

EFFECTO DE LA BIO-DEGRADACIÓN CON CEPAS NATIVAS DE *Pleurotus djamor*, RN81 Y RN82, SOBRE PARÁMETROS QUÍMICOS Y DEGRADABILIDAD *in situ* DE SUSTRATOS LIGNOCELULÓSICOS

Effect of Biodegradation With Native Strains of *Pleurotus djamor*, RN81 and RN82, on Chemical Parameters and *in situ* Degradability of Lignocelulosic Substrates

Manuel Humberto Ruiloba ^{1*}, Aracelly Vega ¹, Heriberto Franco ¹, Carlo Solís ² y Ramón Florencio García-Castillo ³

¹Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI), Facultad de Recursos Naturales, David, Chiriquí, Panamá.

²Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias, David, Chiriquí, Panamá. ³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Nutrición Animal, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. * mruiloba15@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del proceso de cultivo de dos cepas nativas de *Pleurotus djamor* (RN81 y RN82) y una cepa extranjera *Pleurotus pulmonarius* (RN2) sobre la biodegradación de la paja de arroz, rastrojo de maíz y tuza de maíz en términos de la composición química y degradabilidad ruminal. Estos forrajes fueron manejados siguiendo un procedimiento para la producción comercial de hongos, que incluyó la pasteurización del sustrato a 85°C y por 80 minutos e inoculación con las cepas de hongos, incubación y cosecha, con un tiempo total del proceso de 45 días. Los sustratos post cosecha fueron sometidos a análisis químico y prueba de degradabilidad ruminal *in situ*. Las tendencias de comportamiento indican que, el proceso de cultivo de los hongos disminuyó la *concentración de los parámetros químicos* (ceniza, proteína cruda, fibra en detergente neutro, fibra en detergente ácido, hemicelulosa, celulosa, lignina) en los sustratos bio-degradados. En el sustrato no tratado y bio-degradado la paja de arroz presentó la mayor degradabilidad *in situ*. El proceso de cultivo de las cepas de *Pleurotus* spp. mejoró la degradabilidad *in situ* de la materia seca de la paja de arroz y rastrojo de maíz, sin diferencia significativa ($P \geq 0,05$) entre cepas, no así la de la tuza de maíz. En cambio, la degradabilidad *in situ* de los componentes químicos fue mejorada por la RN2, excepto la hemicelulosa, disminuida por la RN81 y afectada en forma variada por la RN82. Se concluye que, al igual que la RN2, las cepas nativas mejoraron la calidad nutritiva de la paja de arroz y rastrojo de maíz bio-degradado, no así la de la tuza de maíz bio-degradada.

Palabras clave: *Pleurotus djamor*, *Pleurotus pulmonarius*, biodegradación, desecho fibroso.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of the process of growing two native strains of *Pleurotus djamor* (RN81 and RN82) and foreign strain *Pleurotus pulmonarius* (RN2) on biodegradation of rice straw, corn stover and corn gopher in term of chemical composition and ruminal degradation. These substrates were handled following a procedure for commercial production of fungi, including pasteurization of the substrate at 85°C for 80 minutes and inoculated with the strains of fungi, incubation and harvesting, with a total process time of 45 days. Post harvested substrates were subjected to chemical analysis and *in situ* ruminal degradability. Behavior trends indicate that the process of cultivation of mushrooms decreased concentration of the chemical parameters (ash, crude protein, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, hemicellulose, cellulose and lignin) in the biodegraded substrates. In the no treated and bio-degraded substrate rice straw had the highest *in situ* degradability. The process of cultivation of *Pleurotus* spp strains improved *in situ* degradability of dry matter of rice straw and corn stover, without significant difference ($P \geq 0,05$) between strains, but not in the case of corn gopher. In contrast, the *in situ* degradation of the chemical components was improved by the RN2, except hemicellulose, which was diminished by RN81 and variously affected by the RN82. It is concluded that in the same manner as RN2, native strains improved the nutritional quality of rice straw and corn stover, but not the corn gopher.

Key words: *Pleurotus djamor*, *Pleurotus pulmonarius*, biodegradation, fibrous, waste.

INTRODUCCIÓN

En Panamá se han recolectado cepas silvestres de *Pleurotus djamor*, las cuales fueron estudiadas en términos de

su capacidad de producción de cuerpos fructíferos en sustratos de paja de arroz (*Orizae sativa*) y pulpa de café (*Coffea arabica*), destacándose las cepas identificadas como RN81 y RN82, las que presentaron valores de eficiencia biológica entre 57,7 y 72,7 %, aceptables para uso comercial [50].

El cultivo de hongos representa una alternativa de bio-conversión de los desechos lignocelulósicos [11], ya que durante su crecimiento y desarrollo degrada celulosa, hemicelulosa y lignina, haciéndolos más digeribles a los rumiantes. Las especies de *Pleurotus* son una de las mejores degradadoras de materiales lignocelulósicos, reportándose reducciones hasta del 80% en la lignina, celulosa y hemicelulosa [24, 30], por medio de la degradación con enzimas externas como la lacasa, manganeso peroxidasa y lignina peroxidasa [26, 30, 43]. Con estas especies se han utilizado diferentes sustratos lignocelulósicos como la paja de arroz [26], paja de trigo (*Triticum aestivum*) [41], paja de cebada (*Hordeum vulgare*) [18], rastrojo de maíz (*Zea mays*) [19, 26, 41] tuza de maíz [10]; rastrojo de tomate (*Solanum lycopersicum*) [44]; pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*) [5] y otros. Sin embargo, los resultados obtenidos indican efectos variables sobre el sustrato, lo que parece depender de su composición, duración del tiempo de cultivo y de la cepa [27, 33, 35]; excepto el efecto positivo consistente sobre el incremento en el contenido de proteína cruda en el sustrato [26, 35, 36].

Se ha encontrado que la disminución del complejo lignocelulósico en forrajes conlleva un aumento en la digestibilidad y consumo en rumiantes [1, 9, 35, 40, 51]. El crecimiento del hongo en la paja parece no afectar la fermentación ruminal, ni el desarrollo de los microorganismos ruminales, ya que Montañez y col. [35] y Jalc y col. [25], no encontraron diferencias significativas en parámetros ruminales como el pH, N amoniacal y ácidos grasos volátiles, en paja de trigo no tratada y tratada con *Pleurotus*.

Dentro del proceso de producción de hongos comestibles, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de las cepas nativas RN81 y RN82 sobre la composición química y calidad nutricional de la paja de arroz, rastrojo de maíz y tuza de maíz, como forrajes bio-degradados para la alimentación de rumiantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la planta de hongos comestibles de la Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI), en David, Chiriquí, Panamá. Se estudiaron dos cepas (CEP) nativas (RN81 y RN82) y una control (RN2) y los sustratos lignocelulósicos (SU) paja de arroz (PA), rastrojo de maíz (RM) y tuza de maíz (TM) utilizando un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 3 x 3 y tres repeticiones por tratamiento. Las cepas nativas RN81 y la RN82 de la especie *Pleurotus djamor* fueron colectadas en la granja del Centro Pastoral Santa Fé, Darién, Panamá, en septiembre 2002 y la cepa RN2, de la especie *Pleurotus pulmonarius*, procedió de los Estados Unidos de Norteamérica (EUA). Estas cepas se mantienen en el cepa-

rio del Centro de Investigación en Recursos Naturales de la UNACHI, a 25 ± 1°C, en un medio Agar Papa Dextrosa (EMD Chemicals Inc., EUA), con transferencia mensual. Los sustratos fueron obtenidos en cultivos comerciales de arroz bajo inundación y de maíz, cosechados mecánicamente, los que se colectaron el mismo día que se realizó su cosecha. Inmediatamente después, éstos se secaron al sol hasta una humedad en la paja de arroz, rastrojo de maíz y tuza de maíz de 10, 20; 10, 80 y 11,98 %, respectivamente, y se guardaron en sacos bajo techo.

Para el proceso de bio-conversión de producción de hongos, la PA y RM fueron picadas manualmente hasta un tamaño de partícula de 2 cm aproximadamente y la tuza de maíz fue molida utilizando un molino de martillo (Muyang, TWLY Serie impulsador alimentador, Muyang Inc., China) hasta un tamaño de partícula de 2 a 3 cm. Para la pasteurización de los sustratos y en base a las repeticiones establecidas por tratamiento, estos se colocaron en canastas que se sumergieron en agua caliente a 85°C durante 80 minutos (min); inmediatamente después se pusieron a drenar durante toda la noche y luego se colocaron en un cuarto libre de contaminación hasta que los sustratos se enfriaron a la temperatura ambiente de alrededor de 28°C [50]. Bajo estas condiciones, la PA, RM y TM lograron una humedad de 73,40; 74,87 y 62,17 %, respectivamente.

El inóculo de cada cepa se preparó en base a la metodología de Gaitán-Hernández y col. [18] utilizando sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*). Para esto se prepararon muestras de inóculo (1 cm² de micelio en PDA/200 g de semilla de sorgo forrajero hidratado y esterilizado) que se colocaron en un cuarto de incubación bajo oscuridad a 23 ± 1°C, lográndose el inóculo primario. Para la inoculación o siembra de los sustratos se mezcló la semilla de sorgo recubierta con el micelio (60 g) con 1,0 kg de sustrato pasteurizado (6 % de inoculación, en base a peso fresco) y se colocó en una bolsa plástica. Con cada cepa se inocularon 15 bolsas, las que se incubaron en un cuarto limpio, libre de contaminantes, oscuro y a temperatura de 23 ± 1°C. Bajo estas condiciones, las bolsas permanecieron por 15 días (d), permitiendo descartar las bolsas contaminadas básicamente por *Trichoderma*. Luego se acondicionaron en el área de producción, a una humedad relativa entre 80 a 95%, temperatura de 24°C y luminosidad e intercambio gaseoso adecuado. Bajo estas condiciones, las bolsas se mantuvieron por 30 d, realizándose tres cosechas del cuerpo fructífero.

Se tomaron muestras del sustrato no tratado (tres/sustrato) y del bio-degradado (dos/sustrato/repeticion) para análisis de materia seca (MS), ceniza, proteína cruda (PC) [6], fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), lignina ácido detergente (LAD), celulosa (CEL) y hemicelulosa (HEM) [22] y determinación de la degradabilidad ruminal *in situ* (D) de la MS [32].

Como parámetro de evaluación del efecto del proceso de producción del hongo sobre el sustrato se utilizó la diferen-

cia porcentual resultante en la concentración de un parámetro químico del sustrato bio-degradado con respecto al sustrato no tratado (CCBsf), en base a la siguiente relación: $CCBsf, \% = ((- CPsf + CPsb)/CPsf)*100$, donde CPsf es la concentración del parámetro en el sustrato no tratado y CPsb la concentración de éste en el sustrato bio-degradado, base seca, de tal forma que un valor positivo o negativo de CCBsf indica un aumento o disminución en la concentración del parámetro en el sustrato bio-degradado, respectivamente.

Para la determinación de la degradabilidad *in situ* (D) se utilizó la técnica de Mehrez y Ørskov [33]. Los sustratos se colocaron en bolsas de nylon (10,5 x 23,0 cm y porosidad 1200 orificios/cm²) y éstas en sacos de malla de nylon (30 x 30 cm, con orificios de 0,56 x 0,5 cm), las que se incubaron en el rumen de un bovino (*Bos indicus*) adulto con fistula ruminal, alimentado a base de pastoreo rotacional (5 d de pastoreo y 20 d de descanso) en *Brachiaria dictyonuera*, fertilizada, y libre acceso a agua y una mezcla mineral. Se utilizaron dos sacos de malla y cada tratamiento se incubó en duplicado encada saco de malla, a tiempos de incubación (TI) de 0;48 y 72 horas (h). En cada bolsa se introdujeron aproximadamente 5,0 g de muestra, pesadas en una balanza analítica (modelo XPE, Mettler Toledo). Adicional a las muestras correspondientes a la bio-degradación, en igual forma se incubaron muestras no tratadas de los diferentes sustratos. Para la comparación de la D entre sustratos no tratados se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 3 x 3 (SU y TI) y entre sustratos bio-convertidos un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 3 x 3 x 3 (SU, CE y TI), donde la bolsa de malla constituyó el bloque (BL). En total se incubaron 36 bolsas/saco de malla. Una vez cumplido el tiempo de incubación se extrajo del saco de malla las correspondientes bolsas, que inmediatamente fueron lavadas con abundante agua de la llave hasta que el agua saliera incolora. Las bolsas correspondientes al tiempo cero se introdujeron en el rumen por espacio de cinco segundos y se lavaron igual que las otras. Las bolsas lavadas se secaron en el horno de aire (QL, modelo 40 GC, Quincy Lab Inc., Chicago, EUA) a 65°C por 48 h y luego se pesaron en una balanza analítica (modelo XPE, Mettler Toledo) para determinar por diferencia la cantidad de materia seca (MS) o componente

químico desaparecido y calcular el nivel de D en el tiempo fijado. El efecto del proceso de producción de hongo sobre la D de la MS del material bio- degradado se estimó utilizando la siguiente relación: $DBsf, \% = ((- CPsf + Cpsb)/ CPsf)*100$.

Cada variable independiente se sometió a un análisis de normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilk [29] y posteriormente a un análisis de varianza, utilizando el programa de análisis computacional SAS (46). Se utilizó una prueba de rangos múltiples de Tukey ($\alpha = 0,05$) o diferencia mínima significativa para identificar diferencias entre medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la bio-degradación sobre parámetros químicos de los sustratos

El contenido de los parámetros lignocelulósicos y ceniza obtenido para la PA no tratada están dentro de rangos reportados [4, 7, 23, 42, 45], excepto la PC, que fue superior a valores reportados por estos autores, 3,20 y 6,24 %, base seca (TABLA I). Esta diferencia parece deberse a contaminación del follaje del arroz con residuos de fertilizantes nitrogenados, ya que éste se cultivó bajo el sistema de fangueo. Sin embargo, la PC del arroz resultó dentro de sus rangos normales, después de la pasteurización en agua caliente, con un valor promedio de 6,33 ($\pm 0,498$) %, lo que indica que el material parece haberse contaminado durante el periodo de cultivo o cosecha con una fuente de nitrógeno soluble en agua, ejemplo urea. La composición química del RM y TM no tratados también están dentro de los rangos reportados en la literatura [17, 31, 39, 48]. Con el proceso de pasteurización, estos residuos también disminuyeron su contenido de PC, aunque en menor grado que la PA, obteniéndose valores promedio de 4,88 ($\pm 0,392$) y 3,53 ($\pm 0,195$) %, respectivamente. En general, los residuos fibrosos de cultivos agrícolas presentan variación en su composición química [4].

Los sustratos no tratados presentaron diferencia significativa ($P \leq 0,05$) en el contenido de PC (TABLA I), pero también al pasteurizarlos ($P \leq 0,05$), lo que pudo afectar la producción de hongo y bio-degradación de los sustratos, ya que se

TABLA I
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS SUSTRATOS NO TRATADOS, BASE SECA (%) ⁽¹⁾

Sustrato	Ceniza	Proteína cruda	Fibra detergente neutra	Fibra detergente ácida	Hemi-celulosa	Celulosa	Lignina	Contenido celular
Paja de arroz	15,27 ^a $\pm 0,08$	11,05 ^a $\pm 0,36$	66,38 ^c $\pm 0,69$	36,75 ^c $\pm 1,10$	29,63 ^b $\pm 0,40$	33,70 ^c $\pm 0,35$	3,38 ^a $\pm 0,77$	33,62 ^a $\pm 0,69$
Rastrojo de maíz	8,50 ^b $\pm 0,17$	6,54 ^b $\pm 0,36$	70,61 ^b $\pm 0,39$	41,80 ^a $\pm 0,30$	28,80 ^b $\pm 0,40$	38,25 ^a $\pm 0,46$	3,56 ^a $\pm 0,27$	29,39 ^b $\pm 0,34$
Tuza de maíz	2,76 ^c $\pm 0,06$	3,99 ^c $\pm 0,18$	81,60 ^a $\pm 1,49$	38,96 ^b $\pm 0,63$	42,64 ^a $\pm 0,90$	35,73 ^b $\pm 0,38$	3,23 ^a $\pm 0,25$	18,40 ^c $\pm 1,49$

⁽¹⁾ Valores con letras no iguales dentro de columna difieren estadísticamente (prueba de Tukey, $\alpha = 0,05$).

han reportado requerimientos específicos de nitrógeno en el sustrato para hongos, como es el caso del *Pleurotus eryngii* con un requerimiento de 1,1 % de N equivalente a 6,87% de PC (Ilbay, M. E., citado por Kurt y Buyukalaca [28]). Además, es posible que aspectos estructurales de la PC del sustrato también afecten su utilización por el hongo. El contenido de cenizas difirió ($P \leq 0,05$) entre sustratos (TABLA I), principalmente con respecto a la PA, lo que dependiendo de la composición mineral, también pudo influir en la bio-degradación, ya que se ha reportado requerimientos específicos de elementos minerales tales como el P, K, Ca y Mg [8], entre otros.

En cuanto a los componentes de la fracción lignocelulósica se obtuvo diferencia entre sustratos ($P \leq 0,05$), excepto con la lignina (TABLA I), resultando el RM con mayores niveles de celulosa y hemicelulosa, carbohidratos que en conjunto con la lignina básicamente proveen la energía al hongo para su crecimiento y producción. Sin embargo, este componente no solo es importante en términos cuantitativos, también se ha indicado que su estructura tiene un papel importante en el potencial enzimático del hongo sobre el sustrato [15]. La PA resultó con el nivel más bajo de FDN, lo que corresponde a un mayor contenido celular (CC), fracción integrada por componentes solubles, altamente digestibles a nivel ruminal. También se ha indicado que a un menor nivel de FDN, el forraje presenta una mayor digestibilidad, menor tiempo de retención y fermentación ruminal [47].

El ANOVA para los parámetros químicos de los sustratos residuales bio-degradados indicó que la concentración de ceniza, PC, FDA, celulosa y lignina resultaron afectadas por la interacción CEP*SUS ($P \leq 0,01$), la FDN por la CEP ($P \leq 0,0001$) y la hemicelulosa por la CEP y SUS ($P \leq 0,0001$). En la TABLA II se presenta las medias ajustadas por cuadrados mínimos para CEP*SUS, donde se observa que las cepas no presentaron efecto sobre la concentración de ceniza de los sustratos bio-degradados, excepto RN2 en la PA, produciendo una menor concentración ($P \leq 0,05$) que las otras cepas, lo que pudo deberse a una mayor incorporación de minerales al cuerpo fructífero o menor desaparición o metabolización de materia orgánica. La PC fue afectada por la RN2 ($P \leq 0,05$) en la PA y TM, con concentraciones menores a las obtenidas con las cepas nativas, lo que pudo estar relacionado con una mayor incorporación de N al cuerpo fructífero o a tallos y micelios residuales en el sustrato bio-degradado con la cosecha [12, 13]. La FDN solo presentó diferencia entre cepas en el RM, donde RN2 produjo un menor nivel que las otras cepas ($P \leq 0,05$), lo que puede indicar menor actividad u utilización metabólica de esta fracción. Al considerar el efecto de las cepas sobre los componentes de la FDN se observó patrones variados, destacándose los niveles más bajos de hemicelulosa con la RN2.

La relación celulosa/lignina (C/L) promedio en los sustratos bio-convertidos fue 23,41; 9,40 y 9,30 para la PA, RM y TM, respectivamente. Esta relación, utilizada como un indica-

TABLA II
MEDIAS AJUSTADAS POR CUADRADOS MÍNIMOS PARA LA CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS QUÍMICOS EN LOS SUSTRATOS BIO-DEGRADADOS, BASE SECA (%) ⁽¹⁾

Cepa	Sustrato	Ceniza	Proteína cruda	Fibra detergente neutra	Fibra detergente ácida	Hemi- celulosa	Celulosa	Lignina	Contenido celular
RN2	Paja de arroz	24,41 ^a ± 1,69	9,24 ^a ± 0,34	45,63 ^a ± 1,91	32,41 ^a ± 0,57	13,22 ^a ± 1,35	31,63 ^{ab} ± 0,59	0,78 ^a ± 0,12	54,37 ^{ad} ± 1,91
RN81	Paja de arroz	23,79 ^a ± 1,19	9,05 ^a ± 0,41	43,92 ^a ± 0,78	27,86 ^b ± 0,82	16,06 ^b ± 0,43	25,93 ^e ± 0,90	1,93 ^{bh} ± 0,11	56,07 ^a ± 0,78
RN82	Paja de arroz	21,09 ^d ± 1,82	7,87 ^d ± 0,11	47,92 ^a ± 1,37	32,07 ^a ± 0,50	15,85 ^{cb} ± 1,72	30,20 ^{cb} ± 1,75	1,88 ^{ch} ± 0,18	52,07 ^d ± 1,37
RN2	Rastrojo de maíz	8,63 ^b ± 0,43	5,85 ^c ± 0,22	57,44 ^b ± 2,24	38,28 ^c ± 2,27	19,15 ^d ± 0,04	35,41 ^a ± 1,94	2,87 ^{dk} ± 0,41	42,56 ^b ± 2,24
RN81	Rastrojo de maíz	9,74 ^b ± 0,26	5,72 ^{cb} ± 0,32	60,14 ^{bc} ± 0,34	38,65 ^c ± 0,40	21,45 ^{ef} ± 0,20	34,15 ^a ± 0,20	4,50 ^{ei} ± 0,26	39,86 ^g ± 0,34
RN82	Rastrojo de maíz	9,57 ^b ± 0,29	5,86 ^c ± 0,33	60,82 ^c ± 1,41	39,66 ^{cd} ± 0,64	21,15 ^f ± 1,15	35,39 ^a ± 0,69	4,26 ^{fi} ± 0,20	39,18 ^g ± 1,41
RN2	Tuza de maíz	1,78 ^c ± 0,13	4,13 ^e ± 0,71	75,45 ^d ± 1,43	37,69 ^{de} ± 0,58	37,76 ^g ± 0,94	34,08 ^a ± 0,47	3,60 ^g ± 0,12	24,95 ^c ± 1,43
RN81	Tuza de maíz	2,03 ^c ± 0,11	5,18 ^{bf} ± 0,32	76,76 ^d ± 2,98	35,43 ^{ef} ± 2,25	40,32 ^h ± 1,17	31,91 ^{ac} ± 1,88	3,52 ^{gj} ± 0,37	24,24 ^c ± 2,98
RN82	Tuza de maíz	2,30 ^c ± 0,17	5,75 ^{cf} ± 0,30	75,79 ^d ± 2,24	35,14 ^f ± 1,46	40,65 ^h ± 0,79	31,94 ^{ae} ± 1,15	3,20 ^{gjk} ± 0,36	24,21 ^c ± 2,24

⁽¹⁾ Valores con letras no iguales dentro de columna difieren estadísticamente (prueba de diferencia mínima significativa, $\alpha=0,05$).

de delignificación [49] indica que, el hongo degradó o utilizó en mayor grado la lignina en la PA, lo que mejoraría su calidad nutritiva en rumiantes, ya que ésta puede limitar la acción de los microorganismos ruminales sobre la celulosa y hemicelulosa [52]. A nivel de cepas, la relación C/L promedio fue de 20,80; 10,03 y 11,26 para RN2, RN81 y RN82, respectivamente, demostrando que el *P. pulmonarius* (RN2) presentó mayor capacidad degradativa de la lignina que las cepas nativas de *P. djamor*. La mayor C/L se obtuvo con la RN2 actuando sobre la PA, con un valor de 40,60.

En cuanto a CCBsf, el ANOVA indicó efecto significativo de CEP*SUS ($P \leq 0,047$) sobre la ceniza, PC, FDA, celulosa y lignina, igualmente el SUS sobre la FDN ($P \leq 0,0001$) y hemicelulosa ($P \leq 0,0001$) y la CEP sobre la hemicelulosa ($P \leq 0,0001$). En general, la concentración de los parámetros químicos en los sustratos bio-degradados disminuyó con respecto al estado no tratado (TABLA III). Independientemente de la cepa, el mayor nivel de cambio ocurrió en la PA y el menor en la TM. Estas diferencias pueden estar relacionadas con el tamaño de la partícula de los sustratos, pero también con la densidad de la partícula y naturaleza de sus componentes químicos. Zhang y col. [52] reportaron para la PA cultivada con *Pleurotus sajor-caju* mejores respuestas con el material molido que picado y con el material molido a un tamaño de partícula de 2,5 cm que a 0,5 cm, pero sin diferencia con el material picado a un tamaño de partícula de 2,5 y 5,0 cm.

En la PA, las cepas produjeron un incremento en la ceniza, con un mayor efecto de RN2 y RN81. Este efecto puede deberse a una menor incorporación de minerales en el cuerpo fructífero, pero también a una mayor desaparición de materia orgánica durante el proceso de pasteurización y bio-conversión. Este aumento no favorece su calidad nutritiva, ya que este forraje es alto en sílice, alrededor del 71,5 % de la ceniza [52], que afecta negativamente la digestión ruminal [2]. En

cambio, la TM presentó valores negativos de CCBsf para la ceniza, lo que puede relacionarse con una mayor incorporación de minerales al cuerpo fructífero o pérdida de estos durante la pasteurización.

Las tres cepas produjeron valores negativos de CCBsf para la PC en la PA y RM, contrario con lo reportado para otras cepas y sustratos [26, 35, 36]. En cambio, la TM presentó valores positivos de CCBsf para la PC, principalmente con las cepas nativas. La producción de cuerpos fructíferos implica una extracción de nitrógeno del sustrato, por lo que algunos autores indican que, este aumento en PC del sustrato bio-degradado se debe a residuos de tallos y cuerpos fructíferos del hongo en el sustrato [12,13]. Por otro lado, la TM presentó la mayor relación C/N en el material fresco (27,81; 50,88 y 88,47 para la PA, RM y TM, respectivamente), lo que pudo favorecer una mayor concentración micelial, ya que relaciones altas de C/N favorecen el crecimiento del micelio [20]. En el proceso de producción del hongo, la PC de la PA disminuyó de 11,05 a 8,72 %, siendo este último nivel, superior al óptimo establecido para una adecuada actividad microbiana ruminal [34]. En cambio, el RM y la TM sufrieron cambios con niveles finales de PC en el material bio-degradado por debajo de este óptimo ruminal.

En general, las cepas produjeron valores negativos de CCBsf para los componentes lignocelulósicos, destacándose en la PA el efecto de la RN2 sobre la hemicelulosa y lignina y de la RN81 sobre la celulosa (TABLA III). También hay que destacar el efecto de las cepas sobre la lignina en el RM y TM, con valores positivos de CCBsf, lo que puede ser un indicativo de un mayor carácter indigerible de esta fracción en estos sustratos, que al disminuir los otros componentes de la MS durante el proceso de pasteurización y bio-conversión, su concentración aumentó en el material residual bio-degradado.

En la PA, las tendencias de cambio indicadas por CCBsf para los diferentes parámetros químicos son similares

TABLA III
MEDIAS AJUSTADAS POR CUADRADOS MÍNIMOS PARA EL CAMBIO % EN LA CONCENTRACIÓN DE PARÁMETRO QUÍMICO DEL SUSTRATO BIO-DEGRADADO CON RESPECTO AL SUSTRATO NO TRATADO (CCBsf) ⁽¹⁾

Cepa	Sustrato	Ceniza	Proteína cruda	Fibra detergente neutra	Fibra detergente ácida	Hemi- celulosa	Celulosa	Lignina	Contenido celular
RN2	Paja de arroz	59,9 ^a	-16,3 ^{af}	-31,2 ^a	-11,7 ^a	-55,4 ^a	-6,14 ^a	-73,8 ^a	61,7 ^a
RN81	Paja de arroz	55,8 ^a	-18,0 ^{ah}	-33,8 ^{ad}	-24,2 ^d	-45,8 ^d	-23,0 ^a	-33,1 ^{bd}	66,8 ^d
RN82	Paja de arroz	38,0 ^e	-28,7 ^{dhi}	-27,8 ^f	-12,7 ^a	-46,5 ^d	-65,4 ^b	-35,0 ^{dhi}	54,9 ^{ad}
RN2	Rastrojo de maíz	1,6 ^b	-10,1 ^{ac}	-18,6 ^b	-8,4 ^{ac}	-32,5 ^b	-7,4 ^a	-19,4 ^{hk}	44,7 ^{ac}
RN81	Rastrojo de maíz	14,7 ^d	-12,3 ^{aei}	-14,8 ^{bg}	-7,5 ^{ac}	-25,4 ^f	-10,7 ^a	27,3 ^{ceg}	35,6 ^{bc}
RN82	Rastrojo de maíz	12,6 ^{bd}	-10,1 ^{ac}	-13,9 ^g	-5,1 ^{cef}	-26,5 ^f	-7,4 ^a	20,0 ^{cei}	33,3 ^{bc}
RN2	Tuza de maíz	-35,6 ^c	4,0 ^{bce}	-7,5 ^c	-3,2 ^{bc}	-11,4 ^{bc}	-4,6 ^a	12,1 ^{ci}	34,2 ^{bc}
RN81	Tuza de maíz	-26,2 ^{cf}	30,0 ^g	-7,1 ^c	-9,0 ^{abf}	-5,4 ^{cg}	-10,7 ^a	9,0 ^{cdej}	32,5 ^{bc}
RN82	Tuza de maíz	-16,5 ^f	44,4 ^{dg}	-7,1 ^c	-9,8 ^{af}	-4,6 ^g	-10,6 ^a	0,0 ^{ijk}	32,2 ^{bc}

⁽¹⁾ Valores con letras no iguales dentro de columna difieren estadísticamente (prueba de diferencia mínima significativa, $\alpha=0,05$).

a las reportadas por Zhang y col. [52], al utilizar *Pleurotus sajor-cju*, excepto para la lignina. Con RM, las tendencias de cambio son similares a las obtenidas por Darwish y col. [14] con *Pleurotus ostreatus*, excepto la ceniza que sufrió un aumento en el presente trabajo. Akinfemic y col. [3] reportaron tendencias de cambio similares a las del presente trabajo para la PC y fracción lignocelulósico de la TM.

Efecto de la bio-degradación sobre la degradabilidad *in situ* de los sustratos

El ANOVA para la D de los sustratos no tratados no indicó efecto de bloque ($P \geq 0,05$), pero sí de la interacción SU*TI para la MS y parámetros químicos ($P \leq 0,02$), excepto la lignina, que resultó afectada solo por TI ($P \leq 0,02$). En la TABLA IV se presentan las medias ajustadas por cuadrados mínimos para el efecto de SU*TI, donde se observa que la D para la MS y parámetros químicos aumentó en función de TI, no así la lignina que no resultó degradada, situación propia de su carácter poco digerible a nivel ruminal. El valor más alto de D para la MS se obtuvo con el RM, 61,1 % a las 72 h de incubación, y no se espera aumentos apreciables a un mayor tiempo de incubación, ya que los forrajes de baja calidad requieren de 48 a 72 h para lograr su máximo nivel de degradación ruminal [37], lo que implica que una alta proporción de estos forrajes podría permanecer en el rumen por más tiempo, disminuyendo la tasa de pasaje y consumo, afectando la calidad nutritiva del forraje. En los tres sustratos, en las primeras 48 h de incubación, la D aumentó a una mayor tasa que la obtenida entre las 48 y 72 h de incubación, lo que está de acuerdo con el carácter asintótico de la D en función del tiempo [32]. El RM presentó los valores más altos de D para la MS, FDN, FDA, hemicelulosa y celulosa; en cambio, la TM presentó los valores más bajos. En el caso de la PC, la D fue mayor para la PA, destacándose el valor obtenido a TI = 0 h, lo que puede asociarse con

la fracción de N no proteico, que aparentemente contaminó a este sustrato a nivel de campo. En general, los valores obtenidos de D son comparables con valores de digestión reportados para estos forrajes [3, 16, 17, 21].

La D del material bio-degradado no presentó efecto de bloque sobre la MS y parámetros químicos ($P \geq 0,05$); en cambio, hubo efecto de CE*TI ($P \leq 0,0001$), SU*TI y CE*SU ($P \leq 0,04$) sobre estos parámetros, excepto la lignina ($P \geq 0,05$). Al analizar las medias ajustadas por cuadrados mínimos de CE*SU (TABLA V) se observa que la MS y componentes químicos de los tres sustratos sufrieron una mayor D con la RN2, pero presentaron efectos variados con la RN81 y RN82, aunque la PC presentó una D alta con la RN81. Independientemente de la cepa, la celulosa resultó con una mayor D que la hemicelulosa, lo que también se observó en el material fresco (TABLA IV). En los sustratos bio-degradados, la lignina no presentó degradación a nivel ruminal; sin embargo, la CCBsf presentó valores negativos con las tres cepas a nivel de la PA, lo que indica que el hongo degradó y utilizó parte de ésta lignina, pero la lignina residual bio-degradada no fue susceptible a la acción ruminal. Es posible que esta lignina residual haya afectado negativamente la degradabilidad de los otros componentes lignocelulósicos, ya que gran parte de esta se encuentra fuertemente ligada a los otros carbohidratos de la pared celular [38].

Al considerar el cambio en la D del material bio-degradado con respecto al no tratado (CDBsf), la MS resultó afectada por CE*TI y SU*TI ($P \leq 0,0001$), al igual que la mayoría de los parámetros químicos; solo la PC y FDA resultaron afectadas por CE*SU. Prácticamente a TI = 0 h las cepas resultaron con valores positivos de CDBsf para los parámetros evaluados, excepto la hemicelulosa (TABLA VI), lo que indica que durante el proceso de producción del hongo los sustratos sufrieron degradación de la MS a compuestos solubles de fácil

TABLA IV
MEDIAS AJUSTADAS POR CUADRADOS MÍNIMOS PARA EL EFECTO DE LA INTERACCIÓN CEPA POR TIEMPO DE INCUBACIÓN RUMINAL (CE*TI) SOBRE LA DEGRADABILIDAD *IN SITU* (D, %) DE LA MATERIA SECA Y PARÁMETROS QUÍMICOS DE LOS SUSTRATOS NO TRATADOS⁽¹⁾

Sustrato	Tiempo de incubación (hora)	Materia seca	Proteína cruda	Fibra detergente neutra	Fibra detergente ácida	Hemicelulosa	Celulosa	Lignina
Paja de arroz	0	17,6 ^a	51,6 ^a	6,4 ^a	4,6 ^a	8,7 ^a	9,3 ^a	0,0 ^a
Paja de arroz	48	45,8 ^b	60,7 ^{bd}	41,0 ^b	42,7 ^b	38,9 ^b	48,4 ^b	0,0 ^a
Paja de arroz	72	51,1 ^c	64,6 ^{bf}	49,4 ^c	52,1 ^c	46,0 ^c	58,1 ^c	0,0 ^a
Rastrojo de maíz	0	15,9 ^{ad}	33,4 ^{ce}	3,9 ^c	3,6 ^a	4,2 ^d	7,7 ^a	0,0 ^a
Rastrojo de maíz	48	47,3 ^e	56,3 ^{adf}	37,8 ^b	35,2 ^e	41,6 ^b	41,7 ^d	0,0 ^a
Rastrojo de maíz	72	61,1 ^b	54,1 ^{adf}	57,4 ^d	58,7 ^f	55,5 ^e	62,6 ^e	0,0 ^a
Tuza de maíz	0	13,6 ^{bd}	27,7 ^e	3,0 ^a	2,0 ^a	4,8 ^d	8,3 ^a	0,0 ^a
Tuza de maíz	48	42,6 ^c	22,5 ^e	38,8 ^b	38,4 ^e	39,1 ^b	46,9 ^b	0,0 ^a
Tuza de maíz	72	49,3 ^e	29,4 ^e	46,9 ^c	48,5 ^c	45,4 ^c	54,1 ^f	0,0 ^a

⁽¹⁾ Valores con letras no iguales dentro de columna difieren estadísticamente (prueba de diferencia mínima significativa, $\alpha=0,05$).

TABLA V
MEDIAS AJUSTADAS POR CUADRADOS MÍNIMOS PARA EL EFECTO DE LA INTERACCIÓN CEPA POR SUSTRATO (CE*SU) SOBRE LA DEGRADABILIDAD IN SITU (D, %) DE LA MATERIA SECA Y PARÁMETROS QUÍMICOS DE LOS SUSTRATOS BIO-DEGRADADOS⁽¹⁾

Cepa	Sustrato	Materia seca	Proteína cruda	Fibra detergente neutra	Fibra detergente ácida	Hemi-celulosa	Celulosa	Lignina
RN2	Paja de arroz	56,5 ^a	67,4 ^a	45,1 ^a	51,7 ^a	29,6 ^a	57,6 ^a	0,0 ^a
RN81	Paja de arroz	52,7 ^d	53,5 ^{bc}	26,5 ^d	27,1 ^d	25,0 ^b	31,7 ^d	0,0 ^a
RN82	Paja de arroz	51,9 ^d	29,6 ^{de}	30,4 ^b	30,9 ^g	29,8 ^a	35,5 ^g	0,0 ^a
RN2	Rastrojo de maíz	43,8 ^b	66,8 ^a	33,2 ^b	38,0 ^b	25,1 ^b	44,2 ^b	0,0 ^a
RN81	Rastrojo de maíz	39,5 ^e	61,6 ^a	16,1 ^e	15,6 ^e	17,3 ^e	19,3 ^e	0,0 ^a
RN82	Rastrojo de maíz	39,0 ^e	32,2 ^c	21,6 ^h	20,5 ^h	22,7 ^b	24,2 ^f	0,0 ^a
RN2	Tuza de maíz	33,4 ^c	61,2 ^a	38,2 ^c	44,6 ^c	24,4 ^b	49,2 ^c	0,0 ^a
RN81	Tuza de maíz	31,6 ^{ci}	53,9 ^c	17,7 ^e	18,0 ^e	18,3 ^e	24,1 ^f	0,0 ^a
RN82	Tuza de maíz	33,3 ⁱ	22,1 ^f	24,2 ^{dh}	23,9 ^c	24,5 ^b	31,4 ^d	0,0 ^a

⁽¹⁾ Valores con letras no iguales dentro de columna difieren estadísticamente (prueba de diferencia mínima significativa, $\alpha=0,05$).

TABLA VI
MEDIAS AJUSTADAS POR CUADRADOS MÍNIMOS PARA EL EFECTO DE INTERACCIÓN CEPA POR TIEMPO DE INCUBACIÓN RUMINAL (CE*TI) SOBRE EL CAMBIO % EN LA DEGRADABILIDAD IN SITU DEL MATERIAL BIO-DEGRADADO CON RESPECTO AL MATERIAL NO TRATADO (CDBsf) DE PARÁMETROS QUÍMICOS DE LOS SUSTRATOS BIO-DEGRADADOS⁽¹⁾

Cepa	Tiempo de incubación (hora)	Materia seca	Proteína cruda	Fibra detergente neutra	Fibra detergente ácida	Hemi-celulosa	Celulosa	Lignina
RN2	0	62,6 ^a	35,5 ^{ae}	240,5 ^a	1317,0 ^a	-44,6 ^a	231,0 ^a	0,0 ^a
RN2	48	39,6 ^b	86,8 ^{bc}	23,0 ^b	39,6 ^b	-8,9 ^a	28,0 ^{bd}	0,0 ^a
RN2	72	24,3 ^c	75,6 ^{bd}	8,1 ^{bd}	16,8 ^b	-16,2 ^a	14,6 ^b	0,0 ^a
RN81	0	42,9 ^b	48,7 ^{ad}	-15,4 ^{be}	105,5 ^b	-33,5 ^a	25,7 ^{be}	0,0 ^a
RN81	48	2,1 ^d	61,2 ^{acd}	-38,6 ^{ce}	-39,9 ^b	-35,7 ^a	-39,9 ^c	0,0 ^a
RN81	72	-3,4 ^{de}	28,0 ^f	-35,0 ^{de}	-36,4 ^b	-34,1 ^a	-34,7 ^c	0,0 ^a
RN82	0	0,0 ^d	-31,0 ^g	84,2 ^f	320,3 ^b	50,0 ^b	53,6 ^{de}	0,0 ^a
RN82	48	-14,6 ^{de}	-13,0 ^g	-23,4 ^{de}	-26,3 ^b	-20,8 ^a	-23,8 ^c	0,0 ^a
RN82	72	-14,5 ^e	-44,4 ^g	-25,0 ^{de}	-28,4 ^b	-20,8 ^a	-24,3 ^c	0,0 ^a

⁽¹⁾ Valores con letras no iguales dentro de columna difieren estadísticamente (prueba de diferencia mínima significativa, $\alpha=0,05$).

digestión ruminal, que no fueron utilizados por el hongo; esto contribuye al mejoramiento de la calidad nutritiva del material residual. En general, con las diferentes cepas los valores de CDBsf resultaron similares a las 48 y 72 h, lo que indica que si el material permaneciera más tiempo en el rumen no aumentaría su degradación y más bien podría disminuir el consumo por efecto de ocupación o llenado ruminal. Independientemente de TI, ninguna de las cepas logró producir cambios en la degradación ruminal de la lignina del material bio-degradado con respecto al no tratado.

Las cepas mejoraron la D de la MS de la PA y RM con respecto al material fresco (CDBsf, TABLA VII), sin diferencia

significativa entre cepas ($P \geq 0,05$), lo que representa un mejoramiento nutricional de estos forrajes. Sin embargo, esta respuesta fue mayor con la PA ($P \geq 0,05$), con un promedio de 46,8 % frente a 18,3 % para RM. Con TM, prácticamente las cepas no lograron producir un cambio en la D de la MS (TABLA VII). En el caso de la PC, la RN2 produjo cambios positivos a nivel de los tres sustratos, principalmente la TM, lo que es importante, ya que estos forrajes presentan niveles bajos de este nutriente, generalmente inferiores al mínimo establecido para un adecuado funcionamiento de la actividad ruminal [35].

Independientemente del sustrato, la RN2 y RN82 prácticamente produjeron valores positivos de CDBsf en la fracción

TABLA VII

MEDIAS AJUSTADAS POR CUADRADOS MÍNIMOS PARA EL EFECTO DE LA INTERACCIÓN CEPA POR SUSTRATO (CE*SU) SOBRE EL CAMBIO % EN LA DEGRADABILIDAD IN SITU DEL MATERIAL BIO-DEGRADADO CON RESPECTO AL MATERIAL NO TRATADO (CDBsf) DE PARÁMETROS QUÍMICOS DE LOS SUSTRATOS BIO-DEGRADADOS⁽¹⁾

Cepa	Sustrato	Materia seca	Proteína cruda	Fibra detergente neutra	Fibra detergente ácida	Hemi-celulosa	Celulosa	Lignina
RN2	Paja de arroz	52,9 ^a	9,1 ^{ah}	78,5 ^a	192,4 ^a	-18,8 ^a	117,9 ^a	0,0 ^a
RN81	Paja de arroz	44,3 ^a	-13,4 ^{afg}	-23,9 ^{cg}	-5,9 ^{cd}	-33,4 ^a	-9,9 ^d	0,0 ^a
RN82	Paja de arroz	43,2 ^a	-51,6 ^e	28,6 ^{fi}	75,3 ^e	12,0 ^b	31,0 ^g	0,0 ^a
RN2	Rastrojo de maíz	19,5 ^b	39,4 ^b	46,3 ^{af}	177,8 ^a	-26,7 ^a	73,0 ^b	0,0 ^a
RN81	Rastrojo de maíz	20,2 ^{be}	35,7 ^{bh}	-41,3 ^{ch}	-38,0 ^c	-38,0 ^a	-34,4 ^{dc}	0,0 ^a
RN82	Rastrojo de maíz	15,2 ^{bc}	-29,5 ^{ef}	-3,5 ^{gi}	36,0 ^{de}	10,3 ^{bc}	-29,8 ^{df}	0,0 ^a
RN2	Tuza de maíz	1,0 ^{bc}	149,6 ^c	146,8 ^b	1003,2 ^b	-24,3 ^{ac}	82,8 ^b	0,0 ^a
RN81	Tuza de maíz	-2,9 ^c	115,7 ^d	-23,8 ^{ci}	73,0 ^e	-31,8 ^a	-4,6 ^{cfh}	0,0 ^a
RN82	Tuza de maíz	-0,3 ^{cde}	-7,3 ^{gf}	10,7 ^{ghij}	154,3 ^h	-13,7 ^a	4,2 ^{egh}	0,0 ^a

⁽¹⁾ Valores con letras no iguales dentro de columna difieren estadísticamente (prueba de diferencia mínima significativa, $\alpha=0,05$).

lignocelulósica. En cambio, la RN81 produjo cambios negativos en la mayoría de los componentes de esta fracción, pero mejoró la D de la MS de la PA y RM, lo que pudo deberse a la contribución de la fracción soluble, que resultó incrementada por el proceso de bio-conversión. Sin embargo, ninguna de las cepas logró producir cambios en la CDBsf de la lignina. Estos resultados demuestran la acción compleja degradativa de los hongos, lo que depende no solo de la capacidad enzimática de este, también de la naturaleza química y estructural del forraje.

La bio-conversión redujo la concentración de lignina en la PA con respecto al material no tratado, pero prácticamente la aumentó en el RM y TM (TABLA III), situación que pudo deberse a degradación en el primer caso y a un aumento de concentración por disminución de otros componentes en el segundo caso. En la PA esto implica capacidad del hongo para degradar parte de la lignina, lo que no se logró con la microflora ruminal. En el RM y TM, esta situación pudo deberse a la naturaleza química o estructural de la lignina, que no permitió la acción degradativa del hongo ni de la microflora ruminal.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Los mayores cambios en las concentraciones de los parámetros químicos de los sustratos bio-degradados con respecto al sustrato no tratado ocurrieron en la paja de arroz, seguida en orden por el rastrojo de maíz y tuza de maíz.

En los sustratos bio-degradados, las cepas produjeron cambios en parámetros químicos y degradabilidad ruminal de la MS que favorecen la calidad nutritiva para rumiantes de la paja de arroz y rastrojo de maíz, no así de la tuza de maíz, cuya degradabilidad ruminal no fue afectada.

El cultivo de hongos *P. djamor* RN81 y RN82, cepas nativas de Panamá y de *P. pulmonarius* RN2, cepa importada de

EUA, disminuyeron en forma variable la concentración de la fracción lignocelulósica de los sustratos, la cepa RN2 favoreció en mayor grado la degradabilidad ruminal de esta fracción.

El estudio permitió obtener información sobre la capacidad de bio-degradación de forrajes lignocelulósicos de dos cepas nativas de *P. djamor*, con potencial de utilización en el mejoramiento de la calidad nutritiva de gramíneas y leguminosas bajo condiciones de fincas bovinas y de otros rumiantes, ya que estas cepas son menos exigentes en cuanto a condiciones de incubación, lo que implica la posibilidad que de desarrollo de una tecnología de campo para este propósito.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen a la Facultad de Recursos Naturales, Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI), Chiriquí, Panamá y a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá, Chiriquí, Panamá, por el apoyo brindado para la ejecución de esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGOSIN, E.; MONTIES, B.; ODIER, E. Structural changes in wheat straw components during decay by lignin-degrading white-rot fungi in relation to improvement of digestibility for ruminants. **J. Sci. Food Agric.** 36: 925-935. 1985.
- [2] AKIN, D. E. Microbial breakdown of feed in the digestive tract. J. B. Hacker (Ed.). Nutritional Limits to Animal Production from Pasture. **Proceeding of an International Symposium.** Sta. Lucia 08/24-28. Queensland, Australia. Pp. 201-223. 1982.

- [3] AKINFEMIC, A.; BABAYEMIC, O. J.; JONATHAN, S. G. Bio-conversión de la tusa de maíz como valor agregado en la alimentación de rumiantes mediante el uso de hongos de la pudrición blanca. **Rev. Científ. UDO Agrícola**, Venezuela. 9(4): 968-971. 2009.
- [4] ANTOGIOVANNI, M.; SARGENTINI, C. Variability in chemical composition of straws. *Options Méditerranéennes - Série Séminaires*. **CIHEAM**. 16: 49-53. 1991.
- [5] ARDÓN-LÓPEZ, C. E. Evaluación de pericarpio de jacaranda (*Jacaranda mimosaeifolia*) y pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus*), para el cultivo artesanal del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus* ECS-0112). Universidad San Carlos de Guatemala (USAC). Guatemala. Tesis de Grado. 85 pp. 2004.
- [6] ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTRY (AOAC). Official methods of analysis of AOAC. 11nd Ed. George Benta Company, Washington, D.C. 1015 pp. 1970.
- [7] BARTABURU, S.; MONTES, E.; PEREIRA, M. Utilización de la paja de arroz en la alimentación animal. **Alternativas tecnológicas para enfrentar situaciones de crisis forrajera**. 2012. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Uruguay. En línea: http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/dol/dol_95.pdf. 17.05.12.
- [8] CALDERÓN-MÉRIDA, J. A. Determinación de la mejor etapa de aplicación de la fertilización nitrogenada en el sustrato caña de maíz (*Zea mays L.*) para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Kumm (Cepa EC-S-152). Universidad San Carlos de Guatemala (USAC). Tesis de Grado. 75 pp. 2009.
- [9] CALZADA, J. F.; FRANCO, L. F.; DE ARRIOLA, M.C.; ROLZ-CORTIZ, M. A. Acceptability, body weight changes and digestibility of spent wheat straw after harvesting of *Pleurotus sajor-caju*. **Biologic. Wastes** 22: 303-309. 1987.
- [10] CEBALLOS-ALECIO, D. A. Evaluación de rastrojo de maíz (*Zea mays L.*) y hojarasca de roble (*Quercus peduncularis*) previo al cultivo artesanal del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus* ECS 110). Universidad San Carlos de Guatemala (USAC). Tesis de Grado. 42 pp. 2007.
- [11] COHEN, R.; PERSKY, L.; HADAR, Y. Biotechnological applications and potential of wood-degrading mushrooms of the genus *Pleurotus*. **Appl. Microbiol. Biotechnol.** 58: 582-594. 2002.
- [12] CORONEL, R.U.; ORTEGA, C. M. E. Effect of feeding barley straw upgraded by *Pleurotus* in sheep. **Proc. Nutr. Soc.** 57:81A. 1998.
- [13] CORONEL, R. U.; MARTÍNEZ, J. S. Efecto de la inoculación del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* sobre el valor nutricional de la paja usada en la alimentación de rumiante. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). México. Tesis de Grado. 111 pp. 1995.
- [14] DARWISH, G. A. M. A.; BARK, A. A.; ABDALLAH, M. M. F. Nutritional value upgrading of maize stalk by using *Pleurotus ostreatus* and *Saccharomyces cerevisiae* in solid state fermentation. **Annals of Agric. Sci.** 57 (1): 47-51. 2012.
- [15] ELISASHVILI, V.; PENNICKX, M.; KACHLISHVILI, E.; TSIKLARI, N.; METREVELI, E.; KARZIANI, T.; KVESITADZE, G. *Lentinus edodes* ve *Pleurotus* species lignocellulolytic enzymes activity in submerged and solid-state fermentation of linocellulosic wastes of different composition. **Bioresour. Technol.** 99: 457-462. 2008.
- [16] ESPINOZA, I. E. Evaluación de tratamientos alcalinos sobre la calidad nutricional de subproductos lignocelulósicos. Universidad de Colima. México. Tesis de Grado. 214 pp. 1998.
- [17] FUENTES, J.; MAGAÑA, C.; SUÁREZ, L.; PEÑA, R.; RODRÍGUEZ, S.; ORTÍZ DE LA R. B. Análisis químico y digestibilidad "in vitro" de rastrojo de maíz (*Zea mays L.*). **Agron. Mesoamer.** 12(2): 189-192. 2001.
- [18] GAITÁN-HERNÁNDEZ, R.; SALMONES, D.; PÉREZ M., R.; MATA, G. Aislamiento, siembra y producción. **Manual Práctico del Cultivo de Setas**. Instituto de Ecología A. C., México. 56 pp. 2002.
- [19] GARCÍA-RAMOS, D. A. Utilización de rastrojos de maíz (*Zea mays L.*) y cascarilla de arroz (*Oriza sativa L.*) como sustrato para el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. Universidad San Carlos de Guatemala (USAC). Tesis de Grado. 37 pp. 2000.
- [20] GARZÓN-GÓMEZ, J. P.; CUERVO-ANDRADE, J. L. Producción del *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferentes procedencia. **NOVA**. 6(10): 101-236. 2008.
- [21] GODOY, S.; CHICCO, C. F. Utilización de la paja de arroz con y sin amonificación en la alimentación de bovinos de carne. **Zoot. Trop.** 15(1): 30-50. 1997.
- [22] GOERING, H.; VAN SOEST, P. Forage fiber analysis. Department of Agriculture, USA. Handbook Nº 379. 20 pp. 1970.
- [23] HAN, Y. W. Microbial fermentation of rice straw: nutritive composition and in vitro digestibility of the fermentation products. **Applied Microbiol.** 29(4): 510-514. 1975.
- [24] HATAKKA, A.; MOHAMMADI, O.; LUNDELL, T. The potential of white-rot fungi and their enzymes in the treatment of lignocellulosic feed. **Food Biotechnol.** 3:45-58. 1989.
- [25] JALC, D.; ZITNAN, T.; NERUD, F. Effect of fungus-treated straw on ruminal fermentation *in vitro*. **Anim. Feed Sci. Technol.** 46:131-141. 1994.

- [26] JONATHAN, S. G.; OKORIE, A. N.; GARUBA, E. O.; BAYEMI, O. J. Bioconversion of sorghum stalk and rice straw into value added ruminant feed using *Pleurotus pulmonarius*. 2012. **Nature and Science**. 10 (4). En Línea: <http://www.sciencepub.net/nature>. 20.04.12.
- [27] KAPICH, A. N.; PRIOR, B. A.; BOTHA, A.; GALKIN, S.; LUNDELL, T.; HATAKKA, A. Effect of lignocellulose-containing substrates on production of ligninolytic peroxidases in submerged cultures of *Phanerochaete chrysosporium* ME-446. **Enzyme Microbial. Technol.** 34:187-195. 2004.
- [28] KURT, S.; BUYUKALACA, S. Yield performances and changes in enzymes activities of *Pleurotus* spp. (*P. ostreatus* and *P. sayor-cayu*) cultivated on different agricultural wastes. **Bioresource Technol.** 101:3164-3169. 2010.
- [29] LÓPEZ, G.; PÉREZ, J.; KLEIM, C. SAS: Aplicaciones en el campo agropecuario y de los recursos naturales. Versión 1. Sub-Unidad de Estadística, CATIE. Costa Rica. 128 pp. 2000.
- [30] MÁRQUEZ-ALIS, T.; MENDOZ, G. D.; GONZALEZ, S. S.; BUNTINX, S. E.; CORRAL, O. L. Actividad fibrolítica de enzimas producidas por *Trametes* spp. EUM1, *Pleurotus ostreatus* IE8 y *Aspergillus niger* AD96.4 en fermentación sólida. **Intercien**. 32(11): 780-785. 2007.
- [31] MARTÍNEZ, M.; MOYA, V. J.; BLAS, E.; CERVERA, C. The use of maize ear in rabbit diets: nutritive value and effect on fattening performance. **Agrocien**. 42 (2): 151-156. 2008.
- [32] MEHREZ, A.; ØRSKOV, E. The use of a dacron bag technique to determine rate of degradation of protein and energy in the rumen. **J. Agric. Sci. Camb.** 88:645-650. 1977.
- [33] MESTER, T.; TIEN, M. Oxidation mechanism of ligninolytic enzymes involved in the degradation of environment pollutants. **Int. Biodeteriorat.** 46:51 - 59. 2000.
- [34] MINSON, D. J. Effect of chemical and physical composition of herbage eaten upon intake J. B. Hacker (Ed.). Nutritional Limits to Animal Production from Pasture. **Proceeding of an International Symposium**. Sta. Lucia, 08/24-28/1982. Queensland, Australia, Pp 167-182. 1982.
- [35] MONTAÑEZ, O. D.; ORTEGA, M. E.; COBOS, M.A.; LARQUÉ, A. Efecto de la alimentación con paja de trigo tratada con *Pleurotus florida* en la flora ruminal de ovinos. 2007. Colegio de Postgraduados (COLPOS) y Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México. En línea: <http://www.engormix.com/MA-ovinos/articulos/efecto-alimentacion-con-paja-t18/141-p0.htm>. 15.03.12.
- [36] MONTOYA, B.; MONTOYA-FRANCO, G. M. Evaluación de la síntesis de proteína a partir del crecimiento vegetativo de *Pleurotus* sp. sobre residuos de algarrobo y uva pasa. **Rev. Univ. de Caldas**. 26(1-2): 23-31. 2006.
- [37] ØRSKOV, E. R.; HOVELL, F. D.; MOULD, F. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de alimentos. **Prod. Anim. Trop.** 5: 213-233. 1980.
- [38] RALPH, J. Cell Wall cross-linking in grasses. The importance of understanding plant chemistry and biochemistry. 1996. US Dairy Forage Research Center. International Conference with Dairy and Forage Industries. En línea: <http://aem.asm.org/content/62/6/1928>. 15.08.11.
- [39] RAMÍREZ, G. R.; AGUILERA-GONZÁLEZ, J. C.; GARCÍA-DÍAZ, G.; NUÑEZ-GONZÁLEZ, A. M. Effect of urea treatment on chemical composition and digestion of *Cenchrus ciliaris* and *Cynodon dactylon* hays and *Zea mays* residues. **J. Anim. Vet. Adv.** 6(8): 1036-1041. 2007.
- [40] RAO, R.; NAIK, D. G. Influence of two levels of N and S on the growth and lignolytic ability of *Pleurotus ostreatus* on wheat and paddy straws. **Indian J. Anim. Nutr.** 7:71-74. 1990.
- [41] ROJAS-DOMINGO, E.A. Evaluación de paja de trigo, *Triticum sativum*; broza de encino, *Quercus* spp. y rastrojo de maíz, *Zea mays*, para el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* bajo condiciones artesanales en San Rafael La Independencia, Huehuetenango. Universidad San Carlos de Guatemala (USAC). Tesis de Grado. 82 pp. 2004.
- [42] DE RUILOBA, E.; RUIZ, M. Alimentos potenciales para el ganado en Panamá. II. Subproductos y desechos de origen vegetal. **Rev. Cien. Agrop.** 2: 51-72. 1979.
- [43] SALMONES, D.; MATA, G. Efecto de la presencia de compuestos solubles de lignina y fenoles sobre la producción de lacasa y biomasa en cultivos de *Pleurotus* spp. **Rev. Mex. Mic.** 21: 63-69. 2005.
- [44] SÁNCHEZ, A.; ESQUEDA, M.; GAITÁN-HERNÁNDEZ, R.; CÓRDOVA, A.; CORONADO, M. L. Uso potencial del rastrojo de tomate como sustrato para el cultivo de *Pleurotus* spp. **Rev. Mex. Mic.** 28:17-24. 2008.
- [45] SARNKLONG, C.; CONE, J. W.; PELLIKAAN, W.; HENDRIKS, W. H. Utilization of rice straw and different treatments to improve its feed value for ruminants: a review. **Asian-Aust. J. Anim. Sci.** 23 (5): 680-692. 2010.
- [46] STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE (SAS). User's Guide: Statistics [CD-ROM Computer file]. Versión 8. Cary, NC. 1999.
- [47] SIEBERT, B. D.; HUNTER, R. A. Supplementary feeding of grazing animals. J. B. Hacker (Ed.). Nutritional Limits to Animal Production from Pasture. **Proceeding of an International Symposium**. Sta. Lucia, 08/24-28/1982. Queensland, Australia. Pp 409-426. 1982.

- [48] STANTON, T. L.; LEVALLEY, S.B. Feed Composition for Cattle and Sheep. 2010. Colorado State University, U.S. En línea: <http://www.ext.colostate.edu/pubs/livestk/01615.html>. 18.05.12.
- [49] VEGA, A.; CABALLERO, R. E.; GARCÍA, J.; MORI, N. Bioconversion of agroindustrial residues by *Pleurotus ostreatus* cultivation. **Rev. Mex. Mic.** 20:33-38. 2005.
- [50] VEGA, A.; MATA, G.; SALMONES, D.; CABALLERO, R. E. Cultivo de cepas nativas de *Pleurotus djamor* en Panamá, en paja de arroz y pulpa de café. **Rev. Mex. Mic.** 23:93-97. 2006.
- [51] VAN SOEST, P. Intake. Nutritional Ecology of the Ruminant. O & B Books, Inc., Oregon, USA. Pp 276-293. 1982.
- [52] ZHANG, R; LI, X.; FADEL, J.G. Oyster mushroom cultivation with rice and wheat straw. **Bioresource Technol.** 82: 277-284. 2002.