



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

CAMPUS IZTACALA

"EVALUACIÓN QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LA CALIDAD DE LAS PROTEÍNAS
CONTENIDAS EN LOS CARPÓFOROS DE TRES CEPAS DE *Pleurotus spp.*"



T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A
ROSALÍA DEL CARMEN CASTELÁN VEGA

Tlalneantla, Estado de México

284645



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

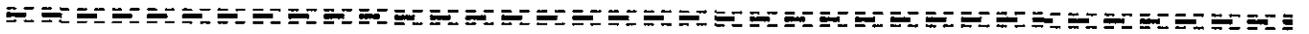
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

SINODALES ASIGNADOS

- DR. IGNACIO PEÑALOSA CASTRO.
- M. EN C. GUSTAVO VALENCIA DEL TORO.
- M. EN C. MARTHA O. SALCEDO ALVAREZ.
- M. EN C. CESAR M. FLORES ORTIZ.
- M. EN C. MARÍA EUGENIA GARIN AGUILAR.

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. GUSTAVO VALENCIA DEL TORO.

El Presente trabajo se realizó en el laboratorio de Producción de Hongos Comestibles de la Universidad Nacional Autónoma de México-Campus Iztacala; bajo la dirección del M. en C. Gustavo Valencia Del Toro.



LA VIDA

La vida es una oportunidad, aprovéchala.

La vida es belleza, admírala.

La vida es dicha, saboréala.

La vida es un sueño, hazlo realidad.

La vida es un reto, afróntalo.

La vida es un deber, cúmplo.

La vida es un juego, juégalo.

La vida es costosa, cuídala.

La vida es una riqueza, consérvala.

La vida es amor, gózala.

La vida es un misterio, devélalo.

La vida es una promesa, lógrala.

La vida es una tristeza, supérala.

La vida es un himno, cántalo.

La vida es una aventura, arróstrala.

La vida es una tragedia, enfréntala.

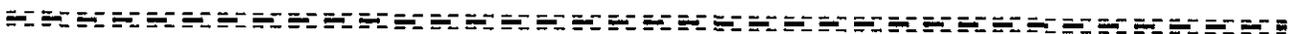
La vida es un combate, acéptalo.

La vida es una suerte, persíguela.

La vida es preciosa, no la destruyas.

La vida es la vida, defiéndela.

Madre Teresa de Calcuta.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco al M. en C. Gustavo Valencia Del Toro por haberme asesorado en la realización de este trabajo, por su tiempo y apoyo brindado.

De igual forma agradezco a la M. en C. Ma. Eugenia Garín por su ayuda y consejos en el desarrollo del presente trabajo.

Agradezco a todos los sinodales por su participación en la revisión del trabajo.

A mi Madre ... Quizá no he sabido agradecerte todo lo que haz hecho por mi, pero ahora te quiero decir: gracias por hacer de tu tiempo nuestro tiempo, por haber construido nuestro hogar, por el presente y el futuro de mis días, por enseñarme el camino de la vida. Por todo eso ¡Te Amo MAMÁ!

A mi Padre, por estar siempre presente.

A mis Hermanos, con quienes he compartido a lo largo de mi vida momentos inolvidables, por aceptarme como soy, pero sobre todo por el apoyo que me brindaron en cada etapa de mi vida.

A Carlos y Carolina, por que con su inocencia, su sonrisa y su perseverancia, sin saberlo me alentaron en los momentos que más lo necesitaba.

A ti... Por que con tu amor y paciencia has despertado en mí un nuevo amanecer, lleno de luz y esperanzas para continuar mi camino con humildad y sencillez.

A mis amigos de la ENEP por su apoyo y ayuda brindada.

A todas aquellas personas que luchan con perseverancia por alcanzar sus ideales.

Este trabajo representa un esfuerzo consecutivo para el logro de una meta, por lo que agradezco a todas las personas que me han brindado de manera desinteresada su apoyo, consejos y enseñanzas a lo largo de mi camino y que recodaré como algo que dejó huella trascendente en mí vida y en mi formación profesional.

A Dios, por que siempre está conmigo y guiarme en todos los momentos difíciles.

ÍNDICE

	PÁGINA
Abreviaturas	
Lista de cuadros	
Lista de figuras	
Resumen	1
1. Introducción	3
1.1. Desperdicios Lignocelulósicos	6
1.1.1. Uso de los residuos lignocelulósicos	6
1.2. Calidad Nutritiva de una proteína	8
1.2.1. Clasificación de los métodos utilizados para la evaluación de la calidad nutritiva de las proteínas	12
1.3 Normas para la comercialización de Hongos Comestibles	21
2. Antecedentes	24
3. Justificación	31
4. Objetivos	33
4.1. Objetivos Generales	33
4.2. Objetivos Particulares	33
5. Metodología	35
5.1. Análisis químico proximal de tres cepas de <i>Pleurotus spp</i>	35
5.2. Determinación de la Digestibilidad <i>in vitro</i> de tres cepas de <i>Pleurotus spp</i>	39
5.3. Determinación de la calidad nutritiva de las proteínas de tres cepas de <i>Pleurotus spp</i>	40
6. Análisis estadístico	45
7. Resultados y Discusión	46
8. Conclusiones	69
9. Figuras de Resultados	71
10. Bibliografía	78
11. ANEXO 1. Ubicación taxonómica del género <i>Pleurotus</i>	89

LISTA DE ABREVIATURAS UTILIZADAS

AOAC= Association of Official Analytical Chemists.

BV= Valor biológico.

C-PER= Relación de eficiencia proteica calculada.

DV= Digestibilidad verdadera.

FAO= Food and Agriculture Organization.

g= Gramos.

ml= *mililitros*.

N= Nitrógeno.

Ni= Nitrógeno ingerido.

Nf= Nitrógeno fecal

Nm= Nitrógeno fecal endógeno.

NPR= Relación neta proteica.

NPU= Utilización neta proteica.

PER= Relación de eficiencia proteica.

PERc= Relación de eficiencia proteica corregida.

SQ= Score químico.

U= Nitrógeno urinario.

Um= Nitrógeno urinario endógeno.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tecnologías para el aprovechamiento de los residuos agrícolas y forestales.

Cuadro 2. Límite de tolerancia de defectos en hongos comestibles.

Cuadro 3. Comparación de los aminoácidos de *Pleurotus spp.*

Cuadro 4. Contenido de minerales de los esporóforos de *Pleurotus spp.*

Cuadro 5. Contenido vitamínico de los esporóforos de *Pleurotus spp.*

Cuadro 6. Composición de las dietas por grupo.

Cuadro 7. Mezcla de vitaminas.

Cuadro 8. Mezcla de sales minerales.

Cuadro 9. Análisis químico proximal de las cepas evaluadas.

Cuadro 10. Valores bibliográficos reportados para los constituyentes químicos de *Pleurotus spp.*

Cuadro 11. Composición media del % de humedad de algunos hongos y vegetales.

Cuadro 12. Digestibilidad *in vitro* de las cepas evaluadas.

Cuadro 13. Digestibilidad *in vitro* de varias especies de *Pleurotus spp.*

Cuadro 14. Digestibilidad *in vitro* de varios alimentos y de las cepas evaluadas.

Cuadro 15. Alimento y proteína consumidos, ganancia en peso, PER y PERc de los ratones con las dietas de Caseína, INIREB-8, STAMETES e IE-136.

Cuadro 16. Comparación de los valores de PER y PERc en varios alimentos.

Cuadro 17. Comparación del PER calculado de varias especies de *Pleurotus spp.*

Cuadro 18. Digestibilidad verdadera, valor biológico y utilización neta proteica de las dietas de Caseína, INIREB-8, STAMETS e IE-136.

Cuadro 19. Digestibilidad verdadera (%) de algunos alimentos.

Cuadro 20. Comparación de los valores de Valor biológico de varios alimentos.

Cuadro 21. Comparación de los valores de Utilización neta proteica de varios alimentos.

Cuadro 22. Relación neta proteica de las dietas de Caseína, INIREB-8, STAMETS e IE-136.

Cuadro 23. Comparación de la Relación neta proteica de varios alimentos.

Cuadro 24. Intervalos de valores fisicoquímicos propuestos para la norma de calidad de los hongos del género *Pleurotus spp.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Utilización de Nitrógeno proteico de los alimentos.

Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología empleada.

Figura 3. Comparación del Análisis químico proximal de las tres cepas de *Pleurotus spp* evaluadas.

Figura 4. Comparación del porcentaje de Digestibilidad in vitro (empleando pepsina) de las cepas evaluadas, así como de la proteína de referencia.

Figura 5. Comparación de la cantidad de alimento consumido y proteína consumida y ganancia en peso por los animales experimentales.

Figura 6. Relación de eficiencia proteica normal y corregida de las tres cepas evaluadas.

Figura 7. Nitrógeno consumido, absorbido y retenido por los animales experimentales al consumir los diferentes tipos de dietas administradas.

Figura 8. Digestibilidad verdadera, valor biológico y utilización neta proteica de las tres cepas evaluadas.

Figura 9. Relación neta proteica de las tres cepas evaluadas.

RESUMEN

Tradicionalmente se ha considerado a los hongos como un alimento de alta calidad, con sabor y textura apreciables y sobre todo con un alto valor nutritivo. Representan una magnífica fuente de proteínas, pues llegan a contener hasta un 35% de este constituyente; mientras que en el trigo y la leche las proteínas representan el 13.2% y el 25.2%, respectivamente. En lo referente a los aminoácidos esenciales el género *Pleurotus spp.* contiene alrededor del 59% de los aminoácidos que necesita el hombre para su nutrición encontrándose entre estos: la fenilalanina, alanina, lisina y leucina. Sin embargo, debido a que la mayoría de estos estudios se encuentran basados en evaluaciones químicas, se hace necesario estudiar otro tipo de parámetros para determinar la asimilación de nutrientes por organismos vivos. Es por esto que el objetivo general del presente trabajo fue evaluar la calidad biológica de las proteínas de las cepas INIREB-8, IE-136 y STAMETES del género *Pleurotus spp.*, así como aportar elementos para la propuesta de una norma de calidad para *Pleurotus spp.* La metodología empleada para alcanzar dichos objetivos se dividió en dos etapas: la primera implicó la evaluación de la calidad de las proteínas por métodos químicos realizando la determinación del análisis químico proximal y de la digestibilidad *in vitro* de las tres cepas; la segunda etapa implicó la evaluación de la calidad de las proteínas por métodos biológicos realizando la determinación de los parámetros de relación de eficiencia proteica (PER), digestibilidad verdadera (D), valor biológico (VB), utilización neta proteica (NPU) y relación neta proteica (NPR). Los resultados obtenidos para el análisis químico proximal efectuado a las tres cepas revelaron que la cepa STAMETS es la más rica en contenido proteico (28.19%), seguida de IE-136 (27.80%) e INIREB-8 (26.70%). La digestibilidad *in vitro* de las tres cepas fue muy elevada, encontrando un rango de 98.02-98.10%. En cuanto a los parámetros biológicos empleados, tenemos que para la relación de eficiencia proteica (PER), la cepa STAMETS fue quién obtuvo el mayor valor (2.38). Con respecto a la digestibilidad verdadera los valores para las cepas IE-136, INIREB-8

y STAMETS, fueron 97.49%, 97.66% y 98.28%, respectivamente. La cepa con mayor valor biológico (VB) fue STAMETS (88.37%) y la de menor valor fue IE-136 (86.03%). Con respecto a la utilización neta proteínica (NPU) los valores fueron, para la cepa STAMETS 86.85%, para la cepa INIREB-8 84.79% y para la cepa IE-136 83.88%. Finalmente, para el parámetro de relación neta proteínica (NPR), los valores obtenidos para las cepas INIREB-8, IE-136 y STAMETS, fueron de 4.07, 4.08 Y 4.18, respectivamente. En general, a pesar de que en todos los parámetros existió diferencia significativa entre los valores de las tres cepas con respecto a la caseína, los datos obtenidos se encontraron muy cercanos a los de la proteína de referencia (caseína). Todo esto permite concluir que las proteínas de las tres cepas evaluadas presentan una calidad biológica aceptable, equivalente a alimentos tales como la carne y la leche, y muy superior a la de una amplia variedad de cereales y vegetales. Las cepas estudiadas también presentan una productividad aceptable para su cultivo a escala comercial.

1. INTRODUCCIÓN

La desnutrición es un problema de gran magnitud en el mundo y es más acentuado en los países en desarrollo, donde afecta principalmente a lactantes, niños en edad preescolar y mujeres embarazadas. Es claro que esta situación se hace más evidente debido a la limitada disponibilidad de alimento en cuanto a calidad y cantidad.

En la actualidad se ha puesto especial atención, a nivel mundial y nacional, en la búsqueda de nuevas fuentes de alimentos. En particular se ha tratado de difundir el desarrollo de tecnología que permita la transformación de los recursos naturales en biomasa comestible; por lo que la producción de hongos comestibles capaces de degradar celulosa y lignina, representa una buena alternativa y permite la reutilización de millones de toneladas de desperdicios agrícolas y forestales tales como pajas, bagazos, cáscaras, cortezas, ramas, tocones, etc. que se generan mundialmente y que constituyen un recurso potencial como sustrato para la producción de alimento, además los hongos comestibles presentan altos rendimientos en pequeñas áreas y son considerados un producto de alta calidad, sabor y valor nutritivo (Martínez-Carrera et al., 1993; 1997).

Los hongos, son organismos muy comunes en la naturaleza, puesto que viven prácticamente en todos los medios. Se estima que habitan en la tierra entre 1.5 a más de 2.5 millones de especies de hongos, de las que solamente se conocen 7000 (Guzmán, 1995; 1996), de ellos las especies comestibles (ciertos *Basidiomicetes* y algunos *Ascomicetes*) gozan de especial importancia, ya que desde los tiempos más antiguos, han sido tratados como un alimento especial. Los Griegos creían que otorgaban fuerza a los guerreros en batalla. Los Romanos los consideraban “alimento de los dioses”, el cual era servido sólo en ocasiones festivas. Los chinos los adoraban por ser el “elixir de la vida”. Los indígenas mexicanos los utilizaban como alucinógenos en ceremonias religiosas, en

brujeías y en ocasiones con fines terapéuticos (Chang et al., 1993; Ebrard, 1996). Estos tienen gran importancia etnomicológica porque constituyen un alimento muy estimado por los miembros de diversos grupos étnicos y en general, por los campesinos de las regiones donde se desarrollan en abundancia (Herrera y Ulloa, 1990).

Dentro de la enorme variedad de hongos comestibles existen especies micorrícicas (asociadas a las raíces de los árboles), parásitas o saprófitas. Estas últimas actúan como degradadoras de la materia orgánica debido a que poseen un complejo enzimático con la capacidad de descomponer y metabolizar eficientemente celulosa, hemicelulosa y lignina. Por esta razón, crece una gran variedad de estos organismos sobre los desechos agrícolas, ofreciendo un mecanismo efectivo para manejar y utilizar en forma más racional las enormes cantidades de desperdicios generados anualmente por las actividades forestales, de la agricultura y de la industria alimentaria (Martínez, 1985; Martínez-Carrera y Larqué-Saavedra, 1990; Velázquez, 1997).

A pesar de que los hongos han sido parte de la alimentación del hombre a través de casi toda su historia, sólo en épocas relativamente recientes se han cultivado comercialmente. La excepción está representada por los japoneses que aprendieron hace siglos la técnica para cultivar *Lentinus edodes*, conocido popularmente como shii-take y los franceses que hicieron los primeros intentos para producir comercialmente *Agaricus campestri* (un tipo de champiñón) en el siglo XVII (Guzmán, 1993).

Actualmente, el consumo de hongos comestibles se encuentra, principalmente, en cuatro regiones del mundo, y son: Norteamérica, el Sureste de Asia, Europa y Mesoamérica. Tan sólo en nuestro país, se sabe que existen más de 200 especies de hongos comestibles, a los que las comunidades campesinas tradicionales (mestizos y sobre todo indígenas) asignan nombres vernáculos para

diferenciarlos. Cerca de 80 especies fundamentalmente saprófitas, con excepción de algunas micorrícicas, se han logrado cultivar en forma experimental en laboratorios de diversas partes del mundo, 22 han sido cultivadas comercialmente y sólo 10 se producen a escala industrial. (Martínez-Carrera et al., 1993).

Entre estos últimos los del género *Pleurotus spp.* han tenido un amplio desarrollo en nuestro país, promoviéndose su cultivo principalmente en los estados de Coahuila, Chiapas, Guerrero, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Querétaro, Tabasco, Tlaxcala y Veracruz. Se estima que su producción ha pasado de 356 toneladas en 1990, a 1,825 toneladas en 1997, lo cual significó un incremento de aproximadamente 413%; y comparativamente con el champiñón (*Agaricus*), su desarrollo, diversificación tecnológica, producción y mercado han sido apreciablemente mayores. Esto ha sido posible gracias a la sencillez del cultivo, el uso de subproductos agrícolas regionales como sustrato, la aceptación de este hongo por el pueblo mexicano y al hecho de que no se requieren grandes inversiones económicas iniciales (Martínez-Carrera, 1997). Todo esto ha estimulado la investigación de gran variedad de sustratos para su cultivo, entre los que se encuentran aserrín de caoba y cedro, fibra de coco, olote de maíz (Herrera, 1997), masilla de cerveza, bagazo de maguey tequilero (Lara, 1997), bagazo de henequén y rastrojo de maíz (Ancona, 1997).

Algunas de las especies de *Pleurotus* que se cultivan con fines alimenticios son: *P. ostreatus*, *P. florida*, *P. sapidus*, *P. flabellatus*, *P. eryngii*, *P. sajor caju* y *P. cornucopiae*. El cultivo de estos hongos además de disminuir la contaminación ambiental, puede conducir a la optimización de la producción agrícola y forestal por reducción de pérdidas y a resolver una parte del problema nutricional de nuestro país, ya que en general, los esporóforos de las especies de *Pleurotus* cuentan con alrededor de 10.5-35% de proteína (en base seca) de buena calidad y digestibilidad (Crisand y Sands, 1978; Bano y Rajarathnam, 1982; Chang et al., 1993).

1.1 DESPERDICIOS LIGNOCELULÓSICOS.

En México se generan desperdicios lignocelulósicos en cantidades considerables, los cuales representan alrededor de 30 millones de toneladas por año. Estos desechos son producidos básicamente a partir de la actividad agrícola, esencialmente en la producción de maíz, frijol, sorgo, trigo, caña de azúcar, café y frutales (16 57 millones de toneladas por año). Cerca de la mitad de la biomasa total producida en la mayoría de nuestros cultivos permanece desaprovechada, lo que se traduce en la acumulación periódica de cantidades considerables de desperdicios vegetales. Adicionalmente, la actividad forestal representa otra fuente importante en la generación de desechos (12 692 millones de toneladas). Parte de estos desperdicios se utilizan como compostas, forrajes y combustibles, que generalmente son arrojados a los lagos, ríos y terrenos baldíos, dando lugar a fuentes de contaminación y a factores de insalubridad, por lo que representan un serio problema de contaminación ambiental y altos costos para su manejo. Resulta por ello de vital importancia, encontrar los mecanismos adecuados que permitan reciclar estos desechos en el ecosistema, aumentando las opciones de su utilización y tratando de disminuir el deterioro ambiental que pudiera ocasionarse en el lugar en donde son producidos, o bien donde serán utilizados (Leal, 1982; Martínez, 1985; Martínez-Carrera y Larqué-Saavedra, 1990; Chang et al., 1993; Vázquez, 1997).

1.1.1 USO DE LOS RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS.

México ha tenido un gran incremento demográfico, el cual ha ocasionado, entre otros resultados, que los mexicanos dispongan de menos tierra cultivable. Esta circunstancia debería estimular el incremento de la eficiencia productiva y con ello aprovechar mejor los productos orgánicos que se derivan directa o indirectamente del sector agropecuario y forestal. De esta manera, lo que antes se consideraba

desperdicio, ahora debe valorarse como materia prima para su aprovechamiento alimentario o industrial, por lo que, la utilización de esos desperdicios agrícolas y forestales, empleando tecnologías que permitan aumentar la producción de alimentos básicos, debe adquirir una importancia cada vez mayor en nuestro país (Quintero y Leal, 1982).

Considerando la mayoría de los cultivos agrícolas, el producto cosechado representa solo el 30% de la biomasa total producida a nivel mundial y las pérdidas de material cosechado en México se calculan alrededor de un 50% que correspondería a los desperdicios (Leal, 1982). De esta manera, los residuos agrícolas y forestales integran el mayor volumen de desperdicios generados por la actividad humana, de allí que la utilización integral de estos desechos es urgente. Actualmente en México se encuentran en operación los siguientes procesos de aprovechamiento de desechos:

1. Producción de furfural a partir de olotes de maíz o bagazo de caña
2. Producción de papel de bagazo de caña o paja de trigo.
3. Producción de tableros aglomerados a partir de bagazo de caña.
4. Producción de composta a partir de desperdicios agroindustriales.
5. Producción de alcohol a partir de melaza.

Uno de los procesos biotecnológicos con aplicación industrial más desarrollado en México es: la transformación de la composta de pajas o rastrojos, en hongos comestibles de los géneros *Agaricus* y *Pleurotus*, comúnmente llamados Champiñones y Setas, respectivamente (Leal, 1982; 1985; Velázquez, 1997).

Velázquez en 1997 propone el empleo de las siguientes tecnologías para el aprovechamiento integral de los residuos agrícolas y forestales en México:

TECNOLOGÍAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

- | | |
|--|--|
| <p>1. GENERACIÓN DE ENERGÍA
Combustión directa.
Biogás.
Etanol.
Producción de gas.</p> | <p>2. APLICACIÓN A LA TIERRA
Fertilizantes.
Acondicionadores del suelo.
Irrigación.
Horticultura.</p> |
| <p>3. ALIMENTACIÓN
Alimentación directa.
Fermentación.
Conversión microbiana.
Piscicultura.</p> | <p>4. Materiales para construcción.</p> <p>5. PAPEL.</p> |

Cuadro 1. Tecnologías para el aprovechamiento de los Residuos agrícolas y forestales.

Fuente: Velázquez, 1997

1.2 CALIDAD NUTRITIVA DE UNA PROTEÍNA.

Las proteínas son las moléculas orgánicas más abundantes en las células, constituyendo el 50% o más de su peso seco. Se encuentran en todas las partes de cada célula, ya que son fundamentales en todos los aspectos de la estructura y función celulares. Intervienen en diferentes funciones biológicas, tales como la catálisis de reacciones bioquímicas, el almacenamiento de aminoácidos para el embrión en crecimiento, el transporte de tipos específicos de moléculas, la contractilidad muscular, la regulación del metabolismo, como elementos estructurales y como elementos de protección o defensa (Leningher, 1979).

La función más importante de las proteínas en la nutrición humana y animal, es la de suministrar el sustrato necesario para la síntesis de proteína de tejidos y órganos así como la de síntesis de metabolitos nitrogenados importantes tales como hormonas peptídicas y varios derivados activos de aminoácidos como los neurotransmisores: serotonina y norepinefrina (Pellet y Young, 1980).

Para que ocurra la síntesis de proteína, deben estar presentes en el citosol todos los aminoácidos necesarios en cantidades adecuadas. Hay ocho aminoácidos que el organismo humano no es capaz de sintetizar y que, por lo tanto, deben ser suministrados por la dieta. Estos aminoácidos, llamados "esenciales" son: leucina, isoleucina, lisina, metionina, valina, treonina, triptofano y fenilalanina. Hay dos aminoácidos, histidina y arginina, que el organismo puede sintetizar pero no a la velocidad suficiente para permitir un crecimiento óptimo en humanos y otros mamíferos. Estos aminoácidos se denominan "semiesenciales" y se ha observado que deben figurar en la alimentación de niños y ratas en crecimiento. Los otros aminoácidos son no esenciales, ya que pueden ser sintetizados a partir de nitrógeno amínico y metabolitos que contengan carbono, hidrógeno, y oxígeno. Dos de los aminoácidos no esenciales se sintetizan en el organismo a partir de dos esenciales: la cisteína a partir de la metionina, y la tirosina a partir de la fenilalanina. Por lo tanto, si la cantidad que contiene la dieta de estos dos aminoácidos no esenciales es suficiente, se reduce la cantidad requerida de los indispensables antes citados. Esta es la razón por la que el contenido en metionina y cisteína de las proteínas se considera siempre en conjunto bajo el título de aminoácidos azufrados, y la pareja tirosina-fenilalanina como aminoácidos aromáticos. La cisteína y la tirosina se han llamado aminoácidos "dispensables condicionados" (Hegsted, 1979; Bender, 1977; Jansen, 1978).

El proceso de síntesis de las proteínas inicia en el estómago y en el intestino delgado. Aquí las proteínas que ingerimos se digieren, liberando sus aminoácidos *constituyentes*. Los aminoácidos son absorbidos luego en el organismo y llegan a la corriente sanguínea que los transporta a todas las células. En el interior de cada célula se elaboran las proteínas orgánicas.

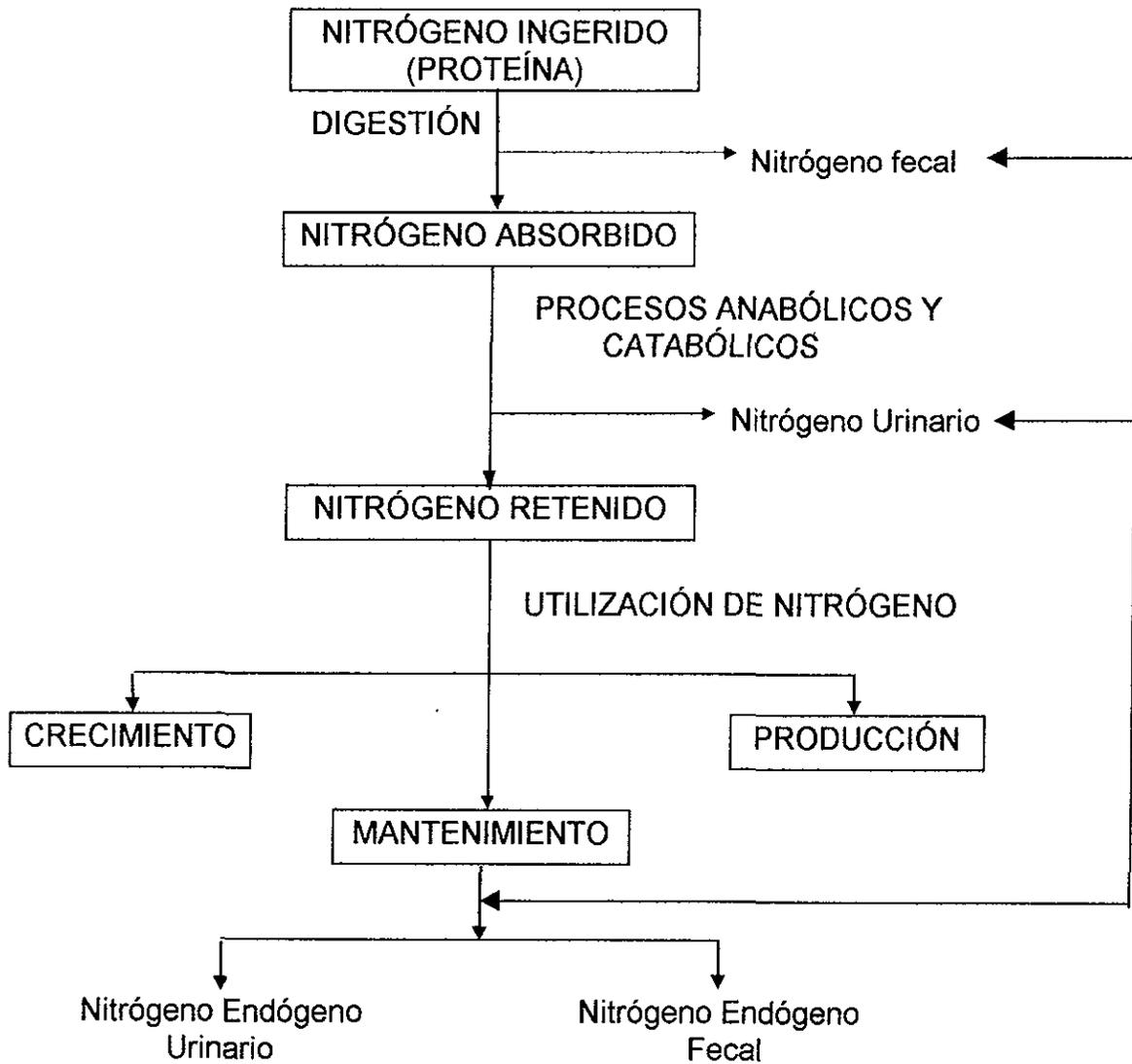
El cuerpo sintetiza sin cesar nuevas proteínas y al mismo tiempo las degrada. Esas sustancias primero se digieren en sus aminoácidos componentes por acción de las enzimas.

El catabolismo de los aminoácidos resultantes de la digestión es excretado a través de la orina. Lo que queda del aminoácido recibe el nombre de esqueleto de carbono que se utiliza en la producción de energía.

El metabolismo proteico se analiza centrándose en la naturaleza de lo que entra y sale del organismo en estudio: la ingesta y la excreta. El metabolismo proteico incluye otros compuestos nitrogenados además de las proteínas y aminoácidos, por lo cual es preferible examinar el metabolismo del nitrógeno, midiendo su entrada y salida, en lugar de un análisis de entrada y salida de proteínas.

El balance de nitrógeno se fundamenta en el hecho de que cuando las proteínas consumidas en la dieta son digeridas, dan lugar a dos fracciones de nitrógeno (fig. 1): la primera fracción es de nitrógeno que se excreta por vía fecal, este nitrógeno procede de las proteínas no digeridas ni absorbidas; la segunda fracción es de nitrógeno absorbido, esta última fracción a su vez es utilizada a través de procesos anabólicos y catabólicos que producen una cantidad de nitrógeno que será excretada por orina y otra fracción que es utilizada para el mantenimiento, crecimiento y producción de tejidos en el organismo que se denomina nitrógeno retenido. De forma natural el organismo elimina pequeñas fracciones de nitrógeno endógeno por vía fecal y urinaria, el nitrógeno endógeno fecal proviene de enzimas digestivas que desintegran la comida y también de las proteínas de las células que se desprenden de la pared interna del tubo digestivo; el nitrógeno endógeno urinario proviene de la descomposición de los ácidos nucleicos (DNA y RNA) y de la descomposición de creatina. De acuerdo con lo descrito anteriormente, el organismo permanentemente está recibiendo nitrógeno de los alimentos y de igual manera está eliminándolo, por lo tanto, conociendo el contenido de nitrógeno en el alimento y en las excreciones fecales y urinarias, se obtiene una medida cuantitativa del metabolismo proteico; así el balance de nitrógeno puede ser definido como la cantidad de nitrógeno ingerido que es retenido por el organismo.

Fig. 1. Utilización del Nitrógeno Proteico de los Alimentos (Beltran, 1983).



Las proteínas difieren en su capacidad de promover el crecimiento y de conservar los compuestos que contienen nitrógeno del organismo. La eficiencia de una proteína determinada para cumplir con los requerimientos de aminoácidos y de nitrógeno de un organismo depende no sólo de su composición en aminoácidos y de la digestibilidad de la proteína, sino que también, de la composición de la dieta (proteína total, energía total, composición de aminoácidos, etc.), del estado fisiológico, nutricional y de salud del animal o humano que la consume. Las necesidades de aminoácidos esenciales son mayores durante el crecimiento que

durante la edad adulta; por lo tanto, la calidad de una proteína es mucho más importante en situaciones anabólicas tales como la infancia y años preescolares, el embarazo, la lactancia y la recuperación de enfermedades (Jansen, 1978).

La evaluación de la calidad proteica en la alimentación es de gran importancia, sobre todo en los países donde la población subsiste a base de alimentos vegetales en los que la cantidad de proteína es baja y su calidad inadecuada (Conn y Stumpf, 1977). También la evaluación proteica se requiere para el estudio y desarrollo de nuevas fuentes de proteína tales como variedades genéticas, suplementación con aminoácidos, proteínas unicelulares y mezclas de proteínas vegetales (Pellet y Young, 1980). La calidad proteica también es importante desde el punto de vista industrial debido a que las proteínas de baja calidad son más baratas que las de alta calidad y en general, los fabricantes de alimentos procesados necesitan predecir el valor biológico de una proteína o mezcla de proteínas en el alimento con el fin de detectar cambios ocurridos durante el procesamiento, desarrollar nuevos productos, o hacer cambios en los ingredientes (Anderson, 1978; Jansen, 1978; Neisheim, 1977).

1.2.1. Clasificación de los métodos utilizados para la evaluación de la calidad nutritiva de las proteínas.

Se han propuestos muchos métodos para evaluar la calidad nutritiva de las proteínas (Bodwell, 1977). Estos incluyen, en general, métodos químicos y métodos biológicos.

Los métodos químicos están basados en la determinación de la composición de aminoácidos, a partir de la cual se calcula un número de indicadores de calidad proteica tales como el score químico y el índice de aminoácidos esenciales. Estos métodos son rápidos, baratos y simples, pero tienen la limitación de no tomar en cuenta la digestibilidad y la biodisponibilidad de los aminoácidos, así como la

presencia de factores antinutricionales. Es por esto, que se han desarrollado técnicas para estimar la biodisponibilidad de aminoácidos individuales, particularmente lisina y metionina. Así mismo, se ha intentado predecir la digestibilidad proteica utilizando hidrólisis enzimática *in vitro*.

Los métodos biológicos son los únicos considerados como apropiados para la estimación del valor nutritivo real de las proteínas (Pellet y Young, 1980). Estos métodos se basan en la respuesta de animales comunes de laboratorio (ratones, ratas, perros, pollos, etc.) y en algunos casos del hombre mismo, a la ingesta de proteína. Tal respuesta puede ser un cambio en el peso corporal o un cambio en algún componente del cuerpo (frecuentemente el contenido de nitrógeno). Estos bioensayos son afectados por factores tales como: edad, sexo y peso del animal, ingesta de alimento, manejo, condiciones ambientales (temperatura, humedad, tamaño de jaula, luz), etc. Por lo tanto, cada procedimiento de ensayo debe ser cuidadosamente controlado y estandarizado (Hackler, 1977).

A) Métodos Químicos:

A.1) *Determinación de nitrógeno proteico.* El nitrógeno proteico se determina convencionalmente por la técnica de Kjeldhal. En el caso de organismos unicelulares, se recomienda se determine además la cantidad de nitrógeno no proteínico (González y Peñalosa, 2000).

A.2) *Análisis individual de aminoácidos.* El análisis individual de aminoácidos se inicia con la hidrólisis ácida de las proteínas a aminoácidos libres, posteriormente se hace una separación por columna de intercambio iónico y se cuantifica el complejo aminoácido-ninhidrina por métodos colorimétricos. En la mayoría de los casos una hidrólisis ácida de 24 horas puede dar una información adecuada para los propósitos de conocer el score químico. Sin embargo, siempre es necesario determinar por separado el contenido de triptófano, mediante

hidrólisis alcalina, debido a que la hidrólisis ácida destruye totalmente a este aminoácido y parcialmente a otros aminoácidos tales como la metionina y la cisteína por lo cual es necesario proteger a estos últimos, oxidando con ácido perbórico para que sean más resistentes a las condiciones fuertemente ácidas de la hidrólisis (González y Peñalosa, 2000).

A.3) Score químico (SQ). El concepto de score químico, se introdujo por Block y Mitchel en el año de 1946, consiste en evaluar la calidad de una proteína, relacionando la cantidad de cada uno de sus aminoácidos constituyentes con el contenido del aminoácido respectivo en una proteína de referencia, actualmente se utiliza como referencia el patrón recomendado por la Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization (FAO/WHO) en 1973, la cuál sugiere un consumo de isoleucina de 4.0 g/100 g de proteína, leucina 7.0 g, lisina 5.5 g, metionina+cistina 3.5 g, fenilalanina+tirosina 6.0 g, treonina 4.0 g, valina 5.0 g y triptófano 1.0 g. Al resultado obtenido se le denomina score químico y al aminoácido que presenta el menor valor por este procedimiento es llamado el aminoácido limitante. El cálculo se realiza por la siguiente fórmula:

$$SQ = \frac{\text{mg aminoácido/g N proteína problema}}{\text{mg aminoácido/ g N proteína de referencia}}$$

Una de las limitaciones principales del score químico es que asume la disponibilidad completa de todos los aminoácidos, es decir, no considera la digestibilidad de la proteína, la cual constituye un factor primordial de su calidad (Pellet y Young, 1980).

A.4) Disponibilidad de algunos aminoácidos. El valor nutritivo de una proteína alimenticia depende no sólo de su contenido de aminoácidos esenciales sino también de su disponibilidad fisiológica. Para que un aminoácido sea llamado "disponible", no sólo debe ser liberado durante la digestión en el intestino, sino

también absorbido y utilizado en el metabolismo del cuerpo (Anderson, 1980). Así, un aminoácido puede estar presente por análisis químico, pero estar efectivamente ausente para el animal que lo consume (Pellet y Young, 1980).

A nivel de digestión, los aminoácidos pueden ser no disponibles si están en regiones de la proteína protegidas (química o físicamente) de la acción de enzimas proteolíticas, o si están unidos a otros grupos químicos mediante enlaces que no son fácilmente escindidos por digestión (Anderson, 1980).

La disponibilidad de un aminoácido puede verse afectada al someter al alimento a tratamientos y procesos industriales tales como calentamiento, secado, adición de preservativos, etc. De aquí que la determinación rápida de un aminoácido que se sabe es sensible a un tratamiento dado, puede servir como índice en el control de calidad del alimento sometido a dicho proceso (Bender, 1977).

Se han propuesto varios métodos para estimar la disponibilidad nutricional de los aminoácidos. Los métodos químicos son los más ampliamente usados y generalmente implican la reacción de algún compuesto químico con los aminoácidos disponibles y su detección por cromatografía, espectrofotometría, u otro.

A.5) Digestibilidad *in vitro*. Aunque el perfil de aminoácidos es importante en la evaluación de la calidad de una proteína, la digestibilidad de la misma es el primer determinante de la disponibilidad de sus aminoácidos. La digestibilidad de una proteína puede obtenerse por el uso de bioensayos con ratas pero éste es un procedimiento laborioso que requiere de tiempo. Por lo que se ha intentado imitar la acción del sistema digestivo de los mamíferos usando digestión enzimática *in vitro*. Este procedimiento es más rápido, simple y económico que el procedimiento *in vivo*. Sin embargo, la digestibilidad *in vitro* subestima la digestibilidad de las proteínas, debido a que algunas proteínas son resistentes al ataque por enzimas proteolíticas *in vitro* (FAO/WHO, 1989).

A.6) Relación de eficiencia proteínica calculada (C-PER). Debido a que la relación de eficiencia proteica (PER) es un procedimiento que consume tiempo, pero que es reconocido como método oficial, se ha intentado predecirlo por medio de técnicas rápidas de laboratorio. Se ha desarrollado una técnica (Satterlee et al., 1977; Hsu et al., 1978) que expresa el perfil de aminoácidos esenciales de la muestra y de una caseína de referencia, corregidos por su digestibilidad *in vitro*, como un porcentaje del modelo de aminoácidos esenciales FAO, 1973 (FAO/WHO, 1989), e integrándose a una ecuación predictiva obtenida al relacionar los valores calculados de 85 alimentos e ingredientes alimenticios diferentes, con sus respectivos PERs basados en la rata.

B) Métodos Microbiológicos:

Los métodos microbiológicos se han empleado para evaluar la calidad nutricional de las proteínas de diferentes maneras:

- 1) Los microorganismos se han utilizado para el ensayo de aminoácidos individuales después de una hidrólisis ácida de la proteína. Estos métodos pueden ser muy útiles cuando no hay otro equipo disponible o cuando se requieren muchos ensayos de un sólo aminoácido para el cual no hay una reacción colorida específica conveniente. Un microorganismo muy utilizado para este fin, es *Leuconostoc mesenteroides* (Pellet, 1978).
- 2) Empleo de microorganismos con sus propias enzimas proteolíticas para el ensayo directo de proteínas intactas o pretratadas con una digestión parcial con enzimas proteolíticas. Mediante estos ensayos puede determinarse la disponibilidad de aminoácidos o calidad proteínica total. *Streptococcus faecalis*, *Leuconostoc mesenteroides* y *Streptococcus zymogenes*, se han utilizado para medir la disponibilidad de aminoácidos esenciales seleccionados (Hsu, 1978). El protozoario *Tetrahymena* se ha empleado para

la determinación de calidad proteica total, ya que tiene la ventaja de tener un requerimiento de aminoácidos esenciales similar al del hombre y la rata, y puede ingerir partículas de material no totalmente solubilizado (Hsu, 1978). *Tetrahymena* puede degradar proteínas intactas para liberar los aminoácidos requeridos para su crecimiento. Sin embargo, se ha demostrado que, para que el crecimiento de este protozoo correlacione con los índices de crecimiento animal o índices químicos de calidad proteica, la proteína debe ser solubilizada (Hsu, 1978). Dryden (Citado por Satterlee, 1977) desarrolló un método de predicción de la relación de eficiencia proteica en el que el protozoo *Tetrahymena pyriformis* W era incubado por 96 horas en un medio conteniendo la proteína parcialmente predigerida por el procedimiento de digestión multienzimático de Hsu (1977). Dryden obtuvo, a partir de 14 fuentes de proteína, la relación matemática entre calidad proteica, determinada por la relación de eficiencia proteica en ratas, y las dos variables independientes: crecimiento de *Tetrahymena* (determinado por conteo celular con un hemocimetro), y digestibilidad proteica *in vitro*. Satterlee (1977) encontró que la cepa WH₁₄ de *Tetrahymena pyriformis* crecía más rápidamente y que el tiempo de incubación podía disminuirse a 60-72 horas. Hsu (1978) acortó a 66 horas el ensayo de predicción de la relación de eficiencia proteica, usando *Tetrahymena thermophila* WH₁₄ y determinando su crecimiento con el uso de un contador de partículas Coulter (este ensayo se ha llamado "T-PER"). Baker en 1978, desarrolló un ensayo que implica la predigestión y solubilización de la muestra con bromelina comercial y el crecimiento de *Tetrahymena thermophila* en un medio conteniendo el sobrenadante libre de partículas de la proteína solubilizada. El porcentaje del crecimiento de *Tetrahymena* (determinado por la absorbancia a 650 nm) en el medio con muestra, con respecto al crecimiento en el medio con caseína, tuvo una excelente correlación con la relación de eficiencia proteica usando ratas y además, encontró que la correlación obtenida con *Tetrahymena thermophila* WH₁₄, es mayor que la obtenida con *Tetrahymena pyriformis* W.

C) Métodos Clínicos:

Los métodos clínicos para la evaluación de la calidad de una proteína, están basados en los mismos principios aplicados a los ensayos con animales, pero adaptadas a las necesidades del hombre.

Los principales procedimientos usan como criterios la medición del crecimiento de niños alimentados con una proteína conocida y el balance de nitrógeno, éstos a su vez pueden ser llevados a cabo solos o en combinación con otros análisis bioquímicos como son: la determinación de aminoácidos y proteínas en el suero sanguíneo, nitrógeno sérico y excreción urinaria de creatina, compuestos sulfurados e hidroxiprolina (Pellet y Young, 1980). En los jóvenes el balance de nitrógeno y crecimiento son criterios que dan resultados similares, excepto en niños, los métodos de crecimiento no son convenientes debido a que consumen mucho tiempo y están demasiado sujetos a las condiciones ambientales. Sólo se utilizan para demostrar el valor de nuevas fuentes de proteína diseñadas para alimentar a niños. Por otro lado, una limitación en los métodos de crecimiento en humanos es que no es ético alimentar a humanos en crecimiento por largos períodos de tiempo con niveles bajos de ingesta para la determinación de las diferencias en la calidad de la proteína. Esto puede provocar un retardo permanente en el crecimiento y/o desarrollo (Anaya, 1985).

C) Métodos Biológicos:

D.1) Métodos Basados en los cambios de Peso Corporal:

D.1.1) RELACIÓN DE EFICIENCIA PROTEICA (PER). La relación de eficiencia proteica fue introducido por Osborne, Mendel y Ferry en 1919, al observar que la velocidad de crecimiento era influenciada por la ingesta de alimento, y debería ser considerada en algún ensayo para medir la calidad proteica (Pellet y Young,

1980). Posteriormente este método fue estudiado y estandarizado, para servir como base para establecer el método oficial de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC).

La PER se ha definido como la ganancia en peso por animales alimentados con una proteína estudiada bajo condiciones controladas, utilizando un nivel del 10% de proteína, por un período de 4 semanas. Es importante mencionar que el ensayo implica el uso de un grupo control alimentado con una proteína de referencia (caseína), por lo que los valores obtenidos se reportan relativos a esta.

D.1.2) RELACIÓN NETA PROTEÍNICA (NPR). La relación neta proteica introducida por Bender y Doell en 1960 es una modificación mejorada del método del PER, en el sentido en que introduce un grupo de cero proteína, por lo que mide las necesidades de mantenimiento como las de crecimiento del organismo y se define como la relación entre la ganancia en peso de un grupo de animales alimentados con una proteína problema, más la pérdida de peso de los animales alimentados con la dieta de cero de proteína, entre la proteína consumida por el grupo problema (McLaughlan, 1972). Aunque el estudio tiene una duración recomendada de 10-14 días, puede efectuarse simultáneamente con la PER (Lachance et al., 1977), debido a que las demás condiciones son las mismas que para la PER.

D.2) Métodos Basados en la Retención de Nitrógeno.

D.2.1) DIGESTIBILIDAD VERDADERA (FAO/WHO, 1989). La digestibilidad verdadera *in vivo* es el principal factor que afecta la eficiencia de utilización de la proteína en la dieta, es el grado en el cual una proteína puede hidrolizarse en el tracto digestivo y se ha definido como la fracción de nitrógeno absorbido en el tracto gastrointestinal, que pasa al torrente sanguíneo. La determinación de la digestibilidad verdadera *in vivo* requiere de las mismas condiciones que el de la

PER y puede ser efectuado paralelamente con éste, recolectando las heces de los animales durante la tercera semana del experimento, para determinar su contenido de nitrógeno por el método de Kjeldahl. El estudio requiere de una dieta libre de nitrógeno que sirve para obtener el nitrógeno metabólico fecal.

D.2.2) UTILIZACIÓN NETA PROTEICA (NPU) (Pellet y Young, 1980). La utilización neta proteica es la cantidad de nitrógeno ingerido que es retenido por el organismo. El estudio normalmente tiene una duración de 10 días, y además de las ratas alimentadas con la proteína estudiada y de las que reciben caseína, se incluye un grupo que recibe una dieta libre de nitrógeno. Al finalizar el tiempo establecido para el experimento, las ratas se sacrifican con éter o cloroformo y se determina el contenido de nitrógeno en el cuerpo de todos los animales. Sin embargo, es un parámetro laborioso cuya evaluación requiere de tiempo, por lo que diferentes autores lo calculan indirectamente a través del valor biológico y de la digestibilidad verdadera.

D.2.3) Valor Biológico (BV). El valor biológico se define como la fracción de nitrógeno absorbido que es retenido por el organismo. La determinación implica la corrección del nitrógeno fecal y urinario con las pérdidas endógenas que se miden a través del balance de nitrógeno, suministrando previamente una dieta libre de nitrógeno.

El valor biológico toma en cuenta la proteína necesaria para el mantenimiento y el crecimiento y desde que este concepto se introdujo se ha considerado como sinónimo de calidad de la proteína (Jansen, 1978; Pellet, 1978; Hopkins y Steinke; 1978; Fox y Cameron, 1997; Beltran, 1983).

1.3 NORMAS PARA LA COMERCIALIZACIÓN DE HONGOS COMESTIBLES.

Los hongos comestibles son clasificados como productos de consumo final, ya que generalmente llegan directamente al consumidor. Se venden a granel como producto fresco y solo una pequeña cantidad de la producción se destina a la elaboración de conservas y enlatados (CODEX STAN 38-1981).

Los hongos comestibles del género *Pleurotus* presentan gran variabilidad en cuanto a color, textura, tamaño y composición química; lo que probablemente se deba a que se cultivan en una variedad sorprendente de sustratos así como a la diversidad de cepas que se utilizan. Todo esto es ocasionado por la falta de normalización de este producto de consumo (Crisand y Sands, 1978).

La normalización de un alimento beneficia, por un lado, al consumidor, ya que de alguna manera está garantizando la calidad del producto que adquiere; y por otro, al fabricante, porque al obtener alimentos de calidad uniforme reduce los costos de producción y aumenta sus probabilidades de competencia con éxito (Agundis, 1995).

A nivel nacional no se cuenta con una norma oficial de calidad para los hongos comestibles, ni para los productos derivados de ellos. Sin embargo en el ámbito internacional el *Codex Alimentarius* maneja la norma general del Codex para “Los hongos Comestibles y sus Productos”, CODEX STAN 38-1981. En dicha norma se establecen los requisitos generales aplicables a todos los hongos comestibles, frescos o elaborados, cuya venta se encuentra permitida en el país consumidor, exceptuando al género *Agaricus*, el cual tiene su propia norma. Sin embargo, no se establecen parámetros fisicoquímicos para los diversos macromicetos comestibles, aunque se puede tomar como parámetro para determinar la mínima calidad aceptable para el género *Pleurotus spp.*

La norma define como hongo comestible a “los frutos pertenecientes al grupo específico fungí que crece tanto en estado silvestre como cultivado y que después de cierto proceso puede ser limpiado, envasado o sufrir otro tipo de procesamiento para conserva”. La norma distingue entre “hongos frescos” y “productos de hongos”. Los primeros se refieren a los hongos comestibles escogidos, sometidos a un proceso de limpieza, envasados o no y puestos a la venta en lapsos de tiempo cortos después de su recolección. Los “productos de hongos” se refieren a los hongos desecados (sémola o polvo de hongos), hongos salados, fermentados, encurtidos, etc.

En la **NORMA DEL CODEX** se establecen como factores esenciales de composición y calidad para los hongos frescos los siguientes: hongos sanos, limpios, firmes, exentos en lo posible de daños producidos por larvas, tener olor y sabor propios de las especies, no deben tener daño alguno ni estar en proceso de putrefacción. En cuanto a la composición para considerarse de buena calidad, el número de estípites (pie) no deberá exceder el número de píleos (sombrosos) del hongo. Los límites de tolerancia se indican en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Límite de tolerancia de defectos en hongos comestibles.

CARACTERÍSTICAS	HONGOS SILVESTRES	HONGOS CULTIVADOS
Impurezas minerales	No más del 1% m/m	No más del 0.5% m/m
Impurezas vegetales de origen vegetal	No más del 0.3% m/m	* * * *
<u>Impurezas orgánicas</u>		
Hongos enteros	* * * *	No más del 8% m/m
Hongos partidos	* * * *	No más del 1% m/m
Contenido de hongos dañados por larvas	No más del 6% m/m del daño total, incluso no más del 2% m/m de daños graves	No más del 1% m/m del daño total No más del 0.5% m/m de daños graves

Nota: m/m significa masa/masa.

*No se reportan especificaciones.

Fuente: CODEX STAN 38-1981.

Como puede observarse, esta norma sólo establece los límites de tolerancia de defectos en los hongos comestibles más no las características fisicoquímicas del producto, como son humedad, proteína, grasa, fibra cruda y cenizas. Por lo que es importante en México iniciar los trabajos de normalización del cultivo de *Pleurotus spp* en los cuales se establezcan los límites máximos y mínimos de los constituyentes químicos de este alimento. Esta necesidad de establecer una norma oficial se ve cada vez más urgente dada la gran proliferación que ha tenido en nuestro país el cultivo de setas para poder obtener de este modo un producto homogéneo que garantice su calidad y disminuya su costo tanto de producción como de comercialización.

2. ANTECEDENTES

Entre los varios aspectos de que han sido motivo de estudio los hongos del género *Pleurotus spp.* se encuentran su ciclo de vida, patrones de sexualidad (Herrera, 1990), aislamiento de sustancias importantes como el ergosterol (Trigos y Martínez, 1992), mejoramiento genético: hibridación o entrecruzamiento de cepas; (Martínez, 1988; Sobal y Martínez, 1988; Alcántara, 1990; Fajardo, 1990; Padilla, 1990), fusión de protoplastos y dedicariotización (obtención de neohaplontes). Las investigaciones sobre el cultivo de este hongo en diversos sustratos se han basado exclusivamente en la producción de esporóforos (Morales, 1987; Martínez, et al., 1985 y 1988; Soto, et al., 1989; Rinker, 1991; Bisko y Bilay, 1992; Ginterová, et al., 1992; Guzmán, et al., 1993; Pérez y Alfaro, 1994; Villaseñor, et al., 1994). Los sustratos empleados para el cultivo de los hongos del género *Pleurotus spp.* se pueden clasificar en 7 categorías:

- 1) Pajas de: cártamo, cebada, sorgo, trigo, avena, centeno, amaranto, arroz y zacate en general.
- 2) Rastrojos de: maíz, mijo, garbanzo, frijol.
- 3) Pulpas de: café, cardamomo, cacao.
- 4) Bagazos de: caña de azúcar, citronela, maguey tequilero, mezcal, henequén, zanahoria.
- 5) Forestales como; aserrín, viruta (pino, encino) madera de cacahuete, troncos, ramas, maleza y hojarasca de parques y jardines.
- 6) desechos de la industria textil: lino y algodón y de la industria de extracción de aceites esenciales: (hojas zacate limón, canela y pimienta negra.
- 7) Otros: papel, olote y tamo de maíz, fibra de coco, lirio acuático, hojas y tallos (cañones) de plátano, residuo de girasol, orégano, pencas de nopal, cáscara de cacahuete, pasto.

El género *Pleurotus spp* también ha sido evaluado desde el punto de vista nutritivo, destacado particularmente debido a que presenta en sus carpóforos, cantidades excepcionalmente elevadas de determinados constituyentes de gran importancia nutritiva (Crisand y Sands, 1978; Zakia et al., 1981; Bano y Rajathanam, 1982; Chang et al., 1993).

Se ha observado que los hongos del género *Pleurotus spp.* presentan un amplio rango de humedad (73.7%-93.0%), valor que es muy similar al de diversas hortalizas. Estas variaciones en el contenido de humedad dentro de una misma especie, se deben principalmente a las condiciones ambientales en que se desarrolla el cultivo (Crisand y Sands, 1978; Bano y Rajathanam, 1982; Leal, H. 1985).

En lo que respecta al valor proteico, los hongos del género *Pleurotus spp.* se encuentran en una posición intermedia entre los vegetales y los productos de origen animal, debido a que este es aproximadamente dos veces el contenido de proteína de vegetales como espárragos, col, zanahoria, y doce veces el de frutas como las naranjas o manzanas. En este género se han registrado contenidos proteicos entre 10.5-35% en peso seco (Hadar, et al., 1986; Chang y Miles, 1989; Chang et al., 1993; Tshirayangu y Hemmebert, 1996; Cheung, 1997; Valencia, et al, 1997; Yildiz, et al., 1998). Sin embargo, se han llegado a reportar valores de 42.5% para *Pleurotus citrinopileatus* (Ragunathan et al., 1996). Este dato es significativo si se compara con el 7.3% del arroz, el 25.2% de la leche y el 32.2% del trigo (Martínez-Carrera y Larqué-Saavedra, 1990).

No sólo el contenido total de proteína es importante para determinar el valor nutritivo de los hongos y de cualquier alimento, sino también la proporción relativa de los aminoácidos, principalmente los esenciales. Los hongos contienen todos los aminoácidos esenciales que necesita el hombre para su nutrición, pues del total de los aminoácidos presentes en los esporóforos de *Pleurotus spp.* el 59%

de ellos, está comprendido entre los aminoácidos esenciales, siendo particularmente ricos en lisina y leucina, aminoácidos deficientes en la mayoría de los granos básicos. Sin embargo, la metionina y la cistina, aminoácidos presentes abundantemente en la carne, se encuentran en bajas cantidades. En lo que respecta a valores de aminoácidos reportados específicamente para el género *Pleurotus spp.* puede observarse que son ricos en los aminoácidos esenciales lisina, leucina y valina, con 11.1, 8.5 y 8.5 g/100 g, respectivamente (Zakia, et al., 1981; Bano y Rajarathnam, 1982; Chang y Miles, 1989) Ver cuadro 3.

Cuadro 3. Comparación de los aminoácidos de *Pleurotus spp* (g/100g).

AMINOÁCIDO ESENCIAL	BANO Y RAJARATHANAM , 1982	CHANG, 1980	CASEÍNA ^A	LACTOALBUMINA ^A	PATRÓN FAO/OMS, 1973
Isoleucina	5.7	4.9	6.1	6.8	4.0
Leucina	8.5	7.6	9.2	11.5	7.0
Lisina	11.1	5.0	8.2	11.5	5.5
Metionina + cistina	3.1	2.3	3.1	3.7	3.5
Fenilalanina + tirosina	9.5	7.7	5.6	5.4	6.0
Treonina	6.8	5.1	4.9	5.7	4.0
Valina	8.5	5.9	1.7	7.6	5.0
Triptófano	1.3	1.4	7.2	4.7	1.0
Total	54.5	39.9	46.0	56.9	36.0
AMINOÁCIDO NO ESENCIAL					
Alanina	3.2	4.0			
Arginina	6.3	6.0			
Ácido aspartico	4.6	4.5			
Ácido glutamico	7.1	7.0			
Glicina	1.5	2.2			
Histidina	1.7	1.8			
Prolina	4.8	5.2			
Serina	2.2	2.4			
total	31.4	33.1			

^A Alaís, 1996.

Fuente: Bano y Rajarathnam, 1982.

En promedio el contenido de materia grasa que las especies de *Pleurotus spp.* presentan oscila dentro de un intervalo de 1.08%-9.4%, aunque algunas pueden presentar valores tan altos como de un 15 a 20% en peso seco. Esta grasa incluye ácidos grasos libres, mono-, di- y triglicéridos, esteroides, ésteres de esteroles y fosfolípidos. El 80% de toda esta materia grasa son ácidos grasos insaturados y, en particular, aproximadamente el 70% de estos, es ácido linoleico. Este último está en cantidades excepcionalmente altas comparadas con el de los vegetales (Crisand y Sands, 1978; Leal, H, 1985; Valencia del Toro, 1997).

Los carbohidratos son los constituyentes que se encuentran en mayor porcentaje en las especies de *Pleurotus spp.* con contenidos que van desde 46.6% hasta 59.2%. El contenido de fibra varia dentro de un intervalo de 3.0%-11.9%. Los carbohidratos del género *Pleurotus spp.* contienen alrededor del 4.2% de carbohidratos solubles, 1.66% pentosas, y 32.26% de hexosas. (Bano y Rajarathnam, 1982).

De los minerales presentes, el potasio se encuentra en mayor porcentaje con cantidades que van desde 3260 a 4660 mg/100g, el fósforo se encuentra en cantidades que van de 760 a 1850 mg/100g y el magnesio de 192 a 292 mg/100g en base seca (Bano y Rajarathnam, 1982) ver cuadro 4.

Cuadro 4. Contenido de minerales de los esporóforos de *Pleurotus spp.*

ESPECIE	mg/100 g				
	Na	Ca	P	K	Fe
<i>Pleurotus eous</i>	nd	23	1410	4570	nd
<i>P. florida</i>	nd	24	1850	4660	nd
<i>P. flabellatus</i>	nd	24	1550	3760	nd
<i>P. sajor-caju</i>	24	20	760	3260	12.5-124
<i>P. ostreatus</i>	79	33	1348	3793	1348
<i>Agaricus campestri</i>	71	23	1429	4762	0.2-19
<i>Volvariella diplasia</i>	347	58	1042	3333	156-347
<i>Lentinus edodes</i>	nd	118	650	1246	8.5-30

nd= no determinado.

Fuente: Bano y Rajarathnam, 1982.

Se puede mencionar que los carpóforos de *Pleurotus spp.* son una buena fuente de vitaminas hidrosolubles y del complejo B, aunque las clasificadas como liposolubles (A, D, E y K) son escasas debido a su bajo nivel de grasas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Contenido vitamínico de los esporóforos de *Pleurotus spp.*

COMPONENTE	CONTENIDO (mg/100g)
Ac. Ascórbico (Vitamina C)	8.60
Tiamina (Vitamina B1)	0.12
Riboflavina (Vitamina B2)	0.52
Ac. Nicotínico /Complejo B)	5.82
Ac. Pantoténico (Vitamina B3)	2.83
Biotina	0.018

FUENTE: BANO, 1967.

El ácido fólico se encuentra en contenidos que en las hortalizas es muy raro de encontrar (21 mcg), esta cantidad puede estimular la curación de anemia en muchos casos. Algunos investigadores japoneses han demostrado que la vitamina B₁₂ que se encuentra en los hongos es de gran importancia para la salud; la ausencia de esta vitamina puede provocar afecciones en la sangre tales como anemia y/o glóbulos rojos con malformaciones (Chang y Miles, 1989; Chang et al., 1993; Martínez-Carrera y Larqué-Saavedra, 1990).

Los hongos, como la mayor parte de los microorganismos, presentan, generalmente un mayor contenido de ácidos nucleicos que los alimentos convencionales. En los microorganismos este contenido es de 3 a 25%, en comparación con el 4% en los cereales y 2.2 a 5.7% en la carne de pescado. El grupo asesor de Proteínas de las Naciones Unidas recomendó, para la población adulta un consumo diario máximo de 4 g de ácidos nucleicos. Este contenido de ácidos nucleicos en los hongos comestibles oscila alrededor de 7% en base seca, el cual permite una ingestión diaria hasta de 300 g de hongos frescos. Este valor de ingesta se encuentra muy por encima del consumo promedio de hongos, por lo tanto es un factor que no puede limitar su consumo diario. En el caso de *Pleurotus ostreatus* se reporta un contenido de ácidos nucleicos en un intervalo de 2.46-2.91%, siendo el RNA el ácido predominante (Khanna y Garcha, 1986).

Entre los trabajos realizados sobre valor nutritivo de hongos comestibles destacan los de Crisand y Sands en 1978, quienes determinaron el valor biológico de varias especies de hongos comestibles. A partir de los datos de composición de aminoácidos, resaltan las especies *Lepiota procera* (95.9%), *Agaricus bisporus* (95.8%), *Boletus edulis* (94.1%) y *Cantharellus cibarius* (91.0%), especies que presentan valores superiores al 90% de valor biológico. Para el género *Pleurotus spp.* estos autores reportan un valor biológico de 87.4%. Zakia et al., en 1981, realizaron el mismo estudio en varias especies del género *Pleurotus spp.*, reportando datos de 65% de valor biológico para *P. eous*, 61% para *P. florida* y 30% para *P. ostreatus*. Sin embargo, en 1982 Bano y Rajarathnam encuentran un valor biológico máximo del 92.7% para *P. eous*, de 80.4%, para *P. florida* y de 58.9% para *P. ostreatus*. Más tarde, en 1986 Kanna y Garcha determinaron el relativo valor nutritivo del género *Pleurotus spp.* empleando métodos microbiológicos y reportando valores de 97.62% para *P. florida*, 95.24% para *P. sapidus*, 91.67% para *P. ostreatus* y 86.90% para *P. sajor-caju*. Así como una digestibilidad *in vitro* (empleando pepsina) que va alrededor de 68.73% a 73.82%.

En 1998, Longvah y Deosthale, determinaron el valor biológico de las proteínas de *Shizophyllum commune* y *Lentinus edodes*, reportando valores de digestibilidad verdadera de 53.2% y 76.3%, respectivamente, de relación neta proteica de 0.9 y 1.7, respectivamente y utilización neta proteínica de 23.7 y 45.8, respectivamente; concluyendo que los datos obtenidos para ambos hongos fueron comparativamente mucho más bajos, en todos los parámetros examinados, a los valores obtenidos para caseína, los cuales fueron de 91.2% de digestibilidad, 4.4 de relación neta proteínica y 77.6 de utilización neta proteínica. Sin embargo, la calidad de la proteína de *L. edodes* mostró ser mayor en todos los casos que la de *S. commune*. Cabe destacar la importancia de este trabajo, debido a que es el único encontrado hasta el momento enfocado a conocer el valor biológico verdadero de las proteínas de los hongos comestibles.

Crisand y Sands (1978), Bano y Rajathnam (1982), Kanna y Garcha (1986) y Valencia et al., (1997) plantean la necesidad de realizar evaluaciones biológicas en los hongos comestibles, para poder ratificar los valores reportados; mencionando que la digestibilidad, disponibilidad y asimilación *in vivo* de las proteínas juegan un papel importante en el establecimiento de la calidad nutricional de los hongos comestibles.

3. JUSTIFICACIÓN

En lo que respecta a trabajos enfocados al estudio del valor biológico de las proteínas de los hongos comestibles, en general, puede decirse que son pocos (Kanna y Garcha, 1986; Longvah y Deosthale, 1998). La mayoría se encuentran basados en métodos de evaluación química que relacionan la cantidad presente de aminoácidos esenciales en la proteína a evaluar. Estos métodos tienen algunas ventajas como son la identificación del aminoácido limitante y la detección de carencia de otros aminoácidos, sin embargo, existen algunas inconveniencias para su uso, incluyendo que no se considera que los aminoácidos pueden estar presentes en formas que no son susceptibles de hidrólisis durante la digestión intestinal, y que, por lo tanto, no son biológicamente disponibles (Madl, 1993). Otro factor importante que no consideran estos métodos, es la presencia de sustancias antinutritivas como la quitina, los quitosanos y los B-glucanos, que son muy abundantes en los hongos y que disminuyen la digestibilidad biológica de la proteína, provocando por tanto, un descenso en la asimilación de los aminoácidos esenciales por los organismos vivos y el desperdicio de una buena parte de éstos a través del excremento (Hsu et al., 1978; Crisan y Sands, 1978). Aunado a esto se ha señalado que la composición química y la calidad biológica de las proteínas de los carpóforos son afectadas por las diferencias entre cepas, la composición de los sustratos de crecimiento, el método de preparación del sustrato, los métodos de cultivo, la edad y el estado particular de desarrollo del hongo e inexactitudes inherentes a los métodos de análisis (Vetter y Rimoczi, 1993; Crisan and Sands, 1978). Se ha señalado que la fisiología intrínseca y las características bioquímicas de los hongos también introducen variación adicional en los datos de composición, debido a la naturaleza genética de las cepa, que determina como utiliza los nutrientes en un sustrato dado y los efectos que el sustrato tendrá sobre la composición (Crisan y Sands, 1978).

Por todo lo anterior y dado que el consumo a nivel mundial de los hongos del género *Pleurotus spp.* se está expandiendo cada vez más, es que el presente estudio pretende evaluar la composición química y la calidad biológica de las proteínas contenidas en los carpóforos de tres cepas de *Pleurotus spp.* cultivadas sobre un mismo sustrato (paja de trigo), contribuyendo de esta manera al conocimiento de la asimilación y absorción de las proteínas de *Pleurotus spp.* por organismos vivos, así como al conocimiento del aporte nutritivo que este hongo ofrece a la dieta. Para lo cual en este estudio se plantearon los siguientes objetivos.

4. OBJETIVOS

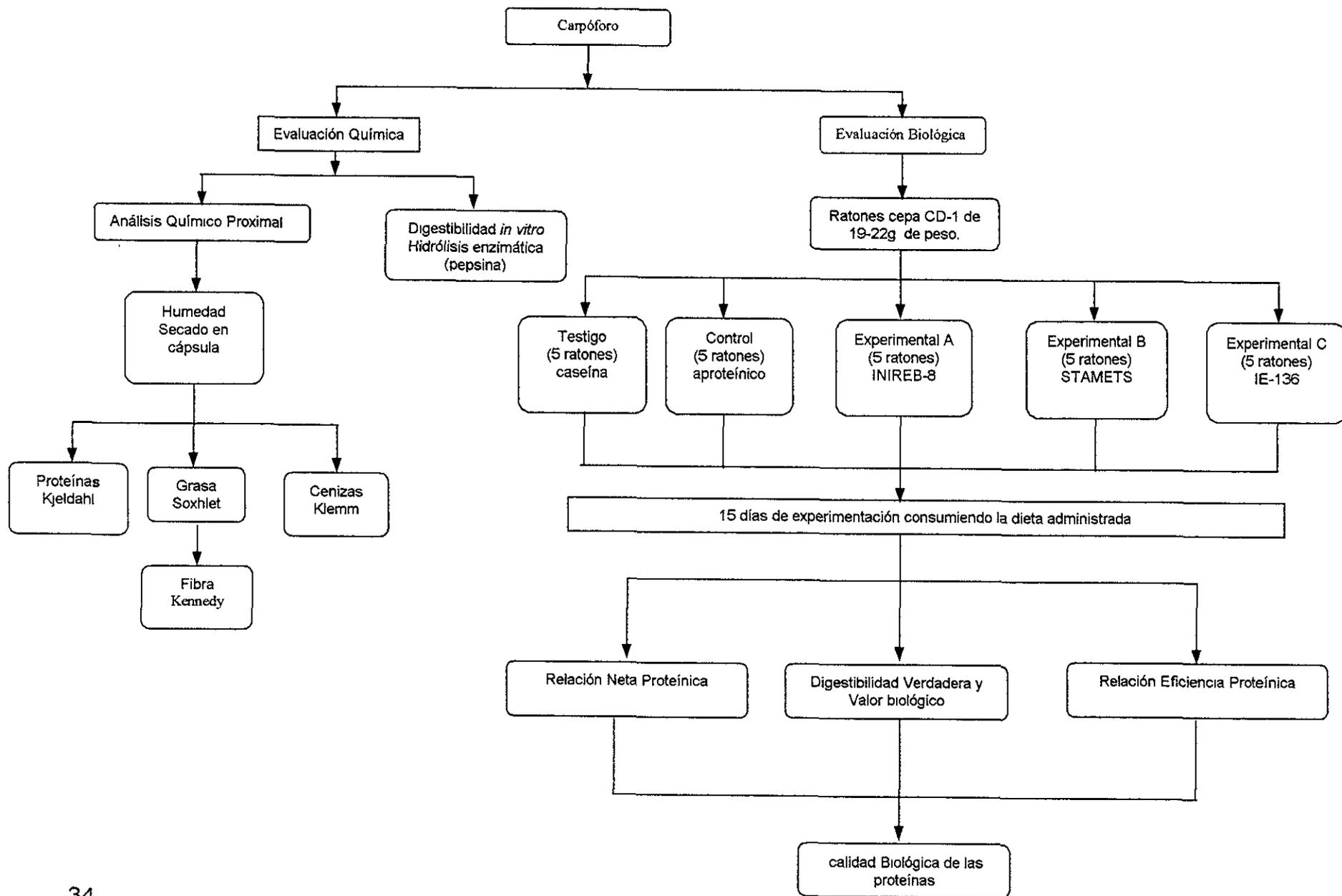
4.1 OBJETIVOS GENERALES:

- ◆ Comparar los resultados del análisis químico proximal de los carpóforos de 3 cepas de *Pleurotus spp.*
- ◆ Evaluar la calidad biológica de las proteínas contenidas en 3 cepas de *Pleurotus spp.*
- ◆ Aportar elementos químicos para la propuesta de una norma de calidad para *Pleurotus spp.*

4.2 OBJETIVOS PARTICULARES:

- ◆ Obtención de los carpóforos de las cepas INIREB-8, IE-136 Y STAMETS pertenecientes al género *Pleurotus spp.*
- ◆ Realizar el análisis químico proximal de los carpóforos de las tres cepas de *Pleurotus spp.*
- ◆ Determinar la digestibilidad *in vitro* de las proteínas contenidas en tres cepas de *Pleurotus spp.*
- ◆ Determinar la relación de eficiencia proteica (PER) y la relación neta proteínica (NPR) de las tres cepas de *Pleurotus spp.*
- ◆ Determinar la digestibilidad verdadera (DV) y el valor biológico (BV) de las proteínas de las tres cepas de *Pleurotus spp.*

Fig. 2. Diagrama de flujo de la metodología



5. METODOLOGÍA

En este estudio se utilizaron carpóforos de tres cepas de *Pleurotus spp.* cultivadas sobre paja de trigo: INIREB-8 (Instituto de Ecología), Stamets (Estados Unidos) y IE-136 (Instituto de Ecología).

La metodología empleada para alcanzar los objetivos propuestos implicó las siguientes etapas (Ver fig.2):

ETAPA 1: CALIDAD DE LA PROTEÍNA POR EVALUACIÓN QUÍMICA.

5.1 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LAS TRES CEPAS DE *Pleurotus spp.*

a) DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Para determinar la humedad de los carpóforos de cada cepa se pesó en una balanza analítica 1 g de muestra fresca cortada en trozos. Las muestras de cada cepa (n=3) se colocaron en crisoles de porcelana puestos previamente a peso constante y posteriormente se introdujeron en una estufa a una temperatura de 60-70°C durante 24 horas. Los crisoles se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se pesaron; este procedimiento se repitió hasta que la muestra alcanzó un peso constante (González y Peñalosa, 2000).

Cálculo de % de humedad:

$$\% \text{ HUMEDAD} = \frac{\text{g de muestra fresca} - \text{g de muestra seca}}{\text{g de muestra fresca}} \times 100$$

b) DETERMINACIÓN DE CENIZAS POR CALCINACIÓN

Se pesaron 3 g de muestra seca de cada cepa (n=3) en un crisol de porcelana, previamente puesto a peso constante. Los crisoles se colocaron sobre una parrilla para carbonizar las muestras. Posteriormente se colocaron en una mufla a temperatura de 500-550°C durante 24 horas. Al término de este tiempo, se llevaron los crisoles a la estufa hasta que registraron un peso constante en la balanza analítica (González y Peñalosa, 2000).

Cálculo del % de cenizas:

$$\% \text{ CENIZAS} = \frac{\text{g de cenizas}}{\text{g muestra seca}} \times 100$$

c) DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA POR EL MÉTODO MICROKJELDAHL

Para cada cepa se pesaron 15 mg de muestra seca (n=3) mismas que se colocaron en el fondo de un matraz Kjeldahl al cual se le agregó un gramo de mezcla catalizadora y 2 ml de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄). Los matraces se colocaron en un digestor hasta obtener una coloración azul cristalino. Los sólidos resultantes se disolvieron con la mínima cantidad de agua. El material digerido se transfirió a un matraz de destilación y se le agregaron 110 ml de agua y 20 ml de una mezcla de tiosulfato-hidróxido. En el extremo del condensador se colocó un matraz erlenmeyer de 125 ml el cual contenía 10 ml de ácido bórico al 4% y dos gotas de indicador. El extremo del condensador quedó sumergido dentro de la solución. La destilación se suspendió hasta obtener 75 ml de destilado que se tituló con una solución valorada de ácido clorhídrico 0.02N (González y Peñalosa, 2000). El blanco se preparó siguiendo todo el procedimiento anterior pero sin agregar muestra. Se calculó primero el porcentaje de nitrógeno total y una vez obtenido este, se procedió a calcular el porcentaje de

proteína contenida en la muestra multiplicando el % de nitrógeno total por el factor de proteína para hongo 4.38 (Crisan y Sands, 1978).

Cálculo para obtener el % de nitrógeno total:

$$\% \text{ NITRÓGENO} = \frac{(\text{ml gastados} - \text{ml HCl blanco})(N)(0.014)}{\text{g muestra seca}} \times 100$$

Donde: N = normalidad del ácido clorhídrico

Cálculo para obtener el % de proteína: % PROTEÍNA = (% Nitrógeno total) (4.38)

Donde: 4.38 es el factor de conversión para proteína de los hongos (Crisan y Sands, 1978).

d) DETERMINACIÓN DE GRASA POR EL MÉTODO SOXHLET

Para la determinación de grasa se empleó el método Soxhlet pesando 3 g de muestra seca de cada cepa (n=3) dentro de un cartucho para extracción, previamente llevado a peso constante. El cartucho con la muestra se colocó dentro del porta cartucho y se procedió a la extracción completa con cloroformo (4-8 hrs.). Posteriormente se retira la fuente de calor, se escurre el exceso de disolvente del cartucho, se seca el cartucho bajo campana de extracción y se coloca en una estufa hasta alcanzar un peso constante (Salcido, 1993).

Cálculo de % Grasa:

$$\% \text{ GRASA} = \frac{\text{g de grasa}}{\text{g muestra seca}} \times 100$$

e) DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA POR EL MÉTODO DE KENNEDY MODIFICADO

El contenido de fibra presente en las muestras se determinó pesando 2 g de materia seca desengrasada de cada cepa (n=3), los cuales se colocaron en un matraz erlenmeyer de 500 ml al cual se le agregaron 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% y se agitó la muestra. Al matraz se le adaptó un condensador y se mantuvo en reflujo por 30 minutos. Al término de este tiempo se dejó enfriar para adicionar 200 ml de hidróxido de sodio al 1.25%. Se volvió a reflujar por 30 minutos y se filtró con vacío el contenido a través de papel filtro Whatman No. 1, puesto previamente a peso constante. Se lavó con agua destilada caliente hasta neutralizar el residuo y se acidificó ligeramente con ácido sulfúrico al 1.25%, posteriormente se lavó con 10 ml de alcohol al 96% y con 10 ml de éter de petróleo. Posteriormente se desprendió el disco de papel filtro colocándolo en una cápsula de porcelana para secarse en la estufa a una temperatura de 49°C/12 horas y se pesó. A continuación se transfirió el residuo a un crisol a peso constante y se calcinó e incineró la muestra (González y Peñalosa, 2000).

Nota: Al papel se le determinó el % de cenizas para restarlas al total de cenizas.

Cálculo de % de fibra cruda:

$$\% \text{ FIBRA CRUDA} = \frac{(\text{g de residuo seco} - \text{g de residuo calcinado})}{(\text{g de muestra} + \text{grasa})} \times 100$$

5.2 DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD *in vitro*

La digestibilidad *in vitro* es un ensayo que da una información rápida del aprovechamiento de la proteína, midiendo la proporción de proteína ingerida que es retenida por el organismo.

La digestibilidad *in vitro* implica la digestión enzimática de las proteínas. Este método se fundamenta en la adición de enzimas que simulan las condiciones enzimáticas del estómago durante la liberación de los aminoácidos en la digestión.

MÉTODO:

Se colocaron 2 g de muestra desengrasada en un vaso de precipitados con 430 ml de agua destilada, 1 g de pepsina y 16 ml de ácido clorhídrico al 10%. Durante 48 horas la muestra fue digerida manteniendo la temperatura de 38-40°C, agitando de vez en cuando. Al cabo de 16, 24 y 40 horas, se añadieron 11 ml del ácido manteniendo la misma temperatura. A las 48 horas se enfrió, filtró, lavó con agua caliente y al residuo se le determinó el contenido de nitrógeno por el método de Micro-Kjeldahl, se corrió un blanco conteniendo únicamente pepsina y un control que contenía caseína; también se le determinó el nitrógeno total por el método de Micro-Kjeldahl a la pepsina (De León, 1985).

Cálculos:

$$\% \text{ de Nitrógeno Digerible} = \frac{\text{Nitrógeno Total} - \text{Nitrógeno no digerible}}{\text{Nitrógeno Total}} \times 100$$

ETAPA 2: CALIDAD DE LA PROTEÍNA POR EVALUACIÓN BIOLÓGICA.

Para determinar la calidad biológica de las proteínas de las tres cepas evaluadas, se determinaron los parámetros de relación de eficiencia proteica (PER), relación neta proteínica (NPR), digestibilidad verdadera (D) y valor biológico (VB).

5.3 DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD BIOLÓGICA DE LAS PROTEÍNAS DE LAS TRES CEPAS DE *Pleurotus spp.*

El estudio se llevó a cabo en 25 ratones cepa CD-1 de ambos sexos con una variación de peso aproximada de ± 3 g, se dividieron al azar en 5 grupos de 5 ratones cada uno. Los animales se alojaron individualmente en jaulas metabólicas y se mantuvieron en el bioterio de la ENEP-Iztacala a una temperatura de 22°C con un ciclo de luz-oscuridad de 12 horas. Por un día los animales se mantuvieron en un período de adaptación ingiriendo únicamente agua *ad libitum*. Posteriormente se les proporcionó la dieta correspondiente a cada grupo (Ver cuadro 6). Los sistemas de alimentación y bebida se mantuvieron *ad libitum* durante todo el experimento.

La dieta apteínica se empleó como dieta control y la de caseína como dieta testigo. Las dietas se elaboraron al 10% de proteína, según lo que marca la AOAC, 1984. La dieta fue similar para todos los grupos a excepción de la fuente proteica que para cada grupo estuvo constituida por: caseína, cepa INIREB-8, cepa STAMETS, cepa IE-136 y un grupo sin proteína (cuadro 6).

CUADRO 8. Mezcla de sales minerales (Beltran, 1983)

COMPONENTES	GRAMOS
Fosfato de calcio	60.00
Cloruro de sodio	25.00
Cloruro de potasio	15.00
Citrato de fierro	0.60
Carbonato de magnesio	0.60
Cloruro de manganeso	0.60
Carbonato de cobre	0.14
(básico)	0.06
Carbonato de Zinc	0.002
Yodato de sodio	0.002
Fluoruro de Sodio	
Total	102.004

Se uso un período de ensayo de 14 días para la determinación del PER y NPR, para la determinación de la digestibilidad verdadera y el valor biológico, se recolectaron las heces y la orina, respectivamente, los últimos 5 días del ensayo.

Se llevó un registro diario del peso de los ratones, del alimento consumido y no consumido para corregir la ingesta de proteína.

a) DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN DE EFICIENCIA PROTEICA (PER)

La relación de eficiencia proteica (PER) se ha definido como la ganancia en peso dividida entre los gramos de proteína consumida, se utiliza un grupo testigo alimentado con la dieta que contiene como fuente de proteína, un 10% de caseína (Pellet y Young, 1980). El PER se calculó utilizando la ecuación siguiente:

$$\text{PER} = \frac{\text{peso ganado por el animal prueba (g)}}{\text{g de proteína consumida}}$$

Si se hace una corrección con respecto a la caseína, se utiliza la ecuación:

$$\text{PER corregido} = \text{PER} \times \frac{2.5}{\text{PER determinado para el patrón de caseína}}$$

c) DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD VERDADERA

Para la determinación de la digestibilidad verdadera, las heces de los animales de cada grupo se recolectaron los últimos cinco días que recibieron el tratamiento. Las heces se pesaron y se les determinó el nitrógeno fecal por el método de Micro-Kjeldahl antes descrito (FAO/WHO, 1989). Para el cálculo de la digestibilidad verdadera se tomó en cuenta el nitrógeno fecal metabólico, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{DV (\%)} = \frac{\text{Ni} - (\text{Nf} - \text{Nm})}{\text{Ni}} \times 100$$

Donde:

DV (%) = porcentaje de digestibilidad verdadera.

Nm = nitrógeno endógeno (heces del grupo aprotéico).

Ni = nitrógeno ingerido.

Nf = nitrógeno fecal.

c) DETERMINACIÓN DEL VALOR BIOLÓGICO

Para la determinación del valor biológico se recolectó la orina de los animales de experimentación durante el mismo periodo de la digestibilidad (Pellet y Young, 1980), y la fórmula aplicada fue la siguiente:

$$BV = \frac{Ni - (Nf - Nm) - (U - Um)}{Ni} \times 100$$

Donde:

U = nitrógeno urinario.

Um = nitrógeno endógeno.

d) DETERMINACIÓN DE LA UTILIZACIÓN NETA PROTEICA

La determinación de la utilización neta proteica se realizó tomando en cuenta los valores obtenidos de la digestibilidad verdadera y del valor biológico aplicando la siguiente ecuación (Beltran, 1983):

$$NPU = DV \times BV$$

DONDE:

NPU= Utilización neta proteica.

DV = Digestibilidad verdadera.

BV= Valor biológico.

e) DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN NETA PROTEICA (NPR)

Para la determinación de la relación neta proteica, además de los grupos alimentados con la proteína problema, se empleó un grupo control alimentado con una dieta libre de proteína. A los 14 días de iniciado el ensayo se calculó el NPR para cada alimento como sigue (Beltran, 1983):

$$\text{NPR} = \frac{\text{peso ganado por el animal problema} + \text{promedio de la pérdida de peso de los animales control}}{\text{proteína consumida por el animal problema}}$$

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Una vez obtenidos los valores del análisis químico proximal, digestibilidad *in vitro*, relación de eficiencia proteica, relación de eficiencia alimenticia, digestibilidad *in vivo*, valor biológico, utilización neta proteica y relación neta proteica, para identificar diferencias estadísticamente significativas entre las cepas en cada uno de los parámetros evaluados se aplicó un Análisis de varianza (ANOVA) de una vía, aplicando como prueba post hoc la de Tukey HDS ($p \leq 0.05$) para identificar en donde se presentaban las diferencias de los parámetros trabajados.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ETAPA 1: CALIDAD DE LA PROTEÍNA POR EVALUACIÓN QUÍMICA:

7.1 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL:

El cuadro 9 presenta los valores promedio (n=3) del análisis químico proximal de los carpóforos de las tres cepas de *Pleurotus spp.* cultivadas en paja de trigo. La prueba de ANOVA de una vía indicó que existen diferencias significativas en todos los parámetros determinados para las tres cepas (Figura 3).

CUADRO 9. Análisis Químico Proximal de las cepas evaluadas.

DETERMINACIÓN	CEPAS EVALUADAS		
	INIREB-8	STAMETS	IE-136
% Humedad	92.82 ± 0.02 ^b	92.21 ± 0.006 ^c	93.29 ± 0.08 ^a
% Cenizas	3.60 ± 0.02 ^c	4.04 ± 0.01 ^b	4.42 ± 0.05 ^a
% Proteínas	26.70 ± 0.03 ^c	28.19 ± 0.01 ^a	27.80 ± 0.03 ^b
% Grasa	5.19 ± 0.03 ^a	4.61 ± 0.01 ^b	4.58 ± 0.06 ^b
% Fibra	11.87 ± 0.008 ^a	11.047 ± 0.003 ^c	11.14 ± 0.003 ^b

Nota: Promedio de 3 repeticiones. Prom ± ESM (error estándar de la media).

Tukey HDS $p \leq (0.05)$, a, b, c, indican la formación de grupos estadísticamente diferentes para cada parámetro determinado.

a) HUMEDAD:

Con respecto al cálculo de humedad, la prueba estadística nos indica que existen diferencias significativas, formándose tres grupos, en el primer grupo se encuentra la cepa STAMETS con 92.21% de humedad, en el grupo 2 esta la cepa INIREB-8 con 92.82% y en el grupo 3 la cepa IE-136 con 93.29% (cuadro 9). Los resultados se encuentran dentro del intervalo informado por otros autores para el

género *Pleurotus spp* (91.78%-94.27%), ver cuadro 10. Al comparar los resultados de humedad obtenidos en este estudio con algunos vegetales como la calabaza (94.7%), el pepino (95.4%), las espinacas (95.6%), la col (96.6%), etc., se puede observar que son similares entre ellos, ver cuadro 11.

CUADRO 10. VALORES BIBLIOGRAFICOS REPORTADOS PARA LOS CONSTITUYENTES QUÍMICOS DE *Pleurotus spp*.

CONSTITUYENTE	REFERENCIA				
	Crisan y Sands, 1978	Bano y Rajarathnam, 1982	Chang y Miles, 1989	Valencia del Toro et al, 1995	Vázquez, 1995
HUMEDAD	73.1-91.0	73.3	73.0-90-8	8.35-89.85	91.78 – 94.27
PROTEÍNA	10.0-30.4	10.5	10.3-30.4	26.22-32.14	21.09 – 31.56
GRASA	1.6-7.2	1.6	1.6-2.2	3.42-7.9	3.00 – 7.13
CENIZAS	6.1-10.7	6.1	6.1-9.8	3.91-6.58	3.77 – 8.73
FIBRA CRUDA	7.5-11.9	7.5	7.5-8.7	6.97-10.15	7.74 – 14.22

Cuadro 11. Composición media del % de Humedad de algunos hongos y vegetales.

HONGO	HUMEDAD (%)	VEGETAL	HUMEDAD (%)
<i>Pleurotus eous</i>	92.2	Zanahoria	70.0
<i>Pleurotus florida</i>	91.5	Patatas	75.0
<i>Pleurotus flabellatus</i>	91.0	Calabaza	94.7
<i>Pleurotus ostreatus</i>	73.7	Espárrago	95.0
<i>Pleurotus opuntia</i>	58.0	Pepino	95.4
<i>Pleurotus limpido</i>	93.0	Apio	95.4
<i>Volvaroella diplasia</i>	90.4	Espinacas	95.6
<i>Lentinus edodes</i>	90.0	Lechuga	95.9
<i>Agaricus bisporus</i>	89.5	Col	96.6

Fuente: Esquivel, 1999.

b) PROTEÍNA:

Para el porcentaje de proteína, la prueba a posteriori de Tukey HDS nos indicó la formación de tres grupos, en el grupo uno se encuentra la cepa INIREB-8 con 26.77%, en el grupo dos esta la cepa IE-136 con 27.80% y por último, en el grupo tres, con el mayor porcentaje de proteína se encuentra la cepa STAMETS con 28.19% (cuadro 9). Estos valores se encuentran dentro del promedio calculado en otros trabajos como el de Hadar en 1986, Chang y Miles en 1989, Zakia et al 1993, Valencia et al en 1995, y Yildiz en 1998; donde reportan valores que van de 10.3% hasta un 34.60% de proteína en los carpóforos de los hongos del género *Pleurotus spp* (Ver cuadro 10). Es importante señalar que al comparar los valores obtenidos en este trabajo con otros alimentos básicos como el arroz (7.3%), el trigo (13.2%), y la leche (25.2%), los hongos aquí trabajados presentan valores proteicos significativamente superiores (26.77%-28.19%), pero al compararlos con la carne (25-30%) este valor es inferior, no obstante los hongos del género *Pleurotus spp*. resultan ser una buena fuente de proteínas.

c) LÍPIDOS:

En el contenido de lípidos, la prueba estadística sólo indica la formación de dos grupos, en el primero se encuentran las cepas IE-136 (4.58%) y la cepa STAMETS (4.61%), finalmente en el segundo grupo se encuentra la cepa INIREB-8 con 5.19% (cuadro 9). Puede observarse que los valores obtenidos se encuentran dentro de los informados por diferentes autores quienes reportan un intervalo de 1.6-7.9% (Cuadro 10). Al comparar los datos de las cepas estudiadas con otro tipo de alimentos de consumo común como la carne (13.0%), la leche (7.14%) y los cereales (6.2%), puede decirse que el contenido graso que presentaron las cepas fue bajo. Es importante señalar que los alimentos de origen animal tales como la carne y la leche son ricos en ácidos grasos saturados y en colesterol, por lo que su consumo en gran proporción incrementa la incidencia de

arteriosclerosis, enfermedades del corazón y apoplejía. En la arteriosclerosis se forman depósitos anormales de lípidos sobre el recubrimiento interno de los vasos sanguíneos arteriales con lo que se reduce el flujo de la sangre. Se producen enfermedades de la arteria coronaria y apoplejía cuando los depósitos de lípidos obstruyen un vaso sanguíneo en el corazón o en el cerebro, determinando que el tejido irrigado por el vaso muera por la falta de oxígeno o de combustibles. Además también pueden causar obesidad, que aumenta el riesgo de hipertensión y de diabetes (Guyton y Hall, 1997).

En el caso de los hongos el 80% de su contenido graso está representado por ácidos grasos insaturados, de los cuales, aproximadamente el 70% es ácido linoleico, que es un ácido graso indispensable, ya que el organismo es incapaz de sintetizarlo y, por consiguiente, debe obtenerse de la dieta diaria (Leal, H., 1985), por lo que es recomendable ingerir alimentos con este tipo de materia grasa, para prevenir enfermedades cardiovasculares, así como la obesidad, que es uno de los problemas nutricionales que presenta la población mundial (Esquivel, et al, 1999).

d) FIBRA CRUDA:

Para el contenido de fibra cruda, la prueba de Tukey nos muestra la formación de tres grupos, en los cuales se aprecia a la cepa STAMETES (11.04%) con la menor proporción de fibra, en el segundo grupo se encuentra la cepa IE-136 con 11.13% y por último la cepa INIREB-8 que presenta el mayor porcentaje de fibra cruda (11.87%) ver cuadro 9. Los porcentajes de fibra cruda están dentro de los reportados en la bibliografía por Crisan y Sand en 1978 (7.5-11.9%), ver cuadro 10, puede observarse que son una buena fuente de fibra dietética debido a la gran capacidad de asimilación de las cepas por la celulosa, hemicelulosa y lignina del sustrato, además de que, en general, los hongos presentan en sus paredes celulares grandes cantidades de fibra por la presencia de quitina y B-glucanos, estos elementos tienen un efecto beneficioso en la estimulación del peristaltismo

intestinal, en el aumento del bolo alimenticio y, en consecuencia, del volumen fecal, por lo que se les ha considerado recomendables por su acción mecánica facilitadora de la evacuación en aquellas personas que padecen estreñimiento y distonías intestinales. Sin embargo, al consumirlas en exceso pueden ser elementos antinutricionales (Esquivel, et al., 1999).

e) CENIZAS:

Con respecto al cálculo de cenizas se observa la formación de tres grupos. En el primer grupo se encuentra la cepa INIREB-8 con 3.6% de cenizas, en el segundo grupo se encuentra la cepa STAMETS con 4.04% y finalmente, en el grupo tres la cepa IE-136 con 4.42% de cenizas (cuadro 9). Los valores calculados se encuentran dentro de los reportados por Valencia del Toro en 1997 (3.91% – 6.58%) y Vázquez en el mismo año (3.77% – 8.73%), ver cuadro 10. Bano y Rajathanam en 1982, informa que el potasio, el sodio y el fósforo son los principales constituyentes de la ceniza en el género *Pleurotus*, así como en *Agaricus* y otros hongos.

7.2 DIGESTIBILIDAD *in vitro*:

En el cuadro 12, se reportan los valores promedio de la digestibilidad *in vitro* de la muestra control (caseína) y de las tres cepas; se observa la formación de dos grupos, en el primer grupo se encuentran las cepas IE-136 con 98.02%, INIREB-8 con 98.09% y STAMETS con 98.10% y en el segundo grupo se encuentra la proteína control (caseína) con el 100% de digestibilidad (Figura 4). Como puede observarse no se encuentran diferencias significativas entre las tres cepas evaluadas, a pesar de que los valores registrados para el porcentaje de proteína difirieron entre estas. Los valores obtenidos en el presente estudio son notablemente superiores a los reportados para el mismo género en otros trabajos,

donde se menciona un rango de 63%-89% de digestibilidad *in vitro* (Zakia et al, 1981; Kanna y Garcha ,1986) (ver cuadro 13) e incluso son muy superiores a los que reporta la FAO (1970) para el Champiñón el cuál es de un 90.1%; esto debido posiblemente al elevado porcentaje de fibra dietética que presentaron las tres cepas (11.04%-11.87%), ya que como se menciona anteriormente esta se encarga de facilitar la digestión de los alimentos, debido a los efectos beneficiosos que tiene sobre los movimientos peristálticos del intestino. Al comparar los datos con otros alimentos podemos observar que se encuentran muy cercanos a los registrados para el huevo, la leche, el queso, la carne, y el pescado, que presentan una digestibilidad *in vitro* del 100%; y con respecto a los reportados para algunos cereales y vegetales estos son superiores (Cuadro 14). Finalmente la muestra control (caseína) fue digerida en un 100%, indicando que la enzima empleada (pepsina) para dicha prueba se encontraba totalmente activa, y por lo tanto que los resultados obtenidos en las muestras problema son totalmente confiables. Cabe destacar que en los trabajos antes mencionados obtuvieron un porcentaje de digestibilidad para caseína de 98.9%, empleando como enzimas la pepsina y la pepsina pancreática, no pudiendo lograr una digestibilidad del 100%, como fue el caso de este estudio, por lo que dichas enzimas no se encontraban totalmente activas y por consiguiente los valores que reportan no pueden considerarse exactos en su totalidad.

CUADRO 12. Digestibilidad *in vitro* de las cepas evaluadas.

CEPA	% DIGESTIBILIDAD
INIREB-8	98.09 ± 0.003 ^b
STAMETES	98.10 ^b
IE-136	98.02 ^b
CASEÍNA	100 ^a

Nota: Promedio de dos repeticiones. Prom. ± ESM (error estándar de la media)

Tukey HDS $p \leq (0.05)$, a, b, indican la formación de grupos estadísticamente diferentes para cada parámetro determinado.

CUADRO 13. Digestibilidad *in vitro* de varias especies de *Pleurotus spp.*

ESPECIE	REFERENCIA	
	Bano, et al., 1981	Khanna, et al; 1986
<i>P. eous</i>	89	-
<i>P. florida</i>	79	89.07
<i>P. flabellatus</i>	87	-
<i>P. sajor-caju</i>	63	81.32
<i>P. sapidus</i>	-	76.93
<i>P. ostreatus</i>	-	77.62
Caseína	98.9	-

CUADRO 14. Digestibilidad *in vitro* de varios alimentos y de las cepas estudiadas

PRODUCTO	DIGESTIBILIDAD <i>in vitro</i>
HUEVO*	100
LECHE*	100
QUESO*	100
CARNE*	100
PESCADO*	100
MANTEQUILLA DE CACAHUATE*	100
CHÍCHAROS MADUROS*	93
ARROZ PÚLIDO*	93
HARINA DE AVENA*	90
TRIGO ENTERO*	90
MAÍZ*	89
FRIJOLES*	82
RESULTADOS EXPERIMENTALES	
INIREB-8	98.09 ± 0.003
STAMETS	98.10
IE-136	98.02
CASEÍNA	100

*Fuente: FAO/OMS, 1985

Si bien el análisis de la Digestibilidad *in vitro* es un poderoso instrumento para poder establecer el potencial nutritivo de una dieta determinada, existen algunas limitaciones para su uso, ya que esta no considera que los aminoácidos pueden estar presentes en formas que no son susceptibles de hidrólisis durante la

digestión intestinal, y que por lo tanto, no son biológicamente disponibles, por lo que tiende a sobre estimar el valor real de un alimento. No obstante, no deja de ser una opción eficaz y rápida, para conocer el valor nutritivo aproximado de un alimento, aunque este no sea biológicamente real.

ETAPA 2: CALIDAD DE LA PROTEÍNA POR EVALUACIÓN BIOLÓGICA:

7.3 DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD BIOLÓGICA DE LAS PROTEÍNAS DE LAS TRES CEPAS DE *Pleurotus spp.*

En el cuadro 15 se pueden observar los valores promedio del alimento consumido, proteína consumida, ganancia en peso, PER y PER corregido de la dieta control (caseína) y de las dietas que contenían las cepas INIREB-8, STAMETS e IE-136. La prueba de ANOVA de una vía indicó que existen diferencias significativas entre los parámetros determinados.

CUADRO 15. Alimento y Proteína Consumidos, Ganancia en peso, PER Y PER corregido de los ratones con las dietas de Caseína, INIREB-8, STAMETS e IE-136, en un período experimental de 14 días.

DIETA	ALIMENTO CONSUMIDO g	PROTEÍNA CONSUMIDA g	GANANCIA EN PESO CORPORAL g	PER	PER CORREGIDO
CASEÍNA	101.8 ± 0.17 ^a	10.17 ± 0.02 ^a	32.72 ± 0.08 ^a	3.21 ± 0.007 ^a	2.5
INIREB-8	95.4 ± 0.28 ^b	10.18 ± 0.03 ^a	30.92 ± 0.07 ^b	3.03 ± 0.002 ^c	2.35
STAMETS	95.12 ± 0.05 ^b	9.53 ± 0.005 ^c	29.30 ± 0.03 ^d	3.07 ± 0.002 ^b	2.38
IE-136	95.26 ± 0.65 ^b	10.00 ± 0.01 ^b	30.26 ± 0.04 ^c	3.02 ± 0.001 ^c	2.35

Nota: Promedio de cinco unidades experimentales. Prom. ± ESM (error estándar de la media). Tukey HDS $p \leq (0.05)$, a, b, c, indican la formación de grupos estadísticamente diferentes para cada parámetro determinado.

a) ALIMENTO CONSUMIDO:

En cuanto al alimento total consumido, se formaron dos grupos, en el primero se encontraron las cepas STAMETS (95.12 g), IE-136 (95.26 g) e INIREB-8 (95.40 g), en el segundo grupo se encontró a la proteína control (caseína), con la mayor cantidad de alimento consumido (101.8 g), ver cuadro 15, fig. 5. En general, puede suponerse que las dietas elaboradas fueron del agrado de los ratones empleados en el experimento, debido a que las cantidades de alimento consumido fueron muy elevadas, considerando que los ratones consumen en promedio 70 g/14 días de alimento balanceado, esto posiblemente se deba a que los hongos tanto en estado fresco como deshidratado emanan un olor penetrante y gustoso, que atrae a muchos roedores. Sin embargo, al comparar el alimento consumido por los ratones de las dietas experimentales con respecto al grupo cuya dieta era a base de caseína puede observarse que el consumo fue menor, coincidiendo con lo registrado en otros trabajos (Walter y Catignani, 1981; Sudesh, et al., 1992; Snehil y Sudesh, 1998; Longvah y Deosthale, 1998).

b) PROTEÍNA CONSUMIDA:

En lo referente a los gramos de proteína consumida, se encuentran diferencias significativas entre los grupos, formándose tres grupos, en el grupo con menor proteína consumida se encontró la cepa STAMETS con 9.53 g, seguida de la cepa IE-136 con 10.00 g y finalmente, en el grupo con mayor cantidad de proteína consumida se encontraron la cepa INIREB-8 (10.08 g) y la proteína control (10.17g), ver cuadro 15, fig. 5. Esto es lógico, debido a que la cantidad de proteína consumida se relaciona directamente con la cantidad de alimento consumido, de tal modo que al ingerir mayor alimento se consume más proteína.

c) GANANCIA EN PESO:

En cuanto a la ganancia en peso, la prueba estadística de Tukey nos muestra la formación de cuatro grupos, en los cuales se aprecia a la cepa STAMETS con el menor peso ganado (29.30 g), en el segundo grupo se encuentra la cepa IE-136 con 30.26 g, en el tercer grupo se encuentra la cepa INIREB-8 con 30.92 g y finalmente, en el cuarto grupo se encuentra la caseína con 32.72 g de peso ganado (ver cuadro 15, fig. 5). Desde luego puede observarse, conforme a lo previsto, que los animales alimentados con la dieta patrón a base de caseína, obtuvieron mayor ganancia en peso que aquéllos sometidos al resto de las raciones, debido a que la caseína es una proteína que contiene todos los aminoácidos esenciales en cantidad suficiente para estimular el crecimiento y la ganancia en peso de los animales experimentales. No obstante, la evolución ponderal de los animales alimentados con las demás dietas fue positiva, no presentando ninguna pérdida de peso a lo largo de todo el período experimental. Además la ganancia en peso de los animales fue directamente proporcional al consumo de alimento y proteína.

d) RELACIÓN DE EFICIENCIA PROTEICA:

En lo referente a la Relación de Eficiencia Proteica (PER), se formaron tres grupos, en el primero se encontraron las cepas IE-136 (3.02) e INIREB-8 (3.03), en el grupo dos se encontró la cepa STAMETS (3.07) y en el tercer grupo se encontró la proteína control (3.21) con el mayor índice de PER. En el caso del PER corregido, se siguió el mismo patrón, debido a que son los mismos valores pero ajustados a un PER de caseína igual a 2.5 (ver cuadro 15, fig. 6).

En lo referente a este parámetro, puede observarse que las proteínas evaluadas, a pesar de haber tenido diferencia significativa, presentaron un PER muy cercano al de la proteína control. Reportando una ganancia en peso superior a los 3 g por

gramo de proteína consumida. Observando que de manera general, las proteínas de las tres cepas evaluadas son capaces de promover el crecimiento de un organismo vivo. Debido a que al ser ingeridas son empleadas en la producción de nuevos tejidos, aumento de masa muscular y de estructura ósea. Al realizar una comparación del PER de las proteínas evaluadas con el PER de otros alimentos de consumo común (Cuadro 16), se puede observar que los valores obtenidos para las tres cepas, son superiores a los reportados para la carne y la soya, sin embargo, son inferiores a los reportados para el huevo, el hígado de res y la leche. En lo que respecta a los valores de PER obtenidos para caseína (3.217) puede observarse que se encuentran dentro del intervalo reportado por Hacker en 1977. A la fecha no se reportan valores de PER determinados en algún tipo de hongos, sin embargo, Khanna y Garcha en 1986, determinaron, en base al contenido de aminoácidos, la relación de eficiencia proteica calculada (C-PER) en varias especies del género *Pleurotus spp.* (Cuadro 17), pudiendo observar que los valores generados en este estudio son muy superiores a los registrados por dichos autores, debido posiblemente a que en este trabajo los valores de PER obtenidos se encuentran basados en evaluaciones biológicas que relacionan la ganancia en peso de animales experimentales por gramo de proteína consumida y en el trabajo realizado por Khanna y Garcha sólo relacionan la presencia de aminoácidos esenciales sin considerar la biodisponibilidad de lo mismos. Cabe destacar que estos autores señalan la importancia de realizar evaluaciones biológicas que relacionen la digestibilidad verdadera y la biodisponibilidad de los nutrientes de los hongos para poder obtener valores reales de la calidad biológica de las proteínas contenidas en los carpóforos de este tipo de organismos.

Cuadro 16. Comparación de los valores de PER y PER_c en varios alimentos.

ALIMENTO	PER	PER _c
Huevo	3.62	3.19
Hígado de res	3.70	2.99
Lactoalbumina	2.95	2.80
Leche	3.03	2.74
Caseína	2.85	2.50
Bistec	-	2.30
Soya	1.78	1.43
Maíz	-	1.12
Gluten de trigo	0.54	0.48
Caseína	2.81-3.24	2.5
RESULTADO EXPERIMENTAL		
Caseína	3.217	2.5
INIREB-8	3.0335	2.35
STAMETS	3.074	2.38
IE-136	3.025	2.35

Fuente: Hacker, 1977; Hsu, 1978.

CUADRO 17. Comparación del PER calculado de varias especies de *Pleurotus spp.*

GÉNERO	PER Calculado
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	2.197
<i>P. florida</i> *	2.433
<i>P. sapidus</i> *	2.376
<i>P. ostreatus</i> *	2.302
Caseína*	2.486

*Fuente: Kanna y Garcha, 1986.

e) BALANCE DE NITRÓGENO:

En el cuadro 18, se presentan los valores promedio de nitrógeno consumido, nitrógeno absorbido, nitrógeno retenido, digestibilidad verdadera, valor biológico y utilización neta proteica.

CUADRO 18. Digestibilidad Verdadera, Valor Biológico y Utilización Neta Proteica de las dietas de Caseína, INIREB-8, STAMETES e IE-136.

DIETA	NITRÓGENO CONSUMIDO mg	NITRÓGENO ABSORBIDO mg	NITRÓGENO RETENIDO mg	DIGESTIBILIDAD VERDADERA %	VALOR BIOLÓGICO %	NPU %
CASEÍNA	642.56 ± 0.001 ^d	635.18 ± 0.001 ^d	605.22 ± 0.001 ^d	98.85 ± 0.004 ^a	95.28 ± 0.010 ^a	94.18 ± 0.011 ^a
INIREB-8	930.44 ± 0.001 ^a	908.67 ± 0.001 ^a	788.97 ± 0.001 ^a	97.66 ± 0.005 ^c	86.82 ± 0.009 ^c	84.79 ± 0.009 ^c
STAMETS	870.02 ± 0.001 ^c	855.08 ± 0.001 ^c	755.64 ± 0.001 ^c	98.28 ± 0.004 ^b	88.37 ± 0.007 ^b	86.85 ± 0.010 ^b
IE-136	913.80 ± 0.001 ^b	890.89 ± 0.001 ^b	766.51 ± 0.001 ^b	97.49 ± 0.051 ^d	86.03 ± 0.006 ^d	83.88 ± 0.043 ^d

Nota: Promedio de cinco unidades experimentales. Prom. ± ESM (error estándar de la media).

Tukey HDS $p \leq (0.05)$, a, b, c, d, indican la formación de grupos diferentes para cada parámetro determinado.

e.1) NITRÓGENO CONSUMIDO:

En cuanto al nitrógeno consumido, para este parámetro se realizó la formación de cuatro grupos diferentes, encontrándose en el primer grupo a la caseína con 642.56 mg consumidos, en el grupo dos se encontró la cepa STAMETS con 870.02 mg, le sigue la cepa IE-136 con 913.80 mg y finalmente, la cepa INIREB-8 con 930.44 mg de nitrógeno consumidos (ver cuadro 18, fig. 7). En este caso la cantidad de nitrógeno consumido fue mayor en las tres cepas evaluadas que en la caseína, debido a que las dietas se elaboraron con base al contenido de proteína establecido por la AOAC (10%) y, como ya se mencionó anteriormente, este valor es calculado a partir del contenido de nitrógeno, empleando un factor de conversión ya establecido. En el caso de la caseína este factor es 6.38, ya que su contenido de nitrógeno proteico es igual al 16% y es digerible en un 100%, sin embargo, en el caso de los hongos el factor establecido es de 4.38, debido a que estudios realizados en sus proteínas purificadas han encontrado que contienen sólo 11.79% de nitrógeno proteico y no el 16% esperado (Crisan y Sands, 1978). Es por esto que para alcanzar un porcentaje de proteína deseado es necesario el empleo de mayor cantidad de nitrógeno, que en el caso de la caseína que es una proteína pura. Esta es la causa por la que el nitrógeno consumido fue mayor en las tres cepas evaluadas que en la proteína control, caseína.

e.2) NITRÓGENO ABSORBIDO Y RETENIDO:

En lo que respecta al nitrógeno absorbido se siguió el mismo patrón con los siguientes valores: caseína con 635.18 mg, cepa STAMETS con 855.08 mg, seguida de IE-136 con 890.08 mg y con mayor cantidad de nitrógeno absorbido se encontró la cepa INIREB-8 con 908.67 mg (ver cuadro 18, fig. 7).

En lo referente al nitrógeno retenido, se puede observar la formación de cuatro grupos, encontrándose en el grupo uno la caseína con 605.22 mg, en el grupo dos la cepa STAMETSS con 755.64 mg, en el grupo tres la cepa IE-136 con 766.51 mg y en el último grupo la cepa INIREB-8 con 788.97 mg (ver cuadro 18, fig. 7).

Como puede observarse tanto los valores de nitrógeno absorbido como los de nitrógeno retenido se comportaron de igual manera en cuanto a la formación de grupos estadísticos, esto debido a que ambos tipos de nitrógeno se encuentran relacionados directamente con la cantidad de nitrógeno consumido, por lo que los animales experimentales que consumieron la dieta que contenía la cepa INIREB-8, que es la dieta que presentó la mayor cantidad de nitrógeno consumido, absorbieron y retuvieron mayor cantidad de nitrógeno que en el caso del grupo de animales que consumieron la dieta que contenía caseína, que fue el grupo que presentó menor cantidad de nitrógeno consumido y por ende menor cantidad de nitrógeno absorbido y retenido.

f) DIGESTIBILIDAD VERDADERA:

Cuando analizamos estadísticamente los valores reportados para la digestibilidad verdadera, encontramos la formación de cuatro grupos, pudiendo ver que la cepa con la menor digestibilidad fue IE-136 con 97.49%, las cepas con digestibilidad Intermedia fueron INIREB-8 y STAMETS con 97.66 y 98.28%, respectivamente, y

finalmente la caseína presentó el mayor porcentaje de digestibilidad con 98.85% (ver cuadro 18, fig. 8).

Al analizar los valores de caseína reportados en este estudio puede observarse que se encuentran dentro del intervalo registrado bibliográficamente (Cuadro 19). Sin embargo al compararlos con los datos de digestibilidad verdadera reportados para las tres cepas experimentales podemos darnos cuenta que la caseína se comportó con mayor eficiencia a nivel digestivo; debido a que las paredes celulares de los hongos se encuentran formadas principalmente por quitina y β -glucanos, los cuales son considerados agentes que afectan negativamente a la digestión, ya que aceleran dicho proceso impidiendo la eficaz absorción de las proteínas. Por tal motivo las proteínas de los hongos evaluados no pudieron ser utilizadas en su totalidad por el organismo de los animales en experimentación y, por consiguiente, se obtuvieron porcentajes de digestibilidad más bajos que el de la caseína. No obstante, a pesar de haber existido diferencia significativa entre las tres cepas y la caseína, estos datos no se encuentran muy alejados entre sí, principalmente, en el caso de la cepa STAMETS, la cuál presentó una diferencia de sólo el 0.57% de digestibilidad con respecto a la caseína.

Hasta ahora, sólo se han registrado los datos de digestibilidad verdadera de *Schizophyllum commune* con 53.2% y *Lentinus edodes* con 76.3%, observándose que los valores obtenidos en este estudio para el género *Pleurotus spp* (97.49%-98.28%) son notablemente superiores a los registrados para estas especies, lo que habla de la mejor eficiencia de digestibilidad y asimilación de las proteínas de los hongos del género *Pleurotus spp*.

De igual forma al realizar la comparación con los valores reportados para otro tipo de alimentos, tales como el queso (95%), la carne, (94%), el pescado (94%), el trigo refinado (96%), el arroz (88%), el maíz (85%), etc. (FAO, 1970) (Cuadro 19), podemos darnos cuenta de que los hongos del género *Pleurotus spp*, a pesar de

presentar sustancias antinutritivas, tienen un elevado coeficiente de digestibilidad verdadera, la cuál se encuentra a la altura de una gran variedad de alimentos que están considerados con un elevado valor nutritivo.

CUADRO 19. Digestibilidad Verdadera (%) de algunos alimentos.

	DIGESTIBILIDAD VERDADERA
Huevo**	100
leche*	100
Gluten de trigo*	99
Trigo refinado*	96
Queso*	95
Carne*	94
Pescado*	94
Cacahuate*	94
Caseína*	92
Semilla de algodón*	90
Triticale*	90
Arroz pulido*	88
Frijoles*	87
Maíz*	85

*Fuente: FAO, 1970

En lo que respecta a la comparación de los valores obtenidos para la digestibilidad *in vitro* y los obtenidos para la digestibilidad verdadera, podemos indicar que es notable la sobre estimación del valor real del coeficiente de digestibilidad al emplear métodos de evaluación química, debido a que estos no consideran variables biológicas importantes que afectan dicho valor, como lo son, la presencia de quitina y β -glucanos presentes en los hongos, además de no considerar la diferencia entre el nitrógeno endógeno (células mucosas del tracto digestivo y enzimas digestivas) y el nitrógeno exógeno (proteínas de la dieta). Por todo lo anterior, es importante recalcar la importancia de las evaluaciones biológicas de las proteínas empleadas para la alimentación de organismos vivos, ya que estas dan la confiabilidad de que los valores reportados son efectivamente reales, hablando en términos biológicos.

g) VALOR BIOLÓGICO:

El valor biológico presentó la formación de cuatro grupos, siendo la cepa con menor valor biológico IE-136 con un porcentaje de 86.03, posteriormente se encontró la cepa INIREB-8 con 86.82%, en el grupo tres se encontró a la cepa STAMETS con 88.37% y en el grupo cuatro, con el mayor porcentaje de valor biológico se encontró a la proteína control (caseína) con 95.28% (ver cuadro 18, fig. 8).

En que respecta a este parámetro puede observarse, que las proteínas de las tres cepas se comportaron con eficiencia similar; sin embargo, presentan valores significativamente más bajos con respecto a los valores de la caseína, esto debido a que la caseína contiene todos los aminoácidos esenciales en cantidad suficiente y en la relación correcta para mantener el equilibrio adecuado del nitrógeno; y las proteínas contenidas en los carpóforos de las tres cepas de *Pleurotus spp.* presentan bajos contenidos de los aminoácidos azufrados metionina y cisteína (Crisand and Sands, 1978), los cuales son considerados como indispensables para la síntesis de las proteínas y, por ende, para la producción de enzimas. No obstante, estas son capaces de mantener la integridad de los tejidos y permitir el desarrollo y crecimiento de los organismos.

A la fecha no existen valores de valor biológico reportados para las especies del género *Pleurotus spp.*, sin embargo, la FAO en 1970, reporta un valor biológico de 80.4%, para los hongos en general, tomando como referencia al champiñón, no obstante, puede notarse la superioridad de los valores obtenidos en este experimento, con respecto a los que dicha organización reporta, además de que no es posible tomar este valor como representativo de todos los hongos, debido a que si existen diferencia nutritivas significativas dentro de un género con mayor razón las hay al hablar de géneros totalmente diferentes. Los valores de valor biológico obtenidos para la caseína en este trabajo (95.28%) se encuentran

dentro del intervalo reportado en otros trabajos (91.42-96%) de evaluación biológica (Sudesh, et al., 1992; Snehil y Sudesh, 1998; Hacker, 1977). Lo que indica la confiabilidad de los resultados obtenidos en este estudio.

Al comparar los valores obtenidos para estos hongos, con otros alimentos (cuadro 20), se puede observar que su valor biológico se encuentra entre la leche de vaca (81%) y el huevo completo (90%), siendo superiores al de algunos cereales como el maíz (36%) y el arroz descascarillado (63%). Lo que habla de su elevada calidad biológica que se refleja en el poder nutricional de los hongos del género *Pleurotus spp.*

Cuadro 20. Comparación de los valores de Valor Biológico de varios alimentos.

ALIMENTO	VALOR BIOLÓGICO
Albumina de Huevo	100
Leche Humana	100
Caseína	96
Filete	93
Huevo Completo	87
Arroz	86
Leche de Vaca	81
Trigo	67
Maíz	60
RESULTADO EXPERIMENTAL	
Caseína	95.283
INIREB-8	86.827
STAMETS	88.371
IE-136	86.039

Hacker, 1977, Leningher, 1979

h) UTILIZACIÓN NETA PROTEICA :

La Utilización Neta Proteínica siguió el mismo patrón que el anterior parámetro, con los siguientes valores en orden ascendente: la cepa E-136 con 83.88%, la cepa INIREB-8 con 84.79%, la cepa STAMETS con 86.85% y finalmente la caseína con 94.18% (ver cuadro 18, fig. 8).

En lo que respecta al parámetro de utilización neta proteica de las tres cepas evaluadas, puede decirse que es muy superior a la reportada para otro tipo de hongos, tales como *Agaricus bisporum* (72.4%) (FAO. 1970), *Schizophyllum commune* (23.7%) y *Lentinus edodes* (45.8%) (Longvah y Deosthale, 1998), en los cuales se han encontrado valores muy reducidos de utilización proteica; Sin embargo, cabe destacar que la metodología empleada para la determinación de la utilización neta proteica en el presente trabajo fue relacionando el valor biológico y la digestibilidad verdadera mediante una fórmula ya establecida (ver pág. 45) y la empleada en los trabajos antes mencionados se encontró basada en determinaciones con animales experimentales, por lo que resultan un tanto incongruentes los valores reportados por estos autores. Incluso en los datos que reportan de NPU para la caseína (77.6) son muy bajos en comparación con los reportados en otros estudios de calidad biológica en donde se manejan valores entre un intervalo del 91.5-95% (Hacker, 1977; Sudesh et al., 1992; Snehil y Sudesh, 1998).

Al realizar la comparación con los valores reportados para alimentos (Cuadro 21) como el trigo (60%), la leche de vaca (81%) y el arroz (82%) es posible observar que, del mismo modo, fueron superiores e incluso se encuentran muy cercanos a los reportados para el huevo completo (87%); por lo que se considera que las tres cepas cuentan con proteínas con una disponibilidad fisiológica considerablemente alta, esto es relevante, ya que las proteínas de origen vegetal se encuentran dentro de las de más bajo valor nutritivo.

El valor de utilización neta proteica que se obtuvo para la caseína en este estudio fue de 94.18%, el cual se encuentra dentro del intervalo registrado en otros trabajos (ver cuadro 21), lo que es un indicativo de la certeza de la determinación realizada en este estudio.

Cuadro 21. Comparación de los valores de Utilización Neta Proteica de varios alimentos.

ALIMENTO	UTILIZACIÓN NETA PROTEÍCA
Albumina de Huevo	100
Leche Humana	100
Caseína	91.5-95
Filete	91
Huevo Completo	87
Arroz	82
Leche de Vaca	81
Trigo	60
Maíz	36
RESULTADO EXPERIMENTAL	
Caseína	94.188
INIREB-8	84.796
STAMETS	86.853
IE-136	83.882

Hacker, 1977, Leningher, 1979; Sudesh et al., 1992; Snehil y Sudesh, 1998.

i) RELACIÓN NETA PROTEICA:

En el cuadro 22, se aprecian los valores promedio de la relación neta proteica (NPR); los cuales al aplicar el análisis estadístico presentaron diferencia significativa; y al aplicar la prueba posteriori de Tukey se formaron tres grupos, en el grupo uno se encuentran las cepas INIREB-8 (4.07) e IE-136 (4.08), en el grupo dos se encuentra la cepa STAMETS (4.18) y en el grupo tres la caseína (4.24) ver fig. 9.

CUADRO 22. Relación Neta Proteica de las dietas de Caseína, INIREB-8, STAMETS e IE-136.

DIETA	GANANCIA EN PESO CORPORAL g	PÉRDIDA EN PESO CORPORAL g	PROTEÍNA CONSUMIDA g	NPR
CASEÍNA	32.72 ± 0.08	10.58 ± 0.12	10.17 ± 0.02	4.24 ± 0.002 ^a
INIREB-8	30.92 ± 0.07	10.58 ± 0.12	10.18 ± 0.03	4.07 ± 0.005 ^c
STAMETS	29.30 ± 0.03	10.58 ± 0.12	9.53 ± 0.005	4.18 ± 0.002 ^b
IE-136	30.26 ± 0.04	10.58 ± 0.12	10.00 ± 0.01	4.08 ± 0.002 ^c

Nota: Promedio de cinco unidades experimentales. Prom. ± ESM (error estándar de la media).

Tukey HDS $p \leq (0.05)$, a, b, c, indican la formación de grupos diferentes para cada parámetro determinado.

En lo referente al parámetro de NPR, es posible observar, que a pesar de haber existido diferencia significativa entre los datos obtenidos para las tres cepas evaluadas y los obtenidos para la caseína, estos se encuentran relativamente cercanos. Al compararlos con valores reportados para otros hongos como *Schizophyllum commune* (0.7) y *Lentinus edodes* (1.7), puede observarse que los obtenidos en este estudio son elevados; cabe destacar que la metodología empleada en ambos estudio fue la misma. En lo que respecta a los valores de caseína obtenidos estos se encontraron dentro del rango registrado en otros trabajos, lo que da a este estudio la confiabilidad de la determinación realizada.

Al realizar la misma comparación con alimentos tales como la carne (3.9), la soja (3.5), la avena (3.2) y el arroz (2.9), estos datos obtenidos también son significativamente superiores, lo que habla de la capacidad biológica de las proteínas de las tres cepas evaluadas para promover y mantener el crecimiento de organismos vivos (Cuadro 23).

Cuadro 23. Comparación de la NPR de varios alimentos.

FUENTE DE PROTEÍNA	NPR
carne de res*	4.2
soja *	3.5
avena*	3.2
arroz*	2.9
clara de huevo*	2.2
chícharo*	2.0
gluten de trigo*	1.5
Caseína*	4.1 - 4.4
RESULTADO EXPERIMENTAL	
Caseína	4.24
INIREB-8	4.07
STAMETS	4.18
IE-136	4.08

*Fuente: Hopkins and Stteinke, 1978.

Dado al gran auge que ha adquirido el cultivo de *Pleurotus spp* en México y la falta de normalización de su cultivo a la fecha, es recomendable que se evalúen parámetros específicos para los carpóforos obtenidos con diferentes condiciones de cultivo para poder establecer una norma de calidad para este género, que considere de manera conjunta parámetros destinados a determinar valor nutritivo tales como el análisis químico proximal, digestibilidad *in vitro* e *in vivo*, determinaciones del valor biológico, utilización neta proteica, y parámetros destinados a determinar aspectos de producción tales como la eficiencia biológica, el tamaño, peso y color de los carpóforos, etc.

De acuerdo con los objetivos planteados en este estudio se proponen los siguientes intervalos de valores fisicoquímicos como elementos para la propuesta de una norma de calidad para los hongos del género *Pleurotus spp* (ver cuadro 24):

Cuadro 24. Intervalos de valores fisicoquímicos propuestos para la norma de calidad de los hongos del género *Pleurotus spp.*

PARÁMETRO	INTERVALO (%)
Humedad	92.21 - 93.41
Cenizas	3.57 - 4.49
Proteínas	26.70 - 28.22
Grasa	4.46 - 5.25
Fibra	11.04 - 11.89
Digestibilidad in vitro	98

Considerando lo anterior es recomendable mencionar que Jiménez en el 2000, realiza una evaluación de la productividad de diferentes cepas del género *Pleurotus spp.*, evaluando la productividad en términos de eficiencia biológica, mencionando que las cepas INIREB-8 (80), IE-136 (132.36) y STAMETS (115.58), son altamente productoras, debido, posiblemente, a que el paquete enzimático que presentan, encargado de hidrolizar la celulosa, hemicelulosa y lignina, es más eficiente que el de otras cepas del mismo género; lo cual les da ventaja para aprovechar mejor el sustrato y poder crecer mejor.

De igual forma, Jiménez, realizó estudios en cuanto a tamaño y peso de los carpóforos de las cepas, observando que en general, estos son de buena calidad, lo cual no limita la comercialización de estos hongos. También observó que el color que presentan es muy variado y atractivo para el consumidor.

Por lo que sí consideramos los atributos nutricionales de las tres cepas del género *Pleurotus spp.* así como la elevada productividad, el atractivo color y el tamaño que presentan, podemos pensar en la presencia de una calidad aceptable para su cultivo a escala comercial.

8. CONCLUSIONES

- ◆ El Análisis químico proximal realizado a las tres cepas evaluadas indica la presencia de un porcentaje considerable de contenido proteico, presentando el mayor porcentaje la cepa STAMETS, seguida de la cepa IE-136 y por último la cepa INIREB-8.
- ◆ La Digestibilidad *in vitro* de las tres cepas es muy elevada y no presentan diferencia significativa entre estas.
- ◆ Los parámetros determinados para realizar la evaluación biológica de las proteínas presentes en los carpóforos de las tres cepas del género *Pleurotus spp.* indican una calidad biológica aceptable.
- ◆ La cepa STAMETS fue superior a las demás cepas en los parámetros de digestibilidad verdadera, valor biológico, utilización neta proteica y relación neta proteica, seguida de la cepa INIREB-8 y finalmente la cepa IE-136.
- ◆ En general, la calidad de las proteínas de los carpóforos de las tres cepas es equivalente a alimentos tales como la carne y la leche, y superior a gran variedad de cereales y vegetales.
- ◆ El parámetro de Relación de Eficiencia proteínica (PER) puede ser determinado óptimamente en un lapso de 14 días, sin que se afecten los valores así obtenidos.
- ◆ Se proponen intervalos de valores fisicoquímicos como elementos para la propuesta de una norma de calidad para los hongos del género *Pleurotus spp.*

- ◆ Relacionando los elevados atributos nutritivos que presentan las tres cepas y las elevadas tasas de productividad de las mismas, es posible pensar en una calidad aceptable para su cultivo comercial a escala industrial.

RECOMENDACIONES:

Es importante recomendar que en estudios posteriores enfocados al estudio del valor nutritivo de los hongos del género *Pleurotus spp* se realice la determinación de los aminoácidos presentes en los carpóforos de estos hongos, debido a la gran importancia que tienen desde el punto de vista nutricional.

ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL

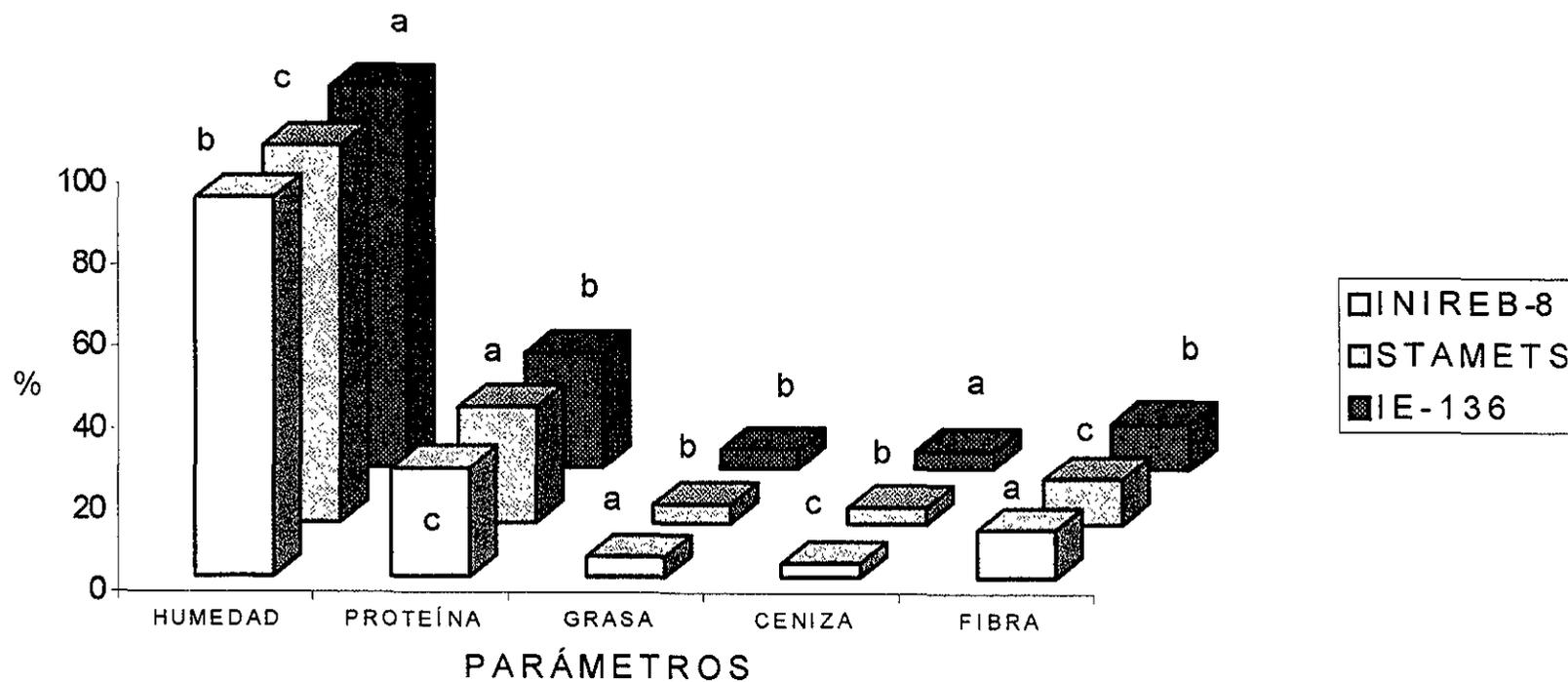


Figura 3. Comparación del Análisis Químico Proximal de las tres cepas de *Pleurotus spp.* evaluadas. Las letras a, b, c, indican la formación de grupos estadísticamente diferentes para cada parámetro determinado.

% DIGESTIBILIDAD *in vitro*

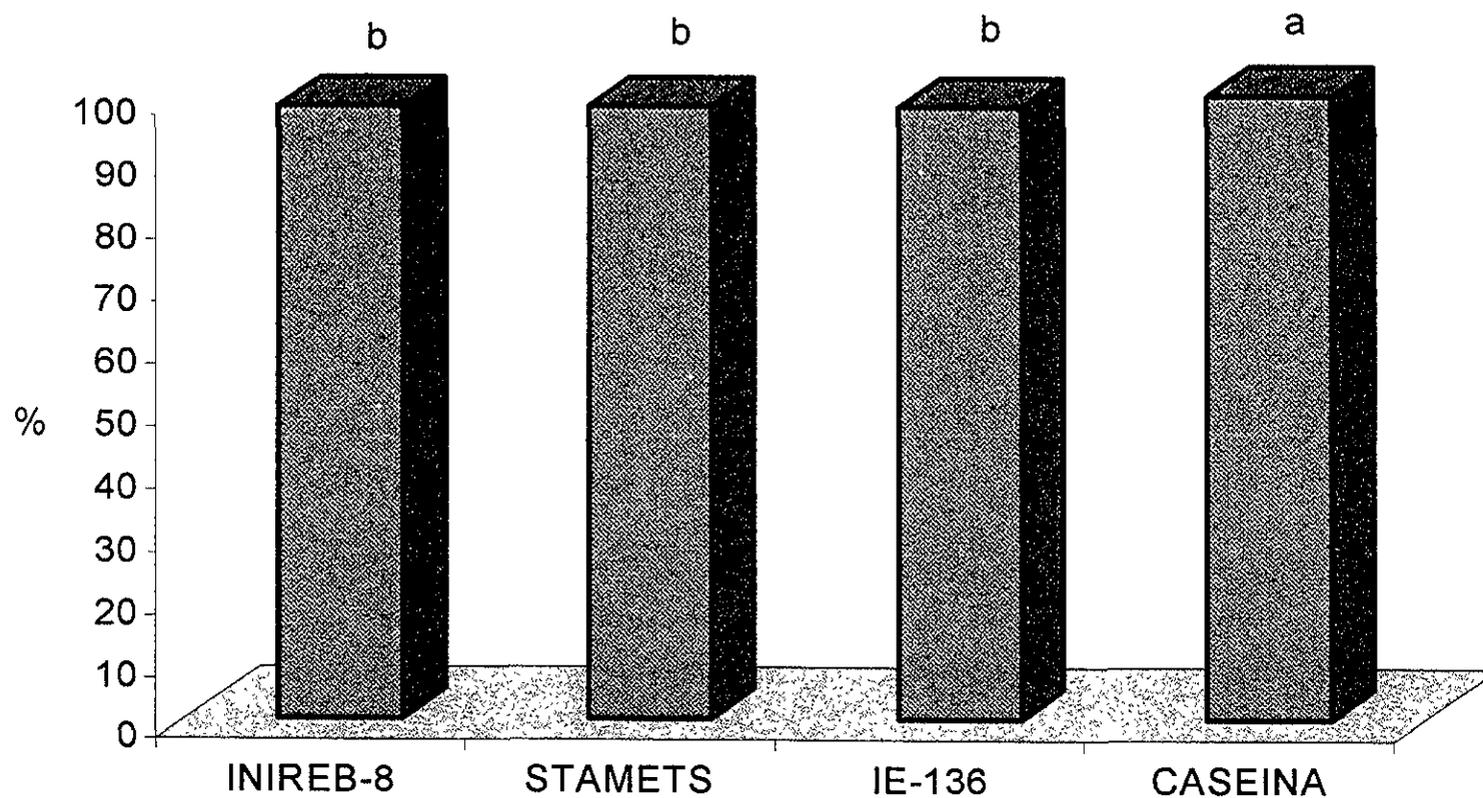


Figura 4. Comparación del % de Digestibilidad *in vitro* (empleando pepsina) de las cepas evaluadas, así como de la proteína de referencia. Las letras a, b, indican la formación de grupos con diferencias estadísticas significativas para cada parámetro determinado.

ALIMENTO Y PROTEÍNA CONSUMIDOS Y GANANCIA EN PESO CORPORAL

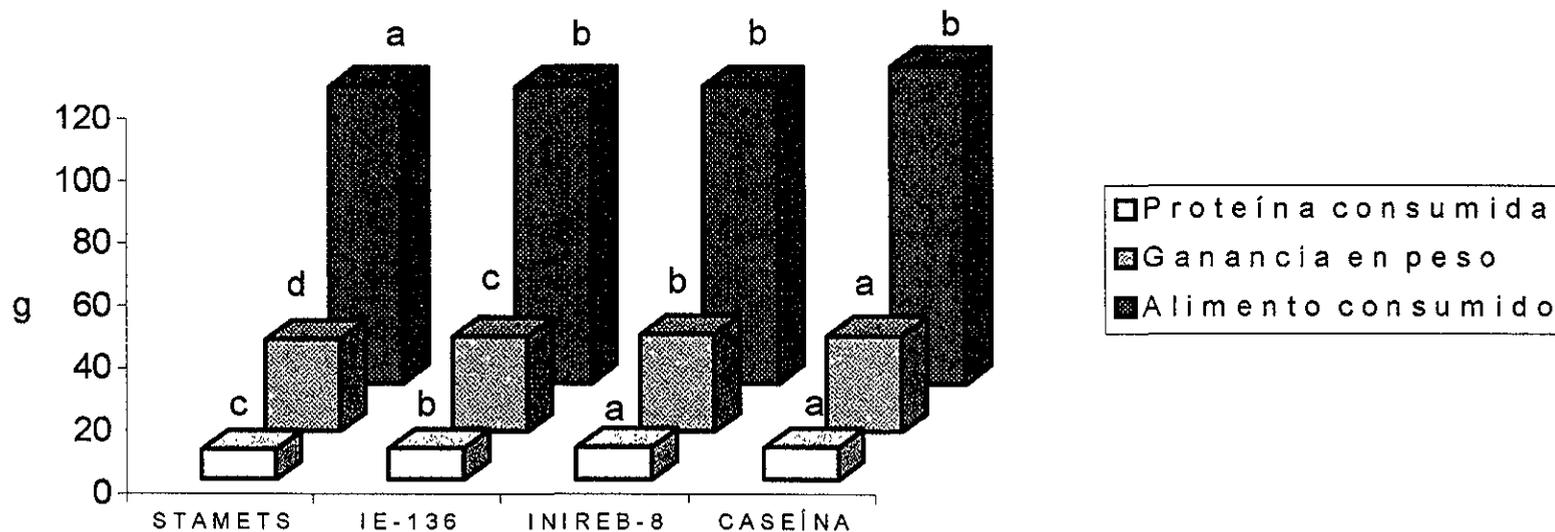


Figura 5. Comparación de la cantidad de alimento consumido y proteína consumida y ganancia en peso por los animales experimentales.

Las letras a, b, c, indican la formación de grupos significativamente diferentes para cada parámetro determinado.

RELACIÓN DE EFICIENCIA PROTEICA NORMAL Y CORREGIDO

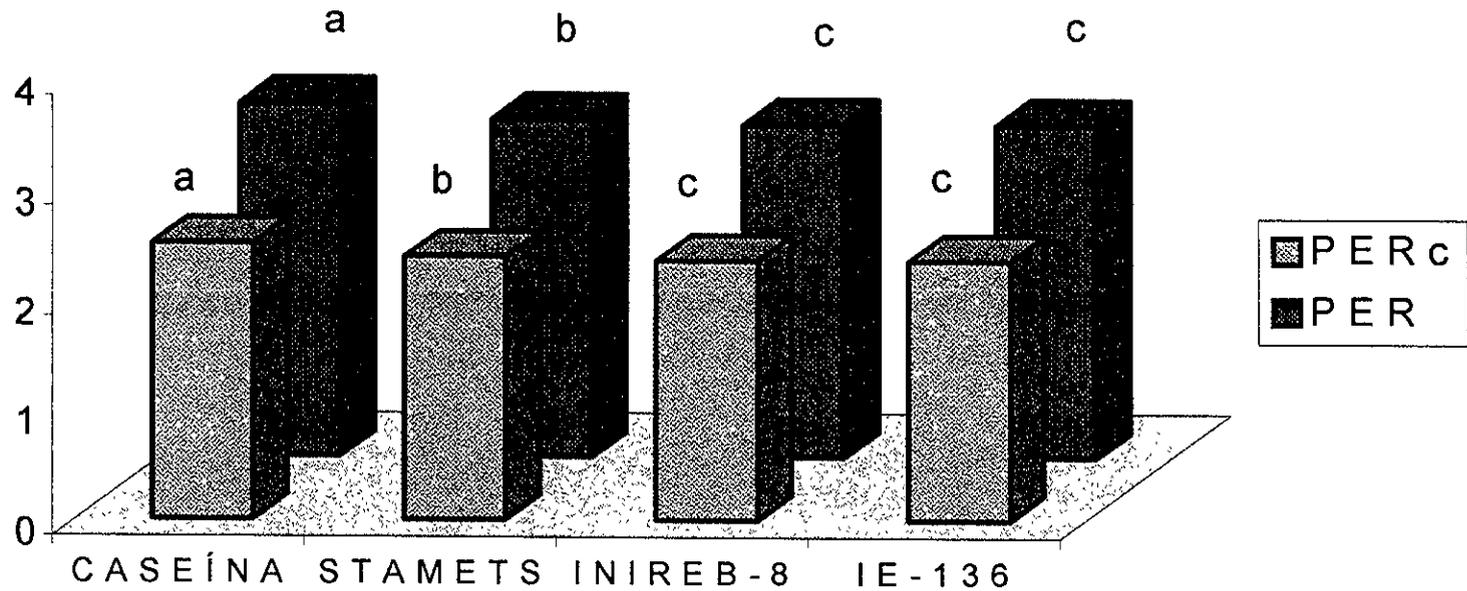


Figura 6. Relación de eficiencia proteica normal y corregido de las tres cepas evaluadas. Las letras a, b, c, indican la formación de grupos significativamente diferentes para cada parámetro determinado.

BALANCE DE NITRÓGENO

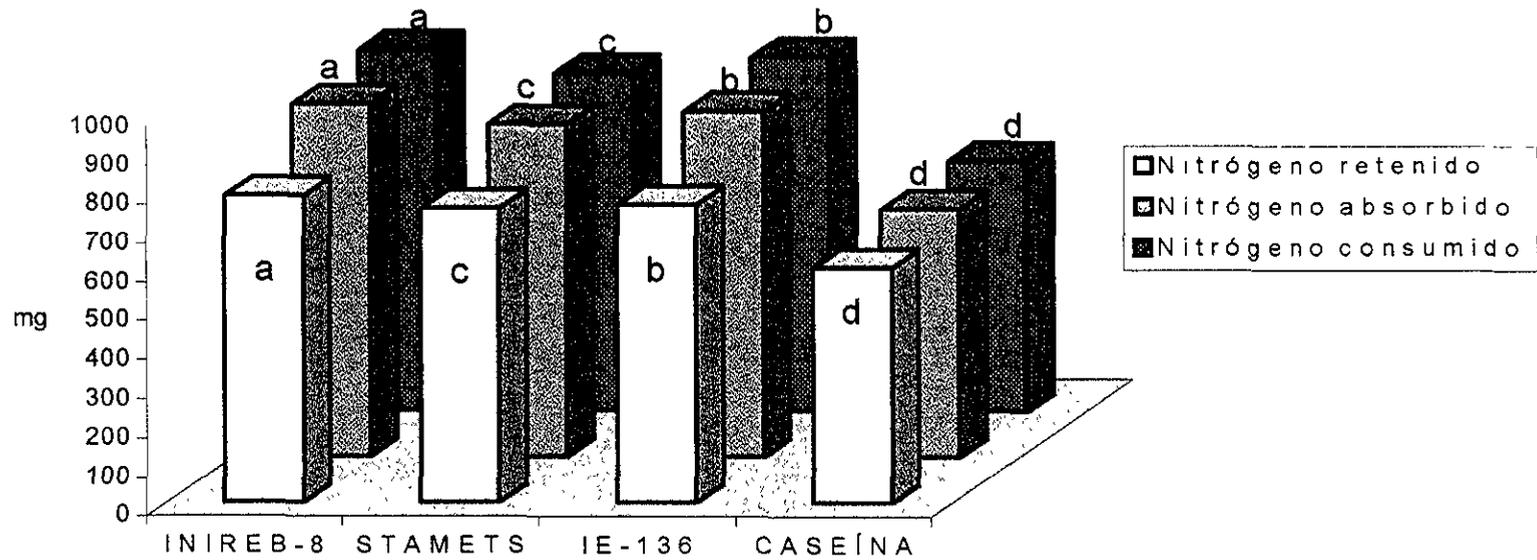


Figura 7. Nitrógeno consumido, absorbido y retenido por los animales experimentales al consumir los diferentes tipos de dietas administradas.

Las letras a, b, c, d, indican la formación de grupos significativamente diferentes para cada parámetro determinado.

PARÁMETROS BIOLÓGICOS DETERMINADOS

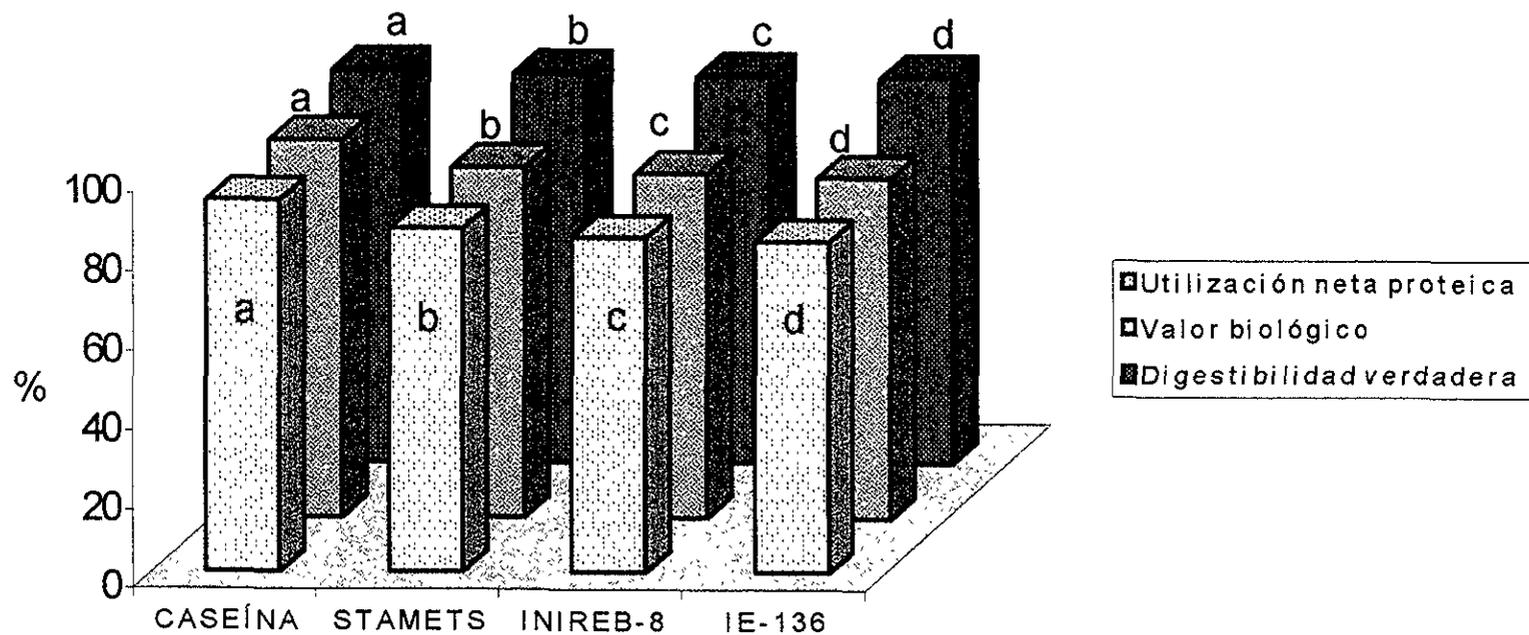


Figura 8. Digestibilidad verdadera, Valor biológico y Utilización neta proteica de las tres cepas evaluadas. Las letras a, b, c, d, indican la formación de grupos significativamente diferentes para cada parámetro determinado.

RELACIÓN NETA PROTEICA

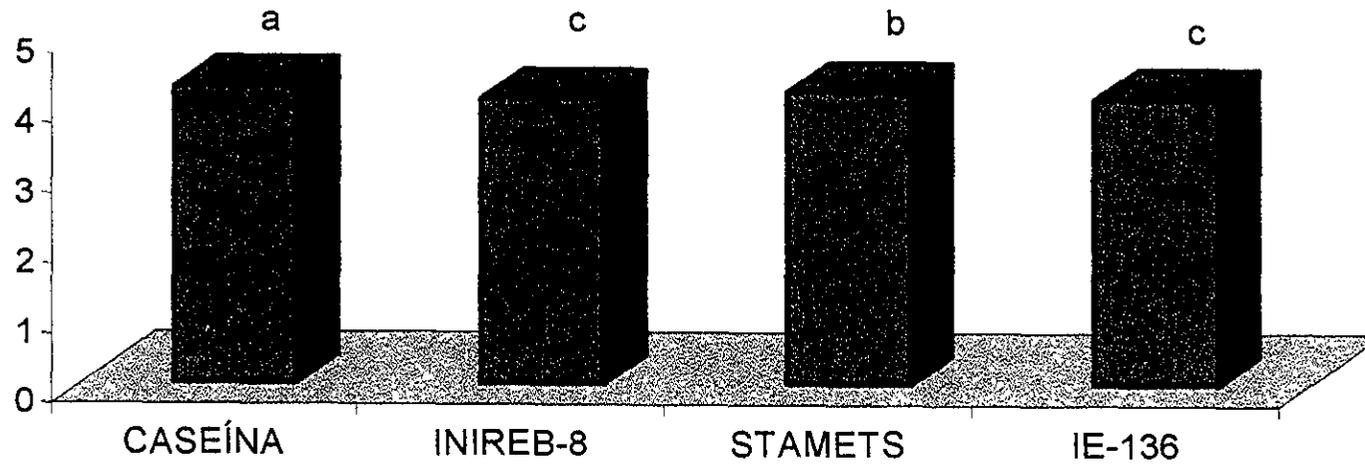


Figura 9. Relación neta proteica de las tres cepas evaluadas.
Las letras a, b, c, indican la formación de grupos significativamente diferentes para cada parámetro determinado.

10. BIBLIOGRAFÍA

Agundis, (1995) Diagnostico técnico económico de la producción de hongos comestibles. Tesis. Instituto Politécnico Nacional-UPIBI. México. 247 pp.

Aláis (1996) Ciencia de la leche. Edit. C.E.C.S.A. México. 536 pp.

Alcántara, H. M. (1990) Mejoramiento genético de cepas acelulolíticas de *Pleurotus ostreatus*, tesis de licenciatura, Universidad de motolinia, México, D.F.

Anaya, L.L. (1985) Elaboración de atoles enriquecidos con derivados lácteos. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México. 125 pp.

Anderson, R. H. (1978) Protein quality testing: industry needs. Food Tehchnol. **32**(12):65-68.

Anderson, R. H. (1980) Available lysine – I. Factors affecting availability. Food Review. **7**(6): 113-123.

Ancona M. L. (1997) Cultivo de *Pleurotus* en la Zona Rural de Yucatán. Memorias del IV Congreso Nacional de Micología/IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas. México. 143 pp.

Association of Official Agricultural Chemist (1984) Official Methods of Analysis. Edición 12. Washington, D.C.

Backer, H., O. Frank, Rusoff (1978) Protein quality of foods determined with *Tetrahymena thermophila* and rat. Nutr. Rept. Intl. **17**(5): 525-536.

Bano, Z. (1967) *Studies on mushrooms with particular reference to cultivation and submerged propagation on *Pleurotus flabellatus**. Ph. D. Thesis. University of Mysore, India.

Bano y Rajarathnam. (1982) *Pleurotus mushrooms as a nutritious food*. Tropical Mushrooms. 363-380 p.

Beltran, O. M. (1983) *Desarrollo de Pastas Enriquecidas para Sopa con Proteínas de Origen Lácteo*. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. 167 pp.

Bender, A. E. (1977) Proteínas. En: Nutrición y Alimentos Dietéticos. Edit. Acribia. 197-201 pp.

Bisko, N. A. and Bilay, V. T. (1992) *The growth of *Pleurotus ostreatus* on lignocellulosic materials*. Micol. Neotrop. Apl. **5**: 49-57.

Bodwell, C. E. (1977) *Application of animal data to human protein nutrition: a review*. Cereal Chemistry. **54**(4):958-983.

Conn, E. E y P. K. Stumpf (1977). Bioquímica fundamental. Edit. Limusa. México. 446 pp.

Chang, S. T. Miles, G. P. (1989) *Edible Mushrooms and Their Cultivation*. Press Bocaraton, Florida. The Nutritional Attributes and Medicinal Value of Edible Mushrooms. 27-40 pp.

Chang, S. T. Buswell, J. Miles, G.P. (1993) Genetics and Breeding of Edible Mushrooms. Gordon and Breach Science Publisher. Printed in the United States of América. 324 pp.

Cheung, P. C. K.(1997) Chemical Evaluation of Some Lesser Known Edible Mushroom Mycelia Produced in Submerged Culture from Soymilk Waste. Food Chemistry. **60**(1):61-65.

Crisan, E. B. and A. Sands (1978) Nutritional Value. In: S.T. Chang, and W.A. Hayes (Eds.). The Biology and Cultivation of Mushrooms. *Academic Press*, New York.

De León, S. (1985) Análisis de Alimentos. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. México. 137 pp.

Ebrard, M. (1996) El Alimento de los Dioses. Cuadernos de Nutrición. **19** (6): 7-11.

Esquivel, H., M. Martínez., J.L. Martínez. (1999) Nutrición y Salud. Edit. Manual Moderno. México. 120 pp.

Fajardo, O. M. C. (1990) Evaluación de mutantes acelulolíticas de *Pleurotus ostreatus*, tesis de licenciatura, Facultad de ciencias, UNAM, México. D.F.

FAO (1970) Aminoacid content of foods and Biological data on proteins. 178-179 pp.

FAO/WHO (1989) Joint FAO/WHO expert consultation on protein quality evaluation. 66pp.

Fernández, M. N. y Montoya, E. (1997) Comercialización de los Hongos Silvestres Comestibles en la comunidad de Javier Mina, Tlaxcala. Memorias del IV Congreso Nacional de Micología/IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas. México. 149pp.

Fox y Cameron (1997) Ciencia de los alimentos, nutrición y salud. Edit. Limusa. México. 329pp.

García, I., Cisneros F., Sedrés (1998) Estudio de la actividad antimicrobiana en el cultivo de *Pleurotus ostreatus* HB 184. Alimentaria. **98** (292): 63-65.

Ginterová, A. Hrabovcová, J. and Manzur, M. (1992) Cultivation of fungi on sugar cane biomass. Folia Microbiol, **37**(1):60-65.

González, M. S. y Peñalosa, C. I. (1984) Manual de técnicas en biomoléculas. E.N.E.P. Iztacala. UNAM. México.

Guyton y Hall (1997) Tratado de Fisiología Médica. Edit. McGraw-Hill Interamericana. México. 1262 pp.

Guzmán, G. Mata, G. Salmones, D. Soto, V. C. y Guzmán D. L. (1993) El cultivo de los hongos comestibles, IPN, México, D.F.

Guzmán, G. (1995) La Diversidad de Hongos en México. Ciencias. No. **39**, Julio-Septiembre: 52-57.

Guzmán, G. (1996) ¿Cuántos Hongos Crecen en México?. Ciencia y Desarrollo. **21**(127):86-89.

Hackler, L. R. (1977) A review of bioassay procedures. Cereal Chemistry. **54** (4): 984-995.

Hadar, Y. y Cohen-Araz, E. (1986) Chemical Composition of the Edible Mushroom *Pleurotus ostreatus* Produced by Fermentation. Applied and Environmental Microbiology. **51**(6):1352-1354.

Hegsted, D. M. (1964) Proteins. En: Nutrition. G. H. Beaton y E. W. McHenry (eds.) New York: Academic Press. 126-129 pp.

Herrera, T. y Ulloa, M. (1990) El Reino de los Hongos: Micología Básica y Aplicada. Edit. Fondo de Cultura Económica. México. 552 pp.

Herrera, A. K. Godoy, M. C. (1997) Cultivo de una Cepa Mexicana de *Pleurotus ostreatus* Utilizando como sustrato Aserrín de Caoba y Cedro; Fibra de Coco y Olote de Maíz, Memorias del IV Congreso Nacional de Micología/IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas. México. 141 pp.

Hopkins and Steinke. (1978) Updating protein quality measurement techniques. Cereal Foods World. **23** (9): 539-543.

Hsu, Sutton, Banjo, Satterlee and Kendrick (1978) The C-PER and T-PER assays for protein quality. Food Tehcnology. 69-73p.

Jansen, G. R. (1978) Biological Evaluation of Protein Quality. Food Technology. 52-56 p.

Jiménez, H. (2000) Evaluación de la productividad y coloración de los esporóforos de diferentes cepas de *Pleurotus spp.* Tesis. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 60 pp.

Khanna, P., H. S. Garcha (1986) Nucleic Acid Content and Relative Nutritive Value (RNV) of Sporophore Proteins of *Pleurotus spp.* Mushroom Newslater Tropics. **6** (3): 15-17.

Kaul, T. (1986) Cultived Edible Mushrooms. Reg. Research Laboratory. JAMMU, India.

Lachance, P. A., R. Bressani y L. G. Elías (1977) Shorter protein bioassays. Food Chemistry. **31**(6): 82-84.

Lara, G. Arias, G. y Villaseñor, (1997) Cultivo de *Pleurotus spp.* Sobre Masilla de Cerveza y Bagazo de Maguey Tequilero, Memorias del IV Congreso Nacional de Micología/IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas. México. 135p.

Leal, H. (1982) La importancia del papel de la lignina en la utilización de los desperdicios agrícolas. Cuadernos de Posgrado de la Facultad de Química-UNAM. **11** (4): 81-108.

Leal, H. (1985) La utilización microbiológica de desperdicios lignocelulósicos. Potenciales y Perspectivas. En: Prospectiva de la Biotecnología en México. Fundación Barrios Sierra. CONACYT. México, D.F.

Lehninger, A. L. (1979) Bioquímica. Las bases moleculares de la estructura y función celular. Edir. Omega, S.A. 66pp.

Longvah y Deosthale. (1998) Compositional and nutritional studies on edible wild mushroom from northeast India. Food Chemistry. **63** (3): 331-334.

Madl, R. (1993) Evolution of Protein Quality Determination. Cereal Foods World. **38** (8): 576-577p.

McLaughlan, J. M. (1972) Nutritional Evaluation of Proteins by Biological Methods. Cereal Science Today. **17** (6), 162-165.

Martínez, C. D. (1985) Cultivo de *Pleurotus ostreatus* en pulpa de café con paja como sustrato, Rev. Mex. Mic. **1**:101-108.

Martínez, C. D. (1988) Hibridación entre cepas de *Pleurotus ostreatus* de México y Guatemala, Rev. Mex. Mic. **4**:281-286.

Martínez-Carrera, Larqué-Saavedra A. (1990) Biotecnología en la Producción de Hongos Comestibles. Ciencia y Desarrollo. **XVI** (95), 53-64.

Martínez-Carrera, Larqué-Saavedra A. Morales P. Sobal M. Martínez W. y Aguilar A. (1993) Los Hongos Comestibles en México: Biotecnología de su Reproducción. Ciencia y Desarrollo. **XVIII**(108): 41-49.

Martínez-Carrera (1997) Producción de *Pleurotus* en México, Memorias del IV Congreso Nacional de Micología/IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas. México. 30 pp.

Monroy, M. R. (1976) Valor Nutritivo del Xastle (Producto Residual de la Fermentación del Pulque). Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. 100 pp.

Moore-Landecker E. (1996) Fundamentals of fungi. Edit. Prentice Halls. 271-276 pp.

Morales, P. (1987) El cultivo de *Pleurotus ostreatus* sobre pulpa de cardomomo, Rev. Mex. Mic. **3**:71-73.

Nesheim, R. O. (1977) Food industry requeriments for rapid methods of protein quality assessment. Food Technol. **31**(6): 71-72.

Padilla, H. F. (1990) Mejoramiento genético de una mutante acelulolítica (C-) de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) Kummer, tesis de licenciatura, Facultad de ciencias, UNAM, México, D.F.

Pellet, P. L. (1978) Protein Quality Evaluation Revisted. Food Technology. **32**(5): 60-79.

Pellet, P.L y V. R. Young (1980) Nutritional Evaluation of Protein Foods. The United Nations University World Hunger Programme, Food and Nutrition Bulletin Supplement 4. Tokyo, Japan.

Pérez, C. C. y Alfaro M. C. (1994) Evaluación de tres sustratos (maíz-frijol-cebada) para la producción de *Pleurotus ostreatus* y *P. djamour* en Chapingo, México. V congreso nacional de micología, Guanajuato, 72p.

Qintero Ramírez, Leal, H., (1980) Prospectiva de la biotecnología en México. CONACYT. México. 220-233 pp.

Ragunathan, R. Gurusamy, R. Palaniswamy, M y Swaminathan, K. (1996) Cultivation of *Pleurotus* spp. on Various Agro-resiues. Food Chemistry. **55**(2): 139-144.

Rinker, D. L. (1991) Flax shive as a substrate for oyster mushroom production, Micol. Neotrop. Apl. **4**:1-7.

Rodríguez, M. R. Soto-Velazco, C. (1997) Perspectivas de Producción de Hongos Comestibles *Pleurotus* spp. En la Región Noreste del Estado de Nuevo León, Memorias del IV Congreso Nacional de Micología/IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas. México. 145 p.

Salcido, L. E. 1993. Manual de análisis de frutas y Verduras. C.B.T.i.s. No. 86. México. 41 pp.

Sánchez, V. J. E. (1997) Avances en el Cultivo de Hongos Comestibles en México. Memorias del IV Congreso Nacional de Micología/IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas. México. 28 p.

Satterlee, L. D., J. G. Kendrick y G. A. Miller (1977) Rapid in vitro assays for estimating protein quality. *Food Technology*. 31(6): 78-81.

Snehil K., Sudesh J. (1998) Biological evaluation of protein quality of barley. *Food Chemistry*. **60** (1/2): 35-39.

Sobal, M. y Martínez, C. D. (1988) Potencial de entrecruzamiento de diferentes cepas mexicanas de *Pleurotus ostreatus*, aisladas a partir de diversos sustratos, *Mic. neotrop. aplic.* **1**:21-27.

Soto, V. C. Guzmán D. L. y Rodríguez, O. (1989) Cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* sobre bagazo de maguey tequilero fermentado y mezclado con paja de trigo, *Rev. Mex. Mic.* **5**:97-101.

Sudesh J., Kapoor C. y Singh R. (1992) Biological evaluation of protein quality of maize as affected by insect infestation. *Journal Agricultural Food Chemistry*. **40**: 2439-2444.

Trigos, A. y Martínez, C. D. (1992) Identificación de ergosterol en *Pleurotus ostreatus*, *Micol. neotrop. apl.* **5**:11-15.

Tshirayargu, K. y Hemebert, G. L. (1996) Protein and Chitin Nitrogen Contents and Protein Content in *Pleurotus ostreatus* var. *Columbinus*. Food Chemistry. **57**(2): 223-227.

Valencia del Toro, G. Garín A. M. E. y Rodríguez P. E. G. (1997) Análisis Químico Proximal del Hongo Comestible *Pleurotus ostreatus* Cultivado en pasto, Memorias del IV Congreso Nacional de Micología/IX Jornadas Científicas. Tapachula, Chiapas. México. 17-27 p.

Vázquez, S.L. (1995) Cultivo de tres cepas comerciales del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) Kummer Sobre los subproductos del beneficiado del café (pulpa, capulín y pergamino). Tesis. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. 73 pp.

Velázquez, M. R. (1997) Obtención de Lignasas Producidas por *Pleurotus ostreatus* Cultivado en Rastrojo de Maíz. Tesis. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México. 71 pp.

Vetter, J. y Rimoczi, Y. (1993) Crude, Digestible and Non-Digestible Protein in Fruit Bodies of *Pleurotus ostreatus* (oyster mushrooms). Zeitschrift Für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung. **197**(5): 427-428.

Villaseñor, I. L. Soto, V. C. y Rodríguez, R. (1994) Aprovechamiento de hojarasca de parques y jardines públicos, para cultivar *Pleurotus sp.*, V congreso nacional de micología, Guanajuato, 107p.

Walter, M. and G. Catignani (1981) Biological Quality and Composition of Sweet Potato Protein Fractions. J. Agric. Food Chem. **29**: 797-799.

Yildiz, A. Karakaplan, M. y Aydin, F. (1998) Studies on *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) Kum. var. *salignus* (Pers. ex Fr.) Konr. et Mauble: Cultivation, Proximate Composition, Organic and Mineral Composition of Carpophores. Food Chemistry. **61**(1/2):127-130.

Zadrazil F. (1974) The ecology and industrial production of *Pleurotus ostreatus*, *Pleurotus florida*, *Pleurotus cornucopiae* and *Pleurotus erygii*. In Mushroom Science. **IX**. Tokyo.

Zakia, B. Bnagyas, S. y Srinivasa (1981) Essential Aminoacid Composition and Proximate Analysis of the Mushroom. Newslett, Tropics. **1**(3):6-10.

ANEXO 1

Ubicación taxonómica del género *Pleurotus*.

Reino: Fungi

División: Basidiomycota

Clase: Basidiomycetes

Orden: Agaricales

Familia: Tricholomataceae

Género: *Pleurotus*

Fuente: Moore-Landecker, 1996.

El *Pleurotus* comúnmente como seta es un hongo comestible muy variable en su morfología, posee un píleo (sombrero) liso, a veces algo escamoso hacia el centro, mide de 5-10 cm (hasta 15 cm) de ancho, posee un color grisáceo o café grisáceo. Sus láminas son blancas o rosa amarillento, poco o nada unidas entre si en la base. No tiene estípite (pie) o este es muy corto y mal definido. Su carne es blanca y correosa con olor y sabor agradables. Sus esporas son de color blanco. Crece en grandes conjuntos sobre troncos tirados o árboles en zonas tropicales, subtropicales o bosques de pino y encino y aún en zonas donde la temperatura es inferior a los 15°C (Zadrazil, 1974). Es una especie que generalmente se encuentra en los bosques de pino encino al llegar la temporada de lluvias, aunque en sitios húmedos puede encontrarse durante todo el año. Es uno de los hongos que mejor crecen en los residuos agroindustriales de México, se desarrolla abundantemente sobre la pulpa de café, bagazo de caña de azúcar, paja, rastrojo, etc. (Guzmán, 1993).

Es un hongo capaz de degradar tanto la lignina como la celulosa y hemicelulosa y en general todos los materiales que contengan estos complejos. Se caracteriza por tener la habilidad de degradar mediante enzimas hidrolíticas y oxidantes los materiales lignocelulósicos de la naturaleza. Durante este proceso de degradación el hongo produce cuerpos fructíferos de alto contenido proteico y cantidades considerables de vitaminas y minerales que son empleados para el consumo humano (Martínez-Carrera et al., 1993).