

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**USO DE SUSTRATO AGOTADO DE *PLEUROTUS OSTREATUS* COMO  
ALIMENTO MEJORADO PARA BOVINOS DE LECHE**

**POR**

**JOSÉ MANUEL HENRÍQUEZ VÁSQUEZ**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CHILLÁN – CHILE  
2021**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**USO DE SUSTRATO AGOTADO DE *PLEUROTUS OSTREATUS* COMO  
ALIMENTO MEJORADO PARA BOVINOS DE LECHE**

**POR**

**JOSÉ MANUEL HENRÍQUEZ VÁSQUEZ**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CHILLÁN – CHILE  
2021**

Aprobada por:

Profesor Asociado, Pamela Williams S.  
Ing. Agrónomo, Dr. Cs.

---

Guía

Profesor Asociado, Macarena Gerding G.  
Ing. Agrónomo, Ph. D.

---

Asesor

Julio Becerra E.  
Biólogo, Mg. Cs. Químico Ecológicas  
Director Técnico Rakiduum Chile

---

Asesor externo

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.  
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

---

Decano

**TABLA DE CONTENIDOS**

	<b>Página</b>
Resumen.....	1
Summary.....	1
Introducción.....	2
Desarrollo y Discusión.....	3
Conclusiones.....	16
Referencias.....	16

## INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

		<b>Página</b>
Figura 1	Ciclo de vida de <i>Pleurotus ostreatus</i> , por Paredes-Juárez <i>et al.</i> , (2017).....	4
Figura 2	Reacción típica de la enzima lacasa sobre compuestos fenólicos (Paredes-Juárez <i>et al.</i> , (2017) .....	6
Figura 3	LIP oxidando enlace beta-1 en estructura de la lignina (Falade <i>et al.</i> , 2017) .....	7
Figura 4	Ciclo catalítico de Mn peroxidasa (Hofrichter, 2002).....	7
Figura 5	Modelo estructural de la lignina de madera aserrada (Chávez-Sifontes y Domine, 2013).....	8
Tabla 1	Composición nutricional de <i>Pleurotus ostreatus</i> cultivado en diferentes sustratos.....	5
Tabla 2	Cálculo residuos de cereales en Chile.....	9
Tabla 3	Estimación de producción de carpóforos de <i>Pleurotus ostreatus</i> en base al uso de la totalidad de residuos producidos en Chile.....	10
Tabla 4	Estimación de producción de sustrato agotado.....	11
Tabla 5	Composición nutricional de sustratos degradados por <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	12

## USO DE SUSTRATO AGOTADO DE *PLEUROTUS OSTREATUS* COMO ALIMENTO MEJORADO PARA BOVINOS DE LECHE

UTILIZATION OF SPENT SUBSTRATE FROM *PLEUROTUS OSTREATUS* AS AN IMPROVED FEEDSTUFF FOR DAIRY CATTLE

**Palabras índices adicionales:** bioconversión, hongos comestibles, sustrato degradado.

### RESUMEN

*Pleurotus ostreatus* es el tercer hongo comestible más consumido en el mundo, se caracteriza por su valor nutricional y propiedades medicinales. Su contenido proteico supera el 20 % BMS. En general sólo los hongos de la familia basidiomicetes pueden degradar complejos lignocelulíticos de forma eficiente, para ello producen diferentes enzimas. En la temporada 2017 - 2018 Chile produjo 1.414.441 t de residuos agrícolas de trigo, 650.725 t de maíz y 199.063 t de arroz. El potencial empleo en el cultivo de *Pleurotus ostreatus* permitiría obtener 156.258 t BMS con los residuos de trigo, 22.217,70 t BMS con los residuos de maíz y 78.274,60 t BMS con los residuos de arroz. Del potencial productivo se obtendrían 1.072.146, 525.916 y 160.843 t BMS de sustrato agotado de trigo, maíz y arroz respectivamente. La composición nutricional de los sustratos agotados es superior, incluso llegando a duplicar el valor proteico del material original. Es posible elaborar un alimento de mejor calidad nutricional para bovinos de leche al biotransformar residuos de cereales con *Pleurotus ostreatus*. Los valores proteicos de los hongos producidos permitirían la producción de harina, que tiene más del 20 % (proteína cruda), este porcentaje podría considerarse como un concentrado proteico. Es posible producir un alimento de mejor calidad para el ganado lechero biotransformando los residuos de cereales con *Pleurotus ostreatus*.

### SUMMARY

*Pleurotus ostreatus* is the third most eaten mushroom in the world. This known mushroom has its own characteristic nutritional value and medicinal properties. Its protein content exceeds 20 % (DM basis). Generally, Basidiomycota are the only

fungi that can efficiently degrade lignocellulose-based complex through the production of different enzymes. During seasons 2017 and 2018, Chile produced 1.414.441 t of wheat, 650.725 t of corn and 199.063 t of rice agricultural residues. Potential *Pleurotus ostreatus* usage could result in 156.258 t of wheat DM basis, 22.218 t of corn DM basis, and 78.275 t of rice DM basis. Considering the potential process, 1.072.146 DM basis t, 525.916 DM basis t and 160.843 DM basis t of wheat, corn and rice spent substrate could be obtained, respectively. The nutritional content of spent substrates is higher than that of its primary materials, minimizing the protein content of the most abundant protein content forage. The protein values from the produced mushrooms could allow the production of flour, which has over 20 % (crude protein), this percentage could be considered as a protein concentrate. It is possible to produce a better nutritional quality feed for dairy cattle by biotransforming cereal residues with *Pleurotus ostreatus*.

## INTRODUCCIÓN

La pradera es la principal fuente de alimentos de las explotaciones ganaderas utilizadas en Chile, esto debido a su gran valor nutritivo, alta producción y bajo costo (Moscoso, 2019). La estacionalidad de la producción nacional de las praderas implica que el 46 % de la producción se concentra en primavera, debido a esto es necesaria la conservación del forraje en forma de heno y ensilaje el cual es suministrado en épocas de baja producción (Casas y Torres, 2012).

El heno elaborado con residuos de cereales se caracteriza por tener una baja digestibilidad (alrededor de 50 %), bajo contenido de energía metabolizable y aporte de proteína cruda y, además un importante aporte de vitaminas y minerales (Catrileo, 2015).

Por otra parte, en la última década, el consumo de hongos comestibles se ha incrementado (Castañón, 2017), esto debido a su alto valor nutritivo e importancia biomédica (Deepalakshmi y Mirunalini, 2014). Particularmente *Pleurotus ostreatus*, que es el tercer hongo más producido en el mundo, debido a su capacidad de degradar una larga variedad de sustratos lignificados (Fernandes *et al.*, 2015). Esta característica le ha otorgado variadas aplicaciones industriales (Ortiz, 2009), dentro de ellas, degradar residuos agrícolas altamente lignificados,

generando a través de esta biotransformación una biomasa de cereales con mejor valor nutricional (Wuanor y Ayoade, 2017).

El objetivo general de esta monografía es analizar el potencial uso de sustrato agotado de *Pleurotus ostreatus* como suplemento nutricional en bovinos de leche en Chile.

Como objetivos específicos se plantea: Describir la fisonomía y metabolismo del hongo *Pleurotus ostreatus*; Estimar cantidades de residuos agrícolas de tres especies o cereales producidos en Chile; Estimar la cantidad de sustrato agotado obtenido tras el uso de la totalidad de los residuos agrícolas producidos, y finalmente, comparar calidad nutricional entre residuos agrícolas y sustrato agotado.

## DESARROLLO Y DISCUSIÓN

### 1. Descripción de *Pleurotus ostreatus*

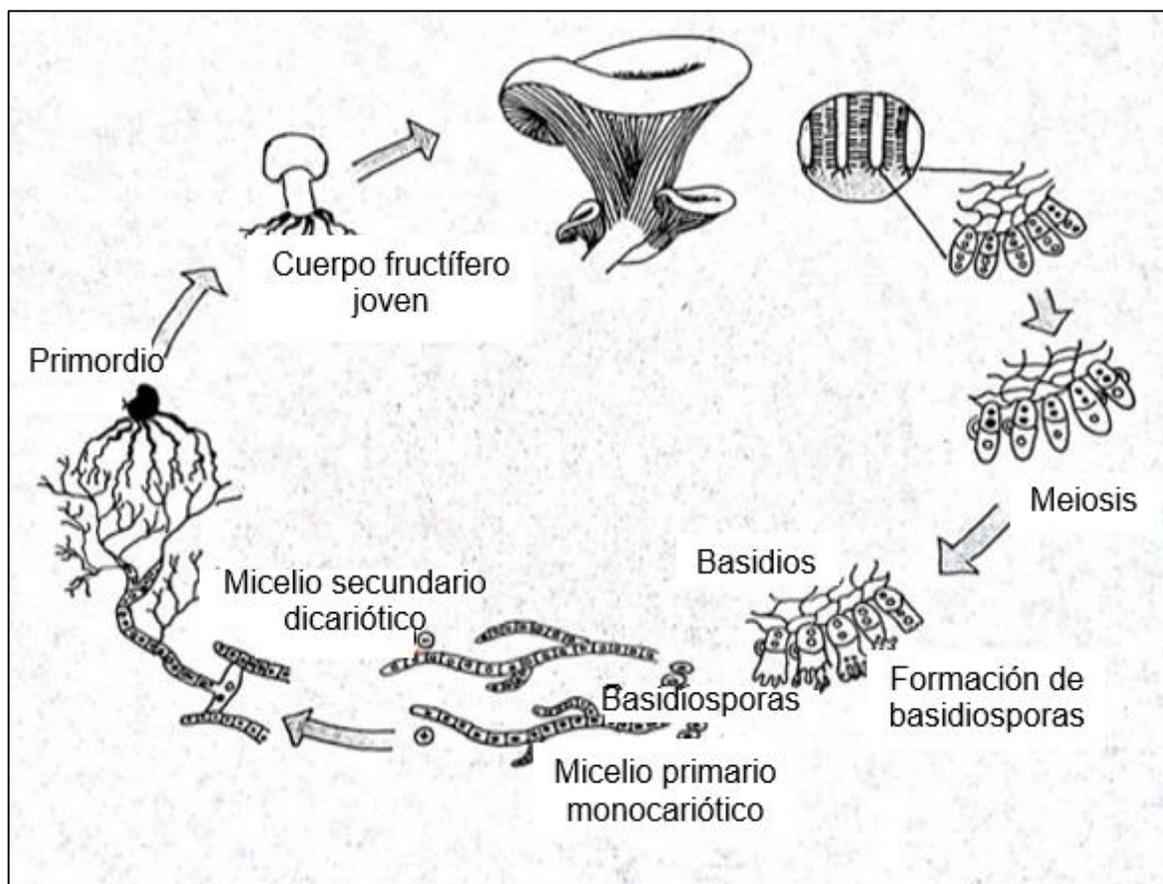
*Pleurotus ostreatus*, también llamado “hongo ostra”, pertenece a la clase Basidiomycota y familia Pleurotaceae (Leong *et al.*, 2020).

Lazo (2016) describe a *Pleurotus ostreatus* de la siguiente manera: píleo (sombrero) de 70 a 160 mm de ancho, estípite generalmente de 20 x 20 mm, aunque esto es variable. Lamelas blancas, amarillentas en estadios tardíos y anchas, con esporas lila pálido de forma ovalada con dimensiones entre 8 - 11 x 5 - 6  $\mu\text{m}$ . *P. ostreatus* presenta un sabor agradable y olor fúngico lo que le otorga un alto valor culinario. La distribución de *P. ostreatus* es amplia alrededor del mundo (Sánchez *et al.*, 2017), en condiciones silvestres crece en tocones y ramas débiles de árboles de hojas anchas (Varnero *et al.*, 2010).

En la Figura 1 se puede apreciar el ciclo de vida de *Pleurotus ostreatus*; Sanchez y Royse (2001) indican que el ciclo de los Basidiomycota, como *P. ostreatus*, comienza cuando las basidiosporas entran en contacto con un sustrato, además de encontrar temperatura, pH y humedad adecuadas para su crecimiento. La basidiospora da origen a un micelio primario bien desarrollado, conocido como homocarión, el cual posee un núcleo generalmente haploide. Para que el cuerpo fructífero (seta) se desarrolle, es necesario que dos micelios homocarióticos compatibles se fusionen y por disolución de la pared del punto de contacto, formen

compartimentos hifales de citoplasma continuo y con dos tipos de núcleos provenientes de cada uno de los compartimentos que se fusionaron.

Figura 1. Ciclo de vida de *Pleurotus ostreatus*, por Paredes-Juárez *et al.* (2017).



## 2. Propiedades y valor nutricional de *Pleurotus ostreatus*

*Pleurotus ostreatus* se caracteriza por su alto valor nutricional (Patil *et al.*, 2010), en general los hongos frescos aportan muy pocas calorías, poseen menos de 1 % de grasas, ricos en fibras dietarias y bajos en sodio (Ciappini *et al.*, 2004). Además, el hongo ostra ha sido reportado por su contenido de complejos de vitamina B, vitamina C y sales minerales requeridas por el organismo humano (Kumar, 2019). Por otra parte, Deepalakshmi y Mirunalini (2014) describen propiedades beneficiosas asociadas al consumo de *Pleurotus ostreatus*, entre las que se mencionan, propiedades de regulación de la glicemia y colesterol, capacidad antioxidante, y efectos beneficiosos en el sistema inmune, entre otros.

Piska *et al.* (2017) mencionan que uno de los componentes más importantes de *P. ostreatus* es la lovastatina, la cual fue aprobada como fármaco para el tratamiento de la dislipidemia.

En la Tabla 1 se encuentran valores de la composición química del hongo *Pleurotus ostreatus* reportados por diferentes autores, en donde, además, se utilizaron diferentes sustratos para su obtención.

Tabla 1. Composición nutricional de *Pleurotus ostreatus* cultivado en diferentes sustratos.

Sustrato	H (%)	C (%)	G (%)	PC (%)	FC (%)	Carb. (%)	Autores
Paja de soja	88,54	6,70	2,82	24,66	7,15	53,20	Patil <i>et al.</i> (2010)
Paja de trigo	89,37	6,35	2,60	21,00	7,35	55,20	Patil <i>et al.</i> (2010)
Mazorca de maíz	90,57	7,10	2,67	29,70	29,75	30,78	Hoa <i>et al.</i> (2015)
Bagazo de caña	91,56	6,68	2,00	27,13	29,25	34,94	Hoa <i>et al.</i> (2015)
Semillas de algodón	88,75	9,76	2,47	28,85	12,87	48,16	Tolera y Abera (2017)
Paja de arroz	-	9,73	1,09	25,97	14,00	42,26	Sharma <i>et al.</i> (2013)

Dónde: H= humedad; C= cenizas; G= grasa; PC= proteína; FC= fibra cruda; Carb.= carbohidratos.

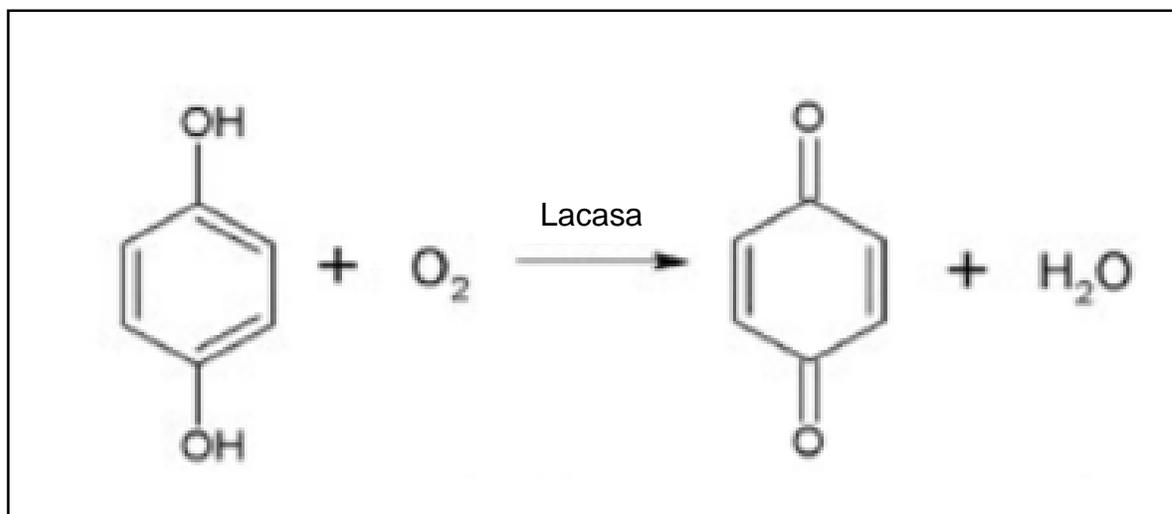
El contenido proteico obtenido por los diferentes autores mencionados en la Tabla 1, varía entre 21,00 % y 29,70 %, por otro lado, FAO (2021) reporta valores de 47,63 % para huevo, 91,20 % para pollo y 89,20 % para Vacuno Magro, todos en base materia seca, alimentos que podrían ser suplidos en parte por hongo *Pleurotus*.

### 3. Metabolismo sobre sustratos

De forma natural, sólo los hongos basidiomicetes de pudrición blanca pueden degradar la lignina de forma eficiente (Wong, 2008). Hongos del género *Pleurotus* producen diversas enzimas lignocelulíticas, dentro de la cuales destacan Lacasa, Lignina peroxidasa y Manganese-peroxidasa (Sánchez y Royse, 2001).

Las lacasas son proteínas que poseen múltiples unidades de cobre en su estructura. Las unidades de cobre catalizan la oxidación de sustratos fenólicos mediante la reducción de oxígeno molecular a H<sub>2</sub>O (Wong, 2008).

Figura 2. Reacción típica de la enzima lacasa sobre compuestos fenólicos (Paredes-Juárez *et al.*, 2017).



Lignina peroxidasa (LiP) es una hemoproteína monomérica que cataliza la despolimerización oxidativa dependiente de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de la lignina (Wong, 2008). En general las enzimas peroxidasas catalizan la oxidación de varios compuestos orgánicos e inorgánicos en presencia de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como un aceptor de electrón (Falade *et al.*, 2017).

En la Figura 4 se puede observar la enzima Manganese peroxidasa, que es una glicoproteína que utiliza H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para oxidar Mn<sup>+2</sup> a Mn<sup>+3</sup> (Santucci *et al.*, 2000). El Mn<sup>+3</sup> es altamente reactivo, quelantes como el ácido oxálico lo estabilizan. El Mn<sup>+3</sup> quelado a su vez actúa como mediador redox de bajo peso molecular que ataca a compuestos fenólicos de la lignina. Esto da lugar a la formación de radicales libres inestables que tienden a desintegrarse espontáneamente (Hofrichter, 2002).

Figura 3. LiP oxidando enlace beta-1 en estructura de la lignina (Falade *et al.*, 2017).

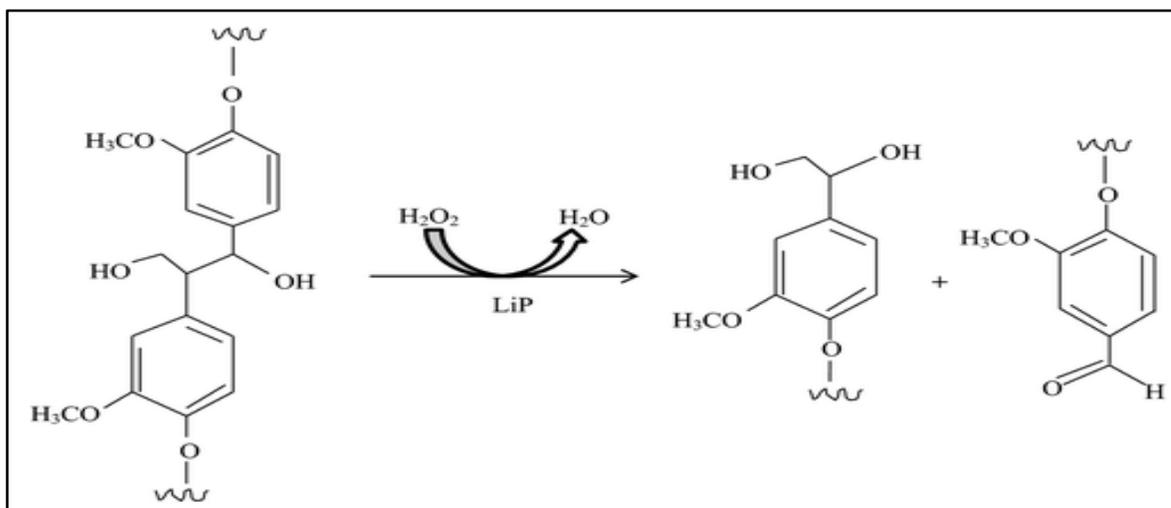
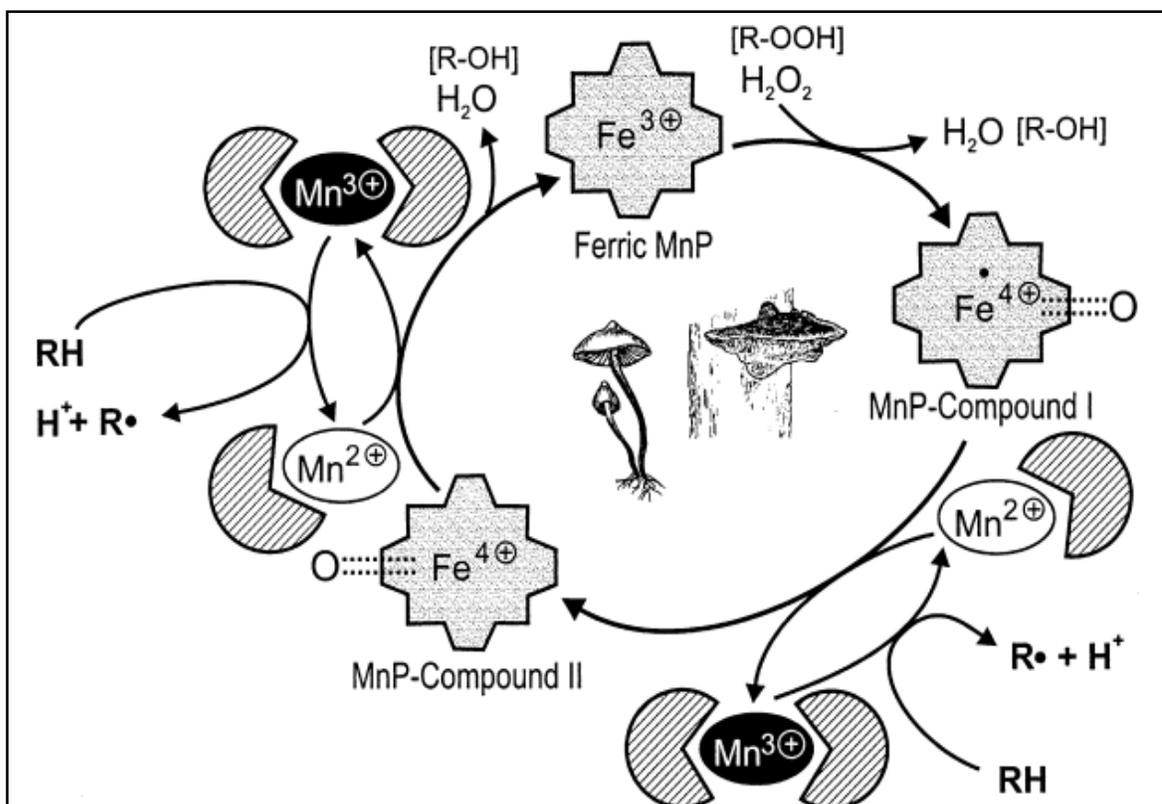


Figura 4. Ciclo catalítico de Mn peroxidasa (Hofrichter, 2002).



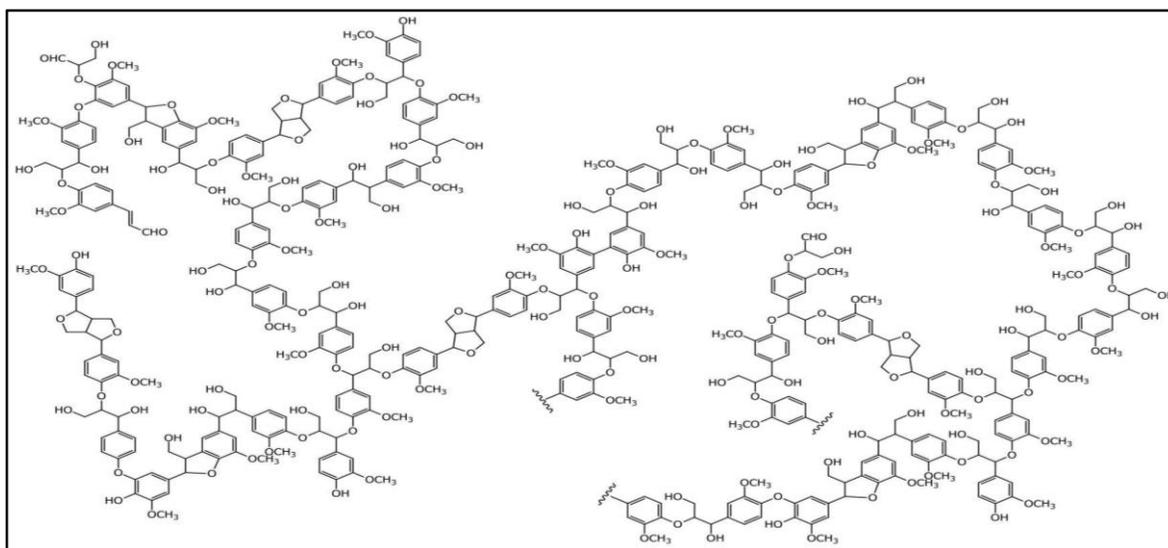
### 3.1. Lignina

La lignina es un biopolímero aromático complejo, es el segundo polímero en abundancia después de la celulosa, constituye cerca del 15 % de la biomasa

terrestre y su fuente de origen son los tejidos vegetales, donde se encuentra en una proporción del 20 al 35 % (Quintero *et al.*, 2006).

La estructura de la lignina varía mucho en relación a sus múltiples unidades estructurales, las cuales no suelen repetirse de forma regular (Lu y John, 2010) (Figura 5).

Figura 5. Modelo estructural de la lignina de madera aserrada (Chávez-Sifontes y Domine, 2013).



### 3.2. Estimación de la producción de residuos de cereales

Para prospectar el uso de biomasa vegetal mejorada por hongos, como alimento animal, se estimó la cantidad de residuos generados por los cereales más producidos en Chile, de los que se encuentra información de estos como sustrato para el crecimiento del hongo *Pleurotus*.

Según INE (2019), en el periodo 2019 - 2020 se cultivaron 443.315 ha de cereales, de las cuales 205.036 corresponden a trigo, 26.394 a arroz y 64.586 a maíz, correspondiendo a los cereales más cultivados en Chile, por tanto, los que más residuos generan.

Para la estimación de la producción de residuos, se pueden utilizar dos fórmulas matemáticas, el índice de cosecha (IC) y la producción de residuos por hectárea. Ambas estimaciones se realizan usando el rendimiento de granos (INIA, 2018). Las fórmulas se describen como:

$$\text{Índice de cosecha (IC)} = \frac{\text{Peso del grano}}{\text{Peso total planta excepto raíces}}$$

$$\text{Producción de residuos (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Producción de grano (t ha}^{-1}\text{)} \times (1 - \text{IC})}{\text{IC}}$$

Las cantidades obtenidas fueron corregidas según los porcentajes de materia seca reportados por Akinfemi *et al.* (2010) con 0,922 kg MS kg<sup>-1</sup> de materia seca en arroz, Tripathi y Yadav (1992) 0,945 kg MS kg<sup>-1</sup> en trigo, y por último Darwish *et al.* (2012) con 0,933 kg MS kg<sup>-1</sup> en materia seca de maíz.

La información referente al índice de cosecha, rendimiento promedio por hectárea y producción de residuos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Cálculo residuos de cereales en Chile.

Parámetro	Trigo	Arroz	Maíz
Índice de cosecha*	0,45	0,44	0,46
Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )**	60,0	64,30	91,80
Producción de residuos (t ha <sup>-1</sup> )	7,30	8,18	10,80
Producción de residuos país (t)	1.496.762,8	215.902,92	697.528,8
Producción de residuos país BMS (t)	1.414.440,9	199.062,50	650.724,6

\* Acevedo (2003); \*\* INE (2019).

Esta información permite inferir la cantidad de setas y sustrato agotado que se podría obtener al usar este sustrato para la obtención del hongo *Pleurotus*.

### 3.3. Estimación de la producción de setas comestibles de *Pleurotus ostreatus*

Díaz y Carvajal (2014) indican que la eficiencia biológica (EB) determina el potencial biológico de los sustratos para la producción de hongos. La EB está determinada principalmente por características físico-químicas del sustrato y condiciones del proceso productivo (Aguilar-Rivera *et al.*, 2012). Este parámetro se puede determinar expresando la relación entre el peso fresco de los hongos producidos y el peso seco del sustrato en porcentaje.

Vega y Franco (2012) resumen el cálculo de la EB a la siguiente ecuación:

$$\text{EB (\%)} = \frac{\text{Peso de hongos frescos}}{\text{Peso del sustrato seco}} \times 100$$

Los valores de eficiencia biológica obtenidos por diferentes autores en un mismo sustrato son diversos, esto debido a que el rendimiento de setas depende de diversos factores como variedad, calidad de sustrato, temperatura de incubación, humedad ambiental, entre otros. Sharma *et al.* (2013) reportan una eficiencia biológica de 95,46 % para paja de arroz. Pandey y Singh (2014) obtienen un valor de 98,21 % en paja de trigo. Por último, Mkhize *et al.* (2016) obtuvieron 119 % de EB para residuos de maíz, si bien los autores no desarrollan la explicación del alto valor de la EB reportada, se podría explicar por el contenido de carbohidratos que en general posee la planta de maíz.

En función de la estimación de residuos producidos en Chile y de la eficiencia biológica descrita por estos tres autores, es posible estimar la producción potencial de setas de *Pleurotus ostreatus*. Para la conversión a materia seca, se utilizarán como factores de conversión el contenido de materia seca (MS) de las setas producidas en los diferentes sustratos. La MS se obtiene mediante la diferencia entre 100 % y el porcentaje de humedad de setas, los que fueron reportados por autores en la Tabla 1. Los valores obtenidos son de 10,63 % para setas producidas en paja de trigo, 10,78 % para setas producidas en paja de arroz y 9,43 % en setas producidas en residuos de maíz.

Tabla 3. Estimación de producción de carpóforos de *Pleurotus ostreatus* en base al uso de la totalidad de residuos producidos en Chile.

Parámetro	Trigo	Arroz	Maíz
Residuos(t)*	1.496.762,80	215.902,92	697.528,80
EB (%)	98,21	95,46	119,00
Prod. hongos peso húmedo (t)	1.469.970,74	206.100,92	830.059,27
Prod. hongos peso seco (t)	156.257,90	22.217,70	78.274,60

\* Datos según Censo Agropecuario 2007; EB = Eficiencia biológica.

El cálculo de producción estimada de carpóforos de *Pleurotus ostreatus* se realizó considerando el residuo generado a nivel nacional según INE (2019) para trigo, arroz y maíz. Aplicando la EB de cada uno de los cereales, se pudo estimar la cantidad de carpóforos producidos en base peso húmedo y seco, tal como se

presenta en la Tabla 3. Como era de esperar, la producción a partir de residuos de trigo, dada la mayor producción de éste en el país, fue la que más rendimiento estimado de hongos generó.

### 3.4. Estimación de producción de sustrato agotado por *Pleurotus ostreatus*

La estimación de sustrato agotado por temporada se realizará usando la variación en el contenido de materia seca en el sustrato agotado. Akinfemi *et al.* (2010) reportan un descenso a 0,808 kg MS kg<sup>-1</sup> de materia seca en sustrato agotado de arroz. Tripathi y Yadav (1992) obtienen 0,758 kg MS kg<sup>-1</sup> en sustrato agotado de trigo, y por último Darwish *et al.* (2012) registra 0,807 kg MS kg<sup>-1</sup> en materia seca en sustrato agotado de maíz.

Tabla 4. Estimación de producción de sustrato agotado.

Parámetros	Trigo	Arroz	Maíz
Prod. residuos por temporada BMS (t)	1.414.440,9	199.062,5	650.724,6
MS sustrato agotado (kg MS kg <sup>-1</sup> )	0,758	0,808	0,807
Prod. sustrato agotado por temporada BMS (t)	1.072.146,2	160.842,5	525.915,6

## 4. Valor nutricional de sustratos agotados por *Pleurotus ostreatus*

El valor nutricional de los sustratos agotados por *Pleurotus ostreatus* presenta variaciones dependiendo del cultivo, y se observa en general un aumento en los contenidos de proteínas y cenizas (Tabla 5). En particular el contenido de proteínas resulta relevante pues los residuos de los cereales son normalmente bajos en este parámetro (Khan *et al.*, 2015).

Según los datos presentados en la tabla 5, el aumento promedio en el contenido de proteínas es de 1.7 veces. Khan *et al.* (2015) reporta el mayor aumento de proteína con 2.6 veces el contenido original en paja de arroz, mientras que Wuanoor y Ayoade (2017) reportan una disminución de 0.77 veces, también en paja de arroz. Esta disminución puede ser atribuida al corto periodo de incubación realizado por estos investigadores. El incremento en el contenido de proteínas y cenizas, puede ser atribuido a la bioconversión y biomasa del hongo (Bentil *et al.*, 2015) remanente en el sustrato a través de tejido fúngico.

Tabla 5. Composición nutricional de sustratos degradados por *Pleurotus ostreatus*.

Sustrato	MS	PC	C	ENN	Hem	FDN	Cel	LDA	Días	Autor
Paja de arroz pura	-	2,90	7,10	-	20,00	73,90	40,40	13,50	0	Khan <i>et al.</i> (2015)
Paja de arroz agotado	-	7,60	9,30	-	14,30	57,70	37,10	6,30	35	
Paja de arroz pura	-	8,32	5,88	48,75	20,75	72,06	39,92	11,39	0	Wuanor y Ayoade (2017)
Paja de arroz agotado	-	6,44	13,76	27,40	65,77	76,63	9,49	1,37	21	
Paja de trigo pura	-	3,40	6,50	-	21,50	80,90	48,90	10,50	0	Khan <i>et al.</i> (2015)
Paja de trigo agotado	-	8,00	8,80	-	17,00	63,70	38,80	8,00	35	
Paja de trigo pura	-	3,37	-	-	30,81	79,78	34,10	9,77	0	Shrivastava <i>et al.</i> (2011)
Paja de trigo agotado	-	5,08	-	-	16,93	48,76	21,19	6,11	30	
Rastrojo de sorgo puro	91,23	2,54	6,28	-	23,54	70,23	31,48	15,21	0	Akinfemi <i>et al.</i> (2010)
Rastrojo de sorgo agotado	81,42	4,51	6,35	-	23,35	66,43	29,69	13,39	-	
Paja de cebada pura	95,35	1,99	9,34	-	30,07	80,36	36,91	13,37	0	Tawffek (2011)
Paja de cebada agotado	93,27	4,73	9,98	-	28,66	74,66	33,68	12,31	40	
Residuos de maíz puro	93,29	1,02	0,99	-	-	3,90	-	-	0	Zhao <i>et al.</i> (2020)
Residuos de maíz agotado	97,16	1,50	1,20	-	-	2,88	-	-	35	
Cáscara de maní pura	92,20	7,39	7,79	52,40	18,33	69,40	22,50	28,60	0	Akinfemi (2010)
Cáscara de maní agotado	80,80	9,29	8,35	60,00	13,40	62,90	25,50	24,10	21	
Cáscara de café pura	93,71	10,36	-	-	7,99	95,18	19,51	65,42	0	Badarina <i>et al.</i> (2013)
Cáscara de café agotado	86,60	12,14	-	-	5,32	79,08	24,80	45,04	60	
Cáscara de cacao pura	85,00	18,60	6,00	35,05	8,00	60,00	11,00	45,18	0	Bentil <i>et al.</i> (2015)
Cáscara de cacao agotado	86,00	26,10	18,50	25,78	4,00	41,00	3,00	33,00	42	

Dónde: MS= Materia seca (%); PC= Proteína (g 100 g<sup>-1</sup> DM); C= Ceniza (g 100 g<sup>-1</sup> DM); ENN= Extracto no nitrogenado (%); Hem= Hemicelulosa (%); FDN= Fibra detergente neutro (g 100 g<sup>-1</sup> DM); Cel= Celulosa (g 100 g<sup>-1</sup> DM); LDA= Lignina de detergente ácido (g 100 g<sup>-1</sup> DM); Días= Días de incubación.

Wuanor y Ayoade (2017) obtienen valores de proteína diferentes en paja de arroz degradada con tres cepas diferentes de *Pleurotus* ( $P < 0,05$ ), *Pleurotus tuberregium* es la que brinda un mayor valor proteico, siendo este más del doble del obtenido por *Pleurotus ostreatus*. El aumento del contenido de ceniza conlleva un aumento en los contenidos de minerales (Wuanor y Ayoade, 2017).

Respecto a la disminución del contenido proteico en los resultados presentados por Wuanor y Ayoade (2017) en paja de arroz, los autores mencionan que esto puede ser explicado por la baja eficiencia a la hora de degradar el sustrato, este fenómeno en la disminución del valor proteico se repite con *Pleurotus pulmonarius*.

Las diferencias de valores nutricionales en un mismo sustrato, pero diferentes autores, se puede atribuir a diversos factores que inciden en el proceso de bioconversión, dentro de los más importantes es posible nombrar: humedad, temperatura, aireación, entre otros (France *et al.*, 2000).

Tuyen *et al.* (2012) relaciona la disminución de la materia seca de los residuos, con la oxidación de carbohidratos en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  por parte del hongo, con el fin de obtener energía para su desarrollo y procesos metabólicos. La disminución de los valores de contenido de la fibra detergente neutra (celulosa, hemicelulosa y lignina) en sustratos degradados por *P. ostreatus* se debe a la acción de las enzimas lignocelulíticas secretadas por el hongo (Akinfemi, 2010). Estas enzimas logran romper complejos lignina-celulosa (Khan *et al.*, 2015), la ruptura de estos complejos permite la liberación de las moléculas que lo constituyen. Esto explicaría el aumento de hemicelulosa y celulosas reportados por Wuanor y Ayoade (2017), Akinfemi (2010) y Badarina *et al.* (2013), respectivamente.

Por otro lado, el extracto no nitrogenado se ve principalmente disminuido por *P. ostreatus*, el cual logra disminuir de 48,75 % a 27,40 %. Esto se debe a que los carbohidratos no estructurales son utilizados como sustrato para el crecimiento del hongo.

Respecto a la digestibilidad, en general, se ve mejorada por la acción de *P. ostreatus* sobre el sustrato. Khan *et al.* (2015) reportan variaciones de la digestibilidad de materia seca de 42,9 a 53,6 % a los 35 días de incubación en paja de arroz como sustrato, mientras que para paja de trigo indican un aumento de 44,0

% a 56,4 % a los 35 días, valores obtenidos tras 72 h de incubación ruminal. Akinfemi *et al.* (2010) obtiene un volumen de gas de 55,67 mL 200 mg<sup>-1</sup> MS a las 72 h de incubación versus los 36,67 mL 200 mg<sup>-1</sup> MS del control, esto implica una mayor digestibilidad en los sustratos tratados, probablemente por el aumento de carbohidratos simples. Los autores indican que esta alza en la producción de gas se puede correlacionar con una mejora en la digestibilidad de la materia orgánica. Por último, Tawffek (2011) obtiene en paja de cebada un valor de 39,59 % de digestibilidad MS tras 40 días de fermentación con *P. ostreatus* y un 35,25 % de digestibilidad MS en el control.

Los estudios que analizan la digestión *in vivo* del sustrato agotado son escasos. Fazaeli *et al.* (2004) evaluaron la incorporación de 30 % de paja de trigo, con y sin degradación por *P. ostreatus*, en la dieta de ocho bovinos Holstein en lactancia tardía. El peso inicial promedio para las vacas sometidas al tratamiento de dietas con paja de trigo sin tratar fue de 610 kg, mientras que para vacas que se alimentaron con paja de trigo degradada, fue de 604 kg. En el tratamiento con paja tratada se obtuvo un aumento en el consumo promedio de materia seca ( $p < 0,05$ ), de  $10,6 \pm 1,3$  a  $12,2 \pm 0,86$ . Por otro lado la digestibilidad aumento de 52,3 % a un 58,8 % y la producción láctea subió de 7,5 a 9,0 kg de leche día<sup>-1</sup>. Finalmente, Fazaeli *et al.* (2004) indican que el valor del contenido graso de la leche es menor en dietas con paja de trigo degrada por *Pleurotus ostreatus*, sin embargo, esta variación no representa una diferencia significativa (34,2 vs 35,6).

Por otro lado, Castaño *et al.* (2012) elaboraron tres tratamientos con tres bovinos de engorda estabulados (284 kg promedio) cada uno. El tratamiento 1 sólo consumía una dieta base (control), mientras que el tratamiento 2, además se le permitía el consumo *ad libitum* de Nutrebloque PSP (Proteína sobrepasante), un producto comercial disponible en el municipio de Cajibío (Colombia), en la cual se llevó a cabo el ensayo. Por último, al tratamiento 3 se le permitía el consumo de la dieta base más el consumo *ad libitum* de "Suplebac", producto elaborado por los autores, que se compone 35 % de bagazo de caña degradado por *P. ostreatus*, 40 % de miel panelera, 10 % de urea, 5 % de minerales y 10 % de cemento. Los resultados indicaron que no existen diferencias significativas en conversión

alimenticia, aumento diario de peso ni consumo de materia seca entre los tratamientos. A pesar de ello, el tratamiento que incluye residuos de *P. ostreatus* fue el que obtuvo una mayor ponderación en ganancia de peso por tratamiento (926 g día<sup>-1</sup>) y conversión alimenticia, con 9.767 kg MS kg<sup>-1</sup> ganancia de peso vivo.

Al comparar la calidad de los sustratos agotados con algunos forrajes, es necesario definir puntos de comparación. En esta ocasión se considerarán los valores de fibra detergente neutra (FDN) y proteína.

Dentro de los datos expuestos en la tabla 5, es posible observar que el valor máximo y mínimo de FDN los tienen la cascara de Café (79,08 %) y la cascara de Cacao (41,00 %), respectivamente. Estos valores son comparables con los reportados por Anrique *et al.* (2014), donde obtiene 82,86 % en paja de trigo y 38,87 % en cubos de alfalfa.

En general el contenido de FDN disminuye en los diferentes casos expuestos, por esto lógico que también haya descenso en los valores de Lignina, Celulosa y Hemicelulosa, que son componentes de la FDN.

Respecto al contenido proteico de los diferentes sustratos agotados, el valor mas bajo fue en rastrojo de sorgo, con un valor de 4,51 %. Por otro lado, el contenido mas elevado fue en cascara de cacao, con un total de 26,10 %. Estos valores son similares a los registrados por Anrique *et al.* (2014), donde obtienen contenidos de 4,36 % en paja de lupino y 20,21 % en alfalfa en cubos.

## **5. Aplicaciones de sustrato agotado en la industria lechera nacional**

A la hora de analizar el valor nutricional de los sustratos agotados por *P. ostreatus*, es posible evidenciar que si bien el hongo es capaz de aumentar e incluso duplicar el valor proteico de los residuos originales, estos valores son inferiores a los requeridos para la clasificación de concentrado proteico, el cual por definición debe poseer sobre un 20 % de proteína cruda (Catrileo, 1983), aun así su composición nutricional y grandes cantidades producidas plantean un potencial uso en dietas de ganado como una posibilidad viable. La calidad nutricional de las setas cosechadas es superior en varios aspectos al sustrato agotado, su contenido proteico varía, pero en general asciende del 20 % BMS, su empleo en forma de harina representaría una innovadora fuente de nutrientes, generando estructuras de economía circular.

## CONCLUSIONES

1. Es posible contar con un alimento de mejor calidad nutricional para los bovinos de leche al biotransformar los residuos de cereales con *Pleurotus ostreatus*.
2. *Pleurotus ostreatus* es capaz de degradar de forma eficiente la lignina mediante la producción de enzimas lignocelulíticas, por esto, sus aplicaciones son diversas y aun son objeto de estudios.
3. Los volúmenes de residuos de cereales producidos, se podrían emplear en procesos amigables con el medio ambiente, de forma de evitar la quema de estos.
4. Es posible producir considerables volúmenes de hongos comestibles al emplear la totalidad de los residuos de cereales producidos en Chile.
5. *Pleurotus ostreatus* aumenta el contenido proteico de diferentes sustratos, llegando incluso a duplicarlo, aun así, los valores alcanzados tras la degradación en los diferentes sustratos son inferiores al 20 %, por lo que estos no pueden ser considerados como un concentrado proteico.
6. Sustratos agotados de *Pleurotus ostreatus* poseen mejor digestibilidad, contenido de cenizas y menor contenido de fibras insolubles, esto permite un mejor aprovechamiento de los alimentos.

## REFERENCIAS

1. Acevedo, E. 2003. Sustentabilidad en cultivos anuales: cero labranza, manejo de rastrojos. Serie Ciencias Agronómicas N°8. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile.
2. Aguilar-Rivera, N., A. Castillo, D.A. Rodríguez and J. Murguía. 2012. Production of *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom) grown on sugar cane biomass (trash, bagasse and pith). pp: 77-103. In S. Andres and N. Baumann (Eds.). Mushrooms: types, properties and nutrition. Nova Science Publishers. Veracruz, México.
3. Akinfemi, A. 2010. Bioconversion of peanut husk with white rot fungi: *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus pulmonarius*. Livest. Res. Rural Dev. 22(3):1-49.
4. Akinfemi, A., O.A. Adu and F. Doherty. 2010. Conversion of sorghum stover into animal feed with white-rot fungi: *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus pulmonarius*. Afr. J. Biotechnol. 9(11): 1706-1712.

5. Anrique, R., X. Molina, M. Alfaro y R. Saldaña. 2014. Composición de alimentos para el ganado bovino. (4a. ed.). Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
6. Badarina, I., D. Evvyernie, T. Toharmat, E.N. Herliyana and L.K. Darusman. 2013. Nutritive value of coffee husk fermented with *Pleurotus ostreatus* as ruminant feed. *Media Peternakan* 36(1): 58-63.
7. Bentil, J.A., V.P. Dzogbefia and F. Alemawor. 2015. Enhancement of the nutritive value of cocoa (*Theobroma cacao*) bean shells for use as feed for animals through a two-stage solid state fermentation with *Pleurotus ostreatus* and *Aspergillus niger*. *Int. J. Apl. Microbiol. Biotechnol. Res.* 3: 20-30.
8. Casas, M. y A. Torres. 2012. Confección de heno de buena calidad. Informativo N°103. INIA Remehue. Osorno, Chile.
9. Castaño, N.L., P. Goyes, L.C. Albarracín y F.J. López. 2012. Uso del bagazo enriquecido con el hongo *Pleurotus ostreatus*, en dietas para bovinos estabulados en ceba. *Biotechnol. Sector Agropecuario Agroind.* 10(2): 25-33.
10. Castañón, V. 2017. Producción y comercialización de champiñones gourmet: parte I. Plan de negocios para optar al Grado de Magister en Administración. Universidad de Chile, Postgrado Economía y Negocios. Santiago, Chile.
11. Catrileo, A. 1983. Principios nutritivos y alimentos para el ganado bovino de la IX Región. pp: 7-41. Boletín divulgativo N°96. INIA Carillanca. Temuco, Chile.
12. Catrileo, A. 2015. Alimentación de vacunos con pajas de cereales. Informativo INIA N°82. INIA Carillanca. Temuco, Chile.
13. Chávez-Sifontes, M. y M.E. Domine. 2013. Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Av. Cien. Ing.* 4(4): 15-46.
14. Ciappini, M.C., B. Gatti and M.L. López. 2004. *Pleurotus ostreatus*, una opción en el menú. Estudio sobre las gírgolas en la dieta diaria. *Invenio* 7(12): 127-132.
15. Darwish, G.A.M.A., A.A. Bark, M.M.F. Abdallah. 2012. Nutritional value upgrading of maize stalk by using *Pleurotus ostreatus* and *Saccharomyces cerevisiae* in solid state fermentation. *Ann. Agric. Sci.* 57(1): 47-51.

16. Deepalakshmi, K. and S. Mirunalini. 2014. *Pleurotus ostreatus*: an oyster mushroom with nutritional and medicinal properties. *J. Biochem. Technol.* 5(2): 718-726.
17. Díaz, C. and E. Carvajal. 2014. Eficiencia biológica de *Pleurotus ostreatus* cultivado en fibra de palma de aceite. *Cien. Technol. Alimentaria* 12(1): 63-70.
18. Falade, A.O., U.U. Nwodo, B.C. Iweriebor, E. Green, L.V. Mabinya and A.I. Okoh. 2017. Lignin peroxidase functionalities and prospective applications. *MicrobiologyOpen* 6(1): 1-14.
19. FAO. 2021. Composición de la carne [en línea ]. Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor. <[http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr\\_composition.html](http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html)>. [Consulta: 17 mayo 2021].
20. Fazaeli, H., H. Mahmoodzadeh, Z.A. Jelan, Y. Rouzbehan, J.B. Liang and A. Azizi. 2004. Utilization of fungal treated wheat straw in the diet of late lactating cow. *Asian Aust. J. Anim. Sci.* 17(4): 467-472.
21. Fernandes, A., L. Barros, A. Martins, P. Herbert and I.C.F.R. Ferreira. 2015. Nutritional characterisation of *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) P. Kumm. produced using paper scraps as substrate. *Food Chem.* 169: 396-400.
22. France, A., J.A. Cañumir y M. Cortez. 2000. Producción de hongos ostras. Boletín INIA N°23. INIA Quilamapu. Chillán, Chile.
23. Hoa, T.H., C.L. Wang and C.H. Wang. 2015. The effects of different substrates on the growth, yield and nutritional composition of two oyster mushrooms. (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). *Mycobiol.* 43(4): 423-434.
24. Hofrichter, M. 2002. Review: lignin conversion by manganese peroxidase (MnP). *Enzyme Microb. Technol.* 30(4): 454-466.
25. INE. 2019. Superficie Sembrada de Cultivos Anuales 2019. [en línea]. Instituto Nacional de Estadísticas, Chile. <[ine.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/cosecha](http://ine.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/cosecha)>. [Consulta: 05 diciembre 2020].
26. Khan, N.A., S. Hussain, N. Ahmad, S. Alam, M. Bezabhi, W.H. Hendriks, P. Yu and J.W. Cone. 2015. Improving the feeding value of straws with *Pleurotus ostreatus*. *Anim. Prod. Sci.* 55: 241-245.

27. Kumar, K. 2019. Nutraceutical potential and processing aspects of oyster mushrooms (*Pleurotus* species). *Curr. Nutr. Food Sci.* 15(0): 1-12.
28. Lazo, W. 2016. Hongos de Chile: Atlas micológico. (2a. ed.). Salesianos Impresores S.A. Santiago, Chile.
29. Leong, C.C., W.Y. Ho, S.K. Yeap, G. Krishnen, Z.X. Chong, J.S. Ho, P.T. Lim and S.T. Ten. 2020. Assessment of phylogenetic, growth, and antioxidant capacity of *Pleurotus* spp. In Malaysia. *J. Food process. Preserv.* 45(6): 1-13.
30. Lu, F. and R. John. 2010. Lignin. pp: 169-207. In: S. Run-Cang (Ed.). *Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels.* Elsevier B.V. Amsterdam, Netherlands.
31. Mkhize, S.S., J. Cloete, A.K. Basson and G.E. Zharare. 2016. Performance of *Pleurotus ostreatus* mushroom grown on maize stalk residues supplemented with various levels of maize flour and wheat bran. *Food Sci. Technol.* 36(4): 598-605.
32. Moscoso, C. 2019. Producción y manejo de praderas. pp: 15-22. Boletín INIA N°416. INIA Remehue. Osorno, Chile.
33. Ortiz, M.L. 2009. Aproximaciones a la comprensión de la degradación de la lignina. *Orinoquia* 13(2): 137-144.
34. Pandey, V.K. and M.P. Singh. 2014. Biodegradation of wheat straw by *Pleurotus ostreatus*. *Cell. Mol. Biol.* 60(5): 29-34.
35. Paredes-Juárez, A.K., E. Villegas-Villareal, R. Díaz-Godínez and G. Díaz-Godínez. 2017. Applications of laccase enzymes of *Pleurotus ostreatus*. *Mex. J. Biotechnol.* 2(1): 134-144.
36. Patil, S.S., S.A. Ahmed, S.M. Telang and M.M.V. Baig. 2010. The nutritional value of *Pleurotus ostreatus* (JACQ.:FR.) Kumm cultivated on different lignocellulosic agrowastes. *Innovat. Rom. food biotechnol.* 7: 66-76.
37. Piska, K., K. Sułkowska-Ziaja and B. Muszyńska. 2017. Edible mushroom *Pleurotus ostreatus* (oyster mushroom) - its dietary significance and biological activity. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 16(1): 151-161.

38. Quintero, J.C., G. Feijoo y J.M. Lema. 2006. Producción de enzimas ligninolíticas con hongos basidiomicetos cultivados sobre materiales lignocelulósicos. *Vitae* 13(2): 61-67.
39. Sánchez, J.E. y D.J. Royse. 2001. La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. UTEHA Noriega Editores. Chiapas, México.
40. Sánchez, L., D. Soto, M. Torres, L. Moldenhauer, M. Solís, J. Ojeda, B. Rosas, V. Salazar y C. Truong. 2017. Hongusto, innovación socialen torno a los hongos silvestres y cultivados en Aysén. Ediciones Universidad de Magallanes. Coyhaique, Chile.
41. Santucci, R., C. Bongiovanni, S. Marini, R. Del Conte, M. Tien, L. Banci and M. Coletta. 2000. Redox equilibria of manganese peroxidase from *Phanerochaetes chrysosporium*: funcional rol of residues on the proximal side of the haem pocket. *Biochem. J.* 349: 85-90.
42. Sharma, S., R.K.P. Yadav and C.P. Pokhrel. 2013. Growth and yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) on different substrates. *J. New Biol. Rep.* 2(1): 03-08.
43. Shrivastava, B., S. Thakur, Y.P. Khasa, A. Gupte, A.K. Puniya and R.C. Kuhad. 2011. White-rot fungal conversion of wheat straw to energy rich cattle feed. *Biodegradation* 22(4): 823-831.
44. Tawffek, J.A. 2011. Comparison study between using two kinds of *Pleurotus ostreatus* mushroom for improving barley straw. *J. Food Industries Nutr. Sci.* 1(1): 71-74.
45. Tolera, K.D. and S. Abera. 2017. Nutritional quality of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) as affected by osmotic pretreatments and drying methods. *Food Sci. Nutr.* 5(5): 989-996.
46. Tripathi, J.P. and J.S. Yadav. 1992. Optimisation of solid substrate fermentation of wheat Straw into animal feed by *Pleurotus ostreatus*: a pilot effort. *Anim. Feed Sci. Technol.* 37(1-2): 59-72.
47. Tuyen, V.D., J.W. Cone, J.J.P. Baars, A.S.M. Sonnenberg and W.H. Hendriks. 2012. Fungal strain and incubation period affect chemical composition and nutrient availability of wheat straw for rumen fermentation. *Bioresour. Technol.* 111: 336-342.

48. Varnero, M.T., M.S. Quiroz y C.H. Álvarez. 2010. Utilización de residuos forestales lignocelulósicos para producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). Inf. Tecnol. 21(2): 13-20.
49. Vega, A. y H. Franco. 2012. Productividad y calidad de los cuerpos fructíferos de los hongos comestibles *Pleurotus pulmonarius* RN2 y *P. djamor* RN81 y RN82 cultivados sobre sustratos lignocelulósicos. Inf. Tecnol. 24(1): 69-78.
50. Wong, D.W.S. 2008. Structure and action mechanism of ligninolytic enzymes. Appl. Biochem. Biotechnol. 157(2): 174-209.
51. Wuanor, A.A. and J.A. Ayoade. 2017. Bioconversion of rice straw as a ruminant feed using three strains of white rot fungi. J. Exp. Agric. Int. 19(2): 1-7.
52. Zhao, X., F. Wang, Y. Fang, D. Zhou, S. Wang, D. Wu, L. Wang and R. Zhong. 2020. High-potency White-rot fungal strains and duration of fermentation to optimize corn Straw as ruminant feed. Bioresour. Technol. 312: 123512.