

MEMORIAS

in extenso



Red de Cuerpos Académicos Biotecnología para una Agricultura Sustentable

Lenin Sánchez Calderón
Victor Emmanuel Balderas Hernández César
Díaz Pérez
Miguel Alvarado Rodríguez
Saúl Fraire Velázquez

COORDINADORES



Biotecnología y agricultura sustentable

III Simposio Nacional

Lenin Sánchez Calderón
Victor Emmanuel Balderas Hernández
César Díaz Pérez
Miguel Alvarado Rodríguez
Saúl Fraire Velázquez
COORDINADORES



Zacatecas, México, 2014

Esta investigación, arbitrada por pares académicos,
se privilegia con el aval de la institución que la edita.

Edición

Georgia Aralú González Pérez
Israel David Piña García
Jonatán Aaron Piña García

Edición al cuidado de

Selene Carrillo Carlos
Erika Isabel Varela Rodríguez

Portada

Israel David Piña García

Biotecnología y agricultura sustentable
III Simposio Nacional

Primera edición 2014

Coordinadores

© Lenin Sánchez Calderón
Victor Emmanuel Balderas Hernández
César Díaz Pérez
Miguel Alvarado Rodríguez
Saúl Fraire Velázquez

© Universidad Autónoma de Zacatecas

ISBN en trámite

El contenido y la redacción de cada uno de los artículos publicados
en este libro son responsabilidad de los autores.

Queda prohibida la reproducción parcial o total, directa o indirecta del contenido
de la presente obra, sin contar previamente con la autorización por escrito
de los editores, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y, en su caso,
de los tratados internacionales aplicables.



Hecho en México
Made in Mexico

Comité organizador

Universidad Autónoma de Zacatecas
Cuerpo Académico UAZ-CA-138 –
Biotecnología de Plantas–
D.C. Saúl Fraire Velázquez
D.C. Lenin Sánchez Calderón
D.C. Victor E. Balderas Hernández
D.C. César Díaz Pérez
M.C. Miguel Alvarado Rodríguez

Universidad de Colima
Cuerpo Académico UCOL-CA-12 –
Biotecnología y Producción Sustentable–
D.C. Salvador Guzmán González
D.C. Marco Buenrostro
D.C. Elpidio Peña Beltrán
D.C. Dr. Gilberto Manzo Sánchez

Instituto Tecnológico de Tepic
Cuerpo Académico –Alimentos
y Biología Molecular–
D.C. Porfirio Gutiérrez Martínez
D.C. Martina Alejandra Chacón López
D.C. Héctor Cabanillas Beltrán
D.C. Mario Alberto Ortiz Jiménez

Centro de Investigación Científica de Yucatán
Cuerpo Académico –Bioquímica y
Biotecnología en Plantas–
D.C. Blondy Beatriz Canto Canché
D.C. Luis Alfonso Sáenz Carbonell
D.C. Ignacio Rodrigo Islas Flores
D.C. Oscar Alberto Moreno Valenzuela

CIEco-UNAM Campus Morelia
Grupo de investigación –Agroecología–
D.C. John Larsen
D.C. Savine Ravnskov
D.C. Carlos Ernesto González Esquivel

ENES-UNAM Campus León, Gto.
Grupo de investigación –Agrogenómica–
D.C. Julio Vega Arreguín
D.C. Miguel Lara Flores
D.C. Harumi Shimada Beltrán



Universidad
Autónoma de
Zacatecas



Universidad de
Colima



Instituto
Tecnológico
de Tepic



Centro de
Investigación
Científica de Yucatán



CIEco-UNAM
Campus Morelia



ENES-UNAM Campus León, Gto.

Unidad León
**Escuela
Nacional de
Estudios
Superiores**

Patrocinadores



Consejo Zacatecano de Ciencia,
Tecnología e Innovación, COZCYT



Miguel Angel
Ortiz Bonila



Programa Académico
de Doctorado en
Ciencias Básicas



Lab-Tech



BIOTECH DEL NORTE

Biotech del norte

Identificación de enzimas β -fructosidasas en *Lactobacillus casei*

Norma Angélica Gaytán–Saldaña,
Edgar León Esparza–Ibarra
Unidad Académica de Ciencias Biológicas
Universidad Autónoma de Zacatecas
Juan Alberto Osuna–Castro
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Universidad de Colima

correo–e: gaytanangelica1@gmail.com

Resumen

Los fructanos, polímeros de fructosa, comprenden una excelente fuente para la obtención de fructooligosacáridos (FOS), donde la hidrólisis enzimática parcial resulta ser un proceso ventajoso. El aislamiento de cepas con capacidad para sintetizar enzimas β -fructosidasas para la adquisición de FOS ofrece aportaciones para investigaciones futuras en el contexto de los prebióticos y probióticos. En este estudio a partir de la savia de *Agave* sp. denominada aguamiel, se aisló *Lactobacillus casei* con actividad de β -fructosidasa. La síntesis de enzimas β -fructosidasas de *L. casei* se indujo en medio con fructanos de agave como única fuente de carbono. El extracto proteínico extracelular mostró un halo de actividad enzimática en zimogramas co-polimerizado con inulina; se determinaron por electroforesis desnaturante dos proteínas con un peso molecular estimado de 105 y 116 kDa.

Palabras clave: agave, aguamiel, electroforesis SDS–PAGE, fructanos.

Introducción

Los fructanos son polímeros de fructosa sintetizados a partir de una molécula de sacarosa (Chalmers, 2005), a la cual las unidades de fructosa se unen adyacentemente mediante enlaces β -fructosil-fructosa. En el reino vegetal se encuentran en el 15% de las angiospermas. En agaves, los fructanos constituyen el 60% del peso seco (Mancilla-Margalli y López, 2006); se emplean para la elaboración de bebidas (tequila, mezcal, bacanora y pulque).

Los FOS son fructanos considerados como prebióticos con propiedades benéficas para el humano. Son sintetizados a partir de sacarosa a través de enzimas fructosiltransferasas y/o por la hidrólisis enzimática parcial de fructanos. Las enzimas que hidrolizan los enlaces β -fructosil-fructosa son las β -fructosidasas.

El aislamiento de *Lactobacillus* se ha reportado en gramíneas (Müller y Lier, 1994) y en fermentos de *Agave salmiana* (Escalante-Minakata, 2008). La presencia de *Lactobacillus* en gramíneas y bebidas ricas en fructanos indica que las bacterias asimilan fructanos mediante la producción de enzimas que degradan los polisacáridos a sus monosacáridos constituyentes. La búsqueda de *Lactobacillus* spp. en aguamiel de *Agave* sp. con actividad hidrolítica sobre fructanos fue el propósito de este estudio.

Metodología

Una alícuota de aguamiel se diluyó en caldo MRS (Difco-USA) y se incubó a 45°C (Jaramillo, 2010). Enseguida se realizaron diluciones en caldo MRS y se sembraron en placas con MRS-agar. Las placas se incubaron a 37°C en condiciones aeróbicas y anaeróbicas durante 24–72 h. Fueron seleccionadas las colonias con morfología colonial correspondiente a *Lactobacillus* spp.

Determinación fenotípica y bioquímica

Las cepas fueron determinadas según los criterios de MacFaddin (2003) y el Manual Bergey (Garrity et al., 2005) para establecer bacterias ácido lácticas, especialmente del género *Lactobacillus*.

Determinación de actividad

β -fructosidasa. Las cepas seleccionadas se evaluaron con base en su capacidad de fermentar fructanos, siguiendo la metodología de oxidación o fermentación de la glucosa de McFaddin (2003). Se clasificaron cuatro grupos de acuerdo con el carbohidrato empleado: grupo G (glucosa), FA (fructanos de agave), I (inulina de achicoria) y C (control).

Determinación molecular mediante amplificación y secuenciación del gen 16S DNAR

El DNA genómico de las cepas con capacidad de β -fructosidasa fue aislado con el método de Petrick et al. (1988). La región 16S DNAR se amplificó utilizando primers universales reportados por Liu et al. (2012), el amplicon se envió a secuenciar al Laboratorio de Servicios Genómicos Langebio del CINVESTAV Unidad Irapuato, Guanajuato. Se precisó la especie al comparar la secuencia del 16S DNAR obtenida con las secuencias disponibles en el GenBank.

Identificación de la actividad de β -fructosidasa

La cepa seleccionada se inoculó en medio de cultivo líquido (medio MRS sin la adición de glucosa) con fructanos de agave y/o inulina al 2% (p/v) e incubado a 37°C durante 18 h. Las protef-

nas secretadas al medio se recuperaron por centrifugación, se concentraron con la metodología diálisis–congelación–centrifugación de Virgen et al. (2012).

La actividad de β –fructosidasa se identificó mediante SDS–PAGE al 10% (Laemmli, 1970) y en geles de poliacrilamida al 8% co–polimerizado con inulina de achicoria al 2% (p/v). Los extractos se disolvieron en buffer de muestra en condiciones no reductoras, y se sometieron a electroforesis a 60 V.

El SDS–PAGE fue teñido con azul de Coomassie, mientras que el gel co–polimerizado con inulina fue teñido con el sistema ácido periódico–Schiff (PAS– Sigma Aldrich). Como control positivo se usó inulinasa comercial *Frucozyme L* (Sigma) de *Aspergillus niger*.

Resultados y discusión

Aislamiento, selección y determinación fenotípica y bioquímica

Se formó un banco total de 6 cepas aisladas sobre medio MRS, a partir de aguamiel en condiciones aerobias como anaerobias. Las cepas tuvieron características del género *Lactobacillus* según su morfología celular en forma bacilar, su tinción Gram positiva, su capacidad de crecer en ausencia de O_2 , y carencia de endosporas.

Determinación de la actividad de β –fructosidasa

La fermentación de los carbohidratos ensayados produjo la formación de productos ácidos, revelado por el vire de color violeta a amarillo del indicador de pH contenido en el medio. De las seis cepas, la cepa Am3 fermentó glucosa (como se esperaba), fructanos de agave y fructanos de inulina. Este perfil fermentativo Am3 coincide

con los resultados de Makras et al. (2005), donde *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* fermentó FOS e inulina a ácido láctico y otros metabolitos.

La cepa Am3 al fermentar dichos carbohidratos generó un cambio de color visible en el medio, lo que sugiere que la cepa Am3 asimila fructanos de agave e inulina a través de la producción de enzimas con actividad β –fructosidasa. *Determinación molecular.* El alineamiento de la secuencia obtenida correspondiente al gen 16S del DNAr, demostró que la cepa Am3 presentó un 100% de identidad con la secuencia del gen 16S del DNAr de *Lactobacillus casei*.

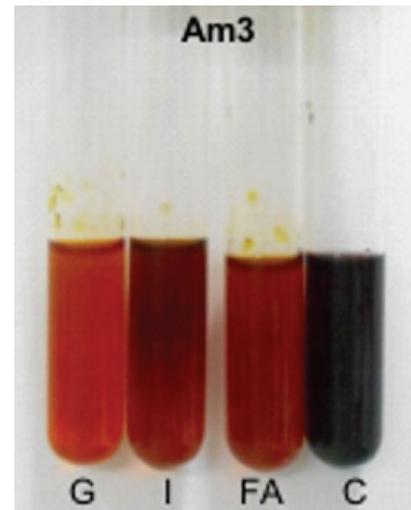


Figura 1. Fermentación de glucosa (G), inulina (I) y fructanos de agave (FA) de la cepa Am3. Control (C).

Identificación de la actividad β –fructosidasa

El extracto de proteínas extracelular inducido con fructanos de agave generó un halo de digestión (figura 2B, carril 2). No obstante, los extractos extracelulares inducidos por glucosa o inulina no exhibieron actividad enzimática sobre el gel co–polimerizado con inulina (figura 2B).

El patrón electroforético del extracto de proteínas extracelular inducido con fructanos de agave (figura 2A, carril 2) mostró dos bandas di-

ferenciales (indicadas con flechas), observadas en el SDS-PAGE, que corresponden justo donde se percibe el halo de actividad de β -fructosidasa (flecha en la figura. 2B, carril 2). Las bandas corresponden a un peso estimado de 105 y 116 kDa. Por lo anterior puede establecerse que halla dos o más bandas de proteína o isoformas con actividad β -fructosidasa.

Aunque *L. casei* fue capaz de crecer en medio con inulina, el extracto enzimático extracelular no mostró actividad enzimática. Contrario a ese resultado, Kuzuwa et al. (2012) encontraron que el extracto de proteínas extracelulares de *L. casei* IAM1045 degradan inulina cuando se creció en presencia de ésta.

En otro estudio se obtuvo una β -fructofuranosidasa intracelular en *L. plantarum* cuando se creció en FOS de cadena corta (Saulnier, 2007), lo que señala que las propiedades de las enzimas dependen del sustrato que se usa para inducirlos. Esto sugiere la posibilidad de que la inulina induzca en *L. casei* una enzima fructanhidrolasa de pared celular o citoplasmática.

Por su parte, no se notó actividad β -fructosidasa cuando *L. casei* creció en presencia de glucosa. Goh et al. (2007) encontraron que *L. casei* 1195 cuando se creció en FOS en presencia limitada de glucosa, la síntesis de β -fructosidasa para la utilización de FOS está sujeta a represión catabólica por glucosa.

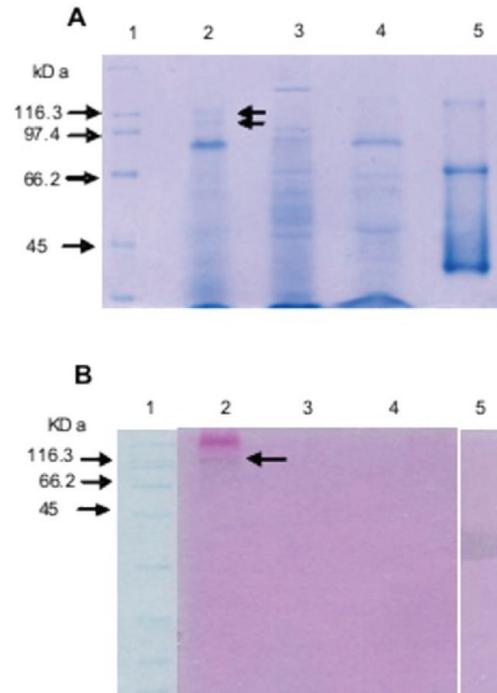


Figura 2. Perfil electroforético de las proteínas extracelulares de *L. casei* en SDS-PAGE (A) y gel de poliacrilamida 10% co-polimerizado con inulina 2%, (p/v) (B). Carril 1, marcador de peso molecular Broad Range. Extracto de proteínas extracelular inducido con: fructanos de agave (carril 2), inulina (carril 3), glucosa (carril 4). Inulinasa de *Aspergillus niger* (carril 5).

Conclusiones

A partir de aguamiel se logró aislar *Lactobacillus casei* con actividad enzimática de β -fructosidasa. El extracto de proteínas extracelular de *L. casei* inducido con fructanos de agave reveló actividad enzimática sobre inulina contenida en geles de poliacrilamida.

Agradecimientos

A Lucía Delgadillo Ruiz y Perla Ivonne Gallegos Flores por su valioso apoyo y asesoría en la elaboración de este proyecto.

Bibliografía

- Chalmers, J., Lidgett, A., Cummings, N., Cao, Y., Forster, J., Spangenberg, G. (2005). Molecular genetics of fructan metabolism in perennial ryegrass. *Plant Biotechnology Journal*, 3:459–474.
- Escalante–Minakata, P., Blaschek, H.P., Barba de la Rosa, A.P., Santos, L., De León–Rodríguez, A. (2008). Identification of yeast and bacteria involved in the mezcal fermentation of *Agave salmiana*. *Letters in Applied Microbiology*, 46: 626–630.
- Garrity, G.M., Brenner, D.J., Krieg, N.R., Staley, J.T. (2005). *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Volumen 2: The proteobacteria. Segunda edición. USA: Springer.
- Goh, Y.J., Lee, J.H., Hutkins, R.W. (2007). Functional analysis of the fructooligosaccharide utilization operon in *Lactobacillus paracasei* 1195. *Applied and Environmental Microbiology*, 73:5716–5724.
- Jaramillo, G.D., Meléndez, A.P., Sánchez, M.O.F. (2010). Evaluación de la producción de bacteriocinas a partir de lactobacilos y bifidobacterias. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2):193–209.
- Kuzuwa, S., Yokoi, K., Kondo, M., Kimoto, H., Yamakawa, A., Taketo, A., Kodaira, K.I. (2012). Properties of the inulinase gene levH1 of *Lactobacillus casei* IAM 1045; cloning, mutational and biochemical characterization. *Gene*, 495: 154–162.
- Laemmli, U.K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227: 680–695.
- Liu, C., Gong, F., Li, X., Li, H., Zhang, Z., Feng, Y., Nagano, H. (2012). Natural populations of lactic acid bacteria in douchi from Yunnan Province, China. *Journal of Zhejiang University–SCIENCE B (Biomedicine & Biotechnology)*, 13(4):298–306.
- MacFaddin, J.F. (2003). *Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia clínica*. Tercera edición. Buenos Aires, Argentina: Editorial Médica Panamericana.
- Makras, L., Van Acker, G., De Vuyst, L. (2005). *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* 8700:2 degrades inulin–type fructans exhibiting different degrees of polymerization. *Applied and Environment Microbiology*, 71:6531–6537.
- Mancilla–Margalli, N.A., López, M.G. (2006). Water–soluble carbohydrates and fructan structure patterns from *Agave* and *Dasyliro* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54:7832–7839.
- Müller, M., Lier, D. (1994). Fermentation of fructans by epiphytic lactic acid bacteria. *Journal of Applied Bacteriology*, 76:406–411.
- Petrick, H.A.R., Ambrosio, R.E., Holzappel, W.H. (1988). Isolation of a DNA probe for *Lactobacillus curvatus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 54(2): 405–408.
- Saulnier, D.M., Molenaar, D., de Vos, W.M., Gibson, G.R., Kolida, S. (2007). Identification of prebiotic fructooligosaccharide metabolism in *Lactobacillus plantarum* WCFS1 through microarrays. *Applied and Environment Microbiology*, 73:1753–1765.
- Virgen–Ortíz, J.J., Ibarra–Junquera, V., Osuna–Castro, J.A., Escalante–Minakata, P., Mancilla–Margalli, N.A., Ornelas–Paz, J.J. (2012). Method to concentrate protein solutions based on dialysis–freezing–centrifugation: Enzyme applications. *Analytical Biochemistry*, 426:4–12.

Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre sustratos de *Agave salmiana* y *Agave weberi*

Alejandra Heredia–Solís, Rómulo
Bañuelos–Valenzuela
Unidad Académica de Medicina Veterinaria
y Zootecnia de la UAZ
Edgar León Esparza Ibarra
Unidad Académica de Ciencias Biológicas de la UAZ

correo–e: heredia0002@hotmail.com

Resumen

Los hongos comestibles del género *Pleurotus*, han mostrado adaptabilidad a sustratos con alto contenido lignocelulósico, por lo que los bagazos de *Agave salmiana* y *Agave weberi* generados como subproductos de la industria del mezcal en Zacatecas, pueden ser una alternativa viable como sustrato para la producción de hongos. *Pleurotus ostreatus* creció en ambos bagazos de Agave, demostrando que pueden emplearse como sustrato en cultivos de hongos comestibles. Posteriormente se realizó un análisis bromatológico a diversos tratamientos utilizados como sustratos para un segundo cultivo del hongo *P. ostreatus* para establecer las condiciones óptimas de cultivo.

Palabras clave: Análisis bromatológico, bagazo de Agave y hongos comestibles.

Introducción

En la actualidad, la biomasa lignocelulósica y en especial los subproductos agroindustriales han dejado de ser productos de desecho–problema, para convertirse en materia prima potencial para diversos procesos tanto de tipo agrícola como industrial (Hui–Bao, 2012). Gran variedad de subproductos agrícolas han sido utilizados como sustratos para el cultivo de *P. ostreatus*. La bioconversión de los residuos lignocelulósicos a través del cultivo de especies de *Pleurotus* ofrece la oportunidad de utilizar los recursos renovables en la producción de alimentos ricos en proteínas (Sánchez–Riano, 2010) sin métodos de procesamiento y materiales de enriquecimiento costosos. Una amplia gama de desechos agrícolas como paja de arroz, de trigo, de soya, maíz, bagazos, residuos de algodón, tallos y hojas de plátano, aserrín, entre otros, son ricos en lignina y celulosa pueden ser utilizados para la producción de *Pleurotus* (Sánchez–Riano, 2010; Akyuz M., y Kirbag S., 2009; Chang S.T., Miles P.G., 2004). Algunas especies de *Pleurotus* producen altos rendimientos, en cuestión de unas pocas semanas, ya que estos hongos pueden convertir 100 gramos de desechos agrícolas en setas frescas (de 50 a 70 gramos) (Akyuz y Kirbag, 2009). Los residuos agroindustriales proveen las fuentes de carbono, nitrógeno, azufre y fósforo necesarias para el desarrollo adecuado de la biomasa fúngica.

En general *P. ostreatus* contienen 90% de agua y 10% de materia seca. Tienen una composición química que los hace atractivos desde un punto de vista nutricional, altos en proteínas, minerales (calcio, fósforo y hierro), carbohidratos y bajos contenidos de lípidos, además de fibra, lo que los hace muy digeribles (Sánchez, 2010; Sánchez–Riano, 2010; Chang & Miles, 2004; Sakoda & Suzuki, 2001). Además contienen vitaminas (tiamina, riboflavina y niacina) y una abundante

cantidad de aminoácidos esenciales. Su contenido energético se encuentra entre 250 y 350 cal/kg de hongo fresco (Akyuz M., y Kirbag S., 2009).

Zacatecas cuenta con denominación de origen para la producción de mezcal siendo el segundo productor a nivel nacional de esta bebida destilada y cuenta con dos regiones, una que utiliza como materia prima el *A. salmiana* y otra el *A. weberi*. En ambas regiones se genera como subproducto de la molienda, el bagazo de Agave, el cual se acumula en el ambiente y se degrada muy lentamente, pero sobre todo no se le da un uso que genere beneficios; por ello se propone utilizarlo como sustrato para el cultivo del hongo comestible *P. ostreatus*.

Metodología

La primera etapa fue cultivar el hongo *P. ostreatus*. La cepa se inoculó en medio sólido conteniendo extracto de malta–agar (EMA) e incubadas a 28 °C para su crecimiento micelial. Para su cultivo se utilizó como sustrato bagazos de *A. salmiana* y *A. weberi*; fueron primero pasteurizados, luego se dejaron enfriar por 3 h a temperatura ambiente y después se inóculo a *P. ostreatus* en 300 gramos de bagazo. Se colocaron en bolsas de polipapel y posteriormente se incubaron a 27 °C por 60 días en obscuridad y con una humedad relativa del 80 al 90%.

Una vez que se observó crecimiento del hongo en el bagazo, se diseñaron 12 tratamientos para utilizarlos como sustrato para un nuevo cultivo de *P. ostreatus* (tabla 1). Así mismo se les realizó un análisis bromatológico que consiste en la determinación de humedad, extracto etéreo, proteína cruda, cenizas y fibra cruda, de acuerdo a las metodologías establecidas por la AOAC (Association of official analytical chemists). Por otra parte se determinó el porcentaje de azúcares reductores totales (ART) a los 12 sustratos, em-

pleando el método de ácido 3,5–dinitrosalicílico (DNS) (Miller G.L., 1959).

Resultados y discusión

En cuanto a la producción *P. ostreatus*, se observó que creció sobre ambos bagazos (*A. salmiana* y *A. weberi*) empleados como sustrato, a los 60 días de incubación. *P. ostreatus* no solo fue eficiente para la degradación de lignina y celulosa, sino que también dio una buena cantidad de cuerpos fructíferos.

Tabla 1
Diseño de tratamientos de sustratos para cultivo de *P. ostreatus*

Tratamiento	Combinación de las mezclas para sustrato		
	Bagazo Agave	Salvado de Trigo	Viruta/Paja
SALM	<i>Salmiana</i> 100%		
SALM–SAL	<i>Salmiana</i> 85%	15%	
SALM–P–SAL	<i>Salmiana</i> 65%	5%	Pino 30%
SALM–C–SAL	<i>Salmiana</i> 65%	5%	Cedro 30%
SALM–N–SAL	<i>Salmiana</i> 65%	5%	Nogal 30%
SALM–A–SAL	<i>Salmiana</i> 65%	5%	Avena 30%
WEB	<i>Weberi</i> 100%		
WEB–SAL	<i>Weberi</i> 85%	15%	
WEB–P–SAL	<i>Weberi</i> 65%	5%	Pino 30%
WEB–C–SAL	<i>Weberi</i> 65%	5%	Cedro 30%
WEB–N–SAL	<i>Weberi</i> 65%	5%	Nogal 30%
WEB–A–SAL	<i>Weberi</i> 65%	5%	Avena 30%

En la siguiente etapa se realizó un análisis bromatológico (tabla 2) a las diversas mezclas utilizadas como sustrato para el cultivo de la segunda siembra del hongo, para establecer la fuente de nutrientes que se le proporcionó a este basidiomycete para su crecimiento.

Según los resultados obtenidos en el análisis bromatológico y particularmente en proteínas se espera que los tratamientos SALM–SAL y WEB–SAL que contienen el bagazo de ambos agaves individualmente mezclado con un 15% de salvado de trigo, se obtengan cuerpos fructíferos del hongo con mayores porcentajes de proteínas si asumimos el principio de que la materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma. Otro punto que es importante señalar es que todos los tratamientos contienen altos porcentajes de fibra; en su mayoría superiores a 50%, esencial para su crecimiento ya que su sustrato en la naturaleza se da principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina.

Por su parte el porcentaje de cenizas presentes en los diversos tratamientos es elevado; suficiente para proporcionar al hongo los minerales necesarios para sus requerimientos, ciertos minerales como azufre (necesario para ciertos aminoácidos como cisteína y metionina), asimismo el potasio y el magnesio (activa gran número de enzimas). Uno de los factores importantes que afectan el proceso de biodegradación es la presencia de metales en el sustrato. Se ha encontrado que el cobre induce la lacasa por la expresión de los genes y también afecta positivamente en la actividad y estabilidad de la enzima en *P. ostreatus*. La presencia de metales en el medio juegan un rol importante en la regulación de actividad enzimática extracelular, procesos que son de suma importancia para la adquisición de carbono y de energía por el micelio de los hongos (Petr, 2005).

Las fuentes de carbono proveen la estructura y requerimientos energéticos de la célula fúngica, las especies de hongos utilizan varios polisacáridos

dos, monosacáridos, entre otros (Akyuz y Kirbag, 2009); por ello es necesario conocer las concentraciones de ART presentes en los sustratos, en su mayoría los sustratos que tienen como base *A. salmiana* presentan altos contenidos de ART, y ello es debido a que es poco eficiente la extracción de los azúcares en el proceso de la molienda de las industrias que utilizan este agave; mientras que para *A. weberi* el contenido de ART es más bajo, ya que emplean molinos más tecnificados para la extracción eficiente de los jugos del agave.

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que los residuos sólidos generados en la industria mezcalera en el estado de Zacatecas: bagazos de *A. salmiana* y *A. weberi* pueden ser buen sustrato para el cultivo del hongo *P. ostreatus*, ya que contienen moléculas y elementos que el hongo necesita para que inicie y realice sus funciones de desarrollo y reproducción. Con las pequeñas diferencias que

ambos bagazos tienen en cuanto a la composición química y estructural, se podrían emplear para producir hongos de *P. ostreatus* con características nutrimentales que difieran entre sí, debido a que la composición del sustrato altera la calidad nutrimental. Con estos resultados se propone la degradación a nivel industrial de los bagazos de agave por medio del cultivo del hongo comestible *P. ostreatus* como una alternativa sustentable en términos ecológicos, sociales y comercialmente posibles.

Bibliografía

- Akyuz M., y Kirbag S. (2009). Nutritive value of *Pleurotus eryngii* (DC. ex Fr.) quel. var. *eryngii* grown on various agro-wastes. *The philippine agricultural scientist*. 92: 327–331.
- Chang S.T., Miles P.G. (2004). Mushrooms cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact. Second edition. Boca raton London New York. Washington, D.C.

Tabla 2
Análisis bromatológicos a sustratos

Tratamiento	Humedad (%)	Cenizas (%)	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Fibra (%)	Carbohidratos (mg/L)
SALM	7.36	6.58	0.84	3.17	56.09	10.46
SALM-SAL	8.39	6.44	1.48	5.48	49.44	10.11
SALM-P-SAL	7.74	4.77	1.35	3.14	57.53	7.8
SALM-C-SAL	8.18	4.75	1.11	3.14	60.3	8.08
SALM-N-SAL	7.63	5.41	1.06	3.23	58.89	9.68
SALM-A-SAL	7.38	7.1	1.17	3.76	47.75	14.55
WEB	7.9	6.56	0.5	3.7	44.62	3.23
WEB-SAL	8.4	6.43	1.19	5.93	39.68	3.96
WEB-P-SAL	7.75	4.76	1.13	3.49	50.07	3.1
WEB-C-SAL	8.18	4.74	0.89	3.48	52.84	3.39
WEB-N-SAL	7.63	5.4	0.84	3.57	51.43	4.99
WEB-A-SAL	7.38	7.09	0.95	4.1	40.29	9.86

- Hui-Bao H., Tarbasa M., Mun Chae H., Gyan You S. (2012). Molecular properties of water-unextractable proteoglycans from *hypsizygus marmoreus* and their in vitro immunomodulatory activities. *Molecules*. 17: 207–226.
- Miller G.L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*. 31 421–426.
- Petr B., Vendula V., Vera M., Jiri G. (2005). Degradation of lignocellulose by *Pleurotus ostreatus* in the presence of copper, manganese, lead and zinc. *Research in Microbiology*. 156: 670–676.
- Sánchez C. (2010). Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. *Appl Microbiol Biotechnol*. 85:1321–1337.
- Sánchez-Riano A.M., Gutiérrez Morales, A.I., Muñoz Hernández J.A., Rivera Barrero C.A. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Revista Tumbaga*. 5: 61–91.
- Wang D., Sakoda A., Suzuki M. (2001). Biological efficiency and nutritional value of *Pleurotus ostreatus* cultivated on spent beer grain. *Bioresource Technology*. 78: 293–300.