaces que unen los átomos proporcionando evidencia de los grupos funcionales presentes. Estas vibraciones corresponden a energías específicas ya que las moléculas absorben radiación infrarroja a ciertas longitudes de onda y frecuencias, siendo poco probable que dos compuestos diferentes (excepto los enantiómeros) tengan las mismas frecuencias para todas sus vibraciones complejas. Por este motivo se considera que el espectro IR da una huella dactilar de una molécula permitiendo la identificación de grupos funcionales de materiales orgánicos como polisacáridos de muestras sólidas, mediante espectroscopia de infrarrojo en el rango espectral de $400\text{ a }4000\text{ cm}^{-1}$.

La caracterización de los complejos β -glucanos se efectuó por espectroscopia FT-IR con ATR usando un Microscopio FT-IR Nicolet iN10 Thermo Fisher Scientific con

un accesorio ATR cristal zinc-selenio 45 grados incorporado al módulo Nicolet iZ10. Para la identificación espectral de los compuestos se utilizó el software ThermoScientific™ OMNIC™ Specta.

Este análisis se llevó a cabo en el Instituto de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Procesos y Química Aplicada (IPQA-CONICET). Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Córdoba.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio se presentan en dos capítulos. En el Capítulo 1 se desarrolla la caracterización química y nutricional del hongo *Phlebopus bruchii* y en el Capítulo 2 la composición química y nutricional de la especie *Hericium rajchenbergii*. Los análisis químicos se realizaron en base a basidiomas secos y se muestran respetando el siguiente orden: composición proximal, valor energético, perfiles de ácidos grasos y aminoácidos, contenido de fenoles, composición elemental y determinación de complejo glucanos por espectroscopia infrarroja (FTIR-ATR). Los datos obtenidos se expresaron como valores medios \pm error estándar y compararon con otros hongos comestibles presentes en la región y especies taxonómicamente relacionadas de interés alimenticio.

CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL DEL HONGO COMESTIBLE SILVESTRE *Phlebopus bruchii*

INTRODUCCIÓN

Phlebopus bruchii, “el hongo de coco”, es la única especie silvestre nativa y endémica de la región representante de las Boletaceas. Se conoce actualmente solo en los Bosques Subxerofíticos del Chaco Montano (“Bosque Serrano”) en las Sierras Chicas y Sierras Grandes de las provincias de Córdoba y San Luis del centro de Argentina, en un rango de altitud de 600 a 1400 m.s.n.m. La especie tiene una distribución potencial asociada con parches de bosques maduros de *Fagara coco* (Rutaceae) y *Lithraea molleoides* (Anacardiaceae) dentro de la extensión de los Bosques Montanos del Chaco desde el centro de Argentina a lo largo de las montañas del centro-norte hasta el sur de Bolivia, restringido en un rango altitudinal entre 600-1400 m. Sin embargo, no existen registros de la especie fuera de las provincias de Córdoba y San Luis (Argentina Central), aunque se ha buscado en otros hábitats adecuados. Es probable que la especie esté experimentando una grave disminución de la población debido a la pérdida de hábitat. Los fragmentos de bosque donde crece están en peligro extremo y más del 90% se ha perdido entre 1969 y 1999 (Zack et al., 2004; Atala et al., 2009). Esta disminución aún continúa, principalmente debido a la tala y los incendios. Como la especie está restringida a estos bosques de dosel cerrado, se estima que *Phlebopus bruchii* ha tenido una disminución de la población de 80-90% en los últimos 50 años, una disminución que aún continúa (Datos no publicados, IUNC, The Global Fungal Red List initiative, <http://iucn.ekoo.se/en/iucn/welcome>, Anexo I).

Todos los años, en las sierras del centro de Argentina (oeste de Córdoba y este de San Luis) se produce la recolección de las setas de la especie nativa muy codiciada *P. bruchii*. Esta especie ha sido recolectada y consumida por indígenas en el pasado, y actualmente se venden deshidratados en rodajas por los lugareños en los mercados de la ciudad (Deschamps, 2002; Nouhra et al., 2008). *Phlebopus bruchii* es la única especie comestible silvestre autóctona de los bosques cordobeses buscada y recolectada por la población local. Se considera de mejor calidad que las especies exóticas (como *Suillus*

spp.) que crecen en los pinares exóticos establecidos en la región. Está amenazado por una recolección incontrolada. Se necesita el desarrollo de un plan de manejo de uso sostenible y un marco legal para su comercialización. Debido a la disminución del hábitat adecuado y a la intensa presión de la recolección, la especie se considera en peligro crítico (IUNC, The Global Fungal Red List initiative, <http://iucn.ekoo.se/en/iucn/welcome>, Anexo I).

En la región existen otras especies comestibles exóticas asociadas a bosques implantados como *Suillus granulatus*, *S. grevillei*, *S. bellinii*, *S. brevipes*, *S. subaureus*, *S. luteus*, *S. lakei*, entre otras, también llamados hongos de pino y muchas veces incorrectamente llamados *Boletus*. Las especies de *Boletus* ocurren en el hemisferio Norte, Europa y Norte América, y nunca han sido registradas en Argentina. La especie *Boletus edulis* es altamente codiciada mundialmente por su tamaño y sabor, y *P. bruchii* tiene características que se le asemejan (Deschamps, 2002).

El género *Suillus* se halla distribuido mundialmente en bosques de coníferas y en nuestro país ha sido introducido en plantaciones forestales. Algunas especies de *Suillus* se caracterizan por tener una cutícula viscosa en el basidioma. Para la cultura asiática y europea son muy apreciados y considerados un majar que forma parte de recetas tradicionales. Sin embargo en otras partes del mundo, han sido despreciados básicamente por prejuicios debido al bajo conocimiento de los mismos. El ámbito cultural geográfico es el determinante en el consumo de estas especies de hongos (Blanco et al., 2012).

Existen otras especies de *Phlebopus* comestibles en el mundo, hasta el momento no existen datos publicados sobre su composición química y nutricional. La interpretación y el análisis de los resultados de este trabajo se exponen en los siguientes apartados y se discuten con los datos conocidos de especies relacionadas pertenecientes a los géneros *Suillus* y *Boletus*, y silvestres nativas de la Argentina.

COMPOSICIÓN PROXIMAL

La composición proximal de *P. bruchii* se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2: Composición proximal del hongo comestible *P. bruchii*.

Componente	g/100 g materia seca
Humedad	11,84 ± 0,09
Cenizas	14,22 ± 0,09
Proteínas	16,34 ± 0,31
Grasas	4,45 ± 0,21
Carbohidratos ¹	53,15
Valor energético (Kcal)	318

Cada valor representa el promedio de 3 repeticiones ± error estándar. ¹Calculado por diferencia de 100.

La interpretación de estos resultados se expone en los siguientes apartados.

HUMEDAD

Phlebopus bruchii presentó un valor de 11,84 ± 0,09% de humedad. Cuando los hongos comestibles se han sometido a una etapa de secado, el contenido de humedad en promedio es del 10 al 13% (González Matute, 2014; Art. 1249: Hongos comestibles - CAA). El proceso de secado es un método de conservación que previene procesos de deterioro y permite almacenar durante un período prolongado de tiempo. Los hongos deshidratados tienen un buen sabor y una vida útil de un año. Deben colocarse en bolsas de polietileno, sellarse y mantenerse en un lugar oscuro, seco y fresco para evitar la rehidratación (González Matute, 2014). Usualmente los hongos frescos son productos altamente perecederos y tienen una vida útil muy corta, contienen alrededor del 80-95% de agua y un 10 – 20% de MS.

CENIZAS

El contenido de cenizas de la especie *P. bruchii* fue de 14,22 ± 0,09%, superior a los conocidos hasta el momento de otras especies de Boletaceas, *Boletus* y *Suillus* (Tabla 3). Para las especies *S. luteus* y *S. granulatus* se han reportado contenidos de minerales entre el 6 – 8 % (Boa, 2005). Sin embargo, para *S. luteus* se encontraron

porcentajes de cenizas de 18,2%, mayores a los de la especie en estudio (Jaworska et al., 2014).

El contenido de cenizas es el valor más estable respecto de los otros componentes. En general los hongos comestibles representan buenas fuentes de minerales, las setas silvestres presentan contenidos de cenizas superiores al 20% de la materia seca, siendo la especie el factor responsable en la variabilidad del contenido mineral más que la procedencia de la seta (Kalač, 2016), considerando lo expuesto *P. bruchii* es una especie que contiene menos del 20% de cenizas siendo inferior comparada con otras especies silvestres.

Tabla 3: Comparación del contenido de cenizas (g/100 g MS) de Boletaceas silvestres comestibles.

Especie	Cenizas	Referencia
<i>Phlebopus bruchii</i>	14,22	Este trabajo
<i>Boletus edulis</i>	5,3	Ouzouni y Riganakos (2007)
<i>Boletus edulis</i>	8,0	Fernandes et al. (2014b)
<i>Boletus group (B. aereus, B. pinicola, B. reticulatus y B. edulis)</i>	1,5 – 2,0	Manzi et al. (2004)
<i>Boletus sp.</i> (México)	1,39	Alvarez-Parrilla et al. (2007)
<i>Suillus granulatus</i>	5,2	Ouzouni y Riganakos (2007)
<i>Suillus granulatus</i> (Serbia)	8,0	Reis et al. (2014b)
<i>Suillus granulatus</i> (Portugal)	10,4	Reis et al. (2014b)
<i>Suillus luteus</i>	18,2	Jaworska et al. (2014)
<i>Suillus luteus</i>	6,0	Boa (2005)
<i>Suillus bellinii</i>	9,0	Kalogeropoulos et al. (2013)

PROTEÍNAS

La especie *P. bruchii* presentó un $16,34 \pm 0,31\%$ de proteína total. Este resultado concuerda con los valores publicados para algunos casos de *S. granulatus* y *B. edulis* (Ouzouni y Riganakos, 2007; Fernandes et al., 2014b), pero está por debajo de otras especies. El rango del contenido proteico observado en *B. edulis* fue entre 16,4 – 36,9%, para *S. granulatus* y *S. luteus* entre 7,9 – 16,5% y 20 – 25%, respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4: Comparación de valores de proteína cruda (g/ 100 g MS) de varias especies de *Boletus* y *Suillus*.

Especie	Proteína cruda	Referencia
<i>Phlebopus bruchii</i>	16,34	Este trabajo
<i>Boletus edulis</i>	26,5	Ouzouni y Riganakos (2007)
<i>Boletus edulis</i>	36,9	Beluhan y Ranogajec (2011)
<i>Boletus edulis</i>	22,8	Ayaz et al. (2011a)
<i>Boletus edulis</i>	21,1	Heleno et al. (2011)
<i>Boletus edulis</i>	22,6	Jaworska et al. (2012)
<i>Boletus edulis</i>	16,4	Fernandes et al. (2014b)
<i>Boletus group (B. aereus, B. pinicola, B. reticulatus y B. edulis)</i>	5,6 – 7,9	Manzi et al. (2004)
<i>Boletus</i> sp. (México)	16,6	Alvarez-Parrilla et al. (2007)
<i>Suillus granulatus</i>	16,5	Ouzouni y Riganakos (2007)
<i>Suillus granulatus</i> (Serbia)	14,8	Reis et al. (2014b)
<i>Suillus granulatus</i> (Portugal)	7,9	Reis et al. (2014b)
<i>Suillus granulatus</i> (Chile)	14	Boa (2005)
<i>Suillus luteus</i>	25,1	Jaworska et al. (2014)
<i>Suillus luteus</i>	20	Boa (2005)
<i>Suillus bellinii</i>	17,2	Kalogeropoulos et al. (2013)

En comparación con otras especies silvestres presentes en Argentina de grupos taxonómicos muy diferentes, *P. bruchii* presentó un contenido de proteína similar a la informada para *Cortinarius magellanicus* (15,75 g/100g base seca) y superior a las especies: *Aleurodiscus vitellinus* (7,38 g/100g base seca), *Hydropus dusenii* (13,52 g/100g base seca), *Cyttaria hariotii* (3,35 g/100g base seca), *Fistulina antarctica* (3,71 g/ 100g base seca), *Fistulina endoxantha* (7,76 g/100g base seca) y *Grifola gargal* (5,96 g/100g base seca). Sin embargo, *Lepista nuda* (22,29 g/100g base seca) y *Ramaria patagonica* (19,68 g/100g base seca) mostraron valores de proteína más altos que la especie en estudio (Toledo et al., 2016).

P. bruchii es una especie silvestre que presenta contenidos proteicos inferiores a los reportados para otras especies silvestres, siendo los valores más frecuentes de proteína cruda en hongos comestibles silvestres se encuentran en el rango de 20 – 25 g de proteína en 100 g de materia seca (Kalač et al., 2016).

Los hongos comestibles muestran una gran variabilidad en relación al contenido proteico reportándose grandes disparidades en una misma especie. Varios factores pueden afectar el contenido de proteínas dependiendo de la etapa de desarrollo, la parte

muestreada (sombrero y estípite), el nivel de nitrógeno disponible, localización del crecimiento y el factor de conversión utilizado para el cálculo del contenido de proteínas (Manzi et al, 2004; Kalač et al., 2009; Toledo et al, 2016). De lo expuesto, es conveniente profundizar este análisis en la especie *P. bruchii* considerando posibles diferencias en el contenido proteico de los basidiomas teniendo en cuenta su tamaño y partes del mismo.

Cabe resaltar que *P. bruchii* posee un alto valor nutricional proteico comparado con otras fuentes proteicas alimenticias, como las proteínas vegetales de hortalizas de consumo habitual. Según la Organización de Agricultura y Alimentación (FAO), la calidad proteica de los hongos es mejor que la de la mayoría de los vegetales (FAO, 1981).

El contenido de proteínas es un componente importante que caracteriza a los hongos comestibles como fuente alimenticia, especialmente si se los consume deshidratados y son muy útiles para vegetarianos.

GRASAS

P. bruchii presentó un $4,45 \pm 0,21\%$ de grasa cruda, un valor dentro del rango más frecuente descrito para los hongos de la misma familia (Tabla 5). De acuerdo con Kalač (2009) el contenido de lípidos totales varía principalmente entre 2 - 6 g/100 g MS. Asimismo, sobre la base de los datos recopilados en una revisión realizada por Sande et al. (2019), el valor medio del contenido total de lípidos en hongos silvestres comestibles provenientes de América fue 4,1 g/100 g de materia seca, estos resultados son semejantes a los encontrados para *P. bruchii*.

Los valores de grasa cruda de *S. granulatus*, *S. bellini*, *Boletus* sp. y algunas especies de *B. edulis* (Tabla 5) son similares a los de *P. bruchii*. Estas especies muestran porcentajes grasos entre un 3 – 5%, dependiendo de lugar de recolección. Sin embargo la especie de *S. luteus* mostró niveles mayores del 6 - 7% de grasa cruda. Los datos disponibles para varias especies como *A. rubescens* o *S. granulatus*, a menudo muestran diferencias considerables y los factores ambientales que afectan los cambios en la composición de ácidos grasos dentro de una especie permanecen sin explicación (Sande et al., 2019).

En especies nativas comestibles que crecen en el bosque nativo de *Nothofagus* spp. de la región patagónica, se informó que el contenido de grasa cruda osciló en un

rango de 0,83 g/100 g MS en *F. antarctica* y 4,29 g/100 g MS en *H. duseinii* (Toledo et al., 2016), presentando esta última especie valores de grasa muy próximos al hongo en estudio.

Tabla 5: Comparación de valores de grasa cruda (g/100 g MS) de especies de hongos comestibles silvestres.

Especie	Grasa cruda	Referencia
<i>Phlebopus bruchii</i>	4,45	Este trabajo
<i>Boletus edulis</i>	2,8	Ouzouni y Riganakos (2007)
<i>Boletus edulis</i>	2,9	Beluhan y Ranogajec (2011)
<i>Boletus edulis</i>	2,9	Ayaz et al. (2011a)
<i>Boletus edulis</i>	2,5	Heleno et al. (2011)
<i>Boletus edulis</i>	3,8	Jaworska et al. (2012)
<i>Boletus edulis</i>	5,0	Fernandes et al. (2014b)
<i>Boletus edulis</i>	2,6	Pedneault et al. (2006)
<i>Boletus</i> sp. (México)	3,9	Alvarez-Parrilla et al. (2007)
<i>Suillus granulatus</i>	4,0	Ouzouni y Riganakos (2007)
<i>Suillus granulatus</i> (Serbia)	3,7	Reis et al. (2014b)
<i>Suillus granulatus</i> (Portugal)	0,3	Reis et al. (2014b)
<i>Suillus granulatus</i> (Chile)	2,0	Boa (2005)
<i>Suillus granulatus</i> (Canadá)	3,2	Pedneault et al. (2006)
<i>Suillus luteus</i>	7,0	Jaworska et al. (2014)
<i>Suillus luteus</i>	6,0	Boa (2005)
<i>Suillus bellinii</i>	3,9	Kalogeropoulos et al. (2013)
<i>Suillus grevillei</i>	5,4	Pedneault et al. (2006)

Los hongos comestibles tienen bajas concentraciones de grasa, oscilan entre 0,1 y 16,3% (Sande et al., 2019), siendo los valores más frecuentes entre 2 - 3% (Kalač, 2016). Esta característica los hace alimentos muy saludables y en comparación con otros alimentos de origen vegetal y animal, tienen la ventaja de poseer altos niveles de grasas poliinsaturadas. De acuerdo a lo expuesto, *P. bruchii* presenta contenidos de grasa cruda dentro del rango de valores más bajo y frecuentes de los hongos comestibles.

HIDRATOS DE CARBONO

En la mayoría de los estudios de composición química de hongos comestibles han publicado datos del contenido de hidratos de carbono no han sido determinados analíticamente sino por el método indirecto de cálculo. En este estudio se adoptó la misma modalidad y el contenido de carbohidratos totales se calculó por diferencia como [100 - (proteína cruda + grasa cruda + cenizas)]. El valor calculado comprende los azúcares reductores, fibra dietética y otros carbohidratos, sin diferenciarlos.

El resultado de hidratos de carbono totales para *P. bruchii* fue de 53,15%, resultando concentraciones similares a las publicadas para la especie *S. luteus* (Boa, 2005; Jaworska et al., 2014) y *B. edulis* (Beluhan y Ranogajec, 2011) (Tabla 6). Sin embargo las especies *S. granulatus* y *S. bellini* informaron concentraciones superiores en un rango de 70 – 81,4 g/100 g de MS (Boa, 2005; Ouzouni y Riganakos, 2007; Reis et al., 2014b).

Los valores de carbohidratos de *P. bruchii* resultaron inferiores comparados con los reportados en 9 especies nativas silvestres de nuestro país, las cuales presentaron contenidos de hidratos de carbono en el rango de 67,58 g/100 g MS en la especie *C. magallanicus* y 94,22 g/ 100 g MS en *F. antarctica* (Toledo et al., 2016).

Tabla 6: Datos del contenido de Hidratos de Carbono (g/100g MS) en hongos comestibles silvestres.

Especie	Hidratos de Carbono	Referencia
<i>Phlebopus bruchii</i>	53,15	Este trabajo
<i>Boletus edulis</i>	65,4	Ouzouni y Riganakos (2007)
<i>Boletus edulis</i>	54,9	Beluhan y Ranogajec (2011)
<i>Boletus edulis</i>	69,3	Ayaz et al. (2011a)
<i>Boletus edulis</i>	70,9	Heleno et al. (2011)
<i>Boletus edulis</i>	68,4	Jaworska et al. (2012)
<i>Boletus edulis</i>	70,6	Fernandes et al. (2014b)
<i>Boletus</i> sp. (México)	78,1	Alvarez-Parrilla et al. (2007)
<i>Suillus granulatus</i>	74,3	Ouzouni y Riganakos (2007)
<i>Suillus granulatus</i> (Serbia)	81,4	Reis et al. (2014b)
<i>Suillus granulatus</i> (Portugal)	73,5	Reis et al. (2014b)
<i>Suillus granulatus</i> (Chile)	70,0	Boa (2005)
<i>Suillus luteus</i>	49,6	Jaworska et al. (2014)
<i>Suillus luteus</i>	57,0	Boa (2005)
<i>Suillus bellinii</i>	69,9	Kalogeropoulos et al.(2013)

La especie *P. bruchii* muestra valores de carbohidratos dentro del rango más bajo comparado con especies de la misma familia y menores que otros hongos comestibles silvestres nativos de la Argentina.

VALOR ENERGÉTICO

La especie *P. bruchii* registró un valor energético de 318 kcal/100 g MS, en concordancia a las generalidades de las setas comestibles. Diferentes fuentes han declarado cantidades de energía mayores a la especie en estudio comparada con otras boletáceas (tabla 7).

Con respecto a otras especies nativas de la Argentina, se registraron aportes energéticos superiores a los hallados en *P. bruchii*. El valor más alto se observó en *F. antarctica* (399,18 kcal/ 100 g MS), mientras que *C. magellanicus* presentó el valor más bajo (358,03 kcal/ 100 g MS) (Toledo et al., 2016).

Tabla 7: Valor energético (Kcal / 100 g MS) de hongos comestibles silvestres.

Especie	Valor energético	Referencia
<i>Phlebopus bruchii</i>	318	Este trabajo
<i>Boletus edulis</i>	393	Ouzouni y Riganakos (2007)
<i>Boletus edulis</i>	393	Beluhan y Ranogajec (2011)
<i>Boletus edulis</i>	394	Heleno et al. (2011)
<i>Boletus edulis</i>	398	Jaworska et al. (2012)
<i>Boletus edulis</i>	393	Fernandes et al. (2014b)
<i>Boletus</i> sp. (México)	413	Alvarez-Parrilla et al. (2007)
<i>Suillus granulatus</i>	399	Ouzouni y Riganakos (2007)
<i>Suillus granulatus</i> (Serbia)	359	Reis et al. (2014b)
<i>Suillus granulatus</i> (Portugal)	386	Reis et al. (2014b)
<i>Suillus granulatus</i> (Chile)	354	Boa (2005)
<i>Suillus luteus</i>	362	Jaworska et al. (2014)
<i>Suillus luteus</i>	362	Boa (2005)
<i>Suillus bellinii</i>	383	Kalogeropoulos et al. (2013)

Los hongos comestibles aportan niveles calóricos reducidos. Comúnmente, el contenido de materia seca promedio se considera de 100 g/ kg de peso fresco. Los valores energéticos reportados en estos estudios no diferencian a la fibra dietaria del contenido de carbohidratos, por lo que los valores informados podrían estar sobreestimados y pueden reducirse hasta un tercio del valor calculado (Kalač, 2016).

Considerando lo anterior, determinar el contenido de fibra dietaria en la especie *P. bruchii* permitiría obtener un valor más preciso del aporte calórico de la misma.

ANÁLISIS DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS

Los resultados de la composición de ácidos grasos de *P. bruchii* se resumen en la tabla 8. Se identificaron y cuantificaron 8 ácidos grasos en total. Se determinó como principal el ácido linoleico (18:2 cis $\Delta^{9,12}$) seguido por el ácido oleico (18:1 cis Δ^9) y palmítico (16:0). Los ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) fueron los componentes mayoritarios y en segundo lugar los ácidos grasos monoinsaturados (MUFA), conformando el 72,21% del perfil lipídico.

En la tabla 8 se presenta el perfil de ácidos grasos determinado para *P. bruchii* y perfiles recopilados de publicaciones de otras especies de hongos comestibles silvestres, con fines comparativos. Podemos observar que las especies de *B. edulis*, *S. grevillei* y *S. granulatus* presentaron un comportamiento similar a *P. bruchii*, predominando los ácidos grasos insaturados (PUFA y MUFA).

Los perfiles lipídicos de 9 especies nativas silvestres de nuestro país presentaron mayores niveles de ácidos grasos insaturados (osilaron entre 64,1% y 83,40%) que de ácidos saturados, semejantes a los hallados en *P. bruchii*. Las especies *H. dusenii*, *F. antarctica*, *F. endoxantha*, *R. patagonica*, *C. hariotii*, *C. magellanicus* y *L. nuda*, presentaron los PUFA como grupo principal de ácidos grasos y significativamente mayor que los MUFA y SFA. Sin embargo, las especies *A. vitellinus* y *G. gargal*, los MUFA fueron el grupo principal, debido al alto aporte de ácido oleico, siendo del 45% y 52%, respectivamente.

Generalmente los perfiles lipídicos de hongos comestibles contienen ácidos grasos esenciales como el linoleico, oleico y linolénico, como componentes principales. La literatura señala que los niveles de ácidos grasos insaturados son generalmente mayores que los saturados (Sande et al., 2019). La composición de *P. bruchii* presentó como ácidos grasos predominantes del perfil al ácido linoleico y oleico, encontrándose ausente el ácido linolénico. Estos resultados ubican a la especie *P. bruchii* como una fuente alimenticia que aporta ácidos grasos esenciales y nutricionalmente deseables de la familia ω -6 y ω -9. El ácido oleico es un ácido graso monoinsaturado de la serie omega 9 típico de los aceites vegetales como el aceite de oliva y es conocido por su eficacia en la reducción de los niveles de colesterol (Puiggrós et al., 2002), que

promueve la disminución de las enfermedades cardiovasculares (Pacheco et al., 2008). El ácido linoleico es un ácido graso esencial ya que no puede ser sintetizado por el organismo humano, debido a la falta de enzimas desaturasa necesarias para su producción (Kuklinski, 2003).

Tabla 8: Perfiles de ácidos grasos en especies *P. bruchii*, *B. edulis* y género *Suillus*.

Ácidos grasos	<i>P. bruchii</i> (Este trabajo)	<i>B. edulis</i> (Fernandes et al., 2014b)	<i>B. edulis</i> (Barros et al., 2008a)	<i>B. edulis</i> (Heleno et al., 2011)	<i>B. edulis</i> (Pedneault et al., 2006)	<i>B. edulis</i> (Kavishree et al., 2008a)	<i>S. grevillei</i> (Pedneault et al., 2006)	<i>S. luteus</i> (Bengu, 2019)	<i>S. granulatus</i> (Reis et al., 2014b)	<i>S. granulatus</i> (Reis et al., 2014)	<i>S. granulatus</i> (Pedneault et al., 2006)
14:0	0,10 ± 0,00	sd	0,15	0,10	0,18	sd	0,18	0,49	0,20	0,17	0,21
16:0	19,57 ± 0,33	11,00	10,03	9,60	9,84	21,60	8,90	25,97	9,64	9,62	12,00
16:1 cis Δ ⁹	0,67 ± 0,03	1,01	0,53	sd	2,01	sd	1,01	0,65	0,46	0,49	0,72
18:0	7,03 ± 0,22	0,92	2,75	3,10	2,72	9,10	1,49	17,09	3,19	2,65	3,25
18:1 cis Δ ⁹	31,97 ± 0,38	5,70	39,72	42,10	36,10	31,10	43,90	24,60	24,69	20,08	34,20
18:2 cis Δ ^{9,12}	39,57 ± 0,48	77,20	44,32	41,30	42,20	33,80	40,10	29,05	57,14	63,97	46,60
18:3	sd	1,76	0,07	<0,10	0,17	3,60	0,63	0,00	0,39	0,20	0,22
20:0	0,47 ± 0,03	sd	0,44	sd	0,34	sd	0,18	sd	0,28	0,16	0,24
22:0	0,83 ± 0,03	sd	0,30	sd	0,54	sd	0,16	0,33	0,40	0,29	0,21
SFA	28,00 ± 0,61	13,20	14,52	14,80	15,50	33,40	12,60	43,88	15,44	14,30	17,20
MUFA	32,64 ± 0,41	7,40	40,56	43,54	41,40	31,10	45,50	25,25	26,55	21,30	35,70
PUFA	39,57 ± 0,48	79,30	44,91	41,70	43,10	35,50	41,90	29,05	58,01	64,40	47,10

Cada valor representa el promedio de 3 repeticiones ± error estándar, sd= sin datos.

ANÁLISIS DEL PERFIL DE AMINOÁCIDOS

De las muestras analizadas del hongo *P. bruchii*, se identificaron y cuantificaron 13 aminoácidos. Las cantidades estimadas de aminoácidos se pueden ver en la figura 3.

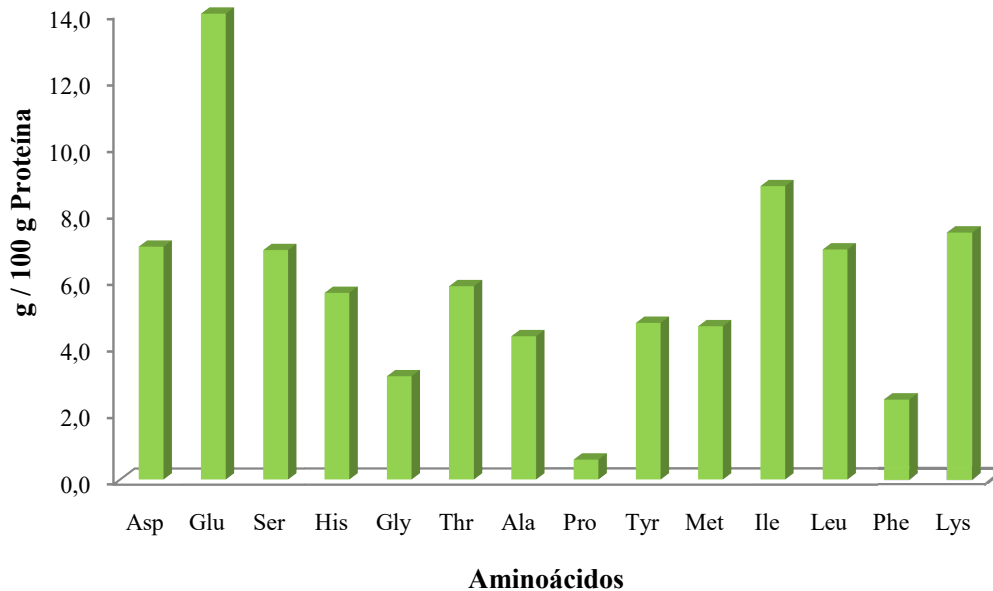


Figura 3: Perfil de aminoácidos del hongo comestible *P. bruchii*. Asp: ácido aspártico, Glu: ácido glutámico, Ser: serina, His: histidina, Gly: glicina, Thr: treonina, Ala: alanina, Pro: prolina, Tyr: tirosina, Met: metionina, Ile: isoleucina, Leu: leucina, Phe: fenilalanina, Lys: lisina.

El análisis del perfil mostró una proporción equivalente de aminoácidos no esenciales y esenciales sobre el total de aminoácidos libres detectados. Como representantes mayoritarios de los aminoácidos no esenciales se identificó al ácido glutámico resultando un 17% del total, seguido por el ácido aspártico y la serina. Con respecto a los aminoácidos esenciales, la isoleucina, lisina y leucina fueron los que se presentaron en mayor cantidad. Como aminoácido esencial limitante se determinó a la prolina. Con respecto al triptófano debido al método de hidrólisis ácida realizada, el mismo imposibilitó su cuantificación. La concentración de valina y cisteína no pudo ser determinada.

En la tabla 9 se resumen datos de perfiles de aminoácidos, expresados en porcentajes, de *P. bruchii* y otras especies comestibles del género *Boletus* y *Suillus*.

Tabla 9: Composición porcentual de aminoácidos libres en hongos comestibles.

Aminoácidos	<i>P. bruchii</i> (Este trabajo)	<i>B. edulis</i> (Liu et al., 2016)	<i>B. edulis</i> (Ribeiro et al., 2008)	<i>S. bellinii</i> (Ribeiro et al., 2008)	<i>S. luteus</i> (Ribeiro et al., 2008)	<i>S. granulatus</i> (Ribeiro et al., 2008)
Ácido Aspártico	8,52	7,89	2,36	3,58	17,71	sd
Ácido Glutámico	17,05	13,75	0,93	4,12	sd	3,22
Glutamina	sd	sd	24,23	4,49	2,05	10,48
Serina	8,4	5,03	4,95	4,21	1,54	5,53
Histidina	6,8	1,34	1,52	2,33	1,47	2,99
Glicina	3,77	25,00	6,63	7,00	0,44	1,95
Treonina	7,06	2,68	4,20	4,31	1,54	5,76
Arginina	sd	2,97	1,74	2,77	4,42	4,03
Alanina	5,23	10,62	25,08	19,42	44,57	20,96
Prolina	0,73	sd	4,43	5,84	3,46	4,15
Tirosina	5,72	1,89	0,64	3,13	2,13	3,22
Valina	sd	4,69	1,97	13,31	6,04	12,44
Metionina	5,60	0,52	sd	sd	sd	sd
Cisteína	sd	0,17	2,16	sd	0,59	sd
Isoleucina	10,71	0,64	1,29	3,85	1,25	9,56
Leucina	8,40	4,89	1,87	3,23	0,73	2,53
Fenilalanina	2,92	3,58	2,49	3,94	2,05	3,68
Lisina	9,01	6,27	2,29	3,4	1,62	2,30
Triptófano	sd	6,36	3,17	2,87	1,47	4,14

Diversos estudios demuestran que los perfiles cuantitativos de aminoácidos son muy variables entre las especies de hongos comestibles y en general su composición posee un notable valor nutricional. Se han publicado diferentes datos de perfiles de aminoácidos para *B. edulis* identificando a la glutamina (26%) y alanina (25%) como aminoácidos principales (Ribeiro et al, 2008). Sin embargo, para esta misma especie se han reportado como primordiales a la glutamina (15%) y ácido aspártico (9%) (Jaworska y Bernas, 2013), o bien a la glicina (25%) y el glutamato (13,5%) como componentes preponderantes (Liu et al., 2016). En relación a *S. granulatus*, se determinaron a la alanina (20%), valina (12%), glutamina e isoleucina (10%) como constituyentes mayoritarios del perfil de aminoácidos (Ribeiro et al., 2009). No obstante, se ha informado que la especie *S. granulatus* presentó un 55% de glutamina y el 23% a la serina (Mdachi et al., 2004).

La literatura demuestra una notable variabilidad en la composición de aminoácidos en las especies de hongos comestibles y según su procedencia pueden variar dentro de la misma.

Cuando comparamos la concentración de aminoácidos esenciales de *P. bruchii* con la proteína del huevo de gallina, se observa que *P. bruchii* tiene 3 veces más concentración de histidina y es superior en el contenido de metionina, lisina, isoleucina y treonina (Tabla 10). Esta comparación resalta las virtudes en la composición proteica de esta especie de hongo comestible.

Tabla 10: Composición de aminoácidos esenciales (g aa/ 100 g de proteína).

Aminoácidos esenciales	Resultados de este trabajo	Huevo de gallina (Chang y Miles, 2004)
Leucina	6,9	8,8
Isoleucina	8,8	6,6
Lisina	7,4	6,4
Treonina	5,8	5,1
Fenilalanina	2,4	5,8
Metionina	4,6	3,1
Histidina	5,6	2,4
Total de aminoácidos esenciales	41,5	47,1

La composición del perfil de aminoácidos determinado destaca a *P. bruchii* como fuente alimenticia de alto valor nutricional, debido a que muestra niveles considerables de aminoácidos esenciales que están presentes en las proteínas animales. Los cereales y la papa son alimentos que forman parte principal de la dieta pero son deficientes en lisina. Las legumbres son importantes fuentes de proteínas, sin embargo carecen de metionina. Estas deficiencias en las proteínas vegetales de aminoácidos esenciales se pueden cubrir con la incorporación de la seta *P. bruchii*, principalmente en personas de hábitos vegetarianos.

Combinar diferentes especies de hongos comestibles en la dieta aportaría gran diversidad de aminoácidos y sensaciones palatables. El sabor es importante para la aceptación del consumidor y los aminoácidos se encuentran entre los principales compuestos no volátiles responsables del sabor de los hongos. El glutamato aporta el sabor agradable y la glicina representa el sabor dulce (Beluhan y Ranogajec, 2011).

Como mencionamos anteriormente *P. bruchii* contiene principalmente ácido glutámico y ácido aspártico, ambos compuestos son potenciadores del sabor en alimentos. Esta característica se asocia al sabor delicioso de los *Boletus* de gran aceptabilidad culinaria y son los responsables esenciales del sabor umami.

CONTENIDO DE FENOLES TOTALES

El valor promedio determinado de fenoles totales en *P. bruchii* fue $12,93 \pm 1,16$ mg de ácido gálico equivalente por gramo de hongo seco (mg GAE/g MS). La composición en *P. bruchii* estaría formada por compuestos fenólicos polares y afines al acetato de etilo. La curva de referencia realizada para el cálculo de fenoles totales se muestra en la siguiente figura.

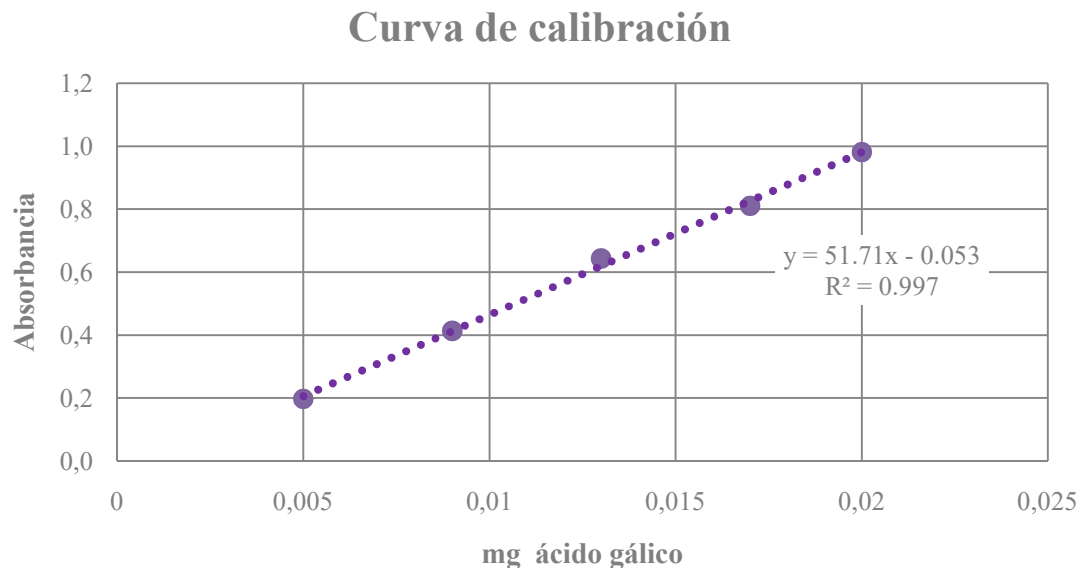


Figura 4: Curva de calibrado representativa de ácido gálico por el método de Folin-Ciocalteu.

Los valores obtenidos muestran que *P. bruchii* posee un alto contenido de fenoles totales comparada con otras especies silvestres de la misma familia (tabla 11).

Estudios han reportado que el contenido fenólico total habitual en hongos comestibles se encuentra entre 0,1 y 0,6 g de ácido gálico/100 g de materia seca y rara vez más de 1,0 g GAE/100 g MS (Kalač, 2016). Otra publicación realizada en 16 especies silvestres determinó una cantidad de fenoles totales en un rango entre 0,37 y 1,68 g GAE/100 g MS (Witkowska et al., 2011).

Los valores de fenoles encontrados en *P. bruchii* hacen a esta seta una importante fuente alimenticia de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante. Se ha informado de que la actividad antioxidante de los materiales de los hongos está bien correlacionada con el contenido de compuestos fenólicos (Barros et al., 2007). Extractos de las fructificaciones del hongo comestible *P. bruchii*, constituyen fuentes potenciales para la obtención de compuestos de interés para la salud humana, como son los polifenoles, y para futuras aplicaciones en la elaboración de productos útiles en el manejo de las enfermedades asociadas al estrés oxidativo.

Tabla 11: Contenido de fenoles totales (mg GAE/g MS).

Especie	Fenoles totales	Referencia
<i>Phlebopus bruchii</i>	12,93	Este trabajo
<i>Boletus edulis</i>	5,03	Barros et al. (2008)
<i>Boletus edulis</i>	5,50	Palacios et al. (2011)
<i>Boletus edulis</i>	8,13	Yahia et al. (2017)
<i>Boletus edulis</i>	8,40	Puttaraju et al. (2006)
<i>Boletus edulis</i>	16,18	Witkowska et al. (2011)
<i>Suillus grevillei</i>	10,17	Witkowska et al. (2011)
<i>Suillus luteus</i>	8,16	Jaworska et al. (2014)
<i>Suillus luteus</i>	8,76	Witkowska et al. (2011)

ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN ELEMENTAL

La composición mineral en la especie *P. bruchii* mostró la presencia de elementos esenciales y trazas en concentraciones importantes como fuentes alimenticias. En el caso de los macronelementos se encontraron como componentes principales al potasio, fósforo y magnesio. Se consideran importantes fuentes aquellos alimentos que contengan niveles de potasio entre 2670 - 4730 mg/ 100 g, fósforo (493 - 1390 mg/ 100g) y magnesio (20 - 200 mg/ 100 g), por lo cual los resultados demuestran que *P. bruchii* puede ser reconocida dentro de los alimentos ricos en estos elementos (tabla 12). Teniendo en cuenta las recomendaciones diarias de consumo, para el potasio es de 2500 mg, fósforo 800 mg y magnesio 300 - 350 mg, por lo cual la ingesta de 100 g de hongo seco aportan el total de los requerimientos diarios de potasio, el 80% del fósforo y el 50% del magnesio. En relación al calcio y sodio, los valores hallados muestran aportes bajos de ambos elementos, siendo un aspecto favorable la baja incorporación de

sodio. La mayoría de las setas contienen valores reducidos de sodio, reportando contenidos usuales de sodio entre 10 - 40 mg/ 100 g de hongo seco (Kalač, 2016).

Tabla 12: Composición mineral de *P. bruchii* (mg/ 100 g MS)

Macrominerales	Este estudio
K	6127,8
P	630,0
Mg	161,3
Ca	26,1
Na	3,2
Microminerales	
Fe	32,80
Zn	8,23
Cu	3,42
Mn	0,81
Elementos trazas	
B	1,100
Ni	0,125
Cr	0,188
Co	0,047

Los metales esenciales son necesarios en pequeñas dosis para el buen funcionamiento de diversos procesos metabólicos en el organismo. En general se recomiendan ingerir menos de 1 mg/día. Los niveles de hierro encontrados en la especie *P. bruchii* cubren los requerimientos nutricionales, siendo RDA de 14 - 28 mg para mujeres adultas y 5 - 10 mg para los hombres. Según la literatura, la biodisponibilidad del hierro en los hongos es alta y hasta el 90% del hierro presente puede ser absorbido (Kalač y Svoboda, 2000).

Los metales esenciales como el cobre y el zinc pueden producir efectos tóxicos cuando la ingesta es excesivamente elevada. Respecto al cobre es un micronutriente esencial y los requerimientos diarios (RDA) de este elemento se sitúan entre 1,5 - 3 mg para una persona adulta (NRC, 1989). Los niveles medios habituales encontrados en setas en zonas no polucionadas se sitúan entre los 10 – 70 mg/kg MS (Kalač, 2009). Las concentraciones de cobre son generalmente más elevadas que las presentes en otros alimentos, especialmente vegetales (Kalač y Svoboda, 2000). Los niveles de cobre que

presentó la seta *P. bruchii* fue de 34,2 mg/ kg de hongo seco, este valor representa un aporte nutricional valioso como fuente alimenticia y no representaría ningún riesgo. Se considera que el consumo de hongos silvestres con concentraciones de hasta 300 mg/ kg MS no pueden considerarse un riesgo sanitario (Kalač y Svoboda, 2000). El consumo de 1 kg de *P. bruchii* por semana representaría una ingesta diaria de 4,88 mg de cobre, correspondiendo un valor muy por debajo a la ingesta máxima admisible diaria de 0,5 mg/ kg de peso corporal, siendo para un adulto de 60 kg un IDA de 30 mg de Cu, establecida por la OMS.

Considerando al zinc la RDA se ubica entre los 10 - 20 mg diarios. El Código Alimentario Argentino para alimentos en general, permite concentraciones máximas de Zn de 100 mg/kg. Los datos obtenidos muestran que *P. bruchii* contiene 82,3 mg/kg respetando los límites máximos admisibles de la legislación y considerándose un alimento rico en este micronutriente aportando 8,23 mg de Zn cada 100 g de hongo seco.

Otros metales encontrados fueron el níquel y cobalto, en concentraciones de 0,125 mg/100 g de MS y 0,047 mg/100 g de MS, respectivamente. Estas concentraciones son bajas y no representan niveles tóxicos, formando parte de los elementos trazas benéficos para la salud, siendo su recomendación aconsejada menos de 1 mg diario. El boro se considera un mineral esencial, si bien no existen recomendaciones de ingesta, se considera seguro consumir hasta 20 mg diarios. Los resultados obtenidos en la composición muestran valores de 1,10 mg/100 g de hongo seco, considerando niveles muy bajos de boro. Cabe destacar que el CAA permite concentraciones máximas en alimentos de 80 mg de boro/kg de alimento. El cromo es un elemento traza indispensable para el funcionamiento metabólico en humanos. Se considera un consumo seguro y adecuado entre 0,05 a 0,20 mg por día. En la determinación elemental, la especie *P. bruchii* presentó 0,188 mg/100 g de MS de cromo total, considerándose una fuente alimenticia importante de este mineral.

En este análisis se evidenció la presencia de metales pesados como arsénico, plomo y cadmio. Sin embargo, los niveles encontrados se encuentran dentro de los límites permitidos en la legislación del CAA para alimentos en general (tabla 13).

Tabla 13: Comparación del contenido de metales pesados en *P. bruchii*, los límites permitidos por CAA y la Ingesta Diaria Admisible por la FAO.

Elementos	Este trabajo (mg/Kg MS)	Nivel permitido FAO/OMS (mg/día/persona)	CAA Alimentos en general (mg/kg MS)	CAA Setas comestibles Mercosur (mg/kg MS)
Plomo	1,44	0,215	2	0,1
Arsénico	0,261	0,128	1	0,1
Cadmio	0,077	0,057-0,071	-----	0,05

En la tabla 13 se muestra los valores de ingesta diaria admisible publicados por la OMS/FAO de metales pesados para un adulto de peso medio (60 kg) sin provocar daños a la salud. De acuerdo a los valores registrados para *P. bruchii*, el consumo no representa riesgo. Suponiendo un consumo de 1 kg de basidiomas secos de *P. bruchii* por semana corresponde a una ingesta diaria de 0,206 mg de Pb; 0,037 mg de As y 0,011 mg de Cd, lo cual no es posible considerarlo un riesgo toxicológico.

ANÁLISIS FTIR-ATR

En los espectros FTIR realizados en basidiomas secos del hongo *P. bruchii* se pueden observar 4 regiones específicas definidas (figura 5).

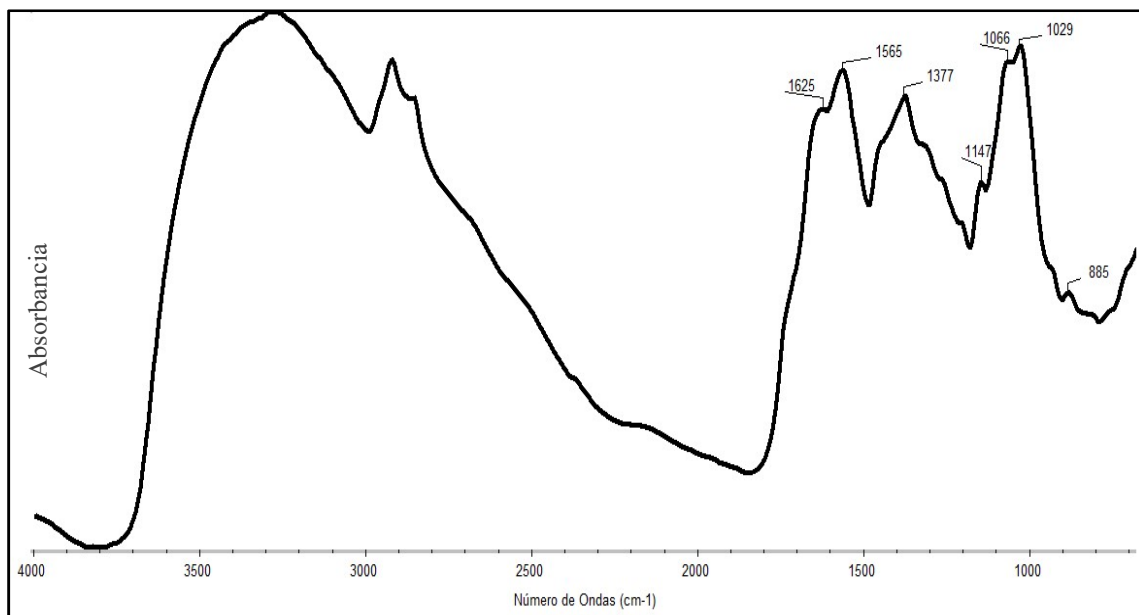


Figura 5: Espectro infrarrojo (FTIR – ATR) de basidiomas de *P. bruchii*.

La primera región 4000–1800 cm^{-1} presentó una banda ancha prominente centrada alrededor de 3300 cm^{-1} , que podría asignarse a absorciones debidas al estiramiento del enlace O-H. Dos bandas marcadas alrededor de 2900–2880 cm^{-1} fueron asignadas al estiramiento de los grupos CH_2 y CH_3 presentes en ácidos grasos de la pared celular.

En la segunda región entre 1800–1500 cm^{-1} , se encontraron dos bandas principales de 1625 y 1565 cm^{-1} asignado a la amida I y la amida II de proteínas, pueden estar asociadas a complejos glucano–proteínas. Resultados similares fueron publicados por Gonzaga et al. (2005), donde encontraron en 5 especies de hongos cultivados patrones de proteínas asociadas con longitudes de absorción entre 1654, 1544, 1409 y 1242 cm^{-1} .

La tercer región espectral de importancia que caracteriza a la especie en estudio es la región ubicada entre 1500–750 cm^{-1} , asociada con vibraciones de proteínas, lípidos y polisacáridos. Según Liu et al. (2006) la región entre 750 y 1200 cm^{-1} podría servir como huellas dactilares para discriminar hongos.

La cuarta región las bandas entre 950 y 750 cm^{-1} son consideradas importantes en la identificación de la configuración anomérica de polisacáridos, se ha asignado una banda de 890 cm^{-1} a β -glucósidos y 860–810 cm^{-1} para los α -glucósidos (Mohaček-Grošev et al., 2001; Barbosa et al., 2003). De acuerdo con Zhao et al. (2006a, b) los β -glucanos y los patrones de quitosano con enlace β -glucosídico presentaron bandas en 889 y 897 cm^{-1} , respectivamente, mientras que el enlace α -glucosídico típico en un almidón estándar presentó una banda característica en 858 cm^{-1} .

Las longitudes de banda encontradas en el espectro de *P. bruchii* fueron 1377, 1147, 1066, 1029 y 885 cm^{-1} . La banda 1029 cm^{-1} se asigna al estiramiento C–O, la banda 1147 cm^{-1} corresponde al estiramiento C–O–C de las estructuras glucosídicas y 1066 cm^{-1} corresponden a vibraciones anoméricas del grupo C_1H , estos resultados concuerdan con Gonzaga et al. (2005) y Rodrigues et al. (2015). Las bandas 885 y 1377 cm^{-1} , observadas en *P. bruchii* pueden asociarse con la presencia de β -glucanos. De acuerdo con Barbosa et al. (2003) bandas en 890 y 1370 cm^{-1} son característicos de β -glucanos.

Los resultados de los espectros vibracionales determinados en *P. bruchii* mostraron la presencia de β -glucanos, α -glucanos y complejos glucano-proteínas como representantes de los polisacáridos presentes. Los glucanos son polisacáridos no celulósicos con propiedades bioactivas. Recientemente, ha habido un aumento del

interés general en los hongos debido a las posibles aplicaciones médicas de sus constituyentes de polisacáridos, algunos de los cuales tienen propiedades inmunomoduladoras y antitumorales.

CONCLUSIONES PARCIALES

Previo a esta tesis no existían estudios de composición química y nutricional de la especie *P. bruchii*. Los resultados del análisis proximal, expresado en base seca, mostró un contenido de carbohidratos totales de 53,15%, de proteína cruda un $16,34 \pm 0,31\%$, de grasa cruda un $4,45 \pm 0,21\%$ y cenizas un $14,22 \pm 0,09\%$. El contenido de humedad fue $11,84 \pm 0,09\%$, característico de los hongos deshidratados. Los hidratos de carbono fueron los componentes predominantes de la materia seca en el hongo *P. bruchii*, al igual que en la generalidad de los hongos comestibles.

El valor energético calculado fue de 318 Kcal/100 g MS, proporcionando un bajo aporte calórico debido al reducido contenido de grasas.

El perfil de ácidos grasos presentó una predominancia de los PUFA (39,57%) seguidos de los MUFA (32,64%). Los ácidos grasos principales fueron el ácido lineoleico y oleico. Los resultados de este análisis demuestran que la seta *P. bruchii* es una fuente saludable de grasas y su composición lipídica está formada por un 72,21% ácidos grasos instaurados.

El perfil de aminoácidos mostró como componente mayoritario el ácido glutámico (17,0% del total). Dentro de los aminoácidos esenciales, los predominantes fueron, lisina (10,7%) seguida de isoleucina (9,0%) y leucina (8,5%). La composición de aminoácidos demostró ser una fuente de gran valor nutricional y comparada con otros alimentos como el huevo, el hongo *P. bruchii* tiene 3 veces más concentración de histidina y es superior en el contenido de metionina, lisina e isoleucina. Esta comparación resalta las virtudes en la composición proteica de esta especie de hongo comestible.

De los resultados del análisis de mineral se desprende que *P. bruchii* presenta un aporte nutricional valioso como fuente alimenticia. La ingesta de 100 g de hongo seco aportan el total de los requerimientos diarios (RDA) de potasio, el 80% del fósforo y el 50% del magnesio. Son reducidos en calcio (26,1 mg/ 100 g MS) y sodio (3,2 mg/ 100 g MS). Con respecto a los microminerales, la recomendación de consumo es 1 mg diario, con la ingesta de 100 g de *P. bruchii* se cubre el 100% de RDA de Fe, Mn, Cu y Zn. Además suministra elementos trazas Ni, Co y Cr, que son minerales indispensables para el correcto funcionamiento metabólico. Se identificaron metales pesados como arsénico, plomo y cadmio. Sin embargo, los niveles hallados se encuentran dentro de los límites

permitidos en la legislación del CAA para alimentos en general y levemente por encima a los niveles admitidos por la resolución del CAA/Mercosur.

El valor promedio determinado de fenoles totales en *P. bruchii* fue 12,93 mg GAE/g MS, presentando los contenidos más altos de fenoles comparada a otras especies de la misma familia. Los valores de fenoles encontrados en *P. bruchii* hacen a esta seta una importante fuente alimenticia de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante.

Los espectros vibracionales por FTIR-ATR mostraron la presencia de β -glucanos, α -glucanos y complejos glucano-proteínas como representantes de los polisacáridos no celulósicos. Estos compuestos tienen un gran interés por sus propiedades biactivas.

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y NUTRICIONAL DEL HONGO COMESTIBLE SILVESTRE *Hericum rajchenbergii*

INTRODUCCIÓN

La especie *Hericum rajchenbergii* recientemente ha sido descrita para la ciencia y forma parte de los recursos naturales de hongos comestibles silvestres endémicos de nuestra provincia. Crece exclusivamente en troncos muertos y/o vivos de *Lithraea molleoides* (Anacardiaceae) en los bosques subxerofíticos del Chaco de montaña (“Bosque Serrano”) en las Sierras Chicas de la provincia de Córdoba central de Argentina, en un rango altitudinal de 600 a 1400 m.s.n.m. Se han registrado solamente 4 especímenes, incluso con extensos estudios en el área. El tamaño total de la población se valora en no más de 500 individuos maduros. Se estima que la especie ha tenido una disminución de población del 80-90% en los últimos 50 años, debido a la pérdida de hábitat. Los bosques donde vive la especie están en peligro de extinción y más del 90% se ha perdido entre 1969 y 1999 (Zack et al., 2004; Atala et al., 2009). Esta disminución aún continúa, principalmente debido a la pérdida de su hospedero a causa de la tala y el fuego, por lo que se considera que está en peligro crítico (Datos no publicados, IUNC; The Global Fungal Red List initiative, <http://iucn.ekoo.se/en/iucn/welcome>, Anexo II).

H. rajchenbergii está emparentado con *Hericum erinaceus*, una especie comestible y medicinal mundialmente conocida, por ello los estudios vinculados a la caracterización química y nutricional son de particular interés.

En general, las especies del género *Hericum* han atraído la atención por mucho tiempo debido a sus hermosos basidiomas en forma de coral que crecen sobre la madera, son comestibles y de naturaleza rara. Por el aspecto de sus fructificaciones se los llaman “melena de león (lion’s mane)”. *H. erinaceus* además de ser comestible, es utilizada con fines medicinales y con gran potencial para el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas. Entre las especies que pertenecen al género podemos mencionar a *Hericum coralloides*, *Hericum alpestre*, *Hericum abietis*, *Hericum americanum*, entre otras. Las características y propiedades que presentan estos macrohongos generan una gran atracción en los consumidores.

Las especies de *Hericium* han sido domesticadas y se pueden producir basidiomas en cultivo en sistemas de producción intensivos. Actualmente se están llevando a cabo estudios de investigación enfocados en el desarrollo de sustrato, condiciones de cultivo y protocolos de cultivos para la producción de *H. rajchenbergii*. Sin embargo, *H. rajchenbergii* no se encuentra en el artículo 1249bis de Código Alimentario Argentino ni como especie cultivada ni como silvestre permitida, aunque si admite la comercialización de la especie exótica *H. erinaceus*.

COMPOSICIÓN PROXIMAL

La composición proximal de *H. rajchenbergii* se resume en la tabla 14.

Tabla 14: Composición proximal del hongo comestible *H. rajchenbergii*.

Componente	g/100 g materia seca
Humedad	8,89 ± 0,03
Cenizas	10,40 ± 0,47
Proteínas	16,35 ± 1,61
Grasas	2,99 ± 0,21
Carbohidratos ¹	61,37
Valor energético (Kcal)	337,79

Cada valor representa el promedio de 3 repeticiones ± error estándar. ¹Calculado por diferencia de 100.

La interpretación de estos resultados se expone en los siguientes apartados.

HUMEDAD

El contenido de humedad promedio determinado en *H. rajchenbergii* fue de 8,89 ± 0,03%. Estos resultados concuerdan con los reportados para *H. erinaceus* de 6,2% y 10,11% MS (Cohen et al., 2014; Rodrigues et al., 2015) y con los valores generales de humedad de los hongos comestibles deshidratados, permitiendo almacenarlo por un año aproximadamente si las condiciones de empaque son adecuadas. Las setas comestibles secas no están absolutamente libres de humedad y generalmente contienen entre 10-13% (González Matute, 2014).

CENIZAS

La especie *H. rajchenbergii* presentó un contenido de cenizas del $10,40 \pm 0,47$ %, situándose dentro del rango más alto a los niveles normales informados para hongos comestibles cultivados. Comúnmente los hongos comestibles cultivados presentan un contenido de cenizas entre un 5 y 12 % sobre la materia seca, dependiendo de la especie y del sustrato de crecimiento. En hábitats naturales las especies presentan concentraciones de minerales más elevadas ya que crecen en sustratos con mayor disponibilidad de nutrientes (Kalač, 2016).

Se han reportado concentraciones de minerales entre 6,8 - 8,6% para *H. erinaceus* cultivado (Cohen et al., 2014; Rodrigues et al., 2015; Atila et al., 2018), en tanto que se han informado valores superiores en estado silvestre, presentando un 32,89% (Egwim et al., 2011). Sin embargo, Heleno et al. (2015) analizaron la composición química de dos especies de hongos comestibles silvestres originarios de noreste de Portugal, *H. erinaceus* y *H. coralloides*, las cuales presentaron porcentajes de cenizas de 3,49% y 9,31%, respectivamente. Cabe resaltar que *H. coralloides* está morfológicamente y filogenéticamente relacionada a nuestra especie en estudio (Hallenberg et al., 2012).

En relación a otras especies cultivadas en la misma región, *H. rajchenbergii* presenta un valor similar a *A. bisporus* y superior a *P. ostreatus* y *L. edodes*. Considerando lo expuesto, *H. rajchenbergii* presenta un contenido de cenizas alto comparado con especies del mismo género y similar a otras cultivadas de la región (tabla 15).

Tabla 15: Contenidos de cenizas (g/100 g MS) en especies cultivadas del género *Hericium* y comerciales de la Argentina.

Especie	Cenizas	Referencia
<i>Hericium rajchenbergii</i>	10,40	Este trabajo
<i>Hericium erinaceus</i>	6,80	Cohen et al. (2014)
<i>Hericium erinaceus</i>	6,90	Rodrigues et al. (2015)
<i>Hericium erinaceus</i>	8,60	Atila et al. (2018)
<i>Agaricus bisporus</i> (Champiñones)	10,70	Di Anibal et al. (2015)
<i>Agaricus bisporus</i> (Portobellos)	12,03	Di Anibal et al. (2015)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	8,04	Di Anibal et al. (2015)
<i>Lentinula edodes</i>	7,50	Di Anibal et al. (2015)

PROTEÍNAS

En general el contenido proteico en las especies de hongos comestibles es el factor más variable en la composición química.

Los resultados obtenidos de *H. rajchenbergii* presentaron un valor de proteína cruda de $16,35 \pm 1,61$ g/100 g MS. Este valor hallado muestra que *H. rajchenbergii* posee niveles de proteína dentro de los rangos más altos comparado con especies del mismo género. En la literatura científica se reportan diversos contenidos proteicos para especies que conforman el género *Hericium*. En un estudio de Atila et al. (2018) determinaron en cuatro aislados de *H. erinaceus* contenidos proteicos en base seca entre 11,38 % y 20,24%, dependiendo del aislado evaluado y el medio de crecimiento. Mau et al. (2001) concuerdan con estos resultados reportando un valor proteico similar del 22,30% MS. Rodrigues et al. (2015) informaron para setas cultivadas de *H. erinaceus* una concentración de proteína cruda del 18,80% de materia seca. En condiciones de crecimiento silvestre se han reportado para *H. erinaceus* contenidos de proteína de 15,40% (Heleno et al., 2015). Considerando la especie *H. coralloides* se han informado contenidos de proteína cruda de 7,25% (Heleno et al., 2015). Todos esos estudios mencionados se realizaron en esporomas y se contempló el factor de 4,38 para el cálculo de proteína cruda. Los contenidos de proteínas determinados en estado micelial son más elevados que en los basidiomas de la especie *H. erinaceus* (Cohen et al., 2014).

Si contemplamos las especies cultivadas de mayor consumo en Argentina, *A. bisporus* (champiñón), *A. bisporus* (portobello), *P. ostreatus* (gírgola) y *L. edodes* (shiitake), observamos que los niveles proteicos informados rondan en el rango de 15,80% y 29,70% MS (Di Anibal et al., 2015), por lo cual *H. rajchenbergii* es un hongo comestible con similares características (tabla 16).

Tabla 16: Contenido de proteína cruda (g/100 g MS) en especies cultivadas.

Especie	Proteína cruda	Referencia
<i>Hericium rajchenbergii</i>	16,35	Este trabajo
<i>Hericium erinaceus</i>	20,80	Cohen et al. (2014)
<i>Hericium erinaceus</i>	18,80	Rodrigues et al. (2015)
<i>Hericium erinaceus</i>	11,38-20,24	Atila et al. (2018)
<i>Agaricus bisporus</i> (Champiñones)	23,90	Di Anibal et al. (2015)
<i>Agaricus bisporus</i> (Portobellos)	29,70	Di Anibal et al. (2015)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	15,80	Di Anibal et al. (2015)
<i>Lentinula edodes</i>	17,40	Di Anibal et al. (2015)

GRASAS

Los hongos son fuentes de alimentos bajos en calorías, principalmente tienen bajos contenidos lipídicos. El porcentaje de grasa cruda determinada en *H. rajchenbergii* fue de $2,99 \pm 0,21$ g/100 g MS, en concordancia con los valores normales de las setas comestibles. Estos resultados fueron semejantes a los publicados para la especie *H. erinaceus* informando un valor de 2,90 % de grasa cruda (Rodrigues et al., 2015). Dependiendo de las condiciones de producción la especie *H. erinaceus* ha presentado contenidos grasos entre 1,38% hasta 5% (Reis et al., 2012; Cohen et al. 2014). En condiciones de crecimiento natural, se ha informado concentraciones de 1,75% de grasa para *H. erinaceus* y 2,38% para la especie *H. coralloides* (Heleno et al., 2015).

En los hongos comestibles frecuentemente cultivados en nuestro país como champiñón, portobello, gírgola y shiitake, se han reportado contenidos de grasa cruda de 2,20% a 3,73% (Di Anibal et al., 2015), correspondiendo un valor intermedio de este rango el contenido de grasa de *H. rajchenbergii*. En un estudio realizado en setas cultivadas más comercializadas en Portugal presentaron valores de grasa cruda de 1,38 a 2,17% MS (Reis et al., 2012a).

Los niveles de grasas que presentó *H. rajchenbergii* se encuentra dentro de los valores más usuales reportados para las especies de hongos comestibles cultivados en nuestra región y las especies que forman el género *Hericiium*. Estos valores representan bajos aportes de grasas siendo ideal su incorporación en dietas hipocalóricas (tabla 17).

Tabla 17: Comparación de valores de grasa cruda (g/ 100 g MS) en especies de hongos comestibles cultivados.

Especie	Grasa cruda	Referencia
<i>Hericium rajchenbergii</i>	2,99	Este trabajo
<i>Hericium erinaceus</i>	5,10	Cohen et al. (2014)
<i>Hericium erinaceus</i>	2,90	Rodrigues et al. (2015)
<i>Agaricus bisporus</i> (Champiñones)	2,88	Di Anibal et al. (2015)
<i>Agaricus bisporus</i> (Portobellos)	3,73	Di Anibal et al. (2015)
<i>Pleurotus ostreatus</i> (Gírgola)	2,22	Di Anibal et al. (2015)
<i>Lentinula edodes</i> (Shiitake)	2,21	Di Anibal et al. (2015)
<i>Agaricus bisporus</i> (Champiñones)	2,17	Reis et al. (2012a)
<i>Agaricus bisporus</i> (Portobellos)	1,67	Reis et al. (2012a)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	1,38	Reis et al. (2012a)
<i>Lentinula edodes</i>	1,73	Reis et al. (2012a)

HIDRATOS DE CARBONO

Los carbohidratos totales cuantificados en la especie *H. rajchenbergii* fueron del 61,37 g/100 g MS. Este resultado concuerda con los valores reportados para *H. erinaceus* (Cohen et al., 2014; por Rodrigues et al., 2015). En el trabajo publicado por Heleno et al. (2015), sobre composición química de especies de crecimiento silvestre, reportaron contenidos de hidratos de carbono mayores en comparación a la misma especie cultivada, siendo para *H. erinaceus* 79,36% y para *H. coralloides* 81,06 %.

En relación a la investigación realizada en setas cultivadas en sistemas productivos de nuestro país, *A. bisporus* (champiñones y portobellos) mostraron valores de carbohidratos similares a la *H. rajchenbergii* y las especies *P. ostretus* y *L. edodes* presentaron mayores cantidades (Di Anibal et al., 2015). En otro estudio realizado para las mismas especies cultivadas en Portugal mostraron valores más altos de carbohidratos (Reis et al., 2012a) (tabla 18).

De acuerdo a estos estudios *H. rajchenbergii* se encontraría entre los contenidos de carbohidratos totales más bajos para especies cultivadas y cuya concentración es similar a *A. bisporus* (cultivado en la Argentina). Comparada con otras especies cultivadas del mismo género presenta los mismos valores de carbohidratos.

Tabla 18: Contenido de Hidratos de carbono (g/100 g MS) en hongos comestibles cultivados.

Especie	Hidratos de carbono	Referencia
<i>Hericium rajchenbergii</i>	61,37	Este trabajo
<i>Hericium erinaceus</i>	61,10	Cohen et al. (2014)
<i>Hericium erinaceus</i>	61,30	Rodrigues et al. (2015)
<i>Agaricus bisporus</i> (Champiñones)	62,21	Di Anibal et al. (2015)
<i>Agaricus bisporus</i> (Portobellos)	54,49	Di Anibal et al. (2015)
<i>Pleurotus ostreatus</i> (Gírgola)	73,91	Di Anibal et al. (2015)
<i>Lentinula edodes</i> (Shiitake)	72,86	Di Anibal et al. (2015)
<i>Agaricus bisporus</i> (Champiñones)	73,90	Reis et al. (2012a)
<i>Agaricus bisporus</i> (Portobellos)	71,50	Reis et al. (2012a)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	85,80	Reis et al. (2012a)
<i>Lentinula edodes</i>	87,10	Reis et al. (2012a)

VALOR ENERGÉTICO

La cantidad de materia seca y el contenido de grasa son los factores más importantes que inciden sobre el reducido aporte calórico de los hongos comestibles. La especie *H. rajchenbergii* registró un valor energético de 337,79 kcal/100 g MS. Este resultado es levemente inferior comparado con algunos casos de *H. erinaceus* (Cohen et al., 2014) y similar al publicado por Rodrigues et al. (2015). Otras fuentes han informado valores de energía de 394 kcal en 100 g de peso seco, pero diferenciando el aporte calórico de fibras dietarias (2 kcal) de los carbohidratos disponibles, el aporte calórico real fue de 285,15 kcal, observando una sobreestimación de 109,65 kcal (Heleno et al., 2015). Esto concuerda con lo expuesto por Kalač (2016).

En la especie de *H. coralloides* se reportaron valores calóricos de 291,14 kcal/100 g MS (Heleno et al., 2015).

Datos publicados para las setas comestibles cultivadas obtenidas de supermercados locales de Argentina, presentaron valores de energía entre 370-380 kcal/100 g MS (Di Anibal et al., 2015). En otro estudio las mismas especies provenientes de supermercados de Portugal mostraron valores energéticos inferiores y similares a *H. rajchenbergii* (Reis et al., 2012a) (tabla 19).

Tabla 19: Valor energético (Kcal / 100g MS) en hongos comestibles cultivados.

Especie	Valor energético	Referencia
<i>Hericium rajchenbergii</i>	337,79	Este trabajo
<i>Hericium erinaceus</i>	374	Cohen et al. (2014)
<i>Hericium erinaceus</i>	346	Rodrigues et al. (2015)
<i>Agaricus bisporus</i> (Champiñones)	371	Di Anibal et al. (2015)
<i>Agaricus bisporus</i> (Portobellos)	370	Di Anibal et al. (2015)
<i>Pleurotus ostreatus</i> (Gírgola)	378	Di Anibal et al. (2015)
<i>Lentinula edodes</i> (Shiitake)	381	Di Anibal et al. (2015)
<i>Agaricus bisporus</i> (Champiñones)	353	Reis et al. (2012a)
<i>Agaricus bisporus</i> (Portobellos)	345	Reis et al. (2012a)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	362	Reis et al. (2012a)
<i>Lentinula edodes</i>	360	Reis et al. (2012a)

ANÁLISIS DEL PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS

La composición del perfil de ácidos grasos de la especie *H. rajchenbergii* resultó estar conformado por 15 ácidos grasos (tabla 20).

Tabla 20: Composición del perfil de ácidos grasos de la especie *H. rajchenbergii*.

Ácidos grasos (g/100 g grasa)	Este trabajo
13:0	12,30 ± 0,58
14:0	0,44 ± 0,01
15:0	0,50 ± 0,02
16:0	29,27 ± 0,33
16:1 cis Δ^9	0,18 ± 0,01
17:0	0,28 ± 0,03
18:0	19,34 ± 0,23
18:1 cis Δ^6	0,13 ± 0,01
18:1 cis Δ^9	15,98 ± 0,37
18:1 cis Δ^{11}	2,11 ± 0,06
18:2 trans $\Delta^{9,12}$	0,22 ± 0,01
18:2 cis $\Delta^{9,12}$	17,74 ± 0,09
20:0	0,18 ± 0,01
22:0	0,14 ± 0,01
24:0	0,57 ± 0,02
SFA	63,02 ± 1,24
MUFA	18,40 ± 0,45
PUFA	17,86 ± 0,10

Los datos fueron expresados como valores medios \pm error estándar (n=3).

La composición del perfil mostró una mayor concentración de ácidos grasos saturados (63,02%), de los cuales el ácido palmítico fue el componente mayoritario, seguido del ácido esteárico y del ácido tridecanoico. La identificación y concentración que presentó el ácido tridecanoico sugiere una característica particular y exclusiva que presentaría esta especie, debido a que en la bibliografía científica de referencia no ha sido mencionado anteriormente en ninguna especie perteneciente al género *Hericiium*.

En relación a los ácidos grasos insaturados que se encuentran en cantidades apreciables, aproximadamente corresponde un 36,26% de la composición total de ácidos grasos. El componente principal fue el ácido linoleico (18:2 cis-9,12) seguido del ácido oleico (18:1 cis-9).

Estos resultados muestran que la composición del perfil lipídico de *H. rajchenbergii* es diferente al reportado para *H. erinaceus*. Comúnmente los hongos comestibles presentan mayor proporción de ácidos grasos insaturados, siendo una de las características destacadas de su composición (Sande et al., 2019). Diversas fuentes reportan como ácidos grasos representantes del perfil de la especie *H. erinaceus*, al ácido oleico, linoleico, palmítico y esteárico (Cohen et al., 2014), aspecto que comparten con el perfil de *H. rajchenbergii*. Sin embargo, difieren en las concentraciones en que se presentan estos componentes mayoritarios para la especie *H. erinaceus*. Estas comparaciones se muestran en la tabla 21.

Tabla 21: Perfil de ácidos grasos (g/100 g_{grasa}) de especies del género *Hericiium*.

	Este estudio	<i>H. erinaceus</i> ¹	<i>H. erinaceus</i> ²	<i>H. coralloides</i> ²
13:0	12,30	----	----	----
16:0	29,27	18,60	37,57	23,34
18:0	19,34	6,15	7,61	6,78
18:1 cis Δ^9	15,97	27,36	26,11	33,74
18:2 cis $\Delta^{9,12}$	17,74	38,69	25,10	30,90
SFA	63,02	27,56	47,57	33,51
MUFA	18,40	32,94	26,80	34,90
PUFA	17,86	39,50	25,63	31,90

Fuentes: ¹Rodrigues et al. (2015); ²Heleno et al. (2015).

Podemos observar que la composición reportada por Heleno et al. (2015) para la especie *H. erinaceus* es similar a los resultados obtenidos en el perfil de la especie *H. rajchenbergii*.

Los resultados del perfil lipídico de *H. rajchenbergii* mostraron como ácidos grasos predominantes los SFA. Sin embargo, aporta ácidos grasos nutricionalmente benéficos para el organismo humano, como el ácido oleico (omega 9) que interviene de manera positiva sobre la salud cardiovascular y previene enfermedades relacionadas. Además es fuente de ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico (omega 6), que tiene funciones biológicas muy importantes.

ANÁLISIS DEL PERFIL DE AMINOÁCIDOS

En la composición del perfil de aminoácidos del hongo *H. rajchenbergii* se identificaron y cuantificaron 13 aminoácidos (figura 6). Las concentraciones determinadas se resumen en la tabla 22.

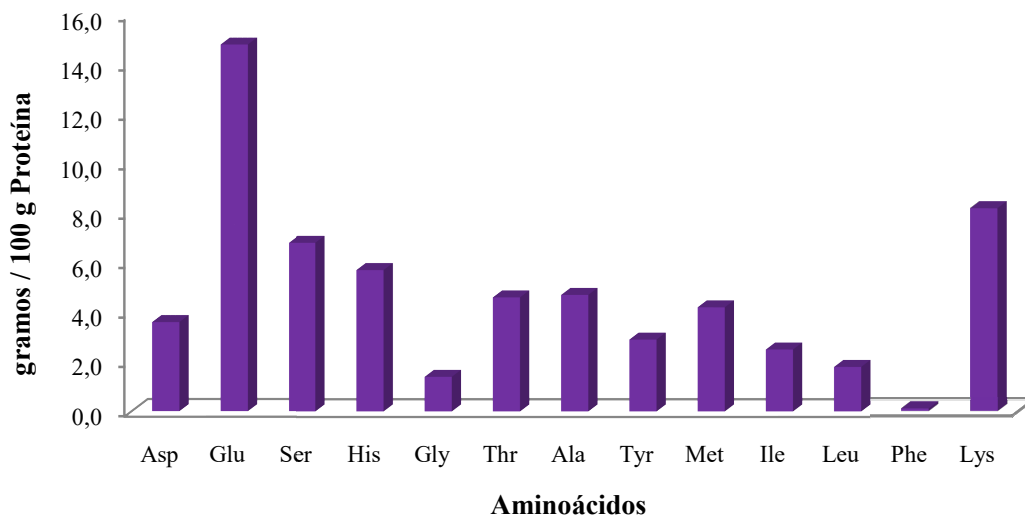


Figura 6: Perfil de aminoácidos del hongo comestible *H. rajchenbergii*. Asp: ácido aspártico, Glu: ácido glutámico, Ser: serina, His: histidina, Gly: glicina, Thr: treonina, Ala: alanina, Pro: prolina, Tyr: tirosina, Met: metionina, Ile: isoleucina, Leu: leucina, Phe: fenilalanina, Lys: lisina.

El análisis del perfil mostró una mayor proporción de aminoácidos no esenciales (56%) sobre el total de aminoácidos libres detectados. Como representantes mayoritarios de los aminoácidos no esenciales se identificó al ácido glutámico en un 14,8 % del total, seguido por la serina en un 6,8 %. En el estudio realizado por Cohen et al. (2014) informaron como aminoácidos principales al ácido glutámico y ácido aspártico en el hongo *H. erinaceus*. Sin embargo para la misma especie, Mau et al. (2001) reportaron a la alanina como aminoácido de mayor concentración.

Con respecto a los valores de aminoácidos esenciales determinados en *H. rajchenbergii*, la lisina se presentó en mayor cantidad siendo del 8,2 %. Otros estudios reportaron a la treonina (Cohen et al., 2014) y leucina (Mau et al., 2001) como representantes de los valores más altos de la especie *H. erinaceus*.

Como aminoácido esencial limitante se determinó a la fenilalanina mostrando un valor de 0,1%. Resultados similares fueron publicados por Mau et al. (2001) en la especie *H. erinaceus*, siendo los aminoácidos limitantes el triptófano y la fenilalanina. Con respecto al triptófano debido al método de hidrólisis ácida realizada, se imposibilitó su cuantificación. La concentración de arginina, prolina, valina y cisteína no pudo ser determinada.

Tabla 22: Composición porcentual de aminoácidos de las especies *H. rajchenbergii* y *H. erinaceus*.

Aminoácidos	<i>H. rajchenbergii</i> (Este trabajo)	<i>H. erinaceus</i> (Cohen et al., 2014)	<i>H. erinaceus</i> (Mau et al., 2001)
Ácido Aspártico	5,86	9,07	4,57
Ácido Glutámico	24,10	9,49	4,57
Glutamina	sd	sd	sd
Serina	11,07	5,79	3,20
Histidina	9,28	3,7	3,11
Glicina	2,28	5,23	9,42
Treonina	7,49	8,23	7,13
Arginina	sd	7,46	4,30
Alanina	sd	6,21	22,23
Prolina	sd	3,55	sd
Tirosina	4,72	3,21	sd
Valina	sd	6,28	2,74
Metionina	6,84	3,7	9,88
Cisteína	sd	2,23	sd
Isoleucina	4,07	5,37	sd
Leucina	2,93	5,93	21,77
Fenilalanina	0,16	4,04	1,83
Lisina	13,35	6,77	4,30
Triptófano	sd	sd	0,91

Considerando el análisis anterior, la composición de aminoácidos es muy variable entre especies del género *Hericium*. Referentes demuestran una notable variabilidad en

los perfiles de aminoácidos en las especies de hongos comestibles y según su procedencia pueden variar dentro de la misma.

H. rajchenbergii mostró al ácido glutámico como componente predominante, asociado al sabor umami de los hongos y con la gran aceptabilidad de los consumidores. Diversos autores relacionan la composición de aminoácidos como característica responsable del sabor que dan las cualidades culinarias deliciosas en las setas comestibles.

En comparación con el aporte de aminoácidos del huevo de gallina, distinguimos que *H. rajchenbergii* es superior en histidina, lisina y metionina (tabla 23). Esta comparación resalta el valor alimenticio en la composición proteica de esta especie de hongo comestible.

Tabla 23: Composición de aminoácidos esenciales (g de aa/ 100 g de proteína).

Aminoácidos esenciales	Resultados de este trabajo	Huevo de gallina (Chang y Miles, 2004)
Leucina	1,8	8,8
Isoleucina	2,5	6,6
Lisina	8,2	6,4
Treonina	4,6	5,1
Fenilalanina	0,1	5,8
Metionina	4,2	3,1
Histidina	5,7	2,4
Total de aminoácidos esenciales	27,1	47,1

Estos resultados de composición de aminoácidos demuestran que la seta *H. rajchenbergii* posee un notable valor nutricional, debido a la existencia y concentración de aminoácidos presentes en las proteínas animales. Podemos considerarla como una fuente alimenticia recomendada para dietas vegetarianas o limitadas en proteínas animales. La seta en estudio es una fuente rica en aminoácidos esenciales como la lisina y metionina, su incorporación en la dieta cubriría el déficit que presentan otros alimentos de alto consumo, como cereales y leguminosas. La gran diversidad en la composición de los perfiles de aminoácidos de los hongos comestibles brinda un aporte versátil de aminoácidos esenciales.

CONTENIDO DE FENOLES TOTALES

La especie *H. rajchenbergii* presentó altos contenidos de fenoles, siendo el valor promedio determinando de $16,25 \pm 0,87$ mg de ácido gálico equivalente por gramo de hongo seco (mg GAE/g MS). En comparación con otras especies del género *Hericium* (tabla 24), *H. rajchenbergii* muestra una notable superioridad. En el trabajo realizado por Atila (2019) informó una moderada a alta capacidad antioxidante en extractos metanólicos de las especies *H. erinaceus*, *H. americanum* y *H. coralloides*, resultando un contenido de fenoles totales entre 2,31 y 3,27 mg GAE/g de hongo seco. Además se ha reportado para *H. erinaceus*, cultivado en varios sustratos, valores fenólicos en un rango de 3,24 a 5,04 mg GAE/g MS (Koutrotsios et al., 2016). Las diferencias del contenido total de fenoles observadas por los investigadores entre las mismas especies pueden corresponderse a diversos aislados, tiempo de cosecha, condiciones climáticas, sustrato, métodos de secado o condiciones de extracción del método de análisis. Los niveles más elevados de fenoles en especies de hongos comestibles se presentan en extractos alcohólicos (Beltran et al., 2013). La composición de fenoles en *H. rajchenbergii* estaría formada por compuestos fenólicos polares y afines al acetato de etilo. En el trabajo de Rodrigues et al (2015), la especie *H. erinaceus* presentó una concentración fenólica en extracciones con acetato de etilo de 0,753 mg de catecol equivalente/ g de hongo seco.

El nivel de fenólicos que presentó *H. rajchenbergii* fue levemente superior comparado con otros hongos comestibles comerciales de Argentina, como champiñones, portobellos, gírgolas y shiitake, siendo las concentraciones más altas determinadas para champiñones de 15,67 mg equivalentes de GAE/ g de muestra seca (Di Anibal et al., 2015) (tabla 24).

Tabla 24: Contenido de Fenoles totales (mg GAE/ g MS) en hongos comestibles cultivados.

Especie	Fenoles Totales	Referencia
<i>Hericium rajchenbergii</i>	16,25	Este trabajo
<i>Hericium erinaceus</i>	2,34 -3,15	Atila et al. (2018)
<i>Hericium erinaceus</i>	3,24 -5,04	Koutrotsios et al. (2016)
<i>Hericium americanum</i>	2,31	Atila et al. (2018)
<i>Hericium coralloides</i>	3,27	Atila et al. (2018)
<i>Agaricus bisporus</i> (Champiñones)	15,67	Di Anibal et al. (2015)
<i>Agaricus bisporus</i> (Portobellos)	14,66	Di Anibal et al. (2015)
<i>Pleurotus ostreatus</i> (Gírgola)	14,76	Di Anibal et al. (2015)
<i>Lentinula edodes</i> (Shiitake)	11,29	Di Anibal et al. (2015)

Los resultados indican que la especie de *H. rajchenbergii* es una fuente importante de fenoles en comparación con los valores obtenidos para otras especies del mismo género y los valores reportados de las especies cultivadas más consumidas en nuestro país. Los fenoles son compuestos que cumplen un rol importante en procesos oxidativos. Los esporomas de los hongos comestibles muestran altos contenidos fenólicos y buenas propiedades antioxidantes (Reis et al, 2012). Varios estudios informan una alta correlación entre el contenido de fenoles y actividad antioxidante. Por lo que, las diferentes especies de hongos comestibles podrían ser fuentes naturales de antioxidantes de gran interés para la industria alimenticia y farmacéutica.

ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN ELEMENTAL

La composición mineral analizada en la especie *H. rajchenbergii* presentó al potasio como macroelemento mayoritario, coincidiendo con las características generales que representan a las diferentes especies de hongos comestibles (tabla 25). Los valores encontrados de K, P y Mg indican que *H. rajchenbergii* es una fuente alimenticia rica en estos elementos, dado que alimentos que presenten los siguientes valores 2670 - 4730 mg K/100 g MS, 493 - 1390 mg P/100 g MS y 20 - 200 mg Mg/100 g MS, son considerados buenas fuentes.

Teniendo en cuenta las recomendaciones de ingesta diaria, una porción de 100 g de hongo seco de *H. rajchenbergii* aporta el 100% de las recomendaciones diarias de consumo de potasio y fósforo, y aproximadamente el 50% del magnesio recomendado. La composición mineral de *H. rajchenbergii* presenta la misma tendencia que para las

setas cultivadas más comercializadas en Argentina, champiñones, portobello, gírgola y shiitake (Di Anibal et al., 2015), siendo el K, P, Mg los macrominerales de mayor concentración. Sin embargo, el contenido de potasio hallado en champiñones y portobellos fue un 50% inferior comparado con nuestra especie en estudio. En relación al fósforo se reportaron valores similares y con respecto al Mg las setas comerciales presentaron 3 veces menos del mineral que *H. rajchenbergii*.

Con respecto a otros macrominerales se hallaron en *H. rajchenbergii*, valores bajos de calcio y sodio. Comúnmente las setas comestibles contienen valores muy bajos de sodio, informando contenidos usuales entre 10 - 40 mg/100 g de hongo seco (Kalač, 2016). Con respecto al calcio concuerda con el valor reportado para champiñones y shiitake, siendo mayor el contenido en portobellos (Di Anibal et al., 2015). La especie *H. erinaceus* representa una buena fuente de muchos macro y microminerales pero su contenido varía dependiendo del sustrato y aislado (Atila et al., 2018).

En relación a los microelementos y elementos trazas que forman parte de la composición de *H. rajchenbergii*, se cuantificaron al zinc (4,74 mg/100g MS), hierro (2,54 mg/100 g MS), cobre (0,925 mg/100 g MS), manganeso (0,497 mg/100 g MS) y Se (0,028 mg/100 g MS). De acuerdo a las recomendaciones diarias de consumo (RDI), la ingesta de 100 g de hongo seco *H. rajchenbergii* cubriría alrededor del 100% de los requerimientos de Cu y Mn. Los niveles de hierro encontrados cubren aproximadamente un 14% los requerimientos nutricionales. Según la literatura, la biodisponibilidad del hierro en los hongos es alta y hasta el 90% del hierro presente puede ser absorbido (Kalač y Svoboda, 2000). Considerando al zinc la RDI se ubica entre 8 mg diarios, por lo que 100 g de hongo seco aportaría aproximadamente el 60% de la recomendación. Con respecto al aporte de selenio, es realmente importante los valores que presenta *H. rajchenbergii*, debido a que 100 g de hongo seco cubre el 50% de las RDI. El Se es un mineral traza de gran importancia por sus capacidades antioxidantes al igual que el Zn. Aunque se necesite poca cantidad para cubrir las necesidades de selenio, no siempre es fácil llegar a la cantidad recomendada con la dieta habitual. Las frutas y hortalizas son deficientes en este oligoelemento, siendo los pescados las principales fuentes.

Otros metales encontrados fueron el boro y aluminio en una concentración de 5,16 mg/100g MS y 0,36 mg/100g MS, respectivamente. Estas concentraciones son bajas y no representan niveles tóxicos, formando parte de los elementos trazas benéficos para la salud, considerándose seguro consumir hasta 20 mg diarios de boro. Cabe destacar que el CAA permite concentraciones máximas de boro de 80 mg/kg de alimento.

Tabla 25: Composición mineral de *H. rajchenbergii* (mg/100 g MS) y Recomendación de ingesta diaria.

Macrominerales	Este estudio	Recomendación diaria*
K	5715,6	4700
P	830,0	800
Mg	167,5	300-350
Ca	20,1	1000
Na	3,8	1500
Microminerales		
Fe	2,54	18
Cu	0,925	0,9
Mn	0,497	0,0018
Zn	4,74	8
Elementos trazas		
Se	0,028	0,055
Al	5,16	<1 mg
B	0,36	<1 mg

* Fuente: Tablas de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (NAS-USA) y FAO.

En este análisis se evidenció la presencia de cadmio. Sin embargo los niveles encontrados fueron de 0,06 mg /kg de hongo seco y se encuentra dentro de los límites permitidos en la legislación del CAA para alimentos en general, aunque levemente por encima del nivel permitido en setas comestibles por el CAA/Mercosur cuyo límite es de 0,05 mg/kg de alimento. Analizando la ingesta diaria admisible (IDA) por la OMS/FAO, los valores de cadmio son muy bajos y no representan un nivel tóxico en la salud de las personas. La IDA para una persona adulta de peso medio (60 kg) de la OMS/FAO es de 57–71 µg/día. Suponiendo un consumo de 1 kg de hongo seco por semana correspondería consumir 8,6 µg/día de Cd, lo cual no es posible considerarlo un riesgo toxicológico.

ANÁLISIS FTIR-ATR

En el espectro FTIR-ATR realizado en basidiomas secos de la especie de *H. rajchenbergii* se puede observar 4 regiones específicas definidas (figura 7).

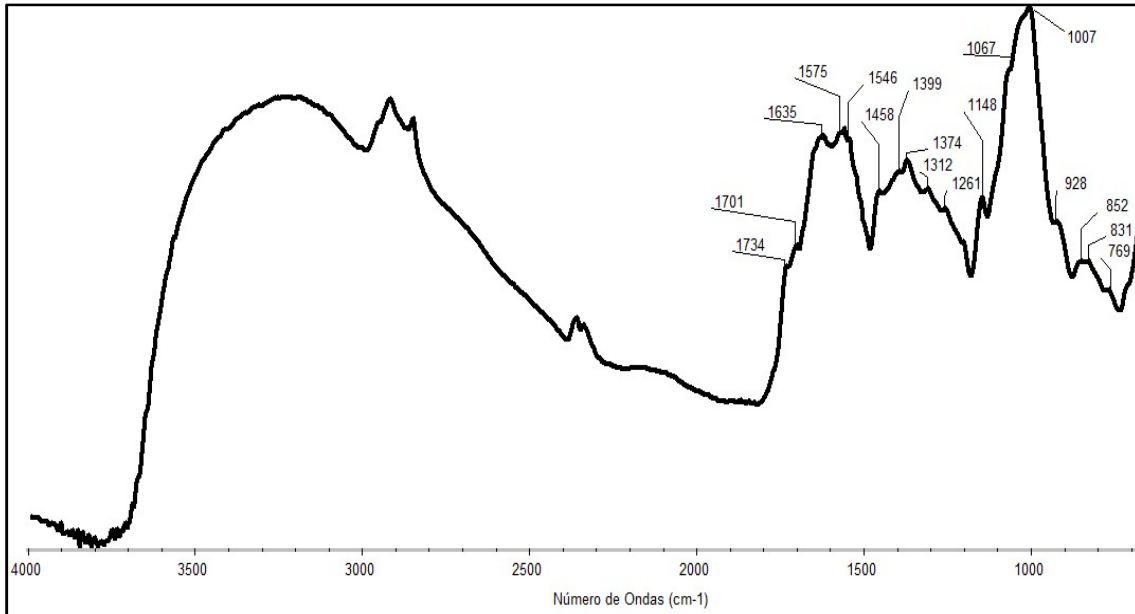


Figura 7: Espectro infrarrojo (FTIR-ATR) de fructificaciones secas de *H. rajchenbergii*

La primera región 4000–1800 cm^{-1} presentó una banda ancha prominente centrada alrededor de 3350 cm^{-1} , que podría asignarse absorciones debidas al estiramiento del enlace O-H. Dos bandas marcadas alrededor de 2900–2800 cm^{-1} fueron relacionadas al estiramiento de los grupos CH_2 y CH_3 presentes en ácidos grasos de la pared celular.

En la segunda región entre 1800–1500 cm^{-1} , se encontraron las bandas de 1635 y 1546 cm^{-1} asignado a la tensión del enlace amida I (C=O) y flexión del enlace amida II (N-H) de proteínas, la banda 1312 cm^{-1} asociada al enlace C-H de las vibraciones del esqueleto proteico y la longitud de onda de 1261 cm^{-1} asociada al enlace amida III. Estas bandas se asocian a la presencia de complejos glucano–proteínas y patrones proteicos con características de absorción similar fueron publicados en otros estudios (Gonzaga et al., 2005). Las bandas 1735 cm^{-1} corresponden a la vibración del estiramiento del carbonilo (C=O) de esteres de alquilo, indicando la presencia de aceites.

La tercer región espectral de importancia asociada con vibraciones de proteínas, lípidos y polisacáridos es la región ubicada entre 1500–750 cm^{-1} . Las bandas entre 950

y 750 cm^{-1} son consideradas importantes en la identificación de la configuración anomérica de polisacáridos en hongos comestibles, se ha asignado la banda de 890 cm^{-1} a (1-3)- β -glucósidos y $860\text{--}810\text{ cm}^{-1}$ a los α -glucósidos (Rodrigues et al., 2015; Mohaček-Grošev et al., 2001).

Las longitudes de banda encontradas en el espectro de *H. rajchenbergii*, vinculadas a la presencia de polisacáridos fueron 1374, 1312, 1148, 1067, 1007, 928, 852, 831 y 769 cm^{-1} . Varios estudios han demostrado que bandas similares detectadas por espectroscopia IR están vinculadas a residuos de azúcares con estructura piranosa (Li et al., 2016).

La cuarta región $950\text{--}750\text{ cm}^{-1}$ es importante para la identificación de polisacáridos. La banda 1374 cm^{-1} observada puede asociarse con la presencia de β -glucanos, de acuerdo con Barbosa et al. (2003) las bandas de 1370 cm^{-1} son características de β -glucanos. Las bandas 928, 852 y 831 están asociadas a los α -1,6 glucanos y α -1,3 glucanos (Zhao et al., 2006a, b). La banda de 769 cm^{-1} asociada a los β -1,3-glucanos. Estos resultados concuerdan con el estudio realizado en diferentes setas por Mohaček-Grošev et al. (2001), quienes concluyeron que estas bandas se utilizan para identificar los tipos de glucanos presentes.

Este estudio vibracional realizado en *H. rajchenbergii* demostró la presencia de α glucanos y β glucanos, que son polisacáridos con propiedades beneficiosas para la salud. Estos polisacáridos son metabolitos bioactivos de alto valor medicinal, se ha demostrado que están relacionados con actividades inmunomoduladoras, antitumorales, antiinflamatorias y carcinostáticas. La especie *H. erinaceus* se encuentra entre los 10 mejores hongos con actividades inmunomoduladoras (El Enshasy y Hatti-Kaul, 2013). De acuerdo a lo expuesto se justifica continuar con estudios de aislamiento y caracterización de los polisacáridos presentes en la especie *H. rajchenbergii* para comprender mejor su actividad bioactiva.

CONCLUSIONES PARCIALES

Sobre los datos de composición determinados, la especie *H. rajchenbergii* presentó los siguientes valores expresados en base seca: carbohidratos 61,37%; proteína cruda $16,35 \pm 1,61\%$; grasa cruda $2,99 \pm 0,21\%$ y $10,40 \pm 0,47\%$ de cenizas. El contenido de humedad fue $8,89 \pm 0,03\%$; valor característico de los hongos deshidratados. Los hidratos de carbono fueron los componentes predominantes. El valor energético calculado fue de 337,79 Kcal/100 g MS, proporcionando un reducido aporte calórico.

El perfil de ácidos grasos mostró una predominancia de los SFA (63,02%) sobre los MUFA (18,40%) y PUFA (17,86%). El ácido graso saturado principal fue el ácido palmítico. Los ácidos grasos insaturados mayoritarios fueron el ácido lineoleico seguido del ácido oleico. Los resultados de este análisis demuestran que la seta en estudio es una fuente alimenticia de ácidos grasos saludables (omega 9) y esenciales (omega 6).

El ácido glutámico fue el aminoácido predominante del perfil de aminoácidos resultando un 14,8% del total, responsable del sabor umami de las setas y asociado a la gran aceptabilidad del consumidor. Dentro de los aminoácidos esenciales, los predominantes fueron la lisina (8,2%) seguida de histidina y treonina. Se encontró como aminoácido limitante a la fenilalanina. La composición de aminoácidos demostró ser una fuente de gran valor nutricional, debido a que presenta aminoácidos que constituyen proteínas animales y comparado con la composición proteica del huevo de gallina resultó el contenido de histidina 2,25 veces mayor, como así también superior en el contenido de lisina y metionina.

Los valores de fenoles encontrados en *H. rajchenbergii* fueron de 16,25 mg GAE/g MS, mostrando valores más altos de fenoles comparada con otras especies del mismo género. Estos resultados muestran que la especie en estudio es una importante fuente alimenticia de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante.

H. rajchenbergii presenta un aporte mineral valioso como fuente alimenticia. La ingesta de 100 g de hongo seco aporta el total de los requerimientos diarios de potasio, fósforo, cobre, manganeso, el 60% de zinc, el 50% del magnesio y selenio. Es reducido en calcio y sodio. Los niveles hallados de cadmio se encuentran dentro de los límites permitidos en la legislación del CAA para alimentos en general y levemente por encima a los niveles admitidos por la resolución del CAA/Mercosur. La IDA para una persona adulta de peso medio (60 kg) de la OMS/FAO es de 57–71 $\mu\text{g}/\text{día}$. Suponiendo un

consumo de 1 kg de hongo seco por semana correspondería consumir 8,6 $\mu\text{g}/\text{día}$ de Cd, lo cual no es posible considerarlo un riesgo toxicológico.

Los espectros vibracionales por FTIR-ATR mostraron la presencia compuestos bioactivos, identificados como polisacáridos de estructura β -glucanos y α -glucanos que están relacionados con propiedades inmonomoduladoras y antitumorales.

CONCLUSIÓN GENERAL

El trabajo de investigación realizado en el marco de esta Tesis permitió la caracterización química y nutricional de las especies de hongos comestibles *Phlebopus bruchii* y *Hericium rajchenbergii*, proporcionando la primera información científica de referencia del valor nutricional y atributos alimentarios de dos especies nativas y endémicas de nuestra región.

La composición química de las especies en estudio presentó porcentajes de humedad característicos de los hongos deshidratados. Los carbohidratos resultaron ser los constituyentes mayoritarios. Son alimentos hipocalóricos por el aporte reducido de grasas (2,99 - 4,45 g/100 g MS). Los valores energéticos fueron de 318 y 338 Kcal/ 100 g MS.

Los perfiles lipídicos identificaron como ácidos grasos principales al ácido linoleico, oleico, palmítico y esteárico, que concuerda con las características generales de hongos comestibles. Sin embargo, las concentraciones de PUFA, MUFA y SFA presentan diferencias, dependiendo de la especie. En *P. bruchii* predominan los ácidos grasos PUFA seguidos de los MUFA, correspondiendo un 72,2 % del perfil lipídico ácidos grasos insaturados. En *H. rajchenbergii* son predominantes los SFA (63%), siendo el principal el ácido palmítico seguido por el ácido esteárico. Ambas especies de hongos comestibles son fuentes alimenticias de ácidos grasos insaturados de calidad nutricionalmente deseables como son el ácido oleico y linoleico. El ácido oleico forma parte de la serie omega 9 y es conocido por su eficacia en la reducción de los niveles de colesterol, triglicéridos en sangre y prevención del desarrollo de problemas cardiovasculares. El ácido linoleico pertenece a la serie omega 6 y es un ácido esencial que no puede ser sintetizado por el organismo humano y debe incorporarse con la alimentación.

El contenido de proteína cruda que presentaron ambas especies fue del 16%, indicando que son fuentes alimenticias abundantes en este macronutriente. La composición y concentración del perfil de aminoácidos demostró que las setas poseen un notable valor nutricional y están conformados por aminoácidos presentes en las proteínas animales. En dietas vegetarianas o limitadas en proteína animal, la incorporación de estos hongos puede cubrir el déficit de aminoácidos esenciales que existe en este tipo de regímenes alimentarios. Ambas especies contienen lisina y

metionina. Aportan mayores concentraciones que la proteína del huevo y son superiores a las proteínas vegetales, como los cereales y las leguminosas, siendo ambos limitados en lisina y metionina. Otros aminoácidos esenciales que forman el perfil proteico son la isoleucina, histidina, treonina y leucina. La prolina y fenilalanina fueron identificados como los aminoácidos limitantes. Dentro de los aminoácidos no esenciales, los predominantes son el ácido glutámico y ácido aspártico, ambos compuestos son potenciadores del sabor y responsables del sabor umami en las setas. La gran diversidad en la composición de los perfiles de aminoácidos de los hongos comestibles brindaría un aporte versátil de aminoácidos esenciales.

Las especies en estudio constituyen importantes fuentes de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante, presentando un contenido de fenoles totales entre 12,93 - 16,25 mg GAE/g MS. Los polifenoles protegen al organismo del estrés oxidativo y tienen un efecto positivo sobre la salud humana. Estos compuestos naturales tienen una gran variedad de acciones biológicas que incluyen la eliminación de radicales libres, actividades de quelación de metales y modulación de enzimas, inhibición de la oxidación de LDL, entre otros.

Ambos hongos comestibles presentan contenidos minerales de importancia nutricional. La ingesta de 100 g de hongo seco aporta el total de los requerimientos diarios de K, entre el 80-100% de P, 50% de Mg, 100% de los microelementos Fe y Cu, 80-100% de Mn y 60-100% de Zn. Son reducidos en sodio (3,2 - 3,8 mg/ 100 g MS) y calcio (20,1 - 26,1 mg/ 100 g MS). La especie *H. rajchenbergii* contiene cantidades apreciables de selenio y cubre el 50 % del requerimiento diario. El Se es un elemento que tiene propiedades antioxidantes en el organismo y protege a los tejidos de la oxidación. El perfil elemental mostró la presencia de metales pesados como plomo, arsénico y cadmio, sin embargo los niveles hallados se encuentran dentro de los límites permitidos en la legislación del CAA. La ingestión diaria admisible de la OMS/FAO para una persona adulta de peso medio (60 kg) es de 57–71 µg de Cd/día, 215 µg de Pb/día y 128 µg de Ar/día. El consumo de 1 kg de hongo seco por semana corresponde a una ingesta diaria entre 8,6 - 11 µg de Cd; 20,6 µg de Pb y 37 µg de As, lo cual no es posible considerarlo un riesgo toxicológico.

Los espectros vibracionales por FTIR-ATR de ambas especies mostraron la presencia de β-glucanos, α-glucanos y complejos glucano-proteínas como representantes de los polisacáridos no celulósicos. Estos compuestos tienen un gran interés por sus propiedades biactivas, están relacionados con actividades que aumentan

la respuesta inmunológica e incrementan los efectos que retardan el crecimiento de los tumores. Los β -glucanos son los polisacáridos que más propiedades tienen y se encuentran en algunas de las especies de hongos más consumidas como el género *Pleurotus*, shiitake, *Grifola frondosa* y *Ganoderma*, entre otras especies. Todos ellos tienen importantes propiedades antioxidantes, antitumorales, antiglicémicas, inmunomoduladoras e incluso se ha asociado a *Pleurotus* y shiitake con efectos beneficiosos sobre el metabolismo lipídico.

PERSPECTIVAS FUTURAS

El trabajo de investigación realizado en el marco de esta tesis permitió generar las primeras bases de composición química y nutricional de dos especies endémicas nativas de nuestra provincia, necesarias para la elaboración de rótulos nutricionales en los productos comercializados en mercados locales y la incorporación de la especie *H. rajchenbergii* en el Código Alimentario Argentino.

P. bruchii y *H. rajchenbergii* son especies en peligro de extinción, fueron evaluadas y aceptadas en la categoría CR (críticamente amenazadas) de la IUCN, por dicha razón es primordial desarrollar técnicas de cultivo sustentables que frenen las prácticas de recolección silvestre. Conjuntamente se producirán alimentos más seguros y disponibles durante todo el año.

Los hongos alimenticios presentan amplias cualidades nutritivas, lo que hace necesario que se amplíe la temática con estudios científicos enfocados en identificar y caracterizar químicamente nuevas especies silvestres nativas y exóticas presentes en Córdoba, y en la actualidad son prácticamente inexistentes. Asimismo es esencial desarrollar estudios vinculados a la calidad y biodisponibilidad de las proteínas de los hongos comestibles, como así también generar bases científicas que demuestren las cualidades nutricionales, medicinales y culinarias de los hongos comestibles.

En la Argentina el consumo de hongos comestibles no es un hábito cultural característico, es fundamental generar campañas de difusión promotoras que informen a la población sobre las propiedades de los hongos comestibles.

BIBLIOGRAFÍA

- AACC, (2001). American Association of Cereal Chemists. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World* 46 (3): 112-126.
- AOAC International, (1999). Official methods of analysis of the association of official analysis chemist. 16th ed., 5th Revision. Gaithersburg, USA: AOAC International.
- Adewusi S. R. A., Alofe F. V., Odeyemi O., Afolabi O. A., y Oke O. L., (1993). Studies on some edible wild mushrooms from Nigeria: 1. Nutritional, teratogenic and toxic considerations. *Plant Foods for Human Nutrition*, 43: 115-121.
- Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica. (ANMAT), Código Alimentario Argentino (CAA). Capítulo III y XVI, (2019/2021). <https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario>
- Agrawal R. P., Chopra A., Lavekar G. S., Padhi M. M., Srikanth N., Ota S., Jain S., (2010). Effect of oyster mushroom on glycemia, lipid profile and quality of life in type 2 diabetic patients. *Australian Journal of Herbal Medicine*, 22: 50-54.
- Alam N., Amin R., Khan A., Ara I., Shim M. J., Lee M. W. y Lee T. S., (2008). Nutritional analysis of cultivated mushrooms in Bangladesh – *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus sajor-caju*, *Pleurotus florida* and *Calocybe indica*. *Mycobiology* 36: 228-232.
- Albertó E. y Gasoni L., (2003). Producción de Hongos Comestibles en la Argentina. *Idia XXI*, 5: 70-76.
- Albertó E., (2007). Cultivo Intensivo de los Hongos Comestibles. Editorial Hemisferio Sur. ISBN: 878-950-504-598-3.
- Albertó E., Curvetto N., Deschamps J., González Matute R. y Lechner B., (2010). Hongos silvestres y de cultivo en la Argentina: historia, regiones y sistemas de producción, consumo, mercado interno y externo, legislación, oferta tecnológica e investigación y desarrollo. Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales: Producción, Desarrollo y Consumo. ISBN 970-9752-01-4.
- Alimentos Argentinos, (2014). Hongos, posibilidades de una suave delicia. N° (61). Secretaria de Agricultura, Gandería y Pesca. www.alimentosargentinos.gob.ar
- Allen S. J., Watson J. J., Shoemark D. K., Barua N.U., Patel N. K., (2013). GDNF, NGF and BDNF as therapeutic options for neurodegeneration. *Pharmacol. Ther.*, 138: 155-175.

- Alvarez-Parrilla E., de la Rosa L. A., Martínez N. R., y González Aguilar G. A., (2007). Fenoles totales y capacidad antioxidante de hongos comerciales y silvestres de Chihuahua, México. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, 5 (5): 329-334.
- Atala D., Baudo F., Álvarez Igarzabal M. A., Fernández F., Medina A. M., Miatello R. A., y Sonzini B., (2009). Proceso y Programa de Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos de la Provincia de Córdoba. Módulo de Gestión Ambiental Sierras y Pampas de Altura. Secretaria de Ambiente de la Provincia de Córdoba. Córdoba, Argentina, pp. 202.
- Atila F., (2019). Comparative evaluation of the antioxidant potential of *Hericium erinaceus*, *Hericium americanum* and *Hericium coralloides*. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 18(6), 97–106. DOI: 10.24326/asphc.2019.6.10
- Atila F., Tuzel Y., Fernández J. A., Faz Cano A., y Sen F., (2018). The effect of some agro– industrial wastes on yield, nutritional characteristics and antioxidant activities of *Hericium erinaceus* isolates. *Scientia Horticulturae*, 238: 246–254.
- Aya F. A., Torun H., Özel A., Col M., Duran C., y Sesli E., (2011a). Nutritional value of some wild edible mushrooms from the Black Sea region (Turkey). *Turk. J. Biol.*, 36: 385–393.
- Barboza A. M., Steluti R. M., Dekker R. F. H., Cardoso M. S., Corradi da Silvaca M. L., (2003). Structural characterization of Botryosphaeran: a (1→3;1→6)-β-D-glucan produced by the ascomyceteous fungus, *Botryosphaeria* sp. *Carbohydrate Research*, 338: 1691-1698.
- Barroetaveña C., y Toledo C. V., (2016). Hongos Silvestres Comestibles Novedosos en el Bosque Nativo y en las Plantaciones de Patagonia Andina, Argentina. *Ciencia e Investigación Forestal*, 22 (3): 73 - 88. ISSN: 0716-5994.
- Barros L., Baptista P., Correia D., Casal S., Oliveira B., y Ferreira I. C. F. R., (2007). Fatty acid and sugar compositions and nutritional value of five edible mushrooms from Northeast Portugal. *Food Chem.*, 105: 140-145.
- Barros L., Ventuizini B. A., Baptista P., Estevinho L.M., y Ferreira I.C.F.R., (2008a). Chemical composition and biological properties of Portuguese wildmushrooms: a comprehensive study. *J. Agric. FoodChem.*, 56: 3856-3862.
- Blanco D., Fajardo J., Verde A., y Rodríguez C. A., (2012). Etnomicología de los hongos del género *Suillus*, Una visión global. *Bol. Soc. Micol. Madrid*, 36: 175-186.

- Beelman R. B., y Edwards C. G., (1989). Variability in the composition and nutritional value of the cultivated mushrooms *Agaricus bisporus*. *Mushroom News*, 37: 17-26.
- BeltranDelgado Y., Morris Quevedo H. J., de la Cruz E. R., Quevedo Morales Y., y Bermúdez Savón C., (2013). Contenido de fenoles totales en extractos de *Pleurotus* obtenidos con solventes de diferente polaridad. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 32(2): 121-129.
- Beluhan S., y Ranogajec A., (2011). Chemical composition and non-volatile components of Croatian wild edible mushrooms. *Food Chem.*, 124: 1076-1082.
- Bengu A. S., (2019). Some elements and fatty acid profiles of three different wild edible mushrooms from Tokat province in Turkey. *Progress in Nutrition*, 21(1): 189-193.
- Bidegain M. A., (2017). Optimización del cultivo de *Ganoderma lucidum*. Evaluación de actividad y desarrollo de nutraceuticos. Tesis doctoral en Cinecia y tecnología de los alimentos. Universidad Nacional del Sur. Bahia Blanca, Argentina.
- Boa E., (2005). Hongos silvestres comestibles. FAO. ISBN 92-5-305157-4. Roma, Italia.
- Chan J. Y., Chan E., Chan S. W., Sze S. Y., Chan M. F., Tsui S. H., Leung K. Y., Chan R. Y., Chung I. Y., (2011). Enhancement of *in vitro* and *in vivo* anticancer activities of polysaccharide peptide from *Grifola frondosa* by chemical modifications. *Pharmaceutical Biology*, 49 (11): 1114-1120.
- Chang, S. T., y Miles, P. G., (2004). Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect and environmental impact. 2^{da} ed. CRC Press LLC. ISBN 0-8493-1043-1. United States.
- Cheskin L. J., Davis L. M., Lipsky L. M., Mitola A. H., Lycan T., Mitchell V., Mickle B., y Adkins E., (2008). Lack of energy compensation over 4 days when white button mushrooms are substituted for beef. *Appetite*, 51: 50-57.
- Cheung P. C. K., (2008). Mushrooms as functional foods. Editorial John Wiley & Sons. Wiley: Hoboken, NJ.
- Chiu C.H., Chyau C.C., Chen C.C., Lee L.Y., Chen W.P., Liu J.L., Lin W.H., y Mon M.C., (2018). Erinacine A-enriched *Hericium erinaceus* mycelium produces antidepressant-like effects through modulating BDNF/PI3K/Akt/GSK-3_β signaling in mice. *Int. J. Mol. Sci.*, 19: 341.
- Ciappini M. C., Gatti B., y López Zamora M. L., (2004). *Pleurotus ostreatus*, una opción en el menú: estudio sobre las gírgolas en la dieta diaria. *INVENIO*, 127-132.

- Choong Y. K., Sun S-Q., Zhou Q., Ismail Z., Rashid B. A. A., Tao J-X., (2011). Determination of storage stability of the crude extracts of *Ganoderma lucidum* using FTIR and 2D-IR spectroscopy. *VibSpectrosc*, 57:87–96. <http://doi.org/10.1016/j.vibspec.2011.05.008>
- Cohen N., Cohen J., Asatiani M. D., Varshney, V. K., Yu H., Yang Y., Li Y., Mau J., y Wasser S. P., (2014). Chemical Composition and Nutritional and Medicinal Value of Fruit Bodies and Submerged Cultured Mycelia of Culinary-Medicinal Higher Basidiomycetes Mushrooms. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 16(3): 273–291.
- Combet E., Henderson J., Eastwood D. C., y Burton K. S., (2006). Eight-carbon volatiles in mushrooms and fungi: properties, analysis, and biosynthesis. *Mycoscience*, 47: 317-326.
- Curvetto N., (2005). Manual del Cultivador de Hongos 1: El Hongo Ostra, versión en español de “MushroomGrowers' Handbook 1: Oyster Mushroom Cultivation”. *Mush World*. Corea. ISSN 1739-1377.
- Dabbour I., y Takruri H. R., (2002). Protein quality of four types of edible mushrooms found in Jordan. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57: 1-11.
- Deacon J. W., (2006). *Fungal Biology*. Blackwell Publishing. https://issuu.com/ale2228/docs/fungal_biology_deacon_2006
- De Michelis A., y Rajchenberg M., (2006). *Hongos Comestibles: Teoría práctica para la recolección, elaboración y conservación*. Instituto Nacional de Tecnología agropecuaria, Estación Experimental Agropecuaria Bariloche. Bariloche, Argentina. ISBN 1667-4006
- Deschamps J., y Moreno G., (1999). *Phlebopus bruchii* (Boletales): an edible fungus from Argentina with possible commercial value. *Mycotaxon*, 72: 205-213.
- Deschamps J. R., (2002). *Hongos silvestres comestibles del Mercosur con valor gastronómico*. Documento de Trabajo N° 86, Universidad de Belgrano. Buenos Aires, Argentina.
- Di Anibal C., Farenzena S., Rodríguez M. S., y Albertengo L., (2015). Chemical composition and nutritional value of Argentine commercial edible mushrooms. *J. Verbr. Lebensm*, 10: 155-164.
- Diez V. A., y Alvarez A., (2001). Compositional and nutritional studies on two wild edible mushrooms from northwest Spain. *Food Chemistry*, 75: 417-422.

- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W., InfoStat versión (2015). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dundar A., Acay H., y Yildiz A., (2008). Yield performances and nutritional contents of three oyster mushroom species cultivated on wheat stalk. *African Journal of Biotechnology*, 7: 3497-3501.
- Egwim E. C., Elem R. C., y Egwuche R. U., (2011). Proximate composition, phytochemical screening and antioxidant activity of ten selected wild edible Nigerian mushrooms. *Am. J. Food. Nutr.* 1 (2): 89-94.
- El Enshasy H. A., y Hatti-Kaul R., (2013). Mushroom immunomodulators: unique molecules with unlimited applications. *Trends in Biotechnology*, 31 (12): 668-677 <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.09>.
- FAO (Food and Agriculture Organization), (1991). Protein quality evaluation. Food and Agricultural Organization of the United Nations: Rome.
- Flamini M., Robledo G. L., Suárez M. E., (2015). Nombres y clasificaciones de los hongos según los campesinos de La Paz (Valle de Traslasierra, Córdoba, Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.*, 50 (3): 265-289.
- Fernandes Â., Barreira J. C. M., Antonio A. L., Oliveira M. B. P. P., Martins A., y Ferreira I. C. F. R., (2014b). Feasibility of electron-beam irradiation to preserve wild dried mushrooms: effects on chemical composition and antioxidant activity. *Innov. Food Sci. Eng. Technol.*, 22: 158-166.
- Folin C., y Ciocalteu V., (1927). Tyrosine and tryptophan determination in protein. *J. Biol. Chem.*, 73: 627-650.
- Ghorai S., Banik S. P., Verma D., Chowdhury S., Mukherjee S., y Khowala S., (2009). Fungal biotechnology in food and feed processing. *Food Res. Int.*, 42: 577-587.
- Gonzaga M. L. C., Ricardo N. M. P. S., Heatley F., y Soares S. D. A., (2005). Isolation and characterization of polysaccharides from *Agaricus blazei*. *Murill. Carbohydr Polym*, 60: 43-49.
- González Matute R., (2014). Generalidades del cultivo de hongos. Laboratorio de Hongos Comestibles y Medicinales CERZOS – CONICET.
- Guedes de Pinho P., Ribeiro B., Gonçalves R. F., Baptista P., Valentão P., Seabra R. M., y Andrade P. B., (2008). Correlation between the pattern volatiles and the overall aroma of wild edible mushrooms. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56: 1704-1712.

- Guillamón E., García-Lafuente A., Lozano M., D'Arrigo M., Rostagno M. A., Villares A., y Martínez J. A., (2010). Edible mushrooms: Role in the prevention of cardiovascular diseases. *Fitoterapia*, 81: 715-723.
- Hallenberg N., Henrik Nilson R. y Robledo G., (2012). Species complex in *Hericium* (Russurales, Agarimycota) and new species - *Hericium rajchenbergii* - from southern South America. *Mycological Progress*.
- Halpern G. M., (2007). *Healing Mushrooms*. Square One Publishers, Garden City Park.
- Heleno, S .A., Barros, L., Sousa, M. J., Martins, A., Santos-Buelga, C., Ferreira, I. C. F. R., (2011). Targeted metabolites analysis in wild *Boletus* species. *LWT-Food Sci. Technol.*, 44: 1343-1348.
- Heleno S. A., Barros L., Martins A., Queiroz, M. J. R. P., Morales P., Fernández-Ruiz V., (2015). Chemical composition, antioxidant activity and bioaccessibility studies in phenolic extracts of two *Hericium* wild edible species. *LWT-Food Sci. Technol.*, 63: 475–481.
- Hong S. A., Kim K., Nam S. J., Kong G., y Kim M. K., (2008). A case-control study on the dietary intake of mushrooms and breast cancer risk among Korean women. *International Journal of Cancer*, 122: 919-923.
- International Union for Conservation of Nature's (IUCN), <http://iucn.ekoo.se/en/iucn/welcome>
- Jayakumar T., Thomas P. A., y Geraldine P., (2007). Protective effect of an extract of the oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus*, on antioxidants of major organs of aged rats. *Experimental Gerontology*, 42: 183-191.
- Jaworska G., y Bernaś E., (2012). Amino acid content of frozen *Agaricus bisporus* and *Boletus edulis* mushrooms: effects of pretreatments. *Int. J. Food Prop.* 16, 139-153.
- Jaworska G., y Bernaś E., (2013). Amino Acid Content of Frozen *Agaricus bisporus* and *Boletus edulis* Mushrooms: Effects of Pretreatments. *International Journal of Food Properties*, 16(1): 139-153. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.526278>
- Jaworska G., Pogoń, K., Bernaś, E., Skrzypczak, A., y Kapusta, I., (2014). Vitamins, phenolics and antioxidant activity of culinary prepared *Suillus luteus* (L.) Roussel mushroom. *LWT. Food Sci. Technol.* 59: 701–706.
- Kalač P., y Svoboda L., (2000). A review of trace element concentrations in edible mushrooms. *Food Chemistry*, 69: 273–281.

- Kalač P., (2009). Chemical composition and nutritional value of European species of wildgrowing mushrooms: A review. *Food Chemistry*, 113(1): 9-16.
- Kalač P., (2013). A review of chemical composition and nutritional value of wildgrowing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(2): 209-218.
- Kalač P., (2016). *Edible Mushrooms. Chemical Composition and Nutritional Value*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00471-3>
- Kalogeropoulos N., Yanni A. E., Koutrotsios G., y Aloupi M., (2013). Bioactive microconstituents and antioxidant properties of wild edible mushrooms from the island of Lesbos, Greece. *Food Chem. Toxicol.*, 55: 378–385.
- Kavishree S., Hemavathy J., Lokesh B. R., Shashirekha M. N., y Rajarathnam S., (2008). Fat and fatty acids of Indian edible mushrooms. *Food Chem.*, 106: 597-602.
- Kim M. Y., Chung I. M., Lee S. J., Ahn J. K., Kim E. H., y Kim M. J., (2009). Comparison of free aminoacid, carbohydrates concentrations in Korean edible and medicinal mushrooms. *Food Chemistry*, 113: 386-393.
- Koustrotsios G., Larou E., Mountzouris K. C., y Zervakis G. I., (2016). Detoxification of Olive Mill Waste water and Bioconversion of Olive Crop Residues into High-Value-Added Biomass by the Choice Edible Mushroom *Hericium erinaceus*. *Appl Biochem Biotechnol*. [Http//: doi 10.1007/s12010-016-2093-9](http://doi.org/10.1007/s12010-016-2093-9)
- Kuklinski C., (2003). *Nutrición y Bromatología*. Ed. Omega, Barcelona, España, pp. 34.
- Le Fosse G. H., Aznarez F., Leskovar M., y Pallaro R., (2006). Investigación de mercado de oferta y demanda de hongos en la República Argentina. Centro de Documentación del Consejo Federal de Inversiones.
- Lechner B. E., y Albertó E., (2007). Optimal conditions for the fruitbody production of naturally occurring strains of *Lentinus tigrinus*. *Biores. Technol.* 98: 1866-1869. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.07.036>
- Li, Q. Z., Wu, D., Zhou, S., Liu, Y. F., Li, Z. P., y Feng, J., (2016). Structure elucidation of a bioactive polysaccharide from fruiting bodies of *Hericium erinaceus* in different maturation stages. *Carbohydrate Polymers*, 144: 196–204.
- Lindequist U., Niedermeyer T. H. J., y Jülich W. D., (2005). The pharmacological potential of mushrooms. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*, 2: 285-299.

- Liu Y., Chen D., You Y., Zeng S., Li Y., Tang Q., Han G., Liu A., Feng C., Li C., Su Y., Su Z., y Chen D., (2016). Nutritional composition of boletus mushrooms from Southwest China and their antihyperglycemic and antioxidant activities. *Food Chemistry*, 211: 83-91.
- Maestri D., Martinez M., Bodoira R., Rossi Y., Oviedo A., Pierantozzi P. y Torres M., (2015). Variability in almond oil chemical traits from traditional cultivars and native genetic resources from Argentina. *Food Chemistry*, 170: 55–61.
- Mdachi S. J. M., Nkunya M. H. H., Nyigo V. A., y Urasa I. T., (2004). Amino acid composition of some Tanzanian wild mushrooms. *Food Chemistry*, 86: 179-182.
- Maga J., (1981). Mushroom flavor. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 29: 1-4.
- Manzi P., Grambelli L., Marconi S., Vivanti V., y Pizzoferrato L., (1999). Nutrients in edible mushrooms: an interspecies comparative study. *Food Chemistry*, 65 (4): 477-482.
- Manzi P., Marconi S., Aguzzi A. y Pizzoferrato L., (2004). Commercial mushrooms: nutritional quality and effect of cooking. *Food Chemistry*, 84: 201-206.
- Mattila P., Konko K., Euroola M., Pihlava J. M., Astola J., Vahteristo L., Hietaniemi V., Kumpulainen J., Valtonen M., y Piironen V., (2001). Contents of vitamins, mineral elements and some phenolic compounds in cultivated mushrooms. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49: 2343-2348.
- Mattila P., Lampi A. M., Ronkainen R., Toivo J., y Piironen V., (2002). Sterol and vitamin D2 contents in some wild and cultivated mushrooms. *Food Chemistry*, 76: 293-298.
- Mau J. L., Lin H. C., Ma J. T., y Song S. F., (2001). Non-volatile taste components of several speciality mushrooms. *Food Chemistry*, 73: 461–466.
- Mohaček-Grošev V., Božac R., y Puppels G. J., (2001). Vibrational spectroscopic characterization of wild growing mushrooms and toads tool spectrochim Acta. Part A. *Mol Biomol Spectrosc*, 57: 2815-2829.
- Mori K., Obara Y., Hirota M., Azumi Y., Kinugasa S., Inatomi S., y Nakahata N., (2008). Nerve growth factor-inducing activity of *Hericium erinaceus* in 1321N1 human astrocytoma cells. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 31: 1727-1732.
- Mulinacci N., Romani A., Galardi C., Pinelli P., Giaccherini C. y Vincieri F. F., (2001). Polyphenolic Content in Olive Oil Waste Waters and Related Olive Samples. *J. Agric. Food Chem.*, 49 (8): 3509-3514.

- Nielsen S., (2017). Food Analysis, Food Science Text Series. Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_36
- Niveiro N., Popoff O. F., y Albertó E. O., (2009). Edible wild mushrooms: exotic species of *Suillus* (Boletales, Basidiomycota) and *Lactarius* (Russulales, Basidiomycota) associated to culture of *Pinus elliottii* in northeastern Argentina. *Bonplandia*, 18(1): 65-71. ISSN: 0524-0476.
- Nouhra E., (1999). Novedades de Boletáceas en el centro de la Argentina. *Kurtziana*, 27 (1): 403-423.
- Nouhra E., Urcelay C., Becerra A., y Domínguez L., (2008). Mycorrhizal status of *Phlebopus bruchii* (Boletaceae): Does it form ectomycorrhizas with *Fagara coco* (Rutaceae)? *SYMBIOSIS*, 46: 113-120.
- Ouzouni P. K., y Riganakos K. A., (2007). Nutritional value and metal content of Greek wild edible fungi. *Acta Alimentaria*, 36: 99-110.
- Pacheco Y. M., López S., Bermúdez B., Abia R., Villar J., y Muriana F. J. G., (2008). A meal rich in oleic acid beneficially modulates postprandial sICAM-1 and sVCAM-1 in normotensive and hypertensive hypertriglyceridemic subjects. *J. Nutr. Biochem.*, 19: 200-205. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2007.03.002>
- Puiggrós C., Chacón P., Armadans L. I., Clapés J., y Planas M., (2002). Effects of oleic-rich and omega-3-rich diets on serum lipid pattern and lipid oxidation in mildly hypercholesterolemic patients. *Clinical Nutrition*, 21: 79-87. <https://doi.org/10.1054/clnu.2001.0511>
- Pala S.A. y Wani A.H., (2011). Mushrooms: The entities with multifarious medicinal properties. *J. Pharm Res*, 4: 4721-4726.
- Patil S. S., Ahmed S. A., Telang S. M., y Baig M. M. V., (2010). The nutritional value of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr) Kumm cultivated on different lignocellulosic agrowastes. *Innovative Romanian Food Biotechnology*, 7: 66-76.
- Pearson D., (1981). *The Chemical Analysis of Food*. Churchill Livingstone, Edinburgh, 504-530.
- Pedneault K., Angers P., Gosselin A., y Tweddel R. J., (2006). Fatty acid composition of lipids from mushrooms belonging to the family Boletaceae. *Mycol. Res.*, 110: 1179-1183.
- Pedneault K., Angers P., Avis T. J., Gosselin A., y Tweddell R. J., (2007). Fatty acid profiles of polar and non-polar lipids of *Pleurotus ostreatus* and *P.*

- cornucopiae* var. 'citrino-pileatus' grown at different temperatures. *Mycological Research*, 111: 1228-1234.
- Pegler D. N., (2003). Useful fungi of the world: the monkey head fungus. *Mycologist* 17: 120-121. <https://doi.org/10.1017/S0269915X03003069>
- Postemsky P. D., Delmastro S. E., y Curvetto N. R., (2014). Effect of edible oils and Cu (II) on the biodegradation of rice by-products by *Ganoderma lucidum* mushroom. *Int Biodeterior Biodegradation*, 93: 25-32.
- Puttaraju N. G., Venkateshaiah S. U., Dharmesh S. M., Urs S. M., y Somasundaram R., (2006). Antioxidant activity of indigenous edible mushrooms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 9764–9772. <http://doi.org/10.1021/jf0615707>
- Reis F. S., Barros L., Martins A., y Ferreira I., (2012a). Chemical composition and nutritional value of the most widely appreciated cultivated mushrooms: An inter-species comparative study. *Food and Chemical Toxicology*, 50: 191-197.
- Reis F. S., Martins A., Barros L., y Ferreira I. C. F. R., (2012b). Antioxidant properties and phenolic profile of the most widely appreciated cultivated mushrooms: a comparative study between in vivo and in vitro samples. *Food and Chemical Toxicology*, 50: 1201-1207.
- Reis F. S., Stojković D., Soković M., Glamočlija J., Ćirić A., Barros L., y Ferreira I. C. F. R., (2012). Chemical characterization of *Agaricus bohusii*, antioxidant potential and antifungal preserving properties when incorporated in cream cheese. *Food Res. Int.*, 48: 620-626.
- Reis F. S., Stojković D., Barros L., Glamočlija J., Ćirić A., y Soković M., (2014b). Can *Suillus granulatus* (L.) Roussel be classified as a functional food? *Food and Funct.*, 5: 2861-2869.
- Ribero B., Andrade P. A., Silva B. M., Baptista P., Seabra R. M., y Valentão P., (2008). Comparative Study on Free Amino Acid Composition of Wild Edible Mushroom Species. *J. Agric. Food Chem.*, 56: 10973-10979.
- Ribeiro B., de Pinho P. G., Andrade P. B., Baptista P., Valentão P., (2009). Fatty acid composition of wild edible mushroom species: a comparative study. *Microchem. J.*, 93: 29-35.
- Rodrigues D. M. F., Freitas A. C., Rocha-Santos T. A. P., Vasconcelos M. W., Roriz M., Rodríguez-Alcalá L. M., Gomes A. M. P., y Duarte Armando C., (2015). Chemical composition and nutritive value of *Pleurotus citrinopileatus* var

- cornucopiae*, *P. eryngii*, *P. salmoneo stramineus*, *Pholiota nameko* and *Hericium erinaceus*. *J. Food Sci. Technol.*, 52 (11): 6927-6939. <http://doi.org/10.1007/s13197-015-1826-z>
- Roncero Ramos I., (2015). Propiedades nutricionales y saludables de los hongos. Centro Tecnológico de Investigación del Champiñón de La Rioja (CTICH). España.
- Roupas P., Keogh J., Noakes M., Margetts C., Taylor P., (2012). The role of edible mushrooms in health: Evaluation of the evidence. *J. Funct. Foods*, 4: 687-709.
- Sande D., Pereira de Oliveira G., FidelisMoura M. A., y de Almeida Martinsa B., Nogueira Silva Limab M. T., y Takahashia J. A., (2019). Edible mushrooms as a ubiquitous source of essential fatty acids. *Food Research International*, 125: 108524.
- Servicio Meteorológico Nacional. Estadísticas Climáticas Nomaes (período 1981-2010). <https://ssl.smn.gov.ar/dpd/observaciones/estadisticas.txt>
- Shimizu T., (2002). Newly established regulation in Japan: foods with health claim. *Asia Pacific J. Clin. Nutr.*, 11(2): 94-6.
- Simon R. R., Borzelleca J. F., DeLuca H. F., y Weaver C. M., (2013). Safety assessment of the postharvest treatment of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) using ultraviolet light. *Food and Chemical Toxicology*, 56: 278-89.
- Singleton V. L., Orthofer R., y Lamuela Raventos R. M., (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol*, 299: 152-178.
- Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica, Estación Villa Dolores – EEA Manfredi, INTA. <http://siga.inta.gov.ar/#/data>
- Smith J. E., Rowan N. J., y Sullivan R., (2002). Medicinal mushrooms: a rapidly developing area of biotechnology for cancer therapy and other bioactivities. *Biotechnol Lett*, 24: 1839-1845.
- Toledo C. V., Barroetaveña C., y Rajchenberg M., (2014). Fenología y variables ambientales asociadas a la fructificación de hongos silvestres comestibles de los bosques andino-patagónicos en Argentina. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85: 1093-1103.
- Toledo C. V., Barroetaveña C., Fernandes A., Barros L. y Ferreira I. C. F. R., (2016). Chemical and antioxidant properties of wild edible mushrooms from native *Nothofagus* spp. Forest, Argentina. *Molecules*, 21: 1201. <https://doi.org/10.3390/molecules21091201>.

- Tedersoo L., Sánchez-Ramírez S., Kõljalg U., Bahram M., Döring M., Schigel D., May T., Ryberg M. y Abarenkov K., (2018). High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity*, 90:135–159.
- Urrutibehety G., (2009). Hacer del cultivo de hongos una actividad productiva destacada. La Cap. Mar del Plata.
- Vaz J. A., Barros L., Martins A., Santos-Buelga C., Vasconcelos M. H., y Vasconcelos I. C. F. R., (2011). Chemical composition of wild edible mushrooms and antioxidant properties of their water soluble polysaccharidic and ethanolic fractions. *Food Chemistry*, 126: 610–616.
- Wasser S. P., (2011). Current findings, future trends, and unsolved problems in studies of medicinal mushrooms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 89: 1323-1332.
- Witkowska A. M., Zujko M. E., y Mirończuk-Chodakowska I., (2011). Comparative Study of Wild Edible Mushrooms as Sources of Antioxidants. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 13(4): 335-341.
- Yan H., y Chang H., (2012). Antioxidant and antitumor activities of selenium and zinc-enriched oyster mushroom in mice. *Biological Trace Elements Research*, 150: 236-241.
- Yang B. K., Jeong S. C., Park J. B., Cho S. P., Lee S. D., Yun J. W., Lim W. J., y Song C. H., (2001). Swimming endurance capacity of mice after administration of exopolymer produced from submerged mycelial culture of *Ganoderma lucidum*, *J. Microbiol. Biotechnol.*, 11: 902-905.
- Yahia M. E., Gutiérrez-Orozco F., y Moreno-Pérez M. A., (2017). Identification of phenolic compounds by liquid chromatography-mass spectrometry in seventeen species of wild mushrooms in Central Mexico and determination of their antioxidant activity and bioactive compounds. *Food Chemistry*, 226: 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.044>
- Zack M. R., Cabido M., y Hodgson J. G., (2004). Do subtropical seasonal forests in the Gran Chaco, Argentina, have a future? *Biological Conservation*, 120: 589-598. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.03.034>
- Zhao D., Liu G., Song D., Liu J., Zhou Y., Ou J., y Sun S., (2006a). Fourier transform infrared spectroscopic study of truffles. *Proc. SPIE 6026, ICO20: Biomedical Optics*, 60260H, China. <https://doi.org/10.1117/12.667133>

Zhao D., Liu G., SongD., Liu J., Zhou Y., OuJ.,y Sun S., (2006b). Identification of Amanita mushrooms by Fourier transform infrared spectroscopy. Proc. SPIE 6047, Fourth International Conference on Photonics and Imaging in Biology and Medicine, 60471 V, China. <https://doi.org/10.1117/12.710977>

ANEXO I: The Global Fungal Red List Initiative, *Phlebopus bruchii* (datos no publicados).

The Global Fungal Red List Initiative (/iucn/)

PROPOSED
 UNDER ASSESSMENT
 PRELIMINARY ASSESSED
 CR ASSESSED
 5 PUBLISHED

Phlebopus bruchii (Speg.) Heinem. & Rammeloo



Search for another Species...


Phlebopus bruchii (Speg.) Heinem. & Rammeloo

Scientific name
Phlebopus bruchii

Author
(Speg.) Heinem. & Rammeloo

Common names

-  Hongo de coco
-  Hongo de molle

IUCN Specialist Group
 Mushroom, Bracket and Puffball

Kingdom
Fungi

Phylum
Basidiomycota


Class
Agaricomycetes

Order
Boletales

Family
Boletinellaceae

Assessment status
Assessed

Preliminary Category
CR A2c+4c

Proposed by
 Gerardo Robledo © 10 months ago

Assessors
Felipe Bittencourt, E. Ricardo Drechsler-Santos, Thiago Kossmann, Kelmer Martins da Cunha, Gerardo Robledo

Editors
Gregory Mueller

Reviewers
Gregory Mueller

Assessment Notes



Justification

Phlebopus bruchii is currently known only from subxerophytic Montane Chaco Forests (“Bosque Serrano”) in the Sierras Chicas and Sierras Grandes of Córdoba and San Luis provinces of central Argentina, in an altitudinal range from 600 to 1400 m a.s.l. The species has a potential distribution associated with mature forests patches of *Fagara coco* (Rutaceae) and *Lithraea molleoides* (Anacardiaceae) within the extension of the Montane Chaco Forests from Central Argentina along the northern-central mountains reaching southern Bolivia, restricted in an altitudinal range between 600-1400m. However, there are no records of the species outside Córdoba and San Luis provinces (Central Argentina), even though it has been searched for in other suitable habitats. The species is likely undergoing severe population decline due to habitat loss. The forest fragments where it grows are extremely endangered and more than 90% have been lost between 1969 and 1999 (Zack et al 2004, Atala et al 2009). This decline is still ongoing, mainly due to logging and fire. As the species is restricted to these closed canopy forests, *Phlebopus bruchii* is estimated to have had a population decline of 80-90% in the last 50 years, a decline that is still ongoing.

Phlebopus bruchii is the only native wild edible species from Cordoba forests sought and collected by local people. It is considered of better quality than exotic species (such as *Suillus* spp.) that grow in exotic pine forests established in the region. It is under threat from uncontrolled harvesting. The development of a sustainable use management plan and a legal framework for its commercialization is needed. Because of the decline in suitable habitat and intense pressure from harvesting the species is assessed as Critically Endangered.



Taxonomic notes

Phlebopus bruchii (\equiv *Boletus bruchii* Speg.) was described by Spegazzini (1926). The species was synonymized with *Phlebopus tropicus* (Rick) Heinem. & Rammeloo (under *Phaeogyroporus tropicus* (Rick) Singer) (Singer 1949), however the morphological characters support its current placement as an independent species in *Phlebopus* (Heinemann & Rammeloo, 1982).



Why suggested for a Global Red List Assessment?

Phlebopus bruchii (Speg.) Heinem. & Rammeloo is the only native edible bolete species presents in the subxerophytic montane chaco forests "Bosque Serrano" of central Argentina. *Phlebopus brouchi* is associated to mature forests patches dominated by *Fagara coco* (Gill.) Engl (Rutaceae) and *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. (Anacardiaceae) in a range from 600 to 1400 m a.s.l. These forests are extremely endangered, more than 90% have been lost between 1969 and 1999 (Zack et al 2004, Atala et al 2009). In addition, *Phlebopus bruchii* is heavily harvested by local people and there is no management plan, and year by year its occurrence has been declining.

0 0

Geographic range

Phlebopus bruchii is currently known only from the subxerophytic Montane Chaco Forests ("Bosque Serrano") of central Argentina in the Sierras Chicas and Sierras Grandes of Córdoba and San Luis provinces at an altitudinal range of 600 to 1400 m a.s.l. The species has a potential distribution throughout the Montane Chaco Forests from central Argentina along the north-central mountains reaching southern Bolivia, associated with mature forests patches where *Fagara coco* (Rutaceae) and *Lithraea molleoides* (Anacardiaceae) are present. However, there are no records of the species outside Córdoba and San Luis provinces (Central Argentina) even though it has been searched for in other suitable habitat.

0 0

Population and Trends

To date the species is known only from the Cordoba region of central Argentina. It is found in the Bosque Serrano in the "Sierras Chicas" and "Sierra Grande" mountains, in an altitudinal range between 600-1400m associated with mature forests patches dominated by *Fagara coco* (Rutaceae) and *Lithraea molleoides* (Anacardiaceae). This forest type extends from central Argentina to the north, in a thin strip of intermittent patches reaching southern Bolivia. The species is expected to be found throughout this habitat, although it has not been reported outside of Cordoba and San Luis provinces.

There are an estimated 100 sites where the species is known to be harvested for food (with different extraction pressures). There are an estimated 30-50 mature individuals at each site in Cordoba where the species is expected to be most abundant. It is conservatively estimated that throughout its potential distribution there are approximately 300 sites, each with an average 20-40 mature individuals. Based on this estimation, the total number of mature individuals is calculated at 8,000-12,000. However, based on satellite data, there is approximately 160,000 ha of closed canopy, highly fragmented forest remaining in the Montane Chaco Forests in Cordoba province, where 90% of *Phlebopus bruchii* known occurrences are. Mature individuals are usually found forming small individual clusters of basidiomata, with only one cluster on average per hectare. Extrapolating 2 mature individuals per ha, there is a possibility of up to 300,000 mature individuals in Cordoba Province. Although these two methods of estimating the number of mature individuals give very different results, the species is likely undergoing severe population decline due to habitat loss. The forests fragments where it grows are extremely endangered and more than 90% of its area was lost between 1969 and 1999 (Zack et al 2004, Atala et al 2009). This decline is still ongoing, mainly due to logging and fire. As the species is restricted to these closed canopy forests, *Phlebopus bruchii* is estimated to have had a population decline of 80-90% in the last 50 years due to habitat loss that is continuing.



Population Trend: ↓ Decreasing

Habitat and Ecology

Phlebopus bruchii is distributed in the subxerophitic Montane Chaco forests of Cordoba mountains, growing on the ground associated with *Fagara coco* trees and *Lithraea molleoides* (in an elevation range of 600 to 1400 m a.s.l.). The species is expected to occur throughout the distribution of the "Chaco Serrano forests" from Argentina to Bolivia. However, its presence outside the Córdoba mountains is not confirmed. As with most boletes, this species was assumed to form an ectomycorrhizal (ECM) association with trees, but a mycorrhizal relationship has not been established (greenhouse and field observations), and the species is considered a saprotroph (Nouhra et al 2008).



Subtropical/Tropical Dry Forest

Threats

The species is strongly threatened by deforestation of the Mountain chaco forests in addition to uncontrolled harvesting. The Montane Chaco Forests in Córdoba province covered 2,334,712 ha in 2009, of which only 8.25% (193,689 ha) correspond to dense or mature forest, as the rest has been degraded to open forests, shrublands and grasslands (Atala et al 2009). During the last 10 years, intentional fires, as well as the advance of the agricultural frontier and urbanization have continued at an increasing scale, causing an additional decline in the Montane Chaco Forests area, and there is only an estimated 160,000 ha of high quality forest remaining. Forest fire is the most important threat, e.g., 22,000 ha were burned in La Paz locality in December 2019. La Paz is home to some of the most important sites, and *P. bruchii* has been shown to be an ethnomycological important species in the region (Flamini et al 2018).

Phlebopus bruchii is the only native wild edible species from Córdoba forests sought and collected by local people. It is considered of better quality than exotic species (such as *Suillus* spp.) that grow in exotic pine forests established in the region. This has resulted in it having a higher price, resulting in greater extraction pressure (Flamini et al 2018). In the Córdoba Mountains a single farmer can collect approximately 25-30 kg (3 kg dehydrated) during the season (Flamini et al 2018), even in Conservation Areas. The exploitation of this resource is carried out without any legal framework controlling it, nor is there any sustainable management plan that guarantees conservation of the species.



Housing & urban areas Small-holder grazing, ranching or farming

Intentional use: large scale (species being assessed is the target) [harvest] Recreational activities

Increase in fire frequency/intensity

Conservation Actions

The main actions to prevent the decline of the species is the protection of its habitat and reduction of harvest pressure. A survey to verify the presence and abundance of the species in the current Protected Areas that includes "Bosque Serrano" is needed, as well as enforcement of public policies aimed at recovering secondary forests and supporting existing "forests restoration programs" organized by local NGOs. Surveys are needed to facilitate decisions about the creation of new conservation areas, as well as the reintroduction of the species in protected areas where it is not present or occurs in low abundance. The development of a sustainable use management plan of the species and a legal framework for its commercialization is also urgently needed to guarantee sustainable harvest (number and stage of individuals).



Site/area protection Site/area management Harvest management Trade management Reintroduction Training

National level Sub-national level

Research needed

More surveys are needed to confirm the potential distribution of the species. The relationship of this fungi with its host tree species has been partially addressed, confirming the absence of an ectomycorrhizal relationship with the supposed host tree (Nouhra et al 2008). However, it is not clear why the species seems to prefer particular sites associated with these trees. Further studies are needed to understand the requirements (relationships/adaptations) of the species.

As the the species has not been sequenced and not included in any phylogenetic analysis, including the species in such studies could help understand its ecology, as different clades in Boletales present different ecological roles.

Although the species is able to be grown in culture (petri dishes) (Descamps 2002), the production of basidiomata ex-situ has not been investigated. Development of cultivation protocols are needed to decrease its extraction pressure. The chemical and nutritional composition of basidiomata need to be characterized to assess its quality compared to other edible species (*Suillus* spp.).



Population size, distribution & trends Life history & ecology Harvest, use & livelihoods Species Action/Recovery Plan
Harvest & Trade Management Plan Harvest level trends

Use and Trade

The first published record of the edibility of this species was reported by Spegazzini (1926b). However, until relatively recently the species was largely collected, appreciated and consumed by indigenous people. Currently it is sold sliced and dried by locals in villages and at city markets (Nouhra et al. 2008, Flamini et al 2018). In 2012 the species was included in the National Alimentary Code, as a wild edible species. However its nutritional data have never been described. Currently, it is being harvested and commercialized as part of the economy of many local people in the touristic corridor of Sierras de Córdoba, but its extraction and commercialization has been developed without any sustainable use program or legal framework.



Food - human

Bibliography

- Atala, D., Baudo, F., Álvarez Igarzabal, M.A., Fernández, F., Medina, A. M., Miatello, R.A. and Sonzini, B. 2009. Proceso y Programa de Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos de la Provincia de Córdoba. Módulo de Gestión Ambiental Sierras y Pampas de Altura. Secretaria de Ambiente de la Provincia de Córdoba. Córdoba, Argentina. p. 202.
- Deschamps, J. 2002. Hongos silvestres comestibles del MERCOSUR con valor gastronómico. Documentos de Trabajo de la Universidad de Belgrano, Buenos Aires, Argentina. N 86: 1–25.
- Deschamps J. & G. Moreno. 1999. *Phlebopus bruchii* (Boletales): An edible fungus from Argentina with possible commercial value. *Mycotaxon* 72: 205-213.
- Cabido M., Zeballos S.R., Zak M.; Carranza M.L.; Giorgis M.A.; Cantero J. J. & Acosta A.T.R. 2016. Native woody vegetation in central Argentina: Classification of Chaco and Espinal forests. *Appl Veg Sci*. 21:298–311.
- Flamini M., María E. Suárez & G. Robledo. 2018. Hongos útiles y tóxicos según los yuyeros de La Paz y Loma Bola (Valle de Traslasierra, Córdoba, Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 53(2): 319-338.
- Singer, R. 1949. The Agaricales (Mushrooms) in Modern Taxonomy. *Lilloa*, 22: 1- 832.
- Spegazzini C. 1926a. Observaciones y adiciones a la micología Argentina. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* 28: 267-406.
- Spegazzini C. 1926b. Contribución al conocimiento de la Flora micológica de las Sierras de Córdoba. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* 29: 113-190.
- Nouhra E., Urcelay C., Becerra A. & Dominguez L. 2008. Mycorrhizal status of *Phlebopus bruchii* (Boletaceae): does it form ectomycorrhizas with *Fagara coco* (Rutaceae)? *Symbiosis* 46:113–120.
- Heinemann P. & Rammeloo J. 1982. Observations sur le genre *Phlebopus* (Boletineae). *Mycotaxon* 15 (1): 384–404.
- Zack MR, Cabido M, Hogdson JG. 2004. Do subtropical seasonal forests in the Gran Chaco, Argentina, have a future? *Biological Conservation* 2004;120: 589–598

0 0



Country occurrence



© The Global Fungal Red List Initiative

ANEXO II: The Global Fungal Red List Initiative, *Hericium rajchenbergii* (datos no publicados).

The Global
Fungal Red List Initiative (/iucn/)



✓	✓	✓	CR	5
PROPOSED	UNDER ASSESSMENT	PRELIMINARY ASSESSED	ASSESSED	PUBLISHED

Hericium rajchenbergii Robledo & Hallenb.

Search for another Species...

[Activity](#) [Edit Species \(/iucn/species/1000168/\)](#)

Scientific name
Hericium rajchenbergii

Author
Robledo & Hallenb.

Common names

IUCN Specialist Group
 Mushroom, Bracket and Puffball

Kingdom
Fungi

Phylum
Basidiomycota

Class
Agaricomycetes

Order
Russulales

Family
Hericiaceae

Assessment status
Assessed

Preliminary Category
CR A2c+4c

Proposed by
 Gerardo Robledo 10 months ago

Assessors
Felipe Bittencourt, E. Ricardo Drechsler-Santos, Thiago Kossmann, Kelmer Martins da Cunha, Gerardo Robledo

Editors
Gregory Mueller

Contributors
Gerardo Robledo

Reviewers

Gregory Mueller

Assessment Notes

0 0

Justification

Hericium rajchenbergii is currently known to grow exclusively on dead and/or living standing trunks of *Lithraea molleoides* (Anacardiaceae) in the subxerophytic Mountain Chaco Forests ("Bosque Serrano") of in the Sierras Chicas of Córdoba province central Argentina, in an altitudinal range from 600 to 1400 m a.s.l. There are only 4 specimens recorded, even with extensive surveys in the area. Total population size is estimated at no more than 500 mature individuals. The species is estimated to have had a population decline of 80-90% in the last 50 years, due to habitat loss. The forests where the species lives are extremely endangered, and more than 90% has been lost between 1969 and 1999 (Zack et al 2004, Atala et al 2009). This decline is still ongoing, mainly due to loss of its host to logging and fire. As such it is assessed as critically endangered.

0 0

Taxonomic notes

Hericium rajchenbergii Robledo & Hallenberg was described from Córdoba Mountains, Central Argentina (Hallenberg et al. 2012). The species has no synonyms. It represents an independent lineage related to *Hericium coralloides* (Scop.) Pers. and *Hericium novae-zelandiae* (Colenso) Chr.A. Sm. & J.A. Cooper.

0 0

Why suggested for a Global Red List Assessment?

Hericium rajchenbergii is a native species presents in the subxerophytic montane chaco forests "Bosque Serrano" of central Argentina. This species is associated to mature individuals of *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl. (Anacardiaceae) in a range from 600 to 1400 m a.s.l. forests patches of Bosque serrano in Córdoba province. These forests fragment are extremely endangered, more than 90% have been lost between 1969 and 1999 (Zack et al 2004, Atala et al 2009).

0 0

Geographic range

Hericium rajchenbergii is known from only four specimens growing exclusively on dead and/or living standing trunks of *Lithraea molleoides* (Anacardiaceae) in the subxerophytic Mountain Chaco Forests ("Bosque Serrano") in the Sierras Chicas of Córdoba province of central Argentina, in an altitudinal range from 600 to 1400 m a.s.l. Despite its host being widespread throughout central South America, *H. rajchenbergii* is likely endemic to the Mountain Chaco Forests of central Argentina.

0 0

Population and Trends

To date the species is known only from the Cordoba region, Central Argentina. It has only been found associated with *Lithraea molleoides* in the Bosque Serrano in the Sierras Chicas and Sierra Grande mountains, at an altitudinal range between 600-1400m. The particular type of forests where the species grows extends from Cordoba mountains in central Argentina to the north, in a thin strip of intermittent patches reaching southern Bolivia. The species is expected to be found throughout this habitat, although it has not been reported outside Cordoba and San Luis provinces even after extensive search. There are an estimated 50 sites, each site with up to 10 mature individuals. Total population size is estimated at no more than 500 mature individuals. The species is estimated to have had a population decline of 80-90% over the last 50 years due to habitat loss. These forest fragments are extremely endangered, and more than 90% of its area was lost between 1969 and 1999 (Zack et al 2004, Atala et al 2009). This decline is still ongoing, mainly due to loss of its host to logging and fire.

0 0

Population Trend: ↓ Decreasing

Habitat and Ecology

Hericium rajchenbergii is an obligate parasite of *Lithraea molleoides*. So far it has only been found in the Mountain Chaco Forests of Cordoba mountains (in a range from 600 to 1400 m a.s.l.), despite its host being widespread throughout central South America. It likely occurs along the distribution of its host in the Mountain Chaco Forests from Córdoba to Bolivia. The species has only been collected in late autumn, with cold and humid weather. It has been recorded on or near the same date in different years.

0 0

Subtropical/Tropical Dry Forest

Threats

The species is strongly threatened by deforestation of the Mountain Chaco Forests. These forest fragments are extremely endangered, and more than 90% of its area was lost between 1969 and 1999 (Zack et al 2004, Atala et al 2009). The host tree was one of the dominant trees of the ecosystem (Cabido & Zak 1999). Traditionally the wood of *L. molleoides* has been used as firewood, and it has been stated as “in regression” (Atala et al 2009). Mature trees of the species are now much less common. In 2009, the Mountain Chaco Forests covered 2,334,712 ha in Cordoba, of which only 8.25% (193,689 ha) correspond to dense or mature forest, as the rest has been degraded to open forests, shrublands and grasslands (Atala et al 2009). During the last 10 years, intentional forest fires, as well as the advance of the agricultural frontier and urbanization have continued on an increasing scale. In addition, the exotic invasive tree, glossy privet (*Ligustrum lucidum*), has increased 50 times (from 50 to 2500 ha) (Gavier-Pizarro et al 2012).



Intentional use (species being assessed is the target)

Unintentional effects: subsistence/small scale (species being assessed is not the target) [harvest]

Increase in fire frequency/intensity Named species

Conservation Actions

The main action to prevent the decline of the species is the protection of its habitat. A survey of presence and abundance of the species in the existing Protected Natural Areas that includes “Bosque Serrano” is needed as well as enforcement of public policies aimed at recovering secondary forests and supporting existing “forests restoration programs” organized by local NGOs. The surveys will allow decisions to be made about the creation of new conservation areas, as well as the reintroduction of the species in protected areas where it is not present or occurs in low abundance. As the species is able to be grown in culture, the production of basidiomata ex-situ is being investigated (Terzzoli et al, unpublished data). This may enable the reintroduction of the species.



Site/area protection Resource & habitat protection Habitat & natural process restoration Species recovery

Reintroduction Sub-national level Policies and regulations

Research needed

Determine the distribution of the species is needed, both documenting its precise distribution in areas where its presence is known (Sierras de Córdoba), as well as documenting its presence within its potential distribution throughout its host range. As other *Hericium* species, *H. rajchenbergii* is edible (Gerardo Robledo pers. experience). The chemical and nutritional compositions of basidiomata are being studied (Rodríguez et al, unpublished data) and will be compared with other *Hericium* species.

The species is able to be grown in culture and the production of basidiomata ex-situ is being investigated (Terzzoli et al, unpublished data). The development of production techniques will have a direct impact on reducing future extraction pressure.



Population size, distribution & trends Life history & ecology Species Action/Recovery Plan Area-based Management Plan

Use and Trade

The species is not currently consumed or commercialized, and until now it has not been included in the National Alimentary Code. However, it has potential as wild edible species, and its nutritional characteristics are being described.



Food - human

Bibliography

- Atala D.; Baudo F.; Álvarez Igarzabal M.A.; Fernández F.; Medina A. M.; Miatello R.A. & Sonzini B. 2009. Proceso y Programa de Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos de la Provincia de Córdoba. Módulo de Gestión Ambiental Sierras y Pampas de Altura. Secretaría de Ambiente de la Provincia de Córdoba. Córdoba, Argentina. p. 202.
- Cabido M., Zeballos S.R., Zak M.; Carranza M.L.; Giorgis M.A.; Cantero J. J. & Acosta A.T.R. 2016. Native woody vegetation in central Argentina: Classification of Chaco and Espinal forests. *Appl Veg Sci.* 21:298–311.
- Flamini M., María E. Suárez & G. Robledo. 2018. Hongos útiles y tóxicos según los yuyeros de La Paz y Loma Bola (Valle de Traslasierra, Córdoba, Argentina). *Bol. Soc. Argent. Bot.* 53(2): 319-338.
- Zack MR, Cabido M, Hogdson JG. 2004. Do subtropical seasonal forests in the Gran Chaco, Argentina, have a future? *Biological Conservation* 2004;120: 589–598
- Nils Hallenberg, R. Henrik Nilsson & Gerardo Robledo. 2013. Species complexes in *Hericium* (Russulales, Agaricomycota) and a new species - *Hericium rajchenbergii* - from southern South America. *Mycological Progress* 12 (2): 413-420. DOI 10.1007/s11557-012-0848-4.
- Cabido, M.R. & Zak, M.R. 1999. Vegetación del Norte de Córdoba. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de la Provincia de Córdoba, Córdoba.
- Gavier-Pizarro, G. I., Kuemmerle, T., Hoyos, L. E., Stewart, S. I., Huebner, C. D., Keuler, N. S., & Radeloff, V. C. (2012). Monitoring the invasion of an exotic tree (*Ligustrum lucidum*) from 1983 to 2006 with Landsat TM/ETM+ satellite data and Support Vector Machines in Córdoba, Argentina. *Remote Sensing of Environment*, 122, 134–145.





Country occurrence 



Country occurrence

 Argentina

Regional Population and Trends

Country	Trend	Redlisted
---------	-------	-----------