



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

División Académica de Ciencias Biológicas

“Dieta alternativa a base de harina del hongo *Pleurotus djamor* para el crecimiento y supervivencia de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*)”

TESIS

Que para obtener el título de
MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta:

Biol. Mario Eduardo Sosa

Asesores:

Dr. Carlos Alfonso Álvarez González

Dra. Silvia Cappello García



Villahermosa, Tabasco

Junio de 2015



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN



JUNIO 11 DE 2015

C. MARIO EDUARDO SOSA
PAS. DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
P R E S E N T E

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales titulado: "**DIETA ALTERNATIVA A BASE DE HARINA DEL HONGO *Pleurotus djamor* PARA EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE LA TILAPIA DEL NILO (*Oreochromis niloticus*)**", asesorado por Dr. Carlos Alfonso Álvarez González y Dra. Silvia Cappello García, sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por el Dr. Rafael Martínez García, Dr. José Edmundo Rosique Gil, Dr. Carlos Alfonso Álvarez González, M. en C. Alejandra Cid Martínez y M. en C. Rocío Guerrero Zárate.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA

C.c.p.- Expediente del Alumno.
C.c.p.- Archivo

CARTA AUTORIZACIÓN

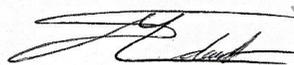
El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“DIETA ALTERNATIVA A BASE DE HARINA DEL HONGO *Pleurotus djamor* PARA EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE LA TILAPIA DEL NILO (*Oreochromis niloticus*)”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 11 de Junio de 2015.

AUTORIZO



MARIO EDUARDO SOSA

Esta tesis fue realizada gracias al financiamiento de los proyectos:

- **PFICA “Evaluación de la producción de hongos comestibles (*Pleurotus djamor* y *Schizophyllum commune*) a nivel planta piloto”, POA 20130961, FONDO 1227.**
- **“Fortalecimiento de la Maestría en Ciencias Ambientales para su permanencia en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT” Clave: TAB-2014-C01-245836.**

Desarrollados dentro de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con todo mi amor...

A mi familia:

A quien me dio la dicha de la vida y que siempre estará en mi alma y mis recuerdos, mi madre:

María Mercedes Sosa y Moo,

Mi tía y segunda madre por todo su gran apoyo incondicional que he recibido de ella:

Flor de María Sosa y Moo,

A mis hermanos de alma y sangre:

Brian Axel Villegas Sosa y Selene Astrid Villegas Sosa

Y todas aquellas personas que han dejado alguna huella en mi vida y sobre todo que me han enseñado de muchas formas a cómo llevar la vida...

AGRADECIMIENTO

A la máxima casa de estudio, la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, particularmente a la División Académica de Ciencias Biológicas por todos los apoyos brindados durante mi carrera.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por todo el financiamiento que me otorgó para la realización de esta tesis de maestría.

Al Dr. Carlos Alfonso Álvarez González por ser más que un asesor, un amigo que nunca me negó su conocimiento y apoyo, y con el que se puede contar incondicionalmente. Con toda mi admiración y respeto para él.

A la Dra. Silvia Cappello García, una mujer tenaz que siempre busca la manera de apoyarte, y que te brinda toda la confianza como asesora y amiga. Con mucho cariño y respeto para ella también.

Al Dr. Rigoberto Gaitán Hernández, por abrirme las puertas en el Instituto de Ecología A. C. y poder realizar la estancia académica, considerándolo fundamental durante el proceso y realización del artículo científico y tesis. Con gran respeto y afecto para él.

Al comité revisor: Dr. Rafael Martínez García, Dr. José Edmundo Rosique Gil, Mtra. Rocio Guerrero Zarate y Mtra. Marcela Alejandra Cid Martínez. Por el tiempo ofrecido para fungir como revisores, y por su amistad brindada.

Dra. Luisa Del Carmen Cámara Cabrales por su amistad, y buenos consejos durante el transcurso de mi posgrado.

Sin lugar a duda a mi familia que aunque nos marquen las distancias y los deberes siempre el amor nos tendrá unidos. Los amo tía Flor, Sele y Brian!

A mis dos grandes amigos y hermanos Ernesto Olán García y Santa Dolores Carreño Ruíz, que siempre han estado en todo momento crucial de mi vida.

Y no puede faltar toda mi familia postiza “mis amigos” que más que su amistad honesta e incondicional hemos compartido excelentes momentos en este cruce de la vida: Joel, Luis Miguel, Roger, Pedro, Manases, Víctor, Canek, Héctor, Geovani, Luis Morán, Sheila, Cindel, Saira, Bellita, Ana Laura, Clarita, Jessy, Sarai, Verónica, Ángeles Chávez, Oly, Sra. Flor, Erandi, Carlitos, Marce, Lara, Edani, Leidi, Alina, Abi, Karen, América, Luisito, Santiago, Victorio, Gabo, y a mis compañeros de maestría.

RESUMEN

La acuicultura en las últimas décadas ha reflejado un crecimiento considerable debido a la demanda por el consumo de pescado a nivel mundial. Este incremento se ha debido a una combinación de crecimiento demográfico, aumento de los ingresos, urbanización, entre otros, lo que ha originado una fuerte expansión de la producción pesquera. Sin embargo, a pesar de esta relevancia también enfrenta problemáticas, como el caso particular en el costo del alimento balanceado comercial (harina de pescado y soya) que para este sector demanda más del 50% del gasto de producción. Bajo estas situaciones, una de las prioridades de este sector es buscar fuentes proteínicas alternas sostenibles para la sustitución de harinas comercial en dietas para engorda. Hasta la fecha diversas investigaciones se han realizado sobre muchas fuentes vegetales en tilapia, pero aún no se han utilizado directamente hongos comestibles macroscópicos a pesar de ser valiosas fuentes de proteína. Por tal motivo, en este estudio se evaluó la sustitución de la pasta de soya por la harina del hongo macroscópico *Pleurotus djamor* en el cultivo de la mojarra del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Los resultados demostraron que la harina a base del hongo (*Pleurotus djamor*) con alto contenido de proteína y fibra cruda puede sustituir hasta un 25% la proteína de la soya, sin afectar significativamente el crecimiento, supervivencia y el factor de conversión alimenticia en alevines de tilapia del Nilo.

CONTENIDO

	Pág.
CAPITULO I. PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.1 Panorama actual de la acuicultura y requerimientos de dietas alternativas.....	1
1.1.2 Los hongos comestibles como alimento alternativo en la acuicultura...	2
1.2 ANTECEDENTES.....	4
1.2.1 Fuentes alimenticias de origen vegetal en la acuicultura.....	4
1.2.2 Relevancia en el uso nutricional de <i>Pleurotus</i> spp.....	10
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	12
1.4 OBJETIVO GENERAL.....	13
1.4.1 Objetivos específicos.....	13
1.5 LITERATURA CITADA.....	14
CAPITULO II. ARTÍCULO CIENTÍFICO	23
2.1 Artículo científico enviado a la Revista Mexicana de Ciencia Agrícola..	23
2.2 Normas editoriales de la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas	45
CAPITULO III. ARTÍCULO CIENTÍFICO	51
3.1 Artículo científico enviado a la Revista Acta Agrícola y Pecuaria.....	51
3.2 Normas editoriales de la Revista Acta Agrícola y Pecuaria.....	88

CAPITULO I. PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

1.1.1. Panorama actual de la acuicultura y requerimientos de dietas alternativas

La acuicultura consiste en la manipulación de biotopos acuáticos naturales o artificiales para la producción de especies útiles al hombre y por lo tanto, incluye todas las actividades de crianza o cultivo de organismos que viven en dichos biotopos (Bernabé, 1991).

El comercio de la acuicultura moderna comenzó en varios países teniendo relevancia en las últimas décadas del siglo 20 (Galicia-González *et. al.*, 2010). El consumo aparente mundial de pescado *per capita* aumentó de un promedio de 9,9 kg en el decenio de 1960 a 19,2 kg en 2012. Este incremento en la acuicultura se ha debido a una combinación de crecimiento demográfico, aumento de los ingresos y urbanización, y se ha visto propiciado por la fuerte expansión de la producción pesquera y la mayor eficacia de los canales de distribución (FAO, 2014).

Sin embargo, a pesar de que las actividades de la acuicultura han cobrado gran relevancia también enfrenta problemáticas, como es el caso particular en el costo del alimento balanceado comercial que para este sector demanda más del 50% del gasto de producción (Molina y Piña, 1999; El-Sayed, 2006). Dichos alimentos comerciales con valores proteínicos entre 30 y 50% y al ser productos regularmente de origen marino (pescado, camarón, calamar, entre otros) los convierte en productos de disponibilidad variable, creando casos de incertidumbre en el plazo de la producción, por ejemplo, para la producción de camarón, el

alimento comercial representa más del 60% del costo (Galicia-González *et al.*, 2010).

Otro aspecto importante que no escapa a la vista, es la competencia por la materia prima para producir los alimentos, que también son utilizados para la alimentación humana y animal, debido a que los organismos de interés en la acuicultura por tradición han sido alimentados principalmente por harina de pescado y en segundo término por harina de soya (Martínez-Palacios *et al.*, 1999).

Bajo estas situaciones antes descritas, es prioritaria la búsqueda de alimentos alternativos de proteínas convencionales y no convencionales que permitan disminuir los costos de operación con la ayuda de fórmulas dietéticas específicas, que satisfagan los requerimientos nutricionales en las diferentes etapas del ciclo de vida de las especies, con la finalidad de producir volúmenes altos con un mínimo costo y en plazos de tiempo más cortos.

Tacón (1992), Mendoza *et al.* (1997) y Jory (2001), sugieren que los principales retos que debe enfrentar la formulación de dietas en la producción acuícola son: 1) Lograr la mayor eficiencia en la utilización de insumos finitos: harinas, aceites y otros compuestos de origen marino; 2) Sustituir al menos parcialmente los nutrientes provenientes de estos insumos; 3) Acercarse a alimentos de bajo impacto en el ambiente; 4) Proporcionar alimentos que permitan cultivos sostenibles en condiciones de intensificación y en bajos o nulos recambios y 5) Convertir los desechos de los alimentos en elementos nutritivos y útiles a la producción animal (Manríquez-Santos, 2007).

1.1.2. Los hongos comestibles como alimento alternativo en la acuicultura

Los alimentos alternativos como fuentes de proteína (convencionales y no convencionales) derivados de productos vegetales, subproductos de la agricultura, ganadería y de la industria, que tiendan a ser amigables con el medio ambiente,

pretenden que la acuicultura siga siendo una actividad sostenible y rentable (Martínez-Palacios *et al.*, 1999).

Los avances biotecnológicos alrededor del mundo en las últimas dos décadas aplicados al consumo de hongos comestibles han ido en incremento (Gaitán-Hernández *et al.*, 2006). Una de las razones principales por la cual se les estudia, es el alto nivel proteínico en peso seco que presentan, que puede abarcar de 15 a 35% dependiendo de la especie, variedad y estado de desarrollo de los cuerpos fructíferos (Morales *et al.*, 2002; Velasco y Vargas, 2004; Cheung, 2010). Otras características nutrimentales es que presentan gran variedad de minerales y elementos traza como el potasio y el cobre, al igual que algunas vitaminas como riboflavina, niacina y folatos (Cheung, 2010), también son bajos en calorías, carbohidratos y grasas (Morales *et al.*, 2002).

La producción de hongos comestibles conlleva múltiples ventajas entre las que se encuentran: el servicio ambiental con la desintegración de diversos sustratos lignocelulósicos originados por ejemplo de subproductos agroindustriales (Custodio, 2005; Gaitán-Hernández *et al.*, 2006); altos rendimientos de cuerpos fructíferos con una biomasa significativa que se logran en pequeñas áreas y en cortos periodos de tiempo a un bajo costo (De Lima *et al.*, 2005).

Destacando el alto valor proteínico de los hongos constituye una opción que podría tener un impacto positivo en la acuicultura para la elaboración de dietas de bajo costo, el uso de residuos lignocelulósicos que se generan el Estado, así como el aprovechamiento de algunas de las 54 especies de hongos comestibles que se han registrado como recursos locales (Cappello-García, 2006).

El género *Pleurotus* es el segundo hongo comestible más cultivado en Iberoamérica y su interés por cultivarlo se incrementa no solo en este país, sino en la mayoría de los países latinoamericanos, como estrategia hacia el desarrollo

económico, la producción de alimento, y la utilización de subproductos agrícolas (Sánchez-Vázquez *et al.*, 2007).

Particularmente, *Pleurotus djamor* (Fr.) Boedijn es un hongo comestible y abundante en Tabasco por ser una especie nativa adaptada a condiciones de zonas tropicales, tal situación podría abrir la posibilidad encontrar un alimento alternativo en la acuicultura para apoyar y amortiguar parte de la creciente demanda del sector acuícola del Estado.

La presente investigación tiene como propósito evaluar el valor nutricional del hongo (*Pleurotus djamor*) para su posterior obtención de materia seca en una producción significativa, que pueda servir de manera alternativa como sustituto alimenticio proteínico experimental para tilapicultura local.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. Fuentes alimenticias de origen vegetal en la acuicultura

La harina de pescado es una fuente de proteína convencional empleada como el principal ingrediente en alimentos balanceados para la acuicultura. Sin embargo, una crítica importante a nivel internacional sobre esta práctica es la sobreexplotación de poblaciones silvestres de peces para obtener dicho recurso (Salvatteci *et al.*, 2005).

Aunado a lo anterior, otra gran desventaja sobre dicha práctica se debe a que la creciente demanda de harina de pescado en el mercado internacional mantiene un alto costo. Por ello la acuicultura demanda como prioridad la búsqueda de dietas capaces de satisfacer los requerimientos de una determinada especie acuícola, para poder reducir el costo de este rubro durante el cultivo, y aumentar la

productividad de especies de valor económico (Tomás *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2007).

Aproximadamente cuatro décadas atrás se comenzó con la búsqueda de dietas alternas de origen vegetal. Se reporta la utilización de leguminosas como la soya entera (*Glycine max* L.) aplicada en la trucha (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) por Reinitz *et al.* (1978); Fowler (1980). Así como la harina de soya sobre la misma especie (Tacon *et al.*, 1983) y en algunas variedades de bagres (*Ictalurus furcatus* Valenciennes, 1840 y *I. punctatus* Rafinesque, 1818) por Webster *et al.* (1992a y 1992b).

Harinas de algodón (*Gossypium* spp.) han sido probadas en variedades de tilapias (*Oreochromis mossambicus* Peters, 1852) por Jackson *et al.*, 1982; en la especie *O. aureus* (Steindachner, 1864) por Robinson *et al.*, 1984; y en *O. niloticus* (Linnaeus, 1758) por El-sayed *et al.* (1990).

También la harina de girasol (*Helianthus annuus* L., 1753) ha sido empleada en la trucha (*Salmo gairdneri* Richardson, 1836) por Martínez-Palacios (1986) y se han evaluado subproductos vegetales como la pulpa de café para aprovechamiento en *Oreochromis* spp. (Baynee *et al.*, 1976) y la pulpa de cacao para la *Tilapia guineensis* (Günther, 1862) (Fagbenro, 1988).

Adicionalmente, se tiene referencia de diversas investigaciones que han incorporado una revisión de fuentes alternativas de proteínas a base de dietas combinadas.

Martínez-Palacios *et al.* (1999) realizó una revisión de fuentes alternativas de proteínas (no cárnicas) como substitutos de la harina de pescado (HP), tales como oleaginosas, leguminosas, plantas acuáticas, otras plantas superiores, algas y proteínas de origen microbiano como hongos, bacterias y levaduras. Dentro de los

hallazgos más relevantes se identificó que: la pasta de soya (oleaginosa) es la más utilizada en la acuicultura, hasta en un 100% en algunas especies en la acuicultura a pesar de su desbalance de aminoácidos y contenido de antinutrientes, y pese a que compite con el consumo humano, elevando sus costos y haciéndola inaccesible para algunos países al igual que la HP; algodón, colza y girasol se han reportado en sustituciones de hasta un 25%, pero también poseen antinutrientes; las levaduras se emplearon como complemento alimenticio ya que afectaron el crecimiento en altos niveles; proteínas bacterianas han llegado a sustituir experimentalmente hasta el 60% por su alto potencial proteínico pero su uso comercial dependerá de los costos de producción; subproductos agrícolas como el café, cacao, germen de trigo, solubles de maíz y granos secos de cervecería, son buenos sustitutos parciales en diversas proporciones, y es solo viable en regiones en las que se encuentran disponibles; la papa es alimento proteínico que no pueden ser utilizados por sus niveles de toxicidad de antinutrientes al contener solanina.

En la última década a nivel internacional Sallum *et al.* (2002), realizaron estudios en Brasil sobre la digestibilidad en matrinchã (*Brycon cephalus* Günther, 1869) con maíz, salvado de trigo, harina de semilla de algodón, harina de soya y HP como control. Los resultados mostraron una mayor digestibilidad aparente de los ingredientes secos para el maíz (52,3%), salvado de trigo (54,0%) y HP (54,5%), donde se observó que el ingrediente de HP fue el más digerible, seguido del salvado de trigo.

En España, Tomas *et al.* (2002) realizaron un trabajo en tilapias (*O. niloticus*) con la harina de soya como sustituto, los resultados mostraron que los compuestos por harina y aceite de pescado, presentaban una digestibilidad mayor en materia seca y proteína (67.8 y 89.4%, respectivamente) en comparación con los compuestos por harina y aceite de soya que fueron más bajos (44.81 y 82.74%), con una

diferencia en digestibilidad proteínica mayor de un 35% por la HP, aunque no se encontraron diferencias significativas en la digestibilidad lipídica.

El maíz amarillo duro es otra fuente que se empleó en el Perú (Gutiérrez *et al.*, 2009) aplicado sobre juveniles de *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816), se concluyó que los datos de digestibilidad generados por la harina de pescado peruana ($88,06 \pm 0,83$) y el maíz amarillo duro ($82,38 \pm 1,02$) en esta especie fueron similares a los generados por otras especies omnívoras de ambientes tropicales.

Otro estudio fue realizado en Cuba (González-Salas, 2010) con la planta *Lemna perpusilla* Torr. en alevines y juveniles de tilapia roja (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) donde la inclusión de harina con *L. perpusilla* no modificó la digestibilidad en los alevines y tampoco alteró la conversión alimenticia, ni la eficiencia alimenticia en los juveniles, los indicadores de salud se mantuvieron dentro de los límites para la especie, y donde también dicha harina demostró ser económicamente viable con un resultado de hasta de un 18%.

En un estudio particular realizado en Colombia, se evaluaron tanto dietas de origen animal como vegetal en tilapia roja híbrida (*Oreochromis* sp.), los resultados incluyeron la digestibilidad aparente de ingredientes de uso común en la fabricación de dietas balanceadas de origen animal como: harinas de pescado (HP), sangre (HS), carne y huesos (HCH); y de origen vegetal como: gluten de maíz (GluM), soya integral (SI), tortas de soya (TS), girasol (TG) y palmiste (TP), mezcla forrajera de maíz (MFM), trigo de tercera (HTT), trigo duro (HTD), arroz (HA), maíz amarillo (HMA), germen de maíz (GerM) y harina de yuca integral (HYI). En este trabajo se reveló que la digestibilidad de la proteína fue alta para la mayor parte de los ingredientes investigados (superiores a 80%) con excepción de la HS (74.6%), el GerM (77.6%) y la HA (79.3%), y por parte de la digestibilidad de la energía fue alta en los ingredientes de origen animal y menor de 80% en la

mayoría de las de origen vegetal, con excepción del GluM (80.4%), la SI (82.1%) y la HYI (82.3%) (Vásquez-Torres *et al.*, 2010).

A pesar de que los investigadores buscan fuentes proteínicas de origen vegetal, por su menor costo en el mercado y por su abundancia, esto también representa limitaciones, una es su calidad proteínica en determinadas especies de peces, y la otra siguen siendo los factores antinutrientes que se encuentran en los alimentos de origen vegetal que pueden reducir el rendimiento de los animales, como el reflejado por Do Nascimento-Fernandes (2010) en Brasil, sus resultados mostraron que el salvado de jatrofa (*Jatropha curcas* L.) es una planta que contiene sustancias antinutricionales que perjudican el desarrollo del intestino delgado de la tilapia (*O. niloticus*), así como la degeneración del páncreas. La energía de la dieta se almacena en el hígado provocando anomalías tales como esteatosis hepática (hígado graso).

En México, Olvera-Novoa *et al.* (2000), investigaron sobre la potencialidad del uso de las leguminosas como fuente proteínica que son consideradas como la principal proteína vegetal por su elevado contenido de proteína de buena calidad, vitaminas y minerales, particularmente hierro y fósforo, sin embargo su calidad nutricional es afectada por la presencia de factores antinutrientes entre los que destacan los inhibidores de proteasas. Los efectos adversos asociados al uso de leguminosas se refieren a reducción en el crecimiento, baja digestibilidad y deficiencia de fósforo y de energía, atribuidos a la presencia de inhibidores de tripsina, fitatos y oligosacáridos indigeribles, además de aminoácidos libres. La mayor parte de las investigaciones con soya y lupino se han hecho con salmónidos y bagre, mientras que las leguminosas no convencionales se han estudiado principalmente como alimento para tilapia y su aparente ventaja es que las especies de leguminosas tropicales no son utilizadas en la dieta humana teniendo gran potencial como alimento para peces.

Otra fuente alterna de proteína estudiada por Galicia-González (2010) es el cártamo (*Carthamus tinctorius L.*) esta oleaginosa fue empleada en juveniles del camarón (*Litopenaeus vannamei* Boone, 1931), mostrando que el uso de esta especie a un nivel de inclusión de 30% en los alimentos para juveniles de camarón blanco, disminuye la atractabilidad y el consumo del alimento en comparación con el alimento control, por lo que sería necesario incluir atractantes y fagoestimulantes en este tipo de alimentos. No obstante, se concluyó que las pastas de cártamo evaluadas pueden ser utilizadas como ingredientes en la formulación de alimentos para juveniles del camarón, especialmente la pasta alta en proteína, debido a que es una fuente digestible, que contiene bajos o nulos factores antinutricionales ya determinados, y puede sustituir totalmente a la pasta de soya o parcialmente a la harina de pescado, sin afectar la eficiencia y el crecimiento de las especies acuícolas.

Delgado-Vidal *et al.* (2009) hicieron un estudio muy peculiar con harina de plátano roatán como alimento compensatorio en tilapia (*O. niloticus*) donde la utilización de harina de plátano roatán como única fuente de alimento, afecta el crecimiento de la tilapia, sin embargo la tilapia exhibió el fenómeno de crecimiento compensatorio durante la etapa de realimentación y su magnitud dependió del periodo de alimentación con harina de plátano roatán.

En el sureste, particularmente en Tabasco las investigaciones realizadas para sustituir la harina de pescado por fuentes vegetales como es el caso del gluten de trigo aplicado sobre larvas y juveniles de mojarra tenguyaca (*Petenia splendida* Günther, 1862), realizado por Almeida-Madriral (2008) quien reportó que la sustitución más adecuada para un mayor crecimiento y supervivencia se encontró al 25%, índice que también mejora la calidad del alimento, y que puede conllevar a un ahorro económico significativo.

Otro estudio realizado por López-González (2009) evaluó la sustitución alimenticia a base del cártamo *Carthamus tinctorius* como componente proteínico para juveniles de tilapia (*O. niloticus*), donde la digestibilidad de nutrientes de los ingredientes mostró altos valores, inclusive por arriba del 100% para la mayoría de los ingredientes, aunque no se detectaron diferencias significativas entre éstos. Concluyendo que el cártamo puede ser un ingrediente alternativo altamente aprovechado por la tilapia.

Un estudio reciente, también probado en tilapia es el realizado por García-Hernández *et al.* (2014) quien sustituye pasta de soya por pasta de coco, mostrando que es posible realizar la sustitución de hasta el 100% por pasta de coco, sin afectar el crecimiento, supervivencia, digestibilidad aparente y composición química de los peces.

1.2.2. Relevancia en el uso nutricional de *Pleurotus* spp.

En México se consumen aproximadamente 300 especies de hongos comestibles como lo refieren Estrada-Martínez *et al.* (2009) y Burrola-Aguilar *et al.* (2012) ya que en su mayoría estas especies han formado parte de la cultura gastronómica desde tiempos prehispánicos (Guzmán, 2003), toda esta cultura ha estado basada en múltiples usos que han resultado de la disponibilidad que tienen las poblaciones a este tipo de recursos naturales (Márquez-Mota *et al.*, 2012).

Específicamente Sánchez-Vázquez *et al.* (2007) nos mencionan que los hongos del género *Pleurotus* son fundamentales para el desarrollo económico, la producción de alimento y la utilización de subproductos agrícolas, siendo actualmente México el principal productor de *Pleurotus* en toda América, incluidos Canadá y Estados Unidos.

Además el potencial nutrimental de diversas especies de *Pleurotus* se han reportado con altos contenidos de proteína. Crisan y Sands (1978) reportaron valores de proteínas con las especies de *Pleurotus ostreatus* de 20.5%, *P. eous* de 25.0%, *P. florida* de 27.0% y *P. sajor-caju* de 26.6%, considerándolas buenas fuentes proteicas. Otros autores como Cetz *et al.* (2000) obtuvieron con una especie nativa de *Pleurotus djamor* un valor de 29.6% (en peso seco) sobre rastrojo de calabaza. Ancona *et al.* (2005) con *P. ostreatus* UADY-13 reporta valores entre 25.8 - 30.6% en rastrojo de maíz y calabaza respectivamente. Si se comparan estos valores proteínicos con los de hortalizas y frutas sus rangos son menores: 0.44 - 14.8 y 0.4 - 21.2% respectivamente, y compiten con algunos derivados de origen animal como son la leche, el huevo y la carne (1.1 - 39.2, 12.7 - 12.2, y 15.7 - 57.1% respectivamente (Bourges *et al.*, 1996).

También Pérez-Armendáriz *et al.* (2010) comentan que la composición de aminoácidos de los hongos los hacen un alimento recomendable, ya que en un estudio realizado al respecto, se encontró que las especies comestibles cubren desde el 96% hasta el 110% de los requerimientos que la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), que considera como indispensables.

Actualmente el cultivo de hongos comestibles está constituido como un sistema entre producción y consumo, que han adquirido gran importancia debido a que los procesos biotecnológicos pueden ser aplicados y desarrollados, a pequeña y gran escala para producir alimento humano de buena calidad nutritiva y con propiedades medicinales, suplementos dietéticos, enzimas y productos metabólicos con amplio potencial de utilización en la industria (Royse *et al.*, 2005; Mora y Martínez-Carrera, 2007), y el reciclado de residuos lignocelulósicos para su cultivo (Levanon y Danai, 2001; Motato *et al.*, 2006).

La mayor parte de la producción de hongos comestibles está dirigida al comercio, el autoconsumo y la elaboración de productos funcionales, sin embargo hasta la

fecha el uso específico de hongos comestibles para la elaboración de dietas alternativas aplicables al sector acuícola aún no se han evaluado, a excepción de la levadura que es considerada un hongo microscópico unicelular.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En la acuicultura existen alimentos comerciales como la harina de pescado y la harina de soya que son usados como el principal recurso alimenticio; sin embargo, su alto costo, su disponibilidad y el incremento de su demanda de este sector, han hecho que se dediquen esfuerzos para la búsqueda de otras fuentes alternativas de proteínas convencionales y no convencionales (Martínez-Palacios *et al.*, 1999).

Pese a que se han evaluado diversas fuentes vegetales, sigue existiendo la necesidad de crear dietas alternativas con características no sólo hacia la disminución de los costos de insumo alimenticio, sino que sean de bajo impacto ambiental, con sostenibilidad y rentabilidad de producción en la actividad acuícola.

Tabasco posee gran diversidad fúngica con valor comestible que pudieran ser aprovechada como recurso local (Carreño-Ruiz *et al.*, 2014). Particularmente los hongos comestibles del género *Pleurotus* son bastante prometedores en diversas aplicaciones biotecnológicas debido a la existencia de un gran número de especies potencialmente cultivables, las tecnologías de producción son relativamente sencillas y de baja inversión, se han desarrollado cepas comerciales con amplio rango de temperaturas de fructificación y sustratos de cultivo, entre otras (Mora y Martínez-Carrera, 2007).

El aprovechamiento del cultivo de hongos comestibles *Pleurotus* como recursos nativos del Estado, y con el apoyo del reciclado de residuos lignocelulósicos generados por las principales actividades agrícolas de la región para su cultivo. Aunando a ello, la demanda acuícola por alimento comercial que se forma por el

creciente aumento de dicho sector. Da incentivo a la utilización de biotecnologías viables para ser empleadas en la búsqueda e investigación de nuevas áreas aplicables en Tabasco.

Por tales motivos, surge la necesidad de desarrollar una dieta alternativa a base de harina del hongo *Pleurotus* spp. para el sector acuícola local, lo que podría favorecer su mercado garantizando el abastecimiento de alimento de calidad viable y de menor costo, que a su vez se pueda ver reflejado en la disminución de los insumos de producción en la tilapicultura del Estado.

1.4. OBJETIVO GENERAL

Evaluar dietas con sustitución de pasta de soya por harina del hongo (*Pleurotus djamor*) sobre el crecimiento y supervivencia de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*).

1.4.1. Objetivos específicos

- ✓ Evaluar a nivel *in vitro* el crecimiento micelial de cepas del género *Pleurotus* spp. obtenidas en sustratos lignocelulósicos existentes en Tabasco.
- ✓ Producir cuerpos fructíferos de *Pleurotus djamor* para elaboración de harina y determinar sus propiedades nutrimentales para elaboración de dieta.
- ✓ Evaluar la eficiencia de diferentes porcentajes de sustitución de harina de hongo (*Pleurotus djamor*) por harina de soya en la alimentación de Tilapia (*O. niloticus*) bajo condiciones experimentales permitiendo determinar crecimiento, supervivencia y actividad enzimática de los ejemplares.

1.5. LITERATURA CITADA

Ancona, L.; Sandoval, C.; Belmar, R. y C. Capetillo. 2005. Effect of substrate and harvest on the amino acid profile of Ester mushroom (*Pleurotus ostreatus*). Journal Food Composition and Analysis 18: 447-450.

Almeida-Madriral, J. A. 2008. Evaluación de gluten de trigo como sustituyente de harina de pescado en dietas prácticas para la alimentación de larvas y juveniles de la mojarra tenguayaca *Petenia splendida* en condiciones de laboratorio. Tesis de grado en licenciatura en Biología. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México.

Bayne, D. R.; Dunseth, D. y C. G. Ramirios. 1976. Supplemental feeds containing coffee pulp for rearing tilapia in Central America. Aquaculture 7: 133-146.

Bernabé, G. 1991. Acuicultura. Vol. 1, Editorial Omega, Barcelona, 478 pp.

Bourges, H.; Morales J.; Camacho M. y G. Escobedo. 1996. Tablas de composición de alimentos. Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zubirán. México, D.F. 248 p.

Burrola-Aguilar, C.; Garibay-Orijel, R. y M. Hernández-Téllez. 2012. Los hongos comestibles silvestres del Estado de México: propuesta para su aprovechamiento. En Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: Investigación y desarrollo en el entorno multicultural. J. E. Sánchez y G. Mata (eds) ECOSUR, México, D.F. ISBN 978-607-7637-73-8. 39 p

Cappello-García, S. 2006. Hongos del Yumká (Guía Ilustrada). Colección José N. Rovirosa. México.

Carreño-Ruiz, S. D.; Cappello-García, S.; Gaitán-Hernández, G.; Cifuentes-Blanco J. y E. Rosique-Gil. 2014. Crecimiento de tres hongos comestibles tropicales, en medios de cultivo y residuos agrícolas. *Revista Mexicana en Ciencias Agrícolas*. 5 (8): 1447-1458.

Cetz, G.; Ancona, L. y R. Belmar. 2000. Cultivo de *Pleurotus djamor* en rastrojo de calabaza. *Revista Mexicana de Micología*. 16: 41-43.

Cheung, P. C. K. 2010. The nutritional and health benefits of mushrooms. *Nutrition Bulletin*, 35: 292–299.

Crisan, E. V. y Sands, A. 1978. Nutritional Value. In: Chang S. T., Hayes W. A. (Eds.) *The Biology and cultivation of edible mushrooms*. London, Academic Press. 137-168.

Custodio, J. C. D. 2005. Aserrín de madera de cocotero. En *Manual del cultivador de hongos*. Cultivo de hongos Ostra. Bataan State Collage, Filipinas. 1.2(5): 99-103.

Delgado-Vidal, F. K.; Gallardo-Collí; A.; Cúevas-Pérez, L. y M. García-Ulloa. 2009. Crecimiento compensatorio en tilapia *Oreochromis niloticus* posterior a su alimentación con harina de plátano. *Avances en investigación agropecuaria*. 13(2): 55-70.

De Lima, P. R. M.; Marín, C. M. A. y D. Sihuancam. 2005. Entrecruzamiento de dos variedades silvestres de *Pleurotus djamor* (fr.) *boedijn* (vars. *roseus* y *djamor*). [En línea] Disponible en: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Resumen/CB/RC/CBC-24.pdf

Do Nascimento-Fernandes, R. 2010. Valor nutrimento do farelo pinhão manso (*Jatropha curcas*) para alevinos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Tesis para grado de Maestría en acuicultura. Universidade Estadual Paulista Centro De Aquicultura Da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, Brasil.

El-Sayed, A. F. M. 1990. Long-term evaluation of cotton seed meal as a protein source for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linn.). *Aquaculture* 84: 315-320.

El-Sayed, A. F. M. 2006. *Tilapia culture*. CABI. USA, 275 p.

Estrada-Martínez, E., G. Guzmán, D. Cibrián, y R. Ortega. 2009. Contribución al conocimiento etnomicológico de los hongos comestibles silvestres de mercados regionales y comunidades de la Sierra Nevada (México). *Interciencia* 34(1): 25-33.

Fagbenro, O. A. 1988. Evaluation of defatted cocoa cake as a direct feed in the monosex culture of *Tilapia guineensis* (Pisces: Cichlidae). *Aquaculture* 73: 201-206.

FAO. 2014. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. En: el papel de la acuicultura en la mejora de la nutrición; oportunidades y desafíos. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. ISBN 1020-5500.

Fowler, L. G. 1980. Substitution of soybean and cottonseed products for fish meal in diets fed to Chinook and Coho salmon. *The Progressive Fish-Culturist* 42(2): 87-91.

Gaitán-Hernández, R.; Salmenes, D.; Pérez-Merlo, R. y G. Mata. 2006. Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. 1era. ed., 1a. reimp. México: Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Ver., 25, 56 pp.

García-Hernández, B.; Hernández-Urquín, Y.; Álvarez-González, C. A.; Martínez-García, R.; Contreras-Sánchez, W. M.; Civera-Cerecedo, R. y H. Nolasco-Soria. 2014. Pasta de coco en dietas prácticas para juveniles de tilapia del Nilo, *Oreochromis niloticus*. (L.) (*Percoidei: Cichlidae*). Acta agrícola y pecuaria, 1(1): 43-50.

Galicia-González, A.; Nolasco H. y R. Civera-Cerecedo. 2010. Uso del cártamo en alimentos para acuicultura en México. Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo de México, 3: 57 p.

González-Salas, R. 2010. Cultivo de la *Lemna perpusilla* en el Valle del Cauto y su empleo en la alimentación de alevines y juveniles de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*). Tesis de grado Doctor en Ciencias Veterinarias, Universidad de Granma, Cuba.

Gutiérrez, F. W.; Zaldivar, J. y G. Contreras. 2009. Coeficiente de digestibilidad aparente de harina de pescado peruana y maíz amarillo duro para *Colossoma macropomum* (Actinopterygii, Characidae). Rev. Per. Biol. 15(2): 111-115.

Guzmán, G. 2003. Los hongos de El Edén Quintana Roo, Introducción a la micobiota tropical de México.

Jackson, A. J.; Capper, B. S. y A. J. Matty. 1982. Evaluation of some plant proteins in complete diets for the tilapia *S. mossambicus*. Aquaculture 27: 97-109.

Levanon D. y Danai O. 2001. Aspectos ambientales en el cultivo de hongos. En: La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. Sánchez-Vázquez J. E. y Royse, D. J. (eds). Colegio de la Frontera Sur. Editorial Limusa. 261 p.

López-González, B. 2009. Evaluación de la digestibilidad de subproductos de cártamo *Carthamus tinctorius* como componente proteínico para la alimentación de juveniles de tilapia *Oreochromis niloticus*. Tesis de grado de Licenciado en biología. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

Márquez-Mota, C. C.; Leal-Lara, H. y R. Ramírez-Carrillo. 2012. Efecto de la cascarilla de algodón y el aserrín de encino sobre el rendimiento de *Pleurotus eryngii*. En Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: Investigación y desarrollo en el entorno multicultural. J. E. Sánchez y G. Mata (eds) ECOSUR, México, D.F. ISBN 978-607-7637-73-8. 163 p.

Martínez-Palacios, C. A. 1986. Advances in the substitution of fish meal and soybean meal by sunflower meal in diets on rainbowt trout (*Salmo gairdneri*, L.). An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nac. Utón. México 13(2): 345-352.

Martínez-Palacios, C. A.; Chávez-Sánchez, M. C.; Olvera-Novoa, M. A. y M. I. Abdo-De La Parra. 1999. Fuentes alternativas de proteínas vegetales como substitutos de la harina de pescado para la alimentación en acuicultura. En: L. E. Cruz-Suárez, D. Ricque-Marie, y R. Mendoza-Alfaro, R. (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola III*. Memorias del Tercer Simposio Internacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos. 1999. 11-13 Noviembre, 1996. Monterrey, N.L., México. ISBN 968-7808-62-4. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N.L. México. 279-324 p.

Manríquez-Santos, T. De J. 2007. Caracterización de enzimas digestivas y digestibilidad *in vitro* de adultos de la pigua *Macrobrachium carcinus*. Tesis de grado de Licenciado en Biología. Universidad del Mar Campus Puerto Escondido, 2 p.

Molina, C. y Piña, P. 1999. Evaluación económica de los sistemas de alimentación por voleo y comederos usados en el cultivo de *Litopenaeus vannamei*. En Memorias del V Congreso Ecuatoriano de Acuicultura, Guayaquil, Ecuador.

Mora, V. M. y Martínez-Carrera, P. 2007. Investigaciones básicas, aplicadas y socioeconómicas sobre el cultivo de setas (*Pleurotus*) en México. Capítulo 1.1, pp. 7-26. En: El Cultivo de Setas *Pleurotus* spp. en México. J. E. Sánchez, D. Martínez-Carrera, G. Mata y H. Leal (Eds.). ECOSUR, México, D.F. ISBN 978-970-9712-40-7.

Morales, O.; Bran, M.; Cáceres, R. y R. Flores. 2002. Contribución al conocimiento de los hongos comestibles de Guatemala. Proyecto de Hongos Comestibles de Guatemala, Diversidad, Cultivo y Nomenclatura Vernácula. Departamento de Microbiología, Escuela de Química Biológica. Dirección General de Investigación, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Motato, R. K. E.; Mejía, G. A. I. y P. A. León. 2006. Evaluación de los residuos agroindustriales de plátano (*Musa paradisíaca*) y aserrín de abarco (*Cariniana piriformes*) como sustratos para el cultivo del hongo *Pleurotus djamor*. En VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. ISSN 0121-4004, 13(1): 24-29.

Olvera-Novoa, M. A. y Olivera-Castillo, L. 2000. Potencialidad de las leguminosas como fuente proteínica en alimento para peces. In: Civera-Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C. J., Ricque-Marie, D. y Cruz-Suárez, L. E. (Eds.), *Avances en Nutrición Acuícola IV*. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, B.C.S., México. 327-348 p.

Pérez-Armendáriz, B.; Mayett-Moreno, Y. y Martínez-Carrera, D. 2010. Propiedades nutricionales y medicinales de los hongos comestibles. *Saberes Compartidos*, 5: 5-11.

Reinitz, G. L.; Orme, L. E.; Lemm, C. A. y F. N. Hitzel. 1978. Full-fat soybean meal in rainbow trout diets. *Feedstuffs*, 50(3): 23-24.

Robinson, E. H.; Rawles, S. D.; Oldenburg, P. W. y R. R. Stickney. 1984. Effects of feeding glandless or glanded cottonseed products and gossypol to *Tilapia aurea*. *Aquaculture* 38: 145-154.

Royse D.J.; Shen Q. y C. McGarvey. 2005. Consumption and production of recently domesticated edible fungi in the United States with a projection of their potential. En: Tan *et al.* (eds). *Proceed. Fifth Int. Conf. Mush. Biol. Mush. Products. Acta Edulis Fungi* 12: 331-337.

Salvatteci R. y Mendo J. 2005. Estimación de las pérdidas bio-económicas causadas por la captura de juveniles de anchoveta (*Engraulis ringens*, J) en la costa peruana. *Ecología Aplicada* Vol. 4(1,2): 113-120.

Sallum, W. B.; Bertechini, A. G.; Cantelmo, O. Â.; Pezzato, L. E. y P. R. V. Logato. 2002. Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína bruta e extrato etéreo de ingredientes de ração para o matrinhã (*Brycon cephalus*, Günther 1869) (Teleostei, Characidae). *Ciências Agrotecnicas*, 26, 174-181 p. [En línea] Disponible en: http://www.editora.ufla.br/adm/upload/revista/26-1-2002_20.pdf

Sánchez-Vázquez J. E.; Martínez-Carrera D.; Mata G. y H. Leal-Lara. 2007. El cultivo de las setas *Pleurotus* spp. México. Colegio de la Frontera Sur. 1ª ed. Chiapas, México. 5 p.

Silva, J. A. M.; Pereira-Filho, M.; Cavero, B. A. S. y M. I. Oliveira-Pereira. 2007. Digestibilidade dos nutrientes e energia de ração suplementada com enzimas digestivas exógenas para juveniles de tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier,

1818). Acta Amazônica 37: 157-164.

Tacon, A. G. J.; Haaster, J.V.; Featherstone, P.B.; Kerr, K. y A. J. Jackson. 1983. Studies on the utilization of full-fat soybean and solvent extracted soybean meal in a complete diet for rainbow trout. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 49(9): 1437-1443.

Tomás, A.; Martínez LL. S.; López, J.; Moñino, A.V. y M. Jover. 2002. Determinación de la digestibilidad de piensos extrusionados según el nivel y fuente proteínica en la Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Grupo de Investigación en Recursos Acuícolas (G.I.R.A.), Dpto. de Ciencia Animal, Universidad Politécnica de Valencia, España. En: Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura (CIVA), 963-968 pp.

Vásquez-Torres, W.; Yossa-Perdomo, M. I.; Hernández-Arévalo, G. y M. C. Gutiérrez-Espinosa. 2010. Digestibilidad aparente de ingredientes de uso común en la fabricación de raciones balanceadas para tilapia roja híbrida (*Oreochromis sp.*). En Rev. Colomb. Cienc. Pecu. 207-216 p.

Velasco, V. J. y Vargas, D. B. E. 2004. Cultivo del hongo seta (*Pleurotus ostreatus*). Manual Práctico. Bernabé-González, T., Mata, G., Cayetano-Catarina, M. y Gutierrez-Reyes, Gildardo. 2006. Cultivo experimental del hongo shiitake, *Lentinula edodes*, sobre dos subproductos agrícolas en Guerrero, México. En Revista Mexicana de Micología 23:63-68.

Webster, C. D.; Yancey, D. H. y J. H. Tidwell. 1992a. Effect of partially or totally replacing fish meal with soybean meal on growth of blue catfish (*Ictalurus furcatus*). Aquaculture 103: 141-152.

Webster, C. D.; Tidwell, J. H.; Goodgame, L. S.; Yancey, D. H. y L. Mackey. 1992b. Use of soybean meal and distillers grains with solubles as partial or total replacement of fish meal in diets for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. Aquaculture 106: 301-309.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CAPITULO II. ARTÍCULO CIENTÍFICO

2.1. Artículo científico enviado a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

CRECIMIENTO MICELIAL *IN VITRO* Y PRODUCCIÓN DE *PLEUROTUS DJAMOR* EN RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS LOCALES

MYCELIAL GROWTH *IN VITRO* AND PRODUCTION OF *PLEUROTUS DJAMOR* IN LOCAL LIGNOCELLULOSIC WASTE

Mario Eduardo Sosa¹, Santa Dolores Carreño Ruíz¹, Silvia Cappello García¹, Rigoberto Gaitán-Hernández² y Carlos Alfonso Álvarez González¹

¹Herbario UJAT, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km. 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas Entronque a Bosques de Saloya, C.P. 86039. Centro, Tabasco.

Tel. Cel. 9931 79 22 72, maedso@hotmail.com

²Instituto de Ecología, A.C. Carretera antigua a Coatepec # 351, El Haya, Xalapa, Ver. C.P. 91070 (01) (228) 8 42 18 30, rigoberto.gaitan@inecol.mx.

RESUMEN

La demanda en consumo y producción de hongos comestibles en Tabasco, México, propició el desarrollo de estudios sobre crecimiento micelial y fructificación de hongos a nivel experimental. En el periodo 2013-2014 se evaluó el crecimiento micelial *in vitro* de *Pleurotus djamor* Boedijn 1959 (CH-240), *P. albidus* Pegler 1983 (CH-245), ambas cepas aisladas de ejemplares silvestres y *P. ostreatus* Kumm 1871 (CH-244), cepa comercial. Para el ensayo se utilizaron cuatro residuos

lignocelulósicos: fibra de coco (*Cocos nucifera*), cáscara de cacao (*Theobroma cacao*), hojas de plátano (*Musa paradisiaca*) y aserrín de cedro (*Cedrela odorata*), como sustrato único y en combinaciones (1:1). Para el ensayo de producción de basidiomas se utilizó sólo una cepa y un sustrato, donde se compararon dos técnicas de tratamiento térmico del sustrato: inmersión en agua caliente e inyección de vapor. En el crecimiento micelial *in vitro* se observó que la cepa CH-240 presentó el mayor crecimiento (6.44 mm d⁻¹) en comparación con el resto y que la cáscara de cacao favoreció significativamente el desarrollo de dicha cepa, con un crecimiento de 9.87 mm d⁻¹. Se produjeron basidiomas de *P. djamor* durante cuatro cosechas; se observó que la inmersión del sustrato en agua caliente, favoreció una alta eficiencia biológica, tasa de producción y rendimiento, con respecto al otro tratamiento, alcanzando valores de 32.36%, 0.38% y 11.0%, respectivamente. Se reporta por primera vez el cultivo de *P. djamor* sobre la cáscara de cacao, como una alternativa de aprovechamiento de los recursos genéticos nativos y uso de residuos locales.

PALABRAS CLAVE

Pleurotus albidus, *Pleurotus ostreatus*, *Theobroma cacao*, *Cocos nucifera*, *Cedrela odorata*, *Musa paradisiaca*

ABSTRACT

Demand in consumption and production of edible fungi in Tabasco, Mexico, led the development of studies on mycelial growth and fruiting fungi experimentally. In the period 2013-2014 mycelial growth was evaluated *in vitro* of *Pleurotus djamor* Boedijn 1959 (CH-240), *P. albidus* Pegler 1983 (CH-245), both strains isolated from wild specimens and *P. ostreatus* Kumm 1871 (CH-244) commercial strain. For testing four lignocellulosic waste used: coir (*Cocos nucifera*), cocoa husks (*Theobroma cacao*), banana leaves (*Musa paradisiaca*) and cedar sawdust (*Cedrela odorata*) as single substrate and in combinations (1:1). For basidiomata production assay was used one strain

and one substrate where two heat treatment techniques were compared on substrate: immersion in hot water and steam injection. Mycelial growth in vitro was observed in the CH-240 strain had the highest growth (6.44 mm d⁻¹) compared to the rest and cocoa husks significantly favored the development of such a strain, an increase of 9.87 mm d⁻¹. Basidiomata of *P. djamor* occurred during four crops; it was found that immersion of the substrate in hot water produced a high biological efficiency, production rate and yield, compared to other treatment, reaching values of 32.36%, 0.38% and 11.0%, respectively. The cultivation of *P. djamor* on cocoa husks is reported for the first time as an alternative use of native genetic resources and use local waste.

KEY WORDS:

Pleurotus albidus, *Pleurotus ostreatus*, *Theobroma cacao*, *Cocos nucifera*, *Cedrela odorata*, *Musa paradisiaca*

INTRODUCCIÓN

En Tabasco, México el cultivo de los hongos comestibles es un tema aun naciente en términos de investigaciones, sin embargo, resulta ser de gran interés, debido a las demandas que existen entre la población para consumir alimentos de origen natural y nutritivos, así como la necesidad de contar con nuevas opciones de producción bajo un enfoque sustentable (Carreño *et al.*, 2014).

En este sentido, las especies del género *Pleurotus* representan una buena opción, debido a la popularidad de su producción y consumo a nivel nacional (Royse y Sánchez-Vázquez, 2001; Márquez-Mota *et al.*, 2012; Andrade-Gallegos *et al.*, 2012) así como sus propiedades nutricionales y medicinales (Chang y Miles, 2004; Cheung, 2010; Lechner y Albertó, 2011).

A pesar de los estudios que se han desarrollado sobre la producción de distintas especies de *Pleurotus* en el sureste mexicano (Sánchez-Vázquez *et al*, 2010), en Tabasco, es necesario incrementar el desarrollo de las investigaciones para contar con una metodología que permita manejar adecuadamente el germoplasma nativo de dichas especies, ya que hasta la fecha, los estudios sobre crecimiento y producción de cuerpos fructíferos de *Pleurotus* se limitan a los trabajos desarrollados por Bautista-Gálvez *et al.* (2005), quienes reportaron experiencias exitosas de cultivo con dos cepas comerciales de *Pleurotus ostreatus* en el Municipio Emiliano Zapata, Tabasco, en el marco del desarrollo de proyectos de transferencia de tecnología para productores del área rural.

A la fecha, han sido poco documentadas las experiencias de estudios desarrollados con cepas locales del género *Pleurotus* para Tabasco, tal es el caso del trabajo de Carreño-Ruiz *et al.* (2013), quienes caracterizaron el crecimiento micelial de cepas locales de *P. albidus* y *P. djamor* en medios de cultivo *in vitro*, con el propósito de realizar un manejo adecuado de conservación de germoplasma y caracterización de parámetros de crecimiento. Sin embargo, aún se desconocen aspectos técnicos importantes de los parámetros del proceso de producción de basidiomas, en sustratos locales, condiciones tropicales e instalaciones de bajo costo, lo cual se considera fundamental para proponer un diseño de producción exitoso, con potencial aplicación al medio rural.

Cappello-García (2006), Roan-Soto y Cifuentes-Blanco (2011) y Carreño-Ruiz *et al.* (2013) señalan la importancia de continuar desarrollando estudios sobre el cultivo de especies del género *Pleurotus* a escala local, no sólo por sus propiedades comestibles, medicinales y su valor cultural sino también por sus posibles aplicaciones biotecnológicas. El propósito de esta investigación fue evaluar el crecimiento micelial de tres especies de *Pleurotus*, en cuatro residuos agrícolas generados en

Tabasco, así como realizar las pruebas de fructificación bajo condiciones tropicales en instalaciones de bajo costo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Las cepas objeto de estudio se encuentran depositadas y registradas en Colección de Hongos del Cepario UJAT de la División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como: CH-240 (*Pleurotus djamor*, Carreño-Ruiz 62 - Herbario UJAT), CH-245 (*P. albidus* Carreño-Ruiz 63 - Herbario UJAT) y CH-244 (*P. ostreatus*, Carreño-Ruiz 64). La cepa CH-240 se aisló de un espécimen silvestre procedente de la Estación Biológica “La Florida” Tacotalpa, Tabasco, la CH-245 se obtuvo del Jardín Botánico “José Narciso Roviroza” Centro, Tabasco y la cepa CH-244 se aisló de un espécimen obtenido comercialmente.

Evaluación del crecimiento micelial de las cepas locales en residuos lignocelulósicos

Las cepas se aislaron y mantuvieron en cajas Petri (90 mm de diámetro x 15 mm de profundidad), con medio de cultivo de Papa Dextrosa Agar (PDA), a 28°C bajo condiciones de oscuridad.

Para este ensayo, inicialmente se preparó inóculo con semillas de maíz palomero (*Zea mays* L. var. *everta*), obtenido a granel. Las semillas previamente se hidrataron por inmersión durante 8 h, posteriormente se sumergieron en agua caliente a 80°C durante 20 min, se lavaron y drenó el exceso de humedad hasta lograr una humedad del 70%. Se colocaron 200 g húmedos de semilla en bolsas de polietileno de alta resistencia, y se esterilizaron durante 40 min a 121 °C (autoclave Geo-Lab GL-310). Previo al esterilizado se le agregó al total de las semillas Cal y yeso al 5%

Una vez frías y bajo condiciones de asepsia, las semillas se inocularon por cada bolsa con tres fragmentos de 1 cm² del agar con micelio de las cepas de interés. Las muestras se incubaron a 28°C durante 20-25 días, bajo completa oscuridad (incubadora Felisa Modelo FE-133).

Los sustratos objeto de estudio, se recolectaron en diversas localidades de Tabasco: cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.), fibra de coco (*Cocos nucifera* L.), hojas de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y aserrín de cedro (*Cedrela odorata* L.). Todos los sustratos se secaron al sol y se fragmentaron en un diámetro aproximado de un 1 cm², excepto el aserrín. Para todos los casos, cada sustrato se hidrató por inmersión durante 12 h, se drenó para eliminar el exceso de humedad hasta lograr una humedad de 70%. Se les adicionó cal [Ca(OH)₂] y yeso (CaSO₄) a una tasa de 0.1% con base al peso seco del sustrato. El sustrato se colocó en tubos de ensaye (25 x 150 mm) a 100 mm de volumen a partir de la base del tubo. En total se prepararon 90 muestras [3 cepas x 10 tratamientos x 3 repeticiones] (Cuadro 1). Los tubos con sustrato se esterilizaron durante 45 min a 121°C, se enfriaron y se inocularon cada uno con fragmentos de 1 cm² del agar con la cepa de interés. A cada tubo se le colocó un tapón de algodón estéril para permitir el intercambio gaseoso y se incubaron a 28°C en completa oscuridad.

Cada tubo se rotuló con dos líneas longitudinales opuestas “A” y “B” y posteriormente sobre éstas se midió el crecimiento del micelio cada cuatro días. Los registros del crecimiento micelial se ordenaron en una base de datos en el programa Excel y se estimó el crecimiento micelial promedio por día, por cepa y por tratamiento. Dichos promedios se analizaron con una ANOVA multifactorial y una comparación de medias por rango de Duncan al 95% de confianza (p<0.05) en el programa Statistica Versión 7.0 para Windows, a fin de conocer las diferencias estadísticas entre los tratamientos, aunque previamente se comprobó la normalidad y homoscedasticidad de los datos (pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levine respectivamente).

Formación de basidiomas de *Pleurotus djamor* en cáscara de cacao (*Theobroma cacao*)

Con base en los resultados del crecimiento del micelio *in vitro*, se seleccionó la cepa CH-240 de *Pleurotus djamor* y la cáscara de cacao, con el propósito de evaluar su potencial de fructificación sobre este residuo.

Este ensayo utilizó inóculo preparado de la misma forma como previamente se citó. También para el sustrato, se siguió el método descrito en la evaluación *in vitro*, sólo que en este experimento se evaluaron dos técnicas de tratamiento térmico del mismo: con vapor (Gaitán-Hernández *et al.*, 2006; Silva-Huerta, 2013) y por inmersión de agua caliente (Gaitán-Hernández *et al.*, 2006).

Para el tratamiento con vapor, se colocó 1 kg de sustrato húmedo en bolsas de polietileno (30 x 40 cm) a cada bolsa al final se le colocó una pieza en forma de anillo (3.5 cm de ancho x 2 cm de largo) hecha de tubería de Policloruro de Vinilo (PVC), la cual se sujetó con una liga plástica y se le colocó un tapón de algodón para permitir la entrada del aire (Figura 1a). Las bolsas se colocaron dentro de un recipiente metálico con capacidad de 200 L, el cual contenía al fondo de su interior una base de madera tipo huacal de 55 x 55 x 45 cm, por arriba del nivel de agua. El vapor generado en su interior fue mediante un mechero tipo industrial conectado a un tanque estacionario de 1000 Lb marca TATSA, para poder controlar la fuga de vapor se colocó una tapa metálica sellada con anillo de presión con tornillo y tuerca. Esta misma cubierta contenía un tapón circular de plástico (3 cm) que se removía para introducir un termómetro de mercurio (0–200 °C) y monitorear la temperatura de aproximadamente 90°C durante 4 h (Figura 2a). Al finalizar el tratamiento, a cada bolsa se le retiró el tapón de algodón para sembrarle 50 g de inóculo y regresar dicho tapón, todo esto en condiciones de asepsia. Se prepararon 10 muestras cada una con un contenido de 1 kg de sustrato húmedo. El sustrato previo a la siembra, presentó una humedad del 73% y un pH de 8.2.

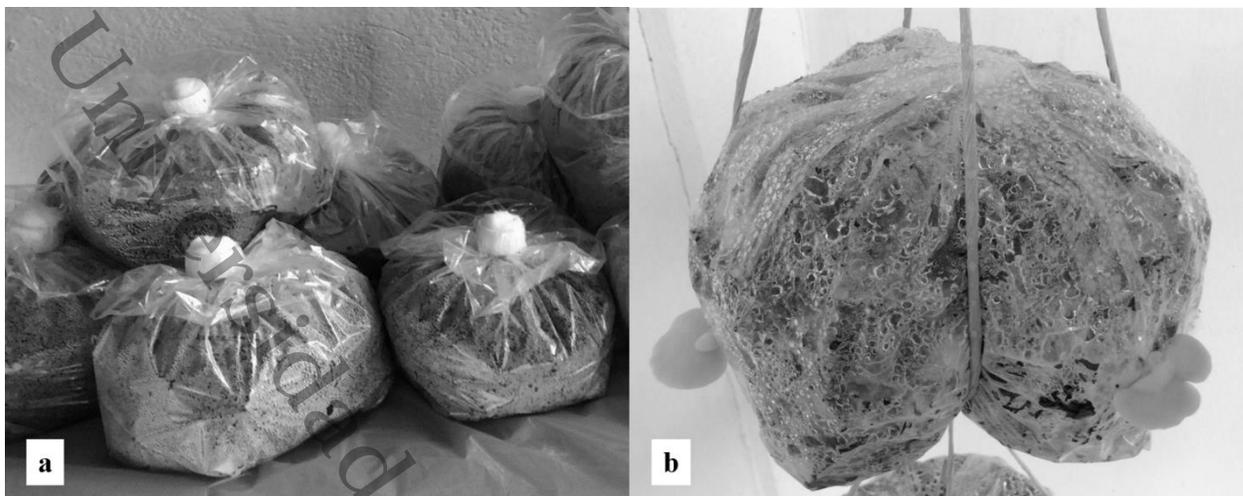


Figura 1. Tratamientos térmicos por a) vapor y b) inmersión (Fotografía: Mario Eduardo Sosa)

El tratamiento térmico del sustrato por inmersión (Figura 1b), se realizó igualmente en un recipiente metálico con capacidad para 200 L. En este contenedor se colocaron aproximadamente 150 L de agua, los cuales se calentaron a 80°C para poder sumergir el sustrato colocado previamente en arpillas de plástico (Figura 2b) durante 2 h, el calor generado fue de igual forma que el citado anteriormente. Posteriormente el sustrato se drenó y enfrió a temperatura ambiente, bajo condiciones de asepsia. La siembra se realizó colocando el sustrato en bolsas de polietileno con inóculo distribuido de manera homogénea, a una tasa del 5%, con base al peso húmedo del sustrato. Se prepararon 10 muestras cada una con 1 kg de sustrato húmedo. La humedad registrada del sustrato previo a la siembra fue del 75% y un pH de 8.2.

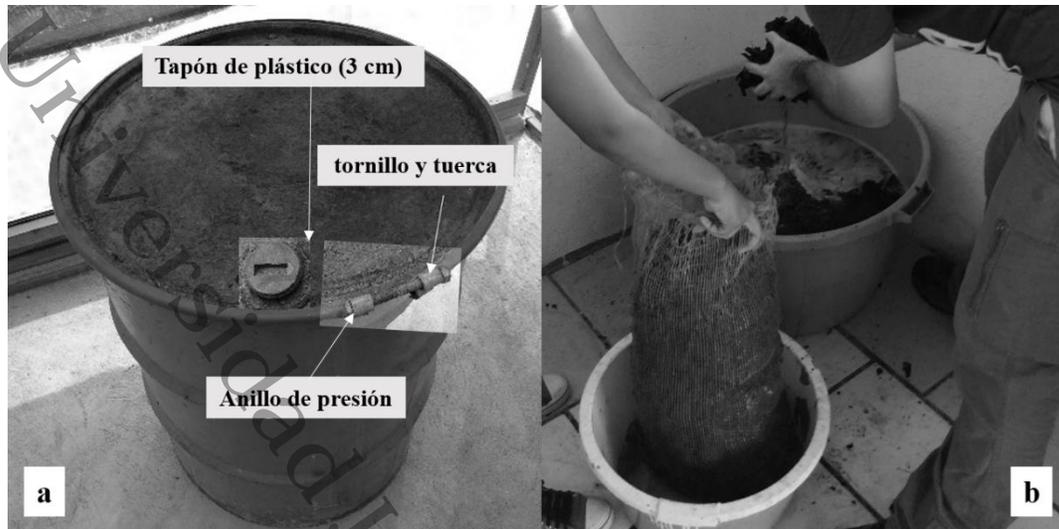


Figura 2. a) Tanque para tratamiento térmico. b) Tratamiento térmico del sustrato por inmersión en agua a 80°C

Las muestras sembradas de ambos tratamientos térmicos, se incubaron en completa oscuridad durante 18 días a una temperatura de $28 \pm 1^\circ\text{C}$. Al día siguiente de la incubación, las muestras sometidas a inmersión se perforaron con un bisturí nuevo con seis perforaciones en forma de cruz “+” de 2 cm, distribuidas homogéneamente por bolsa las cuales servirían para permitir el intercambio gaseoso en tanto que las muestras de sustrato tratado con vapor, el tapón de algodón cumplió con dicha función.

Una vez que el micelio cubrió el sustrato, a las muestras se les indujo la formación de basidiomas por medio de estímulos de luz natural (12 h luz/12 h oscuridad), con ventilación forzada (equivalente a 24 cambios/h). La humedad relativa osciló entre los 70-85%, y una temperatura entre 25-30 °C.

Las condiciones de incubación y formación de basidiomas se realizaron por medio de monitoreo de temperatura y humedad ambos realizados con un termo-higrómetro digital marca TFA, y para

garantizar las condiciones favorables de humedad se empleó un sistema de riego automatizado, diseñado y construido con tubos, codos y una válvula de cierre de PVC, microaspersores Orbit con perilla reguladora de flujo, un temporizador industrial Steren de 2 canales TEMP-310-Gris y una bomba sumergible Truper para agua limpia BOS-3/4LP, colocada dentro de un recipiente de plástico con capacidad de 100 L de agua. Los riegos regularmente se programaron durante el día cada dos horas y por las noches sólo dos riegos en lapsos de 6 h, (estos ajustes dependiendo de los parámetros ambientales por día). Las dimensiones del cuarto de experimentación fueron de 2.30 x 2.75 m, realizado con paredes de tabla roca y recubierto con pintura blanda anti-humedad y hongos marca Bereflex.

La cosecha de los hongos se realizó cuando hubo completa extensión del púleo, y se registró el peso fresco de los hongos, número de cosechas, presencia o ausencia de contaminación, pH del sustrato inicial y final, y periodo de producción. La productividad se evaluó con base a los valores de eficiencia biológica ($EB = \text{peso fresco de hongos} / \text{peso seco de sustrato} \times 100$), tasa de producción ($TP = EB / \text{número total de días de evaluación desde la inoculación}$) y rendimiento ($R = \text{peso fresco de hongos} / \text{peso fresco de sustrato} \times 100$). Los datos obtenidos siendo dos tratamientos térmicos con pocas muestras, con independencia y continuidad, y cumpliendo normalidad y homocedasticidad se analizaron con una prueba T-Student con un nivel de 95% de confianza ($p < 0.05$) en el programa Statistica Versión 7.0 para Windows, aunque previamente se comprobó la normalidad y homoscedasticidad de los datos (pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Levine respectivamente).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento micelial *in vitro* de las cepas en residuos lignocelulósicos

Se observó que la cepa CH-240 (*P. djamor*) presentó el crecimiento micelial promedio más alto (6.44 mm d⁻¹), estadísticamente diferente a la cepa CH-244 (*P. ostreatus*) y CH-245 (*P. albidus*), que presentaron valores de 3.29 y 0.85 mm d⁻¹, respectivamente (Cuadro 1).

Para la cepa CH-240, el mejor sustrato fue la cáscara de cacao con un crecimiento de 9.87 mm d⁻¹, mientras que el valor más bajo se presentó en el aserrín (2.59 mm d⁻¹). Se encontró, diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos, promedios desde 7.07 hasta 7.70 mm d⁻¹ se registraron en sustratos tales como hoja de plátano con cáscara de cacao, aserrín con cáscara de cacao, fibra de coco con hoja de plátano, fibra de coco con cáscara de cacao, y hoja de plátano, lo que indica la capacidad de la cepa para desarrollarse en dichos sustratos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Crecimiento micelial promedio de las cepas de *P. djamor* (CH-240), *P. ostreatus* (CH-244) y *P. albidus* (CH-245) durante 9 días, incubadas a 28 ± 1 °C, en los sustratos evaluados y sus combinaciones (1:1)

SUSTRATO	CEPA			PROMEDIO
	CH-240	CH-244	CH-245	
Fibra de coco	6.09 ± 1.49 ^e	4.09 ± 0.29 ^{cd}	3.72 ± 0.31 ^{cd}	4.63 ^{ef}
Aserrín	2.59 ± 0.42 ^c	0.00 ± 0.00 ^a	0.00 ± 0.00 ^a	0.86 ^a
Cáscara de cacao	9.87 ± 0.27 ^f	4.04 ± 0.57 ^{cd}	0.00 ± 0.00 ^a	4.64 ^{ef}
Hoja de plátano	7.70 ± 1.99 ^e	5.22 ± 0.73 ^{de}	0.00 ± 0.00 ^a	4.31 ^e
Coco - Aserrín	4.02 ± 1.11 ^{cd}	2.33 ± 1.04 ^{bc}	0.96 ± 0.88 ^b	2.44 ^{bc}
Coco - Cacao	7.43 ± 0.22 ^e	4.46 ± 0.83 ^{de}	3.17 ± 2.32 ^{cd}	5.02 ^{ef}
Coco - Plátano	7.48 ± 1.19 ^e	3.91 ± 0.66 ^{cd}	0.00 ± 0.00 ^a	3.80 ^d
Plátano - Cacao	7.07 ± 1.00 ^e	4.98 ± 0.50 ^{cd}	0.28 ± 0.48 ^a	4.11 ^e
Plátano - Aserrín	5.11 ± 1.11 ^d	0.61 ± 1.06 ^{ab}	0.00 ± 0.00 ^a	1.91 ^b
Aserrín - Cacao	7.07 ± 2.16 ^e	3.33 ± 2.75 ^{cd}	0.37 ± 0.64 ^a	3.59 ^d
PROMEDIO	6.44 ^c	3.29 ^b	0.85 ^a	

Valores con al menos una letra en común en las columnas indican semejanza significativa entre los tratamientos, con la prueba de rangos múltiples de Duncan ($\alpha < 0.05$).

A la fecha, el uso de la cáscara de cacao sólo está reportado en los trabajos de García-Oduardo *et al.* (2011) para el cultivo de la especie *P. ostreatus*, donde mencionan que dicho sustrato es adecuado para la propagación de micelio y la formación de cuerpos fructíferos. Y en el trabajo de Carreño-Ruíz *et al.* (2014) quienes evaluaron el crecimiento micelial *in vitro* de *Auricularia fuscosuccinea*, *Oudemansiella canarii* y *Schizophyllum commune* sobre dicho sustrato solo y combinado (1:1), observándose que puede ser viable para el cultivo de las especies antes mencionadas.

La determinación de los nutrientes específicos para un óptimo desarrollo de las especies de *Pleurotus*, no están esclarecidos, puesto que no existen suficientes estudios particulares que definan los requerimientos mínimos de sus especies (Sánchez-Vázquez, 2001).

Si enfocamos algunos valores nutrimentales importantes como es el caso del nitrógeno, la cáscara de cacao reporta un alto contenido de 2.79% (Piccioni, 1970), lo que la convierte en un sustrato apto para ser empleado individualmente o mezclado para el cultivo de los hongos, como lo señalan Muez-Ororbía y Pardo-Nuñez (2001). Caso contrario al aserrín, el cual es un sustrato pobre en nitrógeno (Piccioni, 1970) que lo hace dependiente del suplemento de otros sustratos, tal como se demostró en este estudio, el aserrín al mezclarse con la cáscara de cacao ayudó a equilibrarlo nutrimentalmente y dar un mejor resultado (Cuadro 1).

Por otro parte, una alta relación C/N es necesaria para el crecimiento micelial de *P. djamor*, mientras que si ésta es baja favorece el desarrollo de los cuerpos fructíferos (Rajarathnam *et al.* 1986). En general, el aserrín es elevado en relación C/N (Piccioni, 1970) por lo que debió haber

reflejado un mejor crecimiento micelial (Cuadro 1) mientras que la cáscara de cacao tiene valores bajos (Piccioni, 1970). La relación C/N que resulto contradictoria, es posible que se deba a la retención de humedad que se mostró muy baja para el aserrín, y alta para la cáscara de cacao, en este aspecto Sánchez-Vásquez (2001) mencionan que la retención de humedad es un factor importante que afecta la disponibilidad de los nutrientes en los cultivos.

En otro contexto, para las cepas CH-244 y CH-245 los valores generales del crecimiento micelial promedio fueron de 3.29 y 0.85 mm d⁻¹ respectivamente (Cuadro 1). Dichos resultados refieren la necesidad de continuar desarrollando estudios sobre el crecimiento micelial con variables de temperatura, humedad y sustratos solos o suplementados a fin de dar respuesta a los requerimientos nutrimentales y condiciones ambientales requeridas por las especies *P. ostreatus* y *P. albidus*, entre otras.

Fructificación de *Pleurotus djamor* sobre cáscara de cacao (*Theobroma cacao*)

Se obtuvo un total de 1867.5 g de hongos frescos, presentándose la mayor producción en el sustrato tratado por inmersión (1100.4 g) (Cuadro 2). En ambos tratamientos térmicos se obtuvo un total de cuatro cosechas, aunque se registraron diferencias de diez días al final de los ciclos de producción de los cuerpos fructíferos (84 a 94 d), (Cuadro 2). Los patrones por distribuciones porcentuales para las dos primeras cosechas entre las condiciones térmicas fueron entre casi un 53% y un 64% (vapor e inmersión respectivamente), y con promedios menores del 24% para el resto de las cosechas en ambos tratamientos. Es conveniente considerar que para una adecuado desarrollo de producción y explotación comercial de los hongos se debe considerar el número de cosechas (Gaitán- Hernández *et al.* 2009).

Cuadro 2. Distribución de la producción de hongos frescos (g) por cosecha

Tratamiento térmico	DI ¹	PP ²	Distribución de producción / cosecha (g) (%) ³				Peso total (Promedio) ⁴
			1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	
Inmersión	18	84	445.5 (40.5)	262.5 (23.8)	196.4 (17.9)	196.0 (17.8)	1100.4 (110.04) ^b
Vapor	18	94	211.8 (27.6)	192.4 (25.1)	186.3 (24.3)	176.6 (23.0)	767.1 (76.11) ^a

¹⁾ Días de incubación. ²⁾ Periodo de producción (días transcurridos desde el término de la incubación hasta la última cosecha). ³⁾ Peso y porcentaje de la producción de hongos por tratamiento, durante las cuatro cosechas en muestras de 1 kg de sustrato húmedo. ⁴⁾ Valores con letras diferentes, indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$, T-Student).

En general, los parámetros estadísticos para la producción de los cuerpos fructíferos en base a los tratamientos térmicos de la eficiencia biológica (EB), la tasa de producción (TP) y el rendimiento (R), fueron promedios mayores y estadísticamente diferente ($p < 0.05$) para inmersión (Cuadro 3).

Cuadro 3. Eficiencia biológica, tasa de producción y rendimiento obtenidos mediante el proceso de cultivo con dos tratamientos térmicos

Índices evaluados	Tratamiento térmico	
	Inmersión	Vapor
Eficiencia Biológica (%)	32.4 ± 2.29 ^b	20.7 ± 1.70 ^a
Tasa de Producción (%)	0.38 ± 0.10 ^b	0.22 ± 0.04 ^a
Rendimiento (%)	11.0 ± 2.33 ^b	7.67 ± 1.23 ^a

Los valores son promedios ± desviación estándar de diez repeticiones por tratamiento térmico. Las tasas de productividad EB, TP y R que no tienen letras en común son significativamente diferentes ($p < 0.05$, T student).

Estos resultados presentan una variación con respecto a valores que han sido previamente reportados en distintos estudios realizados con cepas de *P. djamor*, la EB obtenida en el presente

estudio fueron en su mayoría menores a las de otros autores. López-Coba *et al.* (2005) reportaron EB de 83.9% cultivado en rastrojo de maíz, y valores de 76.1 y 71.3% en bagazo de henequén y rastrojo de calabaza respectivamente, estos resultados lograron cuatro cosechas en laboratorio bajo tratamiento por inmersión en agua caliente. Este mismo estudio mostró una excepción con resultados menores de una a dos cosechas evaluados en medio rural con EB de 3.5-38.9 % en dichos sustratos. Vega *et al.* (2006) promedian EB de 68.7% con pulpa de café y 43.8% con paja de arroz, sin embargo también reportan entre sus cepas valores bajos de EB de hasta 19.0% con paja de arroz, sus tratamientos fueron realizados en inmersión, obteniendo de dos a tres cosechas. Cayetano-Catarino *et al.* (2007) reportó EB de 107.8% con paja de arroz y una mínima de 35.3% con fibra de coco, estos tratamientos fueron también por inmersión y en tres cosechas. Como último estudio nos encontramos al de Huerta *et al.* (2009), quienes reportan la mayor EB de 178.3 y una mínima de 53.6% en pulpa de café, en tratamiento a vapor (autoclave) durante dos cosechas. La TP de López-Coba *et al.* (2005), Vega *et al.* (2006) y Cayetano-Catarino *et al.* (2007) con valores de 1.1-3.5, 1.1-1.3 y 0.75-1.58 % respectivamente, resultando mayores en promedio a los de este estudio. Respecto al R, Vega *et al.* (2006) reportó valores promedios de 15.8-15.9%, valores mayores a los de este trabajo, y Huerta *et al.* (2009) que obtuvo menores valores en promedio entre 1.5-10.5%. Independientemente de los resultados obtenidos en este presente estudio no los excluye del rango de valores hasta la fecha registrados. Dentro de los trabajos citados anteriormente se observó de manera general que hubo mayor número de cosechas en los tratamientos realizados por inmersión que los tratados por vapor.

Durante la producción no se observaron problemas de contaminación en las muestras, por lo que, en este sentido, ambos tratamientos pueden ser viables para el cultivo de los hongos locales de Tabasco. Dada la necesidad de optimizar los procesos, estos tratamientos ofrecen una metodología

relativamente sencilla con la que se augura el éxito de la producción, siempre y cuando se tenga un estricto cuidado aséptico (Gaitán-Hernández *et al.* 2006).

Por otra parte, en esta investigación se registró en la cáscara de cacao una variación en el pH, siendo los valores iniciales de 8.2 en ambos tratamientos y posterior al periodo de cultivo valores de 5.8 y 6.1 en inmersión y por vapor, respectivamente. Díaz (2009) y Silva-Huerta (2013) señalan que el pH tiende a hacerse más ácido por el complejo enzimático que se presenta en el proceso de inducción al crecimiento de los hongos, principalmente por la presencia de la lacasa que se desarrolla durante el crecimiento micelial. Es importante recalcar que según el metabolismo de cada especie y en función de la fuente nutritiva, como por ejemplo de nitrógeno, el pH del sustrato puede variar hasta hacerse poco propicio durante el desarrollo del hongo (Sánchez-Vázquez, 2001). A medida que en el desarrollo de futuras investigaciones se considere importante registrar estos datos, se podría profundizar el conocimiento de las cualidades bioquímicas de la cáscara de cacao, inclusive para ser empleado en actividades poscosecha.

CONCLUSIONES

El tema del cultivo de los hongos comestibles es interesante y diverso, por lo que cada investigación desarrollada ofrece una gama de opciones para incentivar la producción. A través de los estudios aquí presentados se ofrecen conocimientos básicos para el cultivo de la especie *Pleurotus djamor*, propiciando el reciclaje de la cáscara de cacao, no obstante existe una amplia gama de posibles sustratos que pudieran revelar resultados significativos.

El diseño de la investigación y recursos empleados ofrecen una base sencilla que puede apoyar la optimización técnica del cultivo de los hongos comestibles bajo condiciones tropicales, indagando la factibilidad de los sistemas de pasteurización para propiciar los beneficios en términos de

producción, evitando problemas de contaminación, así como asegurar las condiciones de humedad y temperatura, entre otros factores.

El desarrollo y crecimiento del cultivo de los hongos comestibles de la región, motiva la búsqueda de alternativas que no solamente tengan un impacto a nivel institucional, sino también que puedan ser extrapoladas a diversos sectores de la población mediante transferencia tecnológica.

AGRADECIMIENTOS

A los proyectos PFICA “Evaluación de la producción de hongos comestibles (*Pleurotus djamor* y *Schizophyllum commune*) a nivel planta piloto”, POA 20130961, FONDO 1227 y “Fortalecimiento de la Maestría en Ciencias Ambientales para su permanencia en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT” Clave: TAB-2014-C01-245836, ambos desarrollados dentro de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Y a todas las personas que dieron alguna aportación para la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

Andrade-Gallegos, R. H., Mata, G. y Sánchez, J. (2012). La producción iberoamericana de hongos comestibles en el contexto internacional. En Sánchez-Vázquez, J. E. y Mata, G. (Eds). Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural. 1ª ed. (México): ECOSUR. p. 9-16.

Bollen, G. J. 1969. The selective effect of heat treatment on the microflora of a Greenhouse soil. Neth. J. Plant Path. 75: 157-163.

Cappello-García, S. 2006. Hongos del Yumka': guía ilustrada. Tabasco, México: Colección José N. Roviroso. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 105 p.

Carreño-Ruiz, S. D.; Cappello-García S.; Gaitán-Hernández G.; Cifuentes-Blanco J. y E. Rosique-Gil. 2013. Caracterización del crecimiento micelial *in vitro* de *Pleurotus albidus* Pegler 1983 y *Pleurotus djamor* Boedjin 1959, en Tabasco, México. Kuxulcab. 19 (27): 37-36.

Cayetano-Catarino, M.; Mata G. y T. B. González. 2007. Cultivo de *Pleurotus ostreatus* y *P. djamor* sobre dos subproductos agrícolas en Guerrero. In: El cultivo de las setas *Pleurotus* spp. México. Sánchez-Vázquez J. E.; Martínez-Carrera D.; Mata G. y H. Leal-Lara (eds). Colegio de la Frontera Sur. p. 113-122.

Chang, S. T. y Miles, G. P. 2004. Mushrooms: cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. (Inglaterra): CRS Press. 451 p.

Cheung, P. C. K. 2010. The nutritional and health benefits of mushrooms. Nutrition Bulletin. 35: 292- 299.

Díaz, R. 2009. Efecto del pH inicial del desarrollo de *Pleurotus ostreatus* en fermentación sumergida sobre su actividad de lacasa. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Tlaxcala, (México).

Gaitán-Hernández, R.; Salmenes D.; Pérez Merlo R. y G. Mata. 2006. Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. 1ª ed. México: Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz (México). p. 56.

Gaitán-Hernández, R.; Salmenes D.; Pérez Merlo R. y G. Mata. 2009. Evaluación de la eficiencia biológica de cepas de *Pleurotus pulmonarius* en paja de cebada fermentada. Revista Mexicana de Micología, (México). 30: 63-71.

Gaitán-Hernández, R. y D. Salmenes. 1999. Análisis de la producción de cepas de *Pleurotus djamor*. Revista Mexicana de Micología. (México). 15: 115-118.

García-Oduardo N.; Bermúdez-Savón R. C. y M. Serrano-Alberni. 2011. Formulaciones de sustratos en la producción de setas comestibles. Centro de Estudio de Biotecnología Industrial (CEBI), Universidad de Oriente, Santiago de Cuba (Cuba). p. 15-22.

Guzmán, G.; Salmenes D.; Soto-Velázco C. y L. Guzmán Dávalos. 1993. El cultivo de los hongos comestibles. Instituto Politécnico Nacional (México). p. 42-121.

Huerta G.; Martínez-Carrera D.; Sánchez J. E. y H. Leal-Lara. 2009. Grupos de interesterilidad y productividad de cepas de *Pleurotus* de regiones tropicales y subtropicales de México. Revista Mexicana de Micología (México). 30: 31-42.

Lechner, B. E. y Albertó, E. 2011. Search for new naturally occurring strains of *Pleurotus* to improve yields. *Pleurotus albidus* as a novel proposed species for mushroom production. Revista Iberoamericana de Micología (México) 28(4): 148-154.

López-Cobá, E. H.; Ancona-Méndez L. y S. Medina-Peralta. 2005. Cultivo de *Pleurotus djamor* en condiciones de laboratorio y en una casa rural tropical. Revista Mexicana de Micología. Yucatán (México). 21: 93-97.

Márquez-Mota C. C., Leal-Lara, H. y Ramírez-Carrillo, R. 2012. Efecto de la cascarilla de algodón y el aserrín de encino sobre el rendimiento de *Pleurotus eryngii*. En Sánchez-Vázquez, J. E. y Mata, G. (Eds). Hongos comestibles y medicinales en Iberoamérica: investigación y desarrollo en un entorno multicultural. 1ª ed. (México): ECOSUR. p. 163-171.

Muez-Ororbia, M. A. y Pardo-Núñez, J. 2001. La preparación del substrato. En Sánchez, J. E. y Royse, D. (Eds). La biología y el cultivo de *Pleurotus spp.* 1ª ed. Limusa. (México). p. 294.

Piccioni, M. 1970. Diccionario de alimentación animal. Editorial Acribia, Zaragoza. 819 p.

Rajarathnam, S.; Bano Z. y M. V. Patwardhan. 1986. Nutrition of the mushroom *Pleurotus flabellatus* during its growth on paddy straw substrate. J. Hort Sc. 61(2): 223-232.

Royse, D. J. 1985. Effect of spawn run time and substrate nutrition on yield and size of the shiitake mushroom. Mycologia. 77(5): 756-762.

Royse, D. J. y Sánchez-Vázquez, J. 2001. La importancia del cultivo de *Pleurotus spp.* Estadísticas mundiales de producción, con énfasis en Hispanoamérica. In: La biología y el cultivo de *Pleurotus spp.* Sánchez-Vázquez J. E. y Royse, D. J. (eds). Colegio de la Frontera Sur. Editorial Limusa. p. 17-26.

Ruan-Soto, F. y Cifuentes-Blanco, J. 2011. Notas etnomicológicas del poblado de Teapa, Tabasco, In: Educación Ambiental para la conservación de la biodiversidad. López-Hernández, E. S. (ed). El Colegio de Investigadores de Tabasco, A. C.-UJAT (México). p. 249-256.

Salmones, D., L. Mestizo Valdéz and R. Gaitán-Hernández, 2004. Entrecruzamiento y evaluación de la producción de las variedades de *Pleurotus djamor* (Fr.) Boedijn. Revista Mexicana de Micología (México). 18: 21-26.

Sánchez-Vázquez, J. E. 1994. Producción de hongos comestibles. Centro Investigaciones Ecológicas del Sureste. San Cristóbal de las Casas, Chiapas (México). p. 63, 90.

Sánchez-Vázquez, J. E. 2001. Crecimiento y fructificación. In: La biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. Sánchez-Vázquez J. E. y Royse, D. J. (eds). Colegio de la Frontera Sur. Editorial Limusa. p. 49-67, 165.

Sánchez-Vázquez, J. E.; Andrade-Gallegos, R. H. y M. Coello. 2010. Los hongos comestibles en el sureste de México. In Martínez-Carrera, D., Curvetto, N., Sobal, M., Morales, P. y Mora, V. M. (Editores). Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI. Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales-COLPOS-UNS-CONACYT-AMC-UAEM-UPAEP-IMINAP, Puebla (México). 648 p.

Silva-Huerta A. 2013. Uso del rastrojo de maíz como sustrato para la producción del hongo comestible *Pleurotus* spp., en la comunidad de Orilla del Monte, Municipio de Jalacingo, Veracruz. Tesis de Ingeniería Agronómica Hortícola. Universidad Atenas Veracruzana. Perote, Veracruz (México). p. 28.

Srivastava, H. C. y Bano Z. 1970. Nutrition requirements of *Pleurotus flabellatus*. Appl. Microbiol. p. 19, 166.

Vega, A.; Mata G.; Salmones D. y R. E. Caballero. 2006. Cultivo de cepas nativas de *Pleurotus djamor* en Panamá, en paja de arroz y pulpa de café. Revista Mexicana de Micología (México). 23: 93-97.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

2.2. Normas editoriales de la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

Instrucciones para autores(as):

La Revista Mexicana en Ciencias Agrícolas (REMEXCA), ofrece a los investigadores(as) en ciencias agrícolas y áreas afines, un medio para publicar los resultados de las investigaciones. Se aceptarán escritos de investigación teórica o experimental, en los formatos de artículo científico, nota de investigación, ensayo y descripción de cultivares. Cada documento será arbitrado y editado por un grupo de expertos(as) designados por el Comité Editorial; sólo se aceptan escritos originales e inéditos en español o inglés y que no estén propuestos en otras revistas.

Las contribuciones a publicarse en la REMEXCA, deberán estar escritas a doble espacio (incluidos cuadros y figuras) y usando Times New Roman paso 11 en todo el manuscrito, con márgenes de 2.5 cm en los cuatro lados. Las cuartillas estarán numeradas en la esquina inferior derecha y numerar los renglones iniciando con 1 en cada página. Los apartados: resumen, introducción, materiales y métodos, resultados, discusión, conclusiones, agradecimientos y literatura citada, deberán escribirse en mayúsculas y negritas alineadas a la izquierda.

Artículo científico. Escrito original e inédito que se fundamenta en resultados de investigaciones, en los que se ha estudiado la interacción de dos o más tratamientos en varios experimentos, localidades y años para obtener conclusiones válidas. Los artículos deberán tener una extensión máxima de 20 cuartillas (incluidos cuadros y figuras) y contener los siguientes apartados: 1) título; 2) autores(as); 3) institución de trabajo de autores(as); 4) dirección de los autores(as) para correspondencia y correo electrónico; 5) resumen; 6) palabras clave; 7) introducción; 8) materiales y métodos; 9) resultados y discusión; 10) conclusiones y 11) literatura citada.

Nota de investigación. Escrito que contiene resultados preliminares y trascendentes que el autor(a) desea publicar antes de concluir su investigación; su extensión es de ocho cuartillas (incluidos cuadros y figuras); contiene los mismos apartados que un artículo científico, pero los incisos 7 al 9 se escriben en texto consecutivo; es decir, sin el título del apartado.

Ensayo. Escrito recapitulativo generado del análisis de temas importantes y de actualidad para la comunidad científica, en donde el autor(a) expresa su opinión y establece sus conclusiones sobre el tema tratado; deberá tener una extensión máxima de 20 cuartillas (incluidos cuadros y figuras). Contiene los apartados 1 al 6, 10 y 11 del artículo científico. El desarrollo del contenido del ensayo se trata en apartados de acuerdo al tema, de cuya discusión se generan conclusiones.

Descripción de cultivares. Escrito hecho con la finalidad de proporcionar a la comunidad científica, el origen y las características de la nueva variedad, clon, híbrido, etc; con extensión máxima de ocho cuartillas (incluidos cuadros y figuras), contiene los apartados 1 al 6 y 11 del artículo científico. Las descripciones de cultivares es en texto consecutivo, con información relevante sobre la importancia del cultivar, origen, genealogía, método de obtención, características fenotípicas y agronómicas (condiciones climáticas, tipo de suelo, resistencia a plagas, enfermedades y rendimiento), características de calidad (comercial, industrial, nutricional, etc.) y disponibilidad de la semilla.

Formato del escrito

Título. Debe aportar una idea clara y precisa del escrito, utilizando 13 palabras como máximo; debe ir en mayúsculas y negritas, centrado en la parte superior. Autores(as). Incluir un máximo de seis autores, los nombres deberán presentarse completos (nombres y dos apellidos). Justificados inmediatamente debajo del título, sin grados académicos y sin cargos laborales; al final de cada nombre se colocará índices numéricos y se hará referencia a estos, inmediatamente debajo

de los autores(as); en donde, llevará el nombre de la institución al que pertenece y domicilio oficial de cada autor(a); incluyendo código postal, número telefónico y correos electrónicos; e indicar el autor(a) para correspondencia. Resumen y abstract. Presentar una síntesis de 250 palabras como máximo, que contenga lo siguiente: justificación, objetivos, lugar y año en que se realizó la investigación, breve descripción de los materiales y métodos utilizados, resultados, y conclusiones; el texto se escribe en forma consecutiva. Palabras clave y key words. Se escriben después del resumen y sirven para incluir al artículo científico en índices y sistemas de información. Seleccionar tres o cuatro palabras y no incluir palabras utilizadas en el título. Los nombres científicos de las especies mencionadas en el resumen, deberán colocarse como palabras clave y key words. Introducción. Su contenido debe estar relacionado con el tema específico y el propósito de la investigación; señala el problema e importancia de la investigación, los antecedentes bibliográficos que fundamenten la hipótesis y los objetivos. Materiales y métodos. Incluye la descripción del sitio experimental, materiales, equipos, métodos, técnicas y diseños experimentales utilizados en la investigación. Resultados y discusión. Presentar los resultados obtenidos en la investigación y señalar similitudes o divergencias con aquellos reportados en otras investigaciones publicadas. En la discusión resaltar la relación causa-efecto derivada del análisis. Conclusiones. Redactar conclusiones derivadas de los resultados relevantes, relacionados con los objetivos e hipótesis del trabajo.

Literatura citada. Incluir preferentemente citas bibliográficas recientes de artículos científicos de revistas reconocidas, no incluir resúmenes de congresos, tesis, informes internos, página web, etc. Todas las citas mencionadas en el texto deberán aparecer en la literatura citada.

Observaciones generales

En el documento original, las figuras y los cuadros deberán utilizar unidades del Sistema Internacional (SI). Además, incluir los archivos de las figuras por

separado en el programa original donde fue creado, de tal manera que permita, de ser necesario hacer modificaciones; en caso de incluir fotografías, estas deben ser originales, escaneadas en alta resolución y enviar por separado el archivo electrónico. El título de las figuras, se escribe con mayúsculas y minúsculas, en negritas; en gráfica de barras y pastel usar texturas de relleno claramente contrastantes; para gráficas de líneas, usar símbolos diferentes.

El título de los cuadros, se escribe con mayúsculas y minúsculas, en negritas; los cuadros no deben exceder de una cuartilla, ni cerrarse con líneas verticales; sólo se aceptan tres líneas horizontales, las cabezas de columnas van entre las dos primeras líneas y la tercera sirve para terminar el cuadro; además, deben numerarse en forma progresiva conforme se citan en el texto y contener la información necesaria para que sean fáciles de interpretar. La información contenida en los cuadros no debe duplicarse en las figuras y viceversa, y en ambos casos incluir comparaciones estadísticas.

Las referencias de literatura al inicio o en medio del texto, se utiliza el apellido(s) y el año de publicación entre paréntesis; por ejemplo, Winter (2002) o Lindsay y Cox (2001) si son dos autores(as). Si la cita es al final del texto, colocar entre paréntesis el apellido(s) coma y el año; ejemplo: (Winter, 2002) o (Lindsay y Cox, 2001). Si la publicación que se cita tiene más de dos autores(as), se escribe el primer apellido del autor(a) principal, seguido la abreviatura et al. y el año de la publicación; la forma de presentación en el texto es: Tovar et al. (2002) o al final del texto (Tovar et al., 2002). En el caso de organizaciones, colocar las abreviaturas o iniciales; ejemplo, FAO (2002) o (FAO, 2002).

Formas de citar la literatura

Artículos en publicaciones periódicas. Las citas se deben colocar en orden alfabético, si un autor(a) principal aparece en varios artículos de un mismo año, se diferencia con letras a, b, c, etc. 1) escribir completo el primer apellido con coma y

la inicial(es) de los nombres de pila con punto. Para separar dos autores(as) se utiliza la conjunción <y> o su equivalente en el idioma en que está escrita la obra. Cuando son más de dos autores(as), se separan con punto y coma, entre el penúltimo y el último autor(a) se usa la conjunción <y> o su equivalente. Si es una organización, colocar el nombre completo y entre paréntesis su sigla; 2) año de publicación punto; 3) título del artículo punto; 4) país donde se edita punto, nombre de la revista punto y 5) número de revista y volumen entre paréntesis dos puntos, número de la página inicial y final del artículo, separados por un guión (i. e. 8(43):763-775).

Publicaciones seriales y libros. 1) autor(es), igual que para artículos; 2) año de publicación punto; 3) título de la obra punto. 4) si es traducción (indicar número de edición e idioma, nombre del traductor(a) punto; 5) nombre de la editorial punto; 6) número de la edición punto; 7) lugar donde se publicó la obra (ciudad, estado, país) punto; 8) para folleto, serie o colección colocar el nombre y número punto y 9) número total de páginas (i. e. 150 p.) o páginas consultadas (i. e. 30-45 pp.).

Artículos, capítulos o resúmenes en obras colectivas (libros, compendios, memorias, etc). 1) autor(es), igual que para artículos; 2) año de publicación punto; 3) título del artículo, capítulo o memoria punto; 4) expresión latina In: 5) título de la obra colectiva punto; 6) editor(es), compilador(es) o coordinador(es) de la obra colectiva [se anotan igual que el autor(es) del artículo] punto, se coloca entre paréntesis la abreviatura (ed. o eds.), (comp. o comps.) o (coord. o coords.), según sea el caso punto; 7) si es traducción (igual que para publicaciones seriadas y libros); 8) número de la edición punto; 9) nombre de la editorial punto; 10) lugar donde se publicó (ciudad, estado, país) punto y 11) páginas que comprende el artículo, ligadas por un guión y colocar pp minúscula (i. e. 15-35 pp.).

Envío de los artículos a:

Revista mexicana de Ciencias Agrícolas. Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. Tel. 01 595 9212681. Correo electrónico: revista-atm@yahoo.com.mx. Costo de suscripción anual \$ 550.00 (6 publicaciones). Precio de venta por publicación \$ 90.00 (más costo de envío).

México.

de Tabasco.

CAPITULO III. ARTÍCULO CIENTÍFICO

3.1. Artículo científico enviado a la Revista Acta Agrícola y Pecuaria

EVALUACIÓN DE LA HARINA DE HONGO *Pleurotus djamor* (Agaricales: *Pleurotaceae*) SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA TILAPIA *Oreochromis niloticus* (Percoidei: Cichlidae)

*Mario Eduardo Sosa¹, Carlos Alfonso Álvarez González¹

¹División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Km. 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas Entronque a Bosques de Saloya, C.P. 86039. Centro, Tabasco.

*maedso@hotmail.com

RESUMEN

La desnutrición en diversas partes del mundo es un inmenso desafío que se debe resolver, y la acuicultura es una de las actividades más importantes en contribuir a la seguridad alimentaria. El cultivo de la tilapia es uno de los más importantes después de la carpa y el salmón, además de ser el cultivo que más rápido se ha desarrollado. Aunque, las actividades de la acuicultura han cobrado gran relevancia también enfrenta problemáticas, como el caso particular en el costo del alimento balanceado comercial ya que este rubro demanda más del 50% del gasto de producción. Por tal motivo, una de las prioridades de

este sector desde hace unas cuatro décadas es buscar fuentes proteínicas alternas sostenibles para la sustitución de la harina de pescado y la pasta de soya comercial en dietas para engorda. Hasta la fecha diversas investigaciones se han realizado sobre muchas fuentes vegetales en tilapia, pero aún no se han utilizado directamente hongos comestibles macroscópicos a pesar de ser valiosas fuentes de proteína. Por tal motivo, en este estudio se evaluó la sustitución de la pasta de soya por la harina del hongo macroscópico *Pleurotus djamor* en el cultivo de la mojarra del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Los resultados demostraron que la harina a base del hongo (*Pleurotus djamor*) con alto contenido de proteína y fibra cruda puede sustituir hasta un 25% la proteína de la soya, sin afectar significativamente el crecimiento, supervivencia y el factor de conversión alimenticia en alevines de tilapia del Nilo.

PALABRAS CLAVE

Proteína, fibra cruda, *Pleurotus ostreatus*

ABSTRACT

Malnutrition around the world is a huge challenge to be solved, and aquaculture is one of the most important activities in contributing to food security. Tilapia are the third most important cultured fish group in the world, after carps and salmonids, besides being the fastest growing has been developed. However, aquaculture activities have great importance also faces problems, as the particular case on the cost of commercial feed as demand for this sector more than 50% of the cost of production. Therefore, one of the priorities of this sector for about four decades ago is to seek sustainable replacement for fish meal and

soybean paste commercial diets for fattening alternative protein sources. To date, various researches have been done on many plant sources in tilapia, but have not yet been directly used macroscopic edible fungi despite being valuable sources of protein.

Therefore, in this study the replacement of soybean meal by meal macroscopic fungus *Pleurotus djamor* was evaluated in growing Nile tilapia Nilo (*Oreochromis niloticus*). The results showed that the flour containing the fungus *Pleurotus djamor*, high in protein and crude fiber can replace up to 25% soy protein, without significantly affecting growth, survival and feed conversion in Nile tilapia fingerlings.

KEY WORDS

Protein, crude fiber, *Pleurotus ostreatus*

INTRODUCCIÓN

La problemática de la mala nutrición crónica en el mundo va en aumento y se evidencia como un inmenso desafío al que se le debe enfrentar alimentando a la población mundial y al mismo tiempo protegiendo los recursos naturales que se tienen, y que puedan servir a futuras generaciones. En este aspecto, la acuicultura es una de las actividades más importantes en contribuir a la seguridad alimentaria principalmente para los países en vías de desarrollo (FAO, 2014). Dentro del sector acuícola el cultivo de la tilapia es uno de los más importantes después de la carpa y el salmón, además de ser el cultivo que más rápido se ha desarrollado (El-Sayed, 2004), con una tasa anual del 20% desde 1970 hasta el 2014 (FAO, 2014). Sin embargo, a pesar de que las actividades de la acuicultura han cobrado gran relevancia también enfrenta problemáticas, como es el caso particular en el costo del

alimento balanceado comercial ya que para este sector demanda más del 50% del gasto de producción (Molina y Piña, 1999; El-Sayed, 2006). Por tal motivo, la búsqueda de alternativas alimenticias sostenibles con subproductos para la sustitución de la harina de pescado (HP) y la pasta de soya (PS) comercial en dietas para la engorda es una prioridad en la acuicultura (Botello-León *et al.*, 2011). Esto a su vez es importante para contribuir a la reducción del costo de producción al emplear una fuente proteínica alterna de menor costo (Toledo, 2007).

Particularmente hace unas cuarenta décadas, se inició la búsqueda de ingredientes alternativos de origen vegetal derivadas de productos vegetales, subproductos de la agricultura, ganadería y de la industria, con una tendencia a ser amigables con el ambiente, y pretendiendo que la acuicultura siga siendo una actividad sostenible y rentable (Martínez-Palacios *et al.*, 1999). Aunado a que esto amortigüe la sobreexplotación de poblaciones silvestres de peces para la creación de nuevas fórmulas comerciales (Salvatteci *et al.*, 2005). Algunos trabajos recientes sobre el uso de ingredientes vegetales proteínicos en tilapia, ha incluido en sus fórmulas harina de soya en tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con mejores resultados al 35% de sustitución de la HP (Tomas *et al.*, 2002). La planta *Lemna perpusilla* que fue utilizada en alevines y juveniles de tilapia roja (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) siendo económicamente viable al 18% de sustitución (González-Salas, 2010). El gluten de maíz (GluM), soya integral (SI), pasta de soya (TS), girasol (TG) y palmiste (TP), mezcla forrajera de maíz (MFM), trigo de tercera (HTT), trigo duro (HTD), arroz (HA), maíz amarillo (HMA), germen de maíz (GerM) y harina de yuca integral (HYI) en tilapia roja híbrida (*Oreochromis* sp.), siendo alta para la mayoría (superiores a 80%) con excepción de la HS, el GerM y la HA (Vásquez-Torres *et al.*, 2010).

La harina de plátano roatán como alimento compensatorio en tilapia del Nilo, la cual afecto el crecimiento con niveles elevados de sustitución (Delgado-Vidal *et al.*, 2009). A nivel local se ha empleado el cártamo (*Carthamus tinctorius*) como componente proteínico para juveniles de tilapia con una inclusión favorable del 100% sustituyendo pasta de soya (López-González, 2009). También con un 100% benéfico resulto la pasta de coco al remplazar pasta de soya (García-Hernández *et al.*, 2014).

A pesar de existir diversas investigaciones que han evaluado muchas fuentes vegetales en tilapia, aún no se han utilizado directamente los hongos comestibles macroscópicos, a pesar de ser valiosas fuentes de proteína (Cheung, 2010). Considerando esto, existen diversos hongos macroscópicos que sólo han sido empleados por el humano de manera comestible desde tiempos ancestrales, y en la actualidad su uso está dirigida hacia diversas industrias, principalmente en la medicina, y aún es desaprovechado en otros mercados como es la producción acuícola. Por tal motivo, en este estudio se evaluó la sustitución de la pasta de soya por la harina del hongo macroscópico *Pleurotus djamor* en el cultivo de la mojarra del Nilo (*Oreochromis niloticus*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Obtención de alevines de tilapia del Nilo

Los alevines de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) fueron obtenidas a partir del lote de reproductores del Laboratorio de Acuicultura Tropical de la UJAT-DACBIOL. Los ejemplares fueron tomados después de 28 días de masculinización, los cuales fueron alimentados con Silver Cup (migaja, 52 % proteína y 16% lípidos) hormona 17- α

metiltestosterona (60 mg/Kg de dieta), hasta obtener una talla de 2.6 mm y peso 0.3 g promedio. La obtención de organismos de talla y promedio se hizo por medio de un cribado con cestos de plástico (filtros) con aperturas de 0.5 mm y el peso promedio se obtuvo con una balanza analítica AND EJ-410. Los alevines fueron colectados en un recipiente de plástico de 5 L y se colocaron en el sistema experimental que consto de 15 tinas de plástico de 100 L de capacidad, colocando 28 alevines por tina haciendo un total de 420.

Obtención del hongo *Pleurotus djamor* (CH-240) para la elaboración de harina

La cepa CH-240 perteneciente al hongo nativo *P. djamor* se encuentra resguardada en el Herbario de la División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. La obtención de los cuerpos fructíferos se realizó cultivándose en un invernadero para hongos comestibles. Los análisis químicos del hongo para poder establecer la formulación de las dietas se realizaron en el Laboratorio de Bromatológico del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR) en La Paz, B.C.S. de acuerdo a la técnica de (AOAC, 1995) ver cuadro 1.

Diseño experimental

La investigación consistió en un diseño experimental simple completamente aleatorio, evaluándose el crecimiento, supervivencia, índices de calidad del alimento y actividad enzimática en alevines de tilapia del Nilo (*O. niloticus*). La alimentación de los peces se realizó con cinco dietas experimentales: pasta de soya al 100% y 0% harina de hongo (PS100+HG0), pasta de soya al 75% y harina de hongo al 25% (PS75+HG25), pasta de soya al 50% y harina de hongo al 50% (PS50+HG50), pasta de soya al 25% y harina de hongo al 75% (PS25+HG75) y pasta de soya al 0% y harina de hongo al 100% (PS0+HG100), dichas dietas se basaron en las propuestas por García-Hernández *et al.*

(2014) ver tabla 2. Los tratamientos se realizaron por triplicado y de manera aleatoria (usando tablas con distribución de números aleatorios). El experimento tuvo una duración de 45 días, realizando biometrías cada 15 días.

Condiciones de cultivo y calidad del agua

Todo el experimento se realizó en un sistema de recirculación, manteniendo una recirculación continua y aireación constante, excepto durante la recolección del alimento excedente y la alimentación de los peces, la cual se realizó tres veces al día (9:00, 13:00 y 17:00 h). Existió un recambio continuo dentro de cada tina por medio de la recirculación equivalente a un 100% del volumen total. Diariamente se registró la calidad del agua, evaluándose el oxígeno disuelto (5.19 mg/L), la temperatura (28 °C) y el pH (7.2) tanto en tinas como en la cisterna de 4 m³. El equipo utilizado para la medición de temperatura y oxígeno disuelto fue un oxímetro YSI 55 (con precisión de 0.1°C y 0.01mg/l, California, USA), para el pH se utilizó un potenciómetro (Hanna Instruments, HI 98311, Rhode Island, USA).

Formulación y elaboración de dietas experimentales

Cada dieta se formuló por medio del programa MIXITWIN V. 5.0, de tal manera que fueran isocalóricas e isolipídicas. Siguiendo el protocolo de Álvarez-González *et al.* (2001), se lograron las formulación y elaboraciones de dichas dietas. Las diferentes harinas fueron mezcladas con un batidora industrial (Bathamex, 178716, México D.F, México) por 20 min después se les incorporaron las premezclas de vitaminas, minerales, vitamina C y grenetina, y continuando el mezclado por 15 min. Al final se les agregó la emulsión de aceite de

sardina y lecitina de soya para una última mezcla por otros 15 min, agregándose agua (aproximadamente 600 ml por Kg de dieta). La masa obtenida al final se transformó en pellets por medio de una criba de 5 mm y un molino para carne de 1 HP (Torrey, M-22RI, Monterrey N.L, México). Los pellets se colocaron dentro de un horno (Coriat, HC-35-D, D.F, México) para ser secados a 60°C por 24 h. Las dietas se embolsaron rotuladas y se mantuvieron en refrigeración (-4 °C) hasta su utilización (Cuadro 2).

Índices de calidad del alimento y supervivencia

Durante los 45 días del experimento se realizaron tres biometrías en total, cada 15 días (15, 30 y 45 días), el pesado de cada alevín fue con una balanza analítica (AND EJ-410, USA) y la medición de longitud total individual con un vernier digital (Caliper, 677256, Madrid, España). En cada biometría se tomaron datos del total de los 420 ejemplares y en la última se determinó la supervivencia por medio del conteo total de los peces, e índices de calidad del alimento. Los índices evaluados fueron los siguientes: Factor de conversión alimenticia (FCA), supervivencia (SUP%), tasa específica de crecimiento (TEC), factor de condición (CF), consumo diario de alimento (CDA), consumo diario de proteína (CDP), tasa de eficiencia proteica (TEP), ganancia en peso porcentual (GP%) (Cuadro 3).

Análisis bioquímico

Al término del experimento se disectaron tres alevines por tina para la extracción del estómago e intestino, y realizar el análisis de la actividad de enzimas digestivas. Las muestras de estómago se homogeneizaron en solución buffer de glicina-HCl 0.1 M, pH 2 y los intestinos se homogeneizaron en solución de Tris-HCl 100 mM + CaCl₂ 10 mM pH 9.

Ambas muestras se centrifugaron a 16 000 g por 30 min para poder extraer el sobrenadante o extracto enzimático separándose en alícuotas de 400 μ L y congelándose a -20°C hasta su posterior utilización.

La concentración de proteína soluble se evaluó por la técnica de Bradford (1976) usando como estándar una curva patrón de albúmina bovina sérica (600 mg/mL).

La actividad de proteasa alcalina se midió bajo la técnica descrita por Walter (1984) empleando caseína (1%) en sustrato de solución amortiguadora Tris-HCl 100 mM + CaCl_2 10 mM pH 9. La actividad de proteasa ácida se determinó por la técnica de Anson (1938), usando hemoglobina (1%) en solución amortiguadora de glicina-HCl 0.1 M, pH 2. Ambas actividades fueron incubadas a 37°C durante 1 h, y para detener la reacción se agregó una solución de ácido tricloroacético al 20%. Se dejaron reposar por 5 min a -4°C y se centrifugaron a 12 000 rpm durante 5 min. Al final se determinó los niveles peptídicos liberados por medio de una celda de cuarzo (700 μ l) a 280 nm en el espectrofotómetro. Una unidad de actividad enzimática fue definida como 1 μ g de tirosina liberada por minuto, usando el coeficiente de extinción molar de 0.0005.

La actividad de tripsina empleó la técnica de Erlanger *et al.* (1971) preparando el sustrato BAPNA (N- α -benzoyl-DL-arginina p-nitroanilida) con dimetil sulfóxido (DMSO) y aforando con solución buffer Tris-HCl 100 mM + CaCl_2 10 mM, pH 8. Las muestras se incubaron a 35°C por 30 min y se agregó ácido acético al 30% para detener la reacción. Al final se realizó la lectura con el espectrofotómetro a 410 nm.

La actividad quimotripsina fue determinada por el método de Del Mar *et al.* (1979) primero se preparó sustrato SAPNA (N- α -benzoil-DL-arginine p-nitroanilide) con DMSO y se aforó con buffer Tris-HCl 100 mM + CaCl_2 10 mM, pH 7.8. La incubación se realizó a 35°C por

20 min y se detuvo la reacción con ácido acético al 30% para al final medir la absorbancia a 405 nm en el espectrofotómetro.

La actividad de la leucina aminopeptidasa se evaluó por el protocolo de Maraux *et al.* (1973) se preparó el sustrato L-leucina P-nitroanilida mezclado con DMSO, y disueltó en buffer fosfato de sodio 50 mM, pH 7.2. La temperatura de incubación fue de 35°C durante 1 h, y se detuvo la reacción con ácido acético al 30%, al final se midió absorbancia a 410 nm.

La actividad de α -amilasa se cuantificó con el reactivo de Somogy-Nelson método descrito por Robyt y Whelan (1968), primero se prepararon cuatro reactivos: reactivo 1 a base de carbonato de sodio anhídrido, tartrato sódico potásico, bicarbonato sódico, sulfato sódico anhídrido y agua destilada; 2 reactivo 2 a base de sulfato de cobre pentahidratado, agua destilada y ácido sulfúrico concentrado; reactivo 3 con molibdato amónico, agua destilada, ácido sulfúrico concentrado, arseniato sódico heptahidratado; y el reactivo 4 se prepara al momento de utilizarse con la mezcla de reactivo 2 y 1 (1 - 25 ml respectivamente). El método usó tampón fosfato de sodio y citrato de sodio 0.1 M + NaCl 0.05 M a pH 7.5, solución de almidón al 2%. La incubación se realizó a 35°C por 15 min, agregándose después el reactivo 4 para hervir 20 min, al enfriar se anexó el reactivo 3 y se agito en el vortex hasta perder la presencia de CO₂. Al final se agregó agua destilada a las muestras se agito nuevamente y se midió la absorbancia a 600 nm.

La actividad lipasa se realizó por el método modificado de Versaw *et al.* (1989), primero se usó taurocolato de sodio a 100 mM, amortiguado con Tris-HCl 50 mM, pH 7.5. Hubo una preincubación a 35°C por 15 min y se agregó el sustrato β -naftil caprilato (disuelto en DMSO), nuevamente se incubó a 35°C por 15 min. Por último se agregó solución de fast

blue a 100 nM (disuelto en DMSO) y se incubo a 35°C por 5 min, deteniendo la reacción con TCA (0.72 N) al 12%. Para el clarificado de la reacción se agregó una solución de acetato de etilo (Etanol 1:1 v/v), y se midió la absorbancia a 540 nm.

La actividad enzimática de los extractos se determinó con las siguientes ecuaciones: 1)

Unidades por ml = $[\Delta \text{ abs} \times \text{volumen final de reacción (ml)} / \text{CEM} \times \text{tiempo (min)} \times \text{volumen del extracto (ml)}]$; 2) Unidades x mg de proteína⁻¹ = Unidades por ml/mg de proteína soluble; 3) Unidades por larva = Unidades por ml/ No. de alevines por ml]. E Δ abs es determinado por la longitud de onda de cada técnica y el CEM es el coeficiente de extinción molar para el producto de reacción (ml x μg^{-1} x cm^{-1}).

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se sometieron bajo la prueba de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homoscedasticidad (Levine) para determinar una distribución paramétrica normal. Los resultados de los tratamientos fueron evaluados mediante una Anova, para detectar las diferencias entre las dietas en los índices de calidad del alimento y supervivencia se aplicó la prueba de rangos múltiples de Duncan, y para crecimiento y análisis químico de los alevines usó la prueba de Tukey, ambas pruebas a un nivel de 95% de confianza ($p < 0.05$). Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el programa STATISTICA 7.0 (Stat Soft) para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento e índices de calidad de alimento

El crecimiento de los peces tanto en peso (mg) como longitud total (cm), mostraron la misma tendencia estadística en sus agrupaciones siendo los peces alimentados con la PS100+HG0 estadísticamente mayores al resto de los tratamientos (Tukey, $P < 0.05$); asimismo, los peces alimentados con la dieta PS75+HG25 fueron diferentes a los alimentados con las dietas PS50+HG50, PS25+HG75 y PS0+HG100 siendo estos últimos tres tratamientos estadísticamente iguales entre ellos entre las dietas. El mejor tratamiento fue para los alevines alimentados con la PS100+HG0 con un peso promedio de 2.27 mg y con una longitud de 5.17 cm, seguidos de los peces alimentados con la PS75+HG25 con un peso promedio de 1.95 mg y una longitud de 4.89 cm; por su parte, los peces alimentados con el resto de las dietas PS50+HG50, PS25+HG75 y PS0+HG100 registraron pesos promedio de 1.68 mg, 1.60 mg y 1.46 mg, y longitudes de 4.60 cm, 4.54 cm y 4.40 cm respectivamente. Considerando lo anterior, la posible sustitución en la dieta para alevines de tilapia se considera con 25% de harina de hongo (*P. djamor*) y un 75% de harina de soya, las cuales proporcionan las proteínas necesarias en alevines de *O. niloticus* sin afectar el crecimiento, supervivencia y factor de conversión alimenticio. Resultados similares fueron obtenidos por El-Sayed y Khalafalla (2011) al tratar residuos de hierba torpedo (*Panicum repens*) con hongo *Pleurotus ostreatus* en alevines de tilapia del Nilo, demostraron que los mejores resultados en los parámetros de crecimiento, eficiencia alimenticia y la eficiencia económica fueron al recibir la dieta con un 25%. Otros estudios como el de Rivas-Vega *et al.* (2010) quienes lograron sustituir con harina de hoja de *Moringa oleifera* (Lam) hasta en un 20% a la proteína de la harina de sardina, sin afectar el

crecimiento de juveniles de tilapia. Por su parte, Botello-León *et al.* (2011) lograron sustituir con harina de caña un 14% a la HP en tilapia roja (*Oreochromis spp.*) para no afectar indicadores productivos. Asimismo, Olvera-Novoa *et al.* (2002), sugirieron que es posible sustituir hasta el 65% de la proteína animal con una mezcla de proteínas de plantas, incluyendo 30% de levadura torula (*Candida utilis*) en las dietas de alevines de tilapia sin efectos adversos en el rendimiento. Mientras que Lin y Luo (2011) indicaron que la proteína de la harina de soya podría sustituir en un 75% la harina de pescado sin influir en el crecimiento de la tilapia. De los estudios más reciente se encuentra el de García-Hernández *et al.* (2014) quienes determinaron la posibilidad de sustituir en un 100% pasta de soya por pasta de coco (*Cocus nucifera* L.) como alimento en Tilapia del Nilo dando la posibilidad de reducir costos de producción sin afectar parámetros en la calidad del alimento.

Por otra parte, la supervivencia (S), factor de conversión alimenticia (FCA) y tasa de eficiencia proteínica (TEP) no mostraron diferencias significativas (Duncan, $P < 0.05$), observándose una buena condición de los alevines, de los cuales se obtuvo una supervivencia del 100% en todos los tratamientos. Resultados similares a nuestro trabajo han sido descritos por Botello-León *et al.* (2011) y Lin y Luo (2011) donde se obtuvieron altas supervivencia en todo los grupos de juveniles de tilapia (*O. niloticus* x *O. aureus*). Asimismo, el FCA de nuestro estudio estuvo entre 2.34 a 3.22, lo que sugiere que posiblemente los alevines pudieron haber requerido una mayor cantidad de alimento para compensar el incremento de la proteína aportada por el hongo; en este aspecto, Rivas-Vega *et al.* (2010) obtuvieron valores similares del FCA, al sustituir con la hoja de *M. oleifera* (Lam) a la harina de sardina. Respecto al TEP que mostró valores cercanos a 1 se demostró

la existencia de una baja asimilación de la proteína en toda las dietas, lo cual es común conforme se realiza un incremento de ingredientes de bajo nivel proteínico y con alto nivel fibra (Watanabe, 1993), lo cual corresponde a la harina de hongo (Cuadro 1); de manera complementaria, El-Saidy y Gaber (2003) obtuvieron valores de 1 en el TEP con dietas mezcladas con diferentes proteínas vegetales (harinas de soya, semilla de algodón, girasol y linaza) remplazando la HP.

Los índices que mostraron diferencias significativas (Duncan $P < 0.05$) entre las dietas fueron: tasa específica de crecimiento (TEC), factor de condición (CF), consumo diario de alimento (CDA), consumo diario de proteína (CDP), y ganancia porcentual (GP%).

La TEC con los porcentajes más altos lo obtuvieron las dietas PS100+HG0 y PS75+HG25 (4.49 y 4.16 respectivamente) el resto de las dietas fueron disminuyendo conforme se sustituía la harina de soya. Datos similares los registró Olvera-Novoa *et al.* (2002) obteniendo los porcentajes más altos con levadura torula al 30 y 25% (4.21 y 4.06 respectivamente). El CF presento los índices más elevados el tratamiento PS50+HG50 y PS0+HG100 (1.72 y 1.71, respectivamente) teniendo el menor valor PS100+HG0 (1.64), a pesar de los resultados dichos valores reflejan la heterogeneidad de crecimiento que existe entre los peces y sus respectivos tratamientos puesto que los valores son diferentes a 3 (Weatherley y Gill, 1987). En el CDA el valor más alto lo obtuvo PS100+HG0 (0.110) mientras que PS75+HG25 y PS50+HG50 obtuvieron el mismo valor (0.086) el resto de las dietas fue en disminución. El CDP mostro tendencias similares, donde el valor mayor lo obtuvo PS100+HG0 (0.037) y el resto de las dietas fueron disminuyendo conforme era sustituida la harina de soya. El último índice que fue GP también mostró la tendencia de ir aumentando conforme se integraba la harina de soya como ingrediente a la formula.

Composición química de la tilapia

Dentro de la composición química obtenida en los alevines por cada tratamiento, no hubieron diferencias significativas (Tukey, $P < 0.05$) tanto en humedad, proteína y extracto etéreo, excepto la fibra cruda (Tabla 4). La dieta PS0-HG100 obtuvo el mayor valor en fibra cruda con un 0.24%, lo cual puede deberse a que está formulada con harina de hongo al 100%, la cual contiene un 20.05% de fibra cruda (Tabla 1), considerándose un valor alto ya que el género *Pleurotus* se ha reportado con índices de fibra cruda entre 8.1 a 13.3% dependiendo la especie Barba-Chávez *et al.* (2013). Según observaciones sobre los altos contenidos en fibra cruda Botello-León *et al.* (2011); Furuya *et al.* (2001) y Pimenta (2008), comentan que éstas ejerce un efecto negativo sobre el coeficiente de digestibilidad aparente en proteína (CDA-P) y de aminoácidos, reduciendo el tiempo de tránsito intestinal. Las fuentes fibrosas probadas consisten principalmente de fibra insoluble, lo que aumenta la velocidad de tránsito gastrointestinal, reduciendo el tiempo de digestión y, por consiguiente, el uso de nutrientes (Rodríguez *et al.*, 2012). Gonzales Jr. *et al.* (2009) encontraron que ambas dietas a base de residuos de caupí (*Vigna unguiculata*) fermentadas y no fermentadas, e inoculadas con el hongo *Pleurotus ostreatus* fueron nutricionalmente deficientes, ocasionando un crecimiento pobre para el cultivo de la tilapia del Nilo, atribuyendo que pudieran deberse a las altas concentraciones de fibra y celulosa. En contradicción, un estudio realizado por Elsayed y Khalafalla (2011), usando la biodegradación del pasto torpedo (*Panicum repens* L.) por el hongo *P. ostreatus* en alevines de Tilapia, logrando el aumento de la proteína de 7.52 a 8.91% y que el contenido de fibra cruda disminuyera de 23.27 a 11.28%, lo cual mostró los mejores resultados en los parámetros de crecimiento, eficiencia de la alimentación y la eficiencia económica.

Actividad enzimática

Estadísticamente la actividad enzimática no mostró diferencias significativas (Tukey, $P < 0.05$), con excepción de la lipasa (Cuadro 5).

Los resultados para la proteasas ácidas, a pesar de no mostrar diferencias entre los tratamientos, indicaron un incremento conforme era sustituida la harina de hongo, algo similar ocurrió con la proteasa alcalina excepto con la dieta PS75+HG25. Lin y Luo (2011) también encontraron un aumento de la actividad proteasa al sustituir la soya por la HP en tilapias híbridas. En este aspecto, la proteasa ácida (pepsina) en el estómago propicia a la aceleración de los procesos de digestión, lo que aumenta la hidrólisis de las proteínas, esto a su vez ayuda a actuar a las enzimas digestivas del intestino para una correcta absorción de nutrientes. Considerando lo anterior, a pesar que la tilapia es un pez omnívoro, presenta cierta actividad tipo pepsina, la cual permitió que las proteínas, tanto de la soya como del hongo, fueran hidrolizadas, aunque se debe considerar que la digestión de la harina de hongo, presenta una menor degradación posiblemente debido a la presencia de una mayor cantidad de fibras (celulosa, lignina, etc), que disminuye su digestibilidad (Gonzales Jr. *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2012).

En otro orden de ideas, tanto la tripsina como la quimotripsina a pesar de reflejar valores de actividad enzimática entre 1.13 a 6.02 y 1.47 a 4.87 U mg proteína⁻¹ respectivamente, no obstante, fueron diferentes estadísticamente entre ellas, ambos tipos de enzimas pueden encontrarse tempránamente a partir de los 3 a 15 dde en tilapia, además de que aumentan su actividad conforme el pez incrementa de tamaño, alcanzando una máxima actividad entre los 20 y 36 dde (Drossou *et al.*, 2006). Por su parte, Lin y Luo (2011) reportaron una actividad de tripsina medida en el intestino proximal y distal (15.94 y 2.39 U mg de

proteína, respectivamente) considerados bajos, y que se mantuvieron relativamente constante durante todo el tiempo de muestreo, en contraste con la quimotripsina que presentó valores más elevados en el intestino proximal y distal (24.41 y 4.90 U mg de proteína respectivamente), incluso se midieron valores más altos de dicha actividad pocos minutos después de la ingestión de alimentos. De esta manera, en nuestro experimento, parte de estas variaciones entre los tratamientos se pueden explicar como una respuesta a la restricción alimenticia que se aplicó, como en la calidad de los alimentos suministrados (Moyano *et al.*, 2006), adicionalmente existen otros factores importantes como su concentración relativa en el intestino del pez y el tiempo total disponible para la hidrólisis (Lin y Luo, 2011). La variación en proporción tripsina/quimotripsina se estanca o disminuye debido a que se produce relativamente menos tripsina frente a una secreción constante de quimotripsina (Moyano *et al.*, 2006). Por otra parte, la tripsina y quimotripsina, se han propuesto como indicadores del estado nutricional en los peces, donde se refleja la funcionalidad del estómago y el aumento en la capacidad de asimilar los nutrientes en el intestino (Lazo, 1999; Lazo *et al.*, 2007; Uscanga *et al.*, 2010), por lo que un alto nivel de tripsina con relación de la quimotripsina se han correlacionado con la presencia de suficiente proteína dietética, mientras que un valor bajo debe ser correlacionado con el hambre o la escasez de alimentación (Blier *et al.*, 2002). Por otra parte, la actividad de la leucina aminopeptidasa (LAP) de los peces obtuvo valores bajos en todo los tratamientos. En contra parte, se han reportado altas actividades de LAP antes de la eclosión en especies como en *O. niloticus* (Tengjaroenkul *et al.*, 2002) y castarrica *Cichlasoma urophthalmus* (López-Ramírez *et al.*, 2011). Autores como Moyano (2006); Lazo *et al.* (2007) y Su-Hua *et al.* (2011), catalogan a esta exopeptidasa como otro

indicador de la calidad nutricional, debido a que su incremento promueve una mayor digestión a nivel parietal a partir de la digestión luminal realizada por las endoproteasas, hidrolizando los péptidos para liberar aminoácidos a partir de su lado amino terminal y propiciando su absorción. También la presencia de LAP está correlacionada con la maduración de los enterocitos (Cahu y Zambonino-Infante, 1995). En este aspecto, al no detectarse diferencias significativas entre nuestros tratamientos, se considera que la capacidad de hidrolizar por parte de esta enzima digestiva las dietas con harina de hongo, permitieron una adecuada liberación de aminoácidos a partir del extremo amino terminal de las proteínas; aunque es posible que a pesar de haber hidrolizado el nutriente, el exceso de fibra de la harina de hongo, comparada con la que presenta la pasta de soya, ocasionó una menor absorción de los aminoácidos, reflejándose en un menor crecimiento de los peces con inclusiones mayores al 25%.

La actividad específica de amilasa registró valores más altos entre 141.63 a 176.20 U mg no siendo significativos. Es así que la actividad amilásica ha demostrado ser alta durante las etapas larvales y generalmente disminuye cuando el desarrollo alcanza la etapa juvenil (Cahu *et al.*, 2004), lo cual ha sido utilizado como un indicador de la maduración del páncreas exócrino (López-Ramírez *et al.*, 2011). De esta manera, Tengjaroenkul *et al.* (2002) reportan que las variaciones de la amilasa a lo largo del desarrollo larvario van cambiando en relación a una determinada alimentación. Es entonces sabido, que especies omnívoras como *O. niloticus*, ha mostrado tener mejores tasas de digestión de almidón que especies carnívoros oportunistas (Wilson, 1994), por lo que se puede asumir que su presencia es normal y permitió aprovechar de igual forma los almidones de las dietas, sin importar el ingrediente, aunque es importante mencionar que el crecimiento fue menor al

incrementar la concentración de harina de hongo, por lo que es necesario que se evalúen otro tipo de carbohidrasas (lignasas, celulariasas y laminariasas), las cuales permitirían un mejor aprovechamiento de los carbohidratos y en consecuencia, un mejor aprovechamiento de las proteínas y los lípidos.

La lipasa fue la única enzima que mostró diferencias significativas, obteniendo el valor más alto de 130.47 U mg de proteína en el tratamiento PS75+HG25. A pesar de que las dietas fueron isolipídicas las agrupación estadísticas básicamente tendieron a disminuir la lipasa conforme había presencia de harina de hongo, esto es quizá debido a que dicho género *Pleurotus* posee bajos niveles en contenido de grasa cruda entre un 1.6 a 2.0% (Barba-Chávez *et al.*, 2013), y en particular el hongo en estudio que dio 0.50% de extracto etéreo (Tabla 1), lo que pudo haber marcado la diferencia a pesar que las proporciones de fibra cruda de la soya están reportadas entre 1.5 a 2.5% (Luna-Jiménez, 2007). Se ha establecido que en etapas larvales, el catabolismo de lípidos está mediada por estererasas y más tarde por lipasas verdaderas una vez que el tubo digestivo está completamente desarrollado (López-Ramírez *et al.*, 2011), lo cual ya se ha corroborado en *O. niloticus* (Tengjaroenkul *et al.*, 2002). Por lo que en este trabajo la presencia de lipasa detectada es un indicador común en estos peces y contribuyen como parte de su desarrollo hacia la etapa juvenil (Ribeiro *et al.*, 2002), aunque de igual manera, el exceso de fibra de la dieta con mayor concentración de harina de hongo, pudo interferir no sólo en la hidrólisis de lípidos, sino en la absorción de los ácidos grasos, ya que se sabe que la fibra, puede interferir al disminuir la unión entre el centro activo en la interfase agua-aceite que requieren las lipasas.

La determinación por parte de la actividad enzimática digestiva como indicador de las condiciones en los peces (Engrola *et al.*, 2007), juega un papel crucial para el

entendimiento sobre los beneficios y la aceptación del alimento vivo o artificial, donde va reflejada la capacidad digestiva nutrimental del alimento que conlleve al buen estado y desarrollo en un determinado organismo acuático (Zambonino-Infante *et al.*, 2007).

Entre los valores encontrados en la literatura se observan algunas discrepancias, que podrían sugerir que se dieran por causas entre las diferentes metodologías empleadas por los autores, el procesamiento de las dietas, niveles de inclusión, entre otros (Boscolo *et al.*, 2008; Furuya *et al.*, 2001).

CONCLUSIONES

La harina a base del hongo (*Pleurotus djamor*) con alto contenido de proteína y fibra cruda puede sustituir hasta un 25% la proteína de la soya, sin afectar significativamente el crecimiento, supervivencia y el factor de conversión alimenticia en alevines de tilapia del Nilo (*O. niloticus*).

AGRADECIMIENTOS

A los proyectos PFICA, POA 20130961, FONDO 1227 y TAB-2014-C01-245836, desarrollados dentro de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Y a cada una de las personas que dieron alguna aportación para la realización de esta investigación.

LITERATURA CITADA

Álvarez-González, C. A., R. Civera-Cerecedo, J. L. Ortiz-Galindo, S. Dumas, M. Moreno-Legorreta, & T. Grayeb-Del Alamo. 2001. Effect of dietary protein level on growth and

body composition of juvenile spotted sand bass, *Paralabrax maculatofasciatus*, fed practical diets. *Aquaculture* 194: 151-159.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. *Official Methods of Analysis*. 16th ed. Arlington. 1018 pp.

Barba-Chávez, J. M. A., J. I. López-Cruz, & V. Castañeda de León. 2013. El cultivo de setas, como proceso de desarrollo industrial de los hongos comestibles. En *Generalidades de los hongos*. AGT Editor SA. 1: 18.

Boscolo, W. R., C. Hayashi, A. Feiden, F. Meurer & A. A. Signor. 2008. Composição química e digestibilidade aparente da energia e nutrientes da farinha de resíduos da indústria de filetagem de tilápias, para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Botello, L. A., M. T. Viana, E. G. Téllez, E. A. Pullés, M. L. Cisneros, G. S. Solano, O. M. Miranda, Y. V. Rodríguez, M. E. Cutiño, L. Savón & R. Botello. 2011. Sustitución de la harina de pescado por harina de caña proteínica para la engorda de tilapia roja. *Agrociencia* 45: 23-31.

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 72: 248-254.

Blier, P. U., H. Lemieux & R. H. Devlin. 2002. Is the growth rate of fish set by digestive enzymes or metabolic capacity of the tissues? Insight from transgenic coho salmon.

Aquaculture 209: 379–384.

Cahu, C. L., J. L. Zambonino-Infante. 1995. Maturation of the pancreatic and intestinal function in sea bass (*Dicentrarchus labrax*): effect of weaning with different protein sources. Fish Physiol Biochem 14: 431-437.

Cahu, C. L., I. Ronnestad, V. Grangier & J. L. Zambonino-Infante. 2004. Expression and activities of pancreatic enzymes in developing sea bass larvae (*Dicentrarchus labrax*) in relation to intact and hydrolyzed dietary protein; involvement of cholecystokinin.

Aquaculture 238: 295–308.

Cheung, P. C. K. 2010. The nutritional and health benefits of mushrooms. Nutrition Bulletin 35: 292–299.

Delgado-Vidal, F. K., A. Gallardo-Collí, L. Cuevas-Pérez & M. García-Ulloa. 2009.

Crecimiento compensatorio en tilapia *Oreochromis niloticus* posterior a su alimentación con harina de plátano. Avances en investigación agropecuaria. 13(2): 55-70.

Del Mar, E. G., C. Largman, J. Brodrick & M. Geokas. 1979. A sensitive new substrate for chymotrypsin. Anal Biochem 99: 316-20.

Drossou, A., B. Ueberschär & H. Rosenthal. 2006. Ontogenetic development of the proteolytic digestion activities in larvae of *Oreochromis niloticus* fed with different diets. *Aquaculture* 256: 479-488.

El-Saidy, D. M. S. D. & M. M. A. Gaber. 2003. Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. *Aquaculture Research* 34: 1119-1127.

El-Sayed, A. F. M. 2004. Protein nutrition of farmed tilapia: searching for unconventional sources. *In* New dimensions in farmed tilapia: proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia Aquaculture. 364-378 pp.

El-Sayed, A. F. M. 2006. Tilapia culture. CABI. USA. 275 pp.

El-Sayed, A. F. M. & M. M. E. Khalafalla. 2011. Biodegradation of *Panicum repens* residues by *Pleurotus ostreatus* for its use as a non conventional feedstuff in diets of *Oreochromis niloticus*. *African Journal of Microbiology Research* 5(19): 3038-3050.

Engrola, S., L. E. C. Conceição, L. Dias, R. Pereira, L. Ribeiro & M. T. Dinis. 2007. Improving weaning strategies for Senegalese sole: effects of body weight and digestive capacity. *Aquaculture Res.* 38: 696-707.

Erlanger, B., N. Kokowsky & W. Cohen. 1961. The preparation and properties of two new

chromogenic substrates of trypsin. Arch Biochem Biophys 95: 271-278.

FAO. 2014. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. En: el papel de la acuicultura en la mejora de la nutrición; oportunidades y desafíos. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. ISBN 1020-5500.

Furuya, W. M, L. E. Pezzato, A. C. Pezzato, M. M. Barros & E. C. Miranda. 2001. Coeficientes de Digestibilidade e Valores de Aminoácidos Digestíveis de Alguns Ingredientes para Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Rev Bras Zootec 30: 1143-1149.

García-Hernández, B., Hernández-Urquín, Y., Álvarez-González, C. A., Martínez-García, R., Contreras-Sánchez, W. M., Civera-Cerecedo, R. & H. Nolasco-Soria. 2014. Pasta de coco en dietas prácticas para juveniles de tilapia del Nilo, *Oreochromis niloticus*. (L.) (*Percoidei: Cichlidae*). Acta agrícola y pecuaria 1(1): 43-50.

Gonzales Jr., J. M., B. A. Lowry, P. B. Brown, C. A. Beyl, & L. Nyochemberg. 2009. The effects of composting on the nutritional composition of fibrous bio-regenerative life support systems (BLSS) plant waste residues and its impact on the growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Advances in Space Research 43: 1243-1249.

González-Salas, R. 2010. Cultivo de la *Lemna perpusilla* en el Valle del Cauto y su empleo en la alimentación de alevines y juveniles de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus* x *O. niloticus*). Tesis de grado Doctor en Ciencias Veterinarias, Universidad de Granma, Cuba.

Lazo, J. P. 1999. Development of the digestive system in red drum (*Sciaenops ocellatus*) larvae. Dissertation, The University of Texas at Austin, USA.

Lazo, J., R. Mendoza, G. J. Holt, C. Aguilera & C. R. Arnold. 2007. Characterization of digestive enzymes during larval development of red drum (*Sciaenops ocellatus*). *Aquaculture* 265: 194-205.

Lin, S. y L. Luo. 2011. Effects of different levels of soybean meal inclusion in replacement for fish meal on growth, digestive enzymes and transaminase activities in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Animal Feed Science and Technology* 168(1-2): 80-87.

López-González, B. 2009. Evaluación de la digestibilidad de subproductos de cártamo *Carthamus tinctorius* como componente proteínico para la alimentación de juveniles de tilapia *Oreochromis niloticus*. Tesis de grado de Licenciado en biología. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.

López-Ramírez, G., C. A. Cuenca-Soria, C. A. Álvarez-González, D. Tovar-Ramírez, J. L. Ortiz-Galindo, N. Perales-García, G. Márquez-Couturier, L. Arias-Rodríguez, J. R. Indy, W. M. Contreras-Sánchez, E. Gisbert & F. J. Moyan. 2011. Development of digestive enzymes in larvae of Mayan cichlid *Cichlasoma urophthalmus*. *Fish Physiology and Biochemistry* 37: 197-208.

Luna-Jiménez, A. 2007. Composición y Procesamiento de la Soya para Consumo Humano. *Investigación y ciencia* 37: 35-44.

Maraux, S., D. Louvard & J. Baratti. 1973. The aminopeptidase from hog-intestinal brush border. *Acta Biochim Biophys* 321: 282-295.

Martínez-Palacios, C. A., M. C. Chávez-Sánchez, M. A. Olvera-Novoa & M. I. Abdo-De La Parra. 1999. Fuentes alternativas de proteínas vegetales como substitutos de la harina de pescado para la alimentación en acuicultura. *In*: Cruz-Suárez, L. E., D. Ricque-Marie & R. Mendoza-Alfaro. (Eds.). *Avances en Nutrición Acuícola III. Memorias del Tercer Simposio Internacional de Nutrición y Tecnología de Alimentos*. ISBN 968-7808-62-4. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N.L. México. 279-324 p.

Molina, C. & P. Piña. 1999. Evaluación económica de los sistemas de alimentación por voleo y comederos usados en el cultivo de *Litopenaeus vannamei*. *In* Memorias del V Congreso Ecuatoriano de Acuicultura, Guayaquil, Ecuador.

Moyano, F. J. 2006. Bioquímica Digestiva en Especies Acuicultivadas: Aplicaciones en Nutrición. *In* editores: Cruz, S.E., M. R. Ricque, S. M. Tapia, L. M. G. Nieto, C. D. A. Villareal, C. A. C. Puello & O. A. García. *Avances en Nutrición Acuícola VIII. VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. ISBN 970-694-333-5.

Olvera-Novoa, M. A., C. A. Martínez-Palacios & L. Olivera-Castillo. 2002. Utilization of torula yeast (*Candida utilis*) as a protein source in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters) fry. *Aquaculture Nutrition* 8: 257-264.

Pimenta, M. E. S. G., M. M. Oliveira, P. V. R. Logato, C. J. Pimenta, & T. A. Freato. 2008. Desempenho produtivo e digestibilidade pela tilápia do NILO (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) alimentada com dietas suplementadas com níveis crescentes de silagem ácida de pescado. *Ciênc Agrotec* 32: 1953-1959.

Ribeiro, L., J. L. Zambonino-Infante, C. Cahu & M. T. Dinis. 2002. Digestive enzymes profile of *Solea senegalensis* postlarvae fed *Artemia* and a compound diet. *Fish Physiol Biochem* 27:61-69.

Rivas-Vega, M. E., B. A. Miranda & M. I. Sandoval-Muy. 2010. Avances en la evaluación de ingredientes para tilapia (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*) cultivada en agua de mar. In: Cruz-Suarez, L.E., D. Ricque-Marie, M. Tapia-Salazar, M. G. Nieto-López, D. A. Villarreal-Cavazos, J. Gamboa-Delgado (Eds.), *Avances en Nutrición Acuícola X-Memorias del Décimo Simposio Internacional de Nutrición Acuícola*. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México, 467-484 pp.

Robyt, J. F. & W. Whelan. 1968. *Starch and its Derivatives*. Chapman and Hall. London, UK. 430 pp.

Rodríguez, A. P. O., M. D. C. Gominho-Rosa, E. Cargnin-Ferreira, A. De Francisco & D. M. Fraccalosi. 2012. Different utilization of plant sources by the omnivores Jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture nutrition* 18: 65-72.

Salvatteci, R. & J. Mendo. 2005. Estimación de las pérdidas bio-económicas causadas por la captura de juveniles de anchoveta (*Engraulis ringens*, J) en la costa peruana. *Ecología Aplicada* 4(1,2): 113-120

Su-Hua, C., C. Min-Jie, H. Jian-Zhen, & W. Guo-Ping. 2011. Identification of a puromycin-sensitive aminopeptidase from zebrafish (*Danio rerio*). *Comparative Biochemistry and Physiology* 159: 10-17.

Tengjaroenkul, B., B. J. Smith, S. A. Smith & U. Chatreewongsin. 2002. Ontogenic development of the intestinal enzymes of cultured Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture* 211: 241–251.

Toledo, J. P. 2007. Procedimientos operacionales de trabajo para los aspectos nutricionales del cultivo de la tilapia. Ministerio de la Industria Pesquera. Cuba. 9 p.

Tomás, A., LL. S. Martínez, J. López, A. V. Moñino & M. Jover. 2002. Determinación de la digestibilidad de piensos extrusionados según el nivel y fuente proteínica en la Tilapia (*Oreochromis niloticus*). Grupo de Investigación en Recursos Acuícolas (G.I.R.A.), Dpto.

de Ciencia Animal, Universidad Politécnica de Valencia, España. *In: Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura (CIVA)* 963-968 p.

Vásquez-Torres, W., M. I. Yossa-Perdomo, G. Hernández-Arévalo & M. C. Gutiérrez-Espinosa. 2010. Digestibilidad aparente de ingredientes de uso común en la fabricación de raciones balanceadas para tilapia roja híbrida (*Oreochromis sp.*). *Rev. Colomb. Cienc. Pecu* 207-216.

Versaw, W, S. L. Cuppett, D. D. Winters & L. E. Williams. 1989. An improved colorimetric assay for bacterial lipase in nonfat dry milk. *J. Food Sci* 54: 232-254.

Uscanga-Martínez, A, F. J. Moyano-López & C. A. Álvarez-González. 2010. Assessment of enzymatic efficiency on protein digestion in the tilapia *Oreochromis niloticus*. *Fish Physiol Biochem* 36: 1079–1085.

Walter, H. E. 1984. Proteinases: methods with hemoglobin, casein and azocoll as substrates. *In: Bergmeyer, H. J. (Ed.). Methods of Enzymatic Analysis. Verlag Chemie. Weinham* 5: 270-277.

Watanabe, T., J. Pongmaneerat, S. Sato & T. Takeuchi. 1993. Replacement of fishmeal by alternative protein sources in rainbow trout diets. *Nippon Suisan Gakkaishi* 59: 1573-1579.

Weatherley, A. H. & H. S. Gill. 1987. The biology of fish growth. Academic Press, London, England. 443 p.

Wilson, R. P. 1994. Utilization of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture*. 124: 67–80.

Zambonino-Infante, J. L. & Cahu, C. L. 2007. Dietary modulation of some digestive enzymes and metabolic processes in developing marine fish: Applications to diet formulation. *Aquaculture*, Impress.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1. Análisis químico de hongo *Pleurotus djamor* (CH-240)

Hongo	Extracto			Fibra			
<i>Pleurotus djamor</i> (CH-240)	Humedad (%)	Proteína (%)	Etéreo (%)	Cruda (%)	Cenizas (%)	ELN (%)	Energía (cal/g)
	4.61 ±	21.37 ±	0.50 ±	20.05 ±	7.51 ±		3898.94
Harina de hongo	0.06	0.31	0.09	0.08	0.10	50.57 ±	19.31

Cuadro 2. Dietas experimentales para el cultivo de alevines de tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y análisis químico proximal.

Ingredientes (g 100 g ⁻¹ dieta)	PS100+HG	PS75+HG2	PS50+HG5	PS25+HG7	PS0+HG10
Soya 44% ^c	210	152	110	50	0
Harina de hongo ^b	0	110	220	330	440
Sorgo 9% ^c	260	208	130	80	10
Harina de carne 50% ^a	250	250	255	255	260
Harina de pescado 65% ^a	140	140	145	145	150
Aceite de sardina ^a	60	60	60	60	60
Aceite de soya ^d	30	30	30	30	30
Grenetina ^e	20	20	20	20	20
Previt ^f	15	15	15	15	15
Premin ^f	10	10	10	10	10
Vitamina C ^g	5	5	5	5	5
Análisis químico proximal (g 100 g MS ⁻¹)					
Proteína Total (%)	33.132	32.42	32.76	31.98	32.03
Grasa (%)	13.77	13.85	13.99	14.08	14.23
Fibra (%)	2.388	3.63	4.91	6.15	7.40
Cenizas (%)	11.935	12.26	12.878	13.198	13.78

^aProteínas marinas y agropecuarias S.A. de C.V., Guadalajara, Jalisco; ^bHerbario, invernadero hongos comestibles, División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT, Villahermosa, Tabasco; ^cGALMEX Comercializadora de Insumos Agrícolas S.A. de C.V., Villahermosa, Tabasco; ^dPronat Ultra, Mérida, Yucatán; ^eD'gari, Productos alimenticios y dietéticos relámpago, S.A. de C.V., Tlalpan, D.F.; ^fConsortio Súper S.A. de C.V., Guadalajara, Jalisco; ^gDSM® C-EC (Roche) agente activo de 35%.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Cuadro 3. Índices de crecimiento para evaluar la calidad de diferentes tratamientos en alevines de *Oreochromis niloticus*

Índices	PS100+HG0	PS75+HG25	PS50+HG50	PS25+HG75	PS0+HG100
CFA ¹	2.54 ± 0.35	2.34 ± 0.10	2.84 ± 0.24	2.95 ± 0.51	3.22 ± 0.21
SUP (%) ²	100	100	100	100	100
TEC (%) ³	4.49 ± 0.28 a	4.16 ± 0.08 ab	3.83 ± 0.15 bc	3.70 ± 0.32 c	3.52 ± 0.11 c
CF ⁴	1.64 ± 0.04 b	1.66 ± 0.03 ab	1.72 ± 0.02 a	1.69 ± 0.02 ab	1.71 ± 0.03 a
CDA (g día ⁻¹) ⁵	0.110 a	0.086 b	0.086 b	0.083 c	0.082 d
CDP (g día ⁻¹) ⁶	0.037 a	0.029 b	0.028 c	0.027 d	0.026 e
TEP ⁷	1.20 ± 0.18	1.32 ± 0.06	1.09 ± 0.09	1.08 ± 0.20	0.97 ± 0.06
GP (%) ⁸	659.2 ± 97.7 a	553.1 ± 23.4 ab	462.4 ± 35.9 bc	433.7 ± 80.4 c	388.1 ± 22.9 c

¹Factor de conversión alimenticia (FCA): (alimento consumido total en BS, g/ganancia en peso, g).

²Supervivencia (SUP%): (Número de peces al inicio-Número de peces al final/Número de peces al final) x 100.

³Tasa específica de crecimiento (TEC): [(ln peso final-ln peso inicial)/días] x100.

⁴Factor de condición (CF): (peso promedio final/longitud total final 3) x 100.

⁵Consumo de alimento diario (CDA): (proteína consumida g)/tiempo (día) X N (número final de peces).

⁶Consumo diario de proteína (CDP): consumo de alimento, g base seca/número de peces/día.

⁷Tasa de eficiencia proteica (TEP): (ganancia en peso, g/proteína consumida en BS, g).

⁸Ganancia en peso porcentual (GP%): $[(\text{peso promedio final} - \text{peso promedio inicial}) / (\text{peso promedio final})] \times 100$.

Diferentes letras significan diferencias significativas bajo la prueba de rangos múltiples de Duncan ($P < 0.05$).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Cuadro 4. Análisis químico de alevines (*O. niloticus*)

Composición químico	Tratamientos				
	PS100+HG0	PS75+HG25	PS50+HG50	PS25+HG75	PS0+HG100
<i>Oreochromis niloticus</i> (g 100 gMS ⁻¹)					
Humedad (%)	6.54 ± 1.53	5.76 ± 1.74	15.19 ± 15.40	8.82 ± 6.69	5.21 ± 1.03
Proteína (%)	57.35 ± 0.08	56.66 ± 0.13	55.13 ± 0.14	53.13 ± 0.08	52.77 ± 0.12
Extracto Etéreo (%)	22.97 ± 1.14	24.50 ± 1.45	23.68 ± 2.08	26.64 ± 2.78	26.49 ± 1.50
Fibra Cruda (%)	0.14 ± 0.00 b	0.00 ± 0.00 bc	0.00 ± 0.00 bc	0.16 ± 0.02 b	0.24 ± 0.03 a

Diferentes letras significan diferencias significativas con la prueba Tukey (P < 0.05).

Cuadro 5. Actividad enzimática de alevines *O. niloticus* alimentados con diferentes tipos de tratamientos

Actividad (U mg proteína ⁻¹)	Tratamientos				
	PS100+HG0	PS75+HG25	PS50+HG50	PS25+HG75	PS0+HG100
Proteasa acida	4.72 ± 3.52	5.68 ± 1.58	6.57 ± 1.62	6.07 ± 0.78	6.30 ± 1.36
Proteasa alc.	9.93 ± 3.28	8.36 ± 3.30	9.17 ± 3.10	10.20 ± 1.48	10.29 ± 0.84
	6.47x10 ⁻⁰⁶ ±	7.83x10 ⁻⁰⁶ ±	5.99x10 ⁻⁰⁶ ±	5.94x10 ⁻⁰⁶ ±	7.15x10 ⁻⁰⁶ ±
Tripsina	2.15x10 ⁻⁰⁶	1.78x10 ⁻⁰⁶	2.71x10 ⁻⁰⁶	1.13x10 ⁻⁰⁶	6.02x10 ⁻⁰⁷
	2.35x10 ⁻⁰⁵ ±	2.41x10 ⁻⁰⁵ ±	2.22x10 ⁻⁰⁵ ±	2.25x10 ⁻⁰⁵ ±	2.19x10 ⁻⁰⁵ ±
Quimotripsina	4.87x10 ⁻⁰⁷	1.47x10 ⁻⁰⁶	2.98x10 ⁻⁰⁶	2.92x10 ⁻⁰⁶	2.55x10 ⁻⁰⁶
	8.66x10 ⁻⁰⁷ ±	1.11x10 ⁻⁰⁶ ±	1.13x10 ⁻⁰⁶ ±	8.96x10 ⁻⁰⁷ ±	1.15x10 ⁻⁰⁶ ±
LAP	2.96x10 ⁻⁰⁷	1.38x10 ⁻⁰⁷	3.37x10 ⁻⁰⁷	2.09x10 ⁻⁰⁷	4.34x10 ⁻⁰⁷
	130.09 ± 13.24	130.47 ±	96.05 ± 17.56		90.29 ± 23.09
Lipasa	ab	12.31 a	b	84.51 ± 7.27 b	b
			168.51 ±	154.45 ±	147.14 ±
Amilasa	141.63 ± 41.78	176.20 ± 7.69	22.36	27.63	20.44

Diferentes letras significan diferencias significativas con la prueba Tukey (P < 0.05).

2.2. Normas editoriales de la Revista Acta Agrícola y Pecuaria

Acta Agrícola y Pecuaria INSTRUCCIONES PARA AUTORES

Instrucciones generales

- Enviar manuscritos vía electrónica al editor en jefe, en archivos en MS Word, empleando formato de hoja tamaño carta.
- Emplee doble espacio entre líneas, todos los márgenes de 3 cm, sin justificar el texto a la derecha.
- El título, línea de autores, línea de afiliación institucional, encabezados, texto y literatura citada deberán justificarse a la izquierda.
- Emplear la fuente de texto: Times New Roman a 12 puntos. No usar negritas, cursivas sólo en nombres científicos.
- El listado de cuadros y figuras deberá aparecer al final del texto. Cuadros y figuras se incluyen en archivos independientes al manuscrito, no incluir los cuadros dentro del manuscrito.
- Numerar las páginas de manera consecutiva a partir de la hoja título.
- El manuscrito deberá ordenarse e iniciar en una página nueva, de la siguiente manera: Página título, resumen y palabras clave, introducción, materiales y métodos, resultados y conclusiones, agradecimientos, literatura citada, cuadros y figuras.
- Costos editoriales. Los costos por impresión de una publicación son de \$ 200.0 MX por página.
- Extensión máximo del manuscrito a someter: en el caso de artículos científicos 25 páginas; para revisiones 20 páginas; para nota científica 5 páginas.
- Emplear el Sistema Internacional de Unidades (SI) y sus abreviaturas, entre la cifra y abreviatura de la unidad se coloca un espacio.
- Incluir el nombre, dirección electrónica y postal, de al menos tres posibles revisores del manuscrito.

- Incluir carta de intención para la publicación del manuscrito, en la cual sugiera al editor la sección en que desea se incluya el manuscrito (conservación de recursos fitogenéticos, mejoramiento genético, nutrición, manejo agronómico, manejo poscosecha, inocuidad alimentaria, manejo integrado de plagas, comportamiento animal, interacción huésped-parásito, fisiología, morfología y zoogeografía).

El manuscrito deberá enviarse por correo electrónico con nota de intención a:

Dr. Víctor López Martínez

Editor

Acta Agrícola y Pecuaria

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Universidad Autónoma del Estado de Morelos

acagrypec@gmail.com

Instrucciones de formato

Los manuscritos deberán estructurarse de la manera siguiente:

Las secciones del documento serán: página título, resumen, abstract, introducción, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones, literatura citada, lista de figuras, lista de cuadros.

Página Título

Iniciará con un título breve (menor a 20 palabras) que refleje el contenido del trabajo, en mayúsculas, sin centrar. Los nombres científicos deben aparecer completos, en cursivas, incluir en paréntesis el orden y familia de la especie involucrada.

Dos renglones después del título incluir los nombres completos de los autores, sin incluir abreviaturas, en mayúsculas y minúsculas y sin grados académicos.

Después de cada nombre colocar un número en superíndice para incluir posteriormente su filiación institucional, separar cada autor con una coma.

Un renglón después colocar la dirección completa de cada autor, antecediendo a cada dirección un número en superíndice que coincida con el nombre del autor. Destacar el autor para correspondencia con (*) e incluir correo electrónico.

Resumen, palabras clave; abstract y key words

Compilar de manera breve y concisa, los objetivos del trabajo, los principales resultados y las conclusiones más relevantes; incorporar hasta 6 palabras clave distintas a las incluidas en el título. Incluir la traducción al inglés del resumen y palabras clave.

Introducción

Deberá establecer con claridad los antecedentes de la temática a estudiar, y definir los objetivos del mismo.

Materiales y métodos

El autor debe aportar la información suficiente que permita reproducir sin dificultad su trabajo.

Resultados y discusión

Refleja los resultados obtenidos así como la significancia de los mismos en el contexto actual y futuro de las ciencias agropecuarias. De igual forma proporcionar las explicaciones a los resultados obtenidos.

Conclusiones

De manera breve y concisa deberán anotarse las conclusiones principales derivadas de los resultados de la investigación.

Agradecimientos

Al final del texto, incluir las instituciones y/o personas quienes contribuyeron de manera significativa al desarrollo de la investigación, a consideración del autor.

Literatura citada

La sección de literatura citada debe ordenarse alfabéticamente por autor y año. Nombres de revistas científicas deben aparecer completas. Debe priorizarse emplear fuentes de literatura provenientes de procesos arbitrados y/o revisión externa, por lo que tesis y memorias de congreso no serán admitidas como referencias válidas.

Emplear el siguiente formato:

Para artículo científico:

Vietor, D. M., R. W. Schnell, T. L. Provin, R. H. White & C. L. Munster. 2010. Effect of alum treatments on turfgrass coverage and runoff losses during establishment. HortScience 45(1): 119-124.

Para libro:

Dole, J. M. & H. F. Wilkins. 2005. Floriculture. Principles and Species. Prentice Hall. New Jersey, USA. 613 pp.

Para capítulo de libro:

Byrne, D. N. 2008. Dispersal and migration of insects and their importance in pest management. pp. 60-80. *In*: Koul, O., G. W. Cuperus & N. Elliott (Eds.). Areawide Pest Management. Theory and Implementation. CABI International. Oxfordshire, UK.

Formato de cuadros y figuras.

El título de cuadros y figuras debe explicar adecuadamente el contenido de los mismos. Deberán numerarse de manera consecutiva y agruparlas después de la literatura citada. Las figuras deben ser en formato Word®, Excel®, SigmaPlot® y/o SPSS®. Los cuadros deben estar editados en formato de Word, deben incluir sólo tres líneas horizontales y ninguna línea vertical. La información empleada en cuadros y figuras no deberá reproducirse en el texto.

Referencias

El formato para incluir referencias en el texto deberá ser el siguiente “Dole y Wilkins (2005)”, “(Armitage y Laushman, 2003)”, “(Marsh, 1976, 1983)”, “Lopez--Cruz *et al.* (2009), o “(Mejía y Espinosa, 2003; Aguilera *et al.*, 2009)”.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.