

EVALUACIÓN DE RESIDUOS DE CAÑA DE AZÚCAR CON INOCULACIÓN DEL HONGO *Pleurotus ostreatus* PARA ALIMENTACIÓN BOVINA

EVALUATION OF LEFTOVERS OF SUGAR CANE WITH INOCULATION OF THE MUSHROOM *Pleurotus ostreatus* FOR BOVINE NUTRITION

Aranda-Ibáñez, E. M.^{1*}; López-Vidal, J. C.; Vargas-Villamil, L. M.¹; Ramos-Juárez, J. A.¹; Martínez-Carrera, D. C.², Morales, A. P.²

¹Área de Ciencia Animal. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Periférico Carlos A. Molina, Km 3.5. Carretera. Cárdenas-Huimanguillo. H. Cárdenas, Tab. C.P. 86500.

²Área de Biotecnología de Hongos Comestibles, Funcionales y Medicinales. Colegio de Postgraduados Campus Puebla. Avenida Forjadores de Puebla. Km 125.5. La Libertad; Puebla de Zaragoza. Puebla. C.P. 72130

*responsable : earanda@colpos.mx

Resumen.

Objetivo. Evaluar los cambios en el valor nutritivo de residuos de cosecha mecanizada de caña de azúcar (RCMCA). **Metodología.** En el Campus Tabasco CP Cárdenas Tabasco México, en un diseño completamente al azar con arreglo factorial (4 x 3 x 2) tiempo de crecimiento 0, 7, 15 y 25 días, tratamiento esterilizado, pasterizado sin cal y pasterizado con cal; con y sin inóculo del hongo *Pleurotus ostreatus*. Se midió pH, MS, PC, FDN, FDA, lignina, degradación de MS y FDN. **Resultados.** La MS fue de 23, 25, 28 y 21, 22,26% para el material inoculado y no inoculado respectivamente. El pH disminuyó con los días de crecimiento del hongo. Los valores de FDN, FDA, celulosa, lignina fueron 68.5, 40.2, 18.4, 13.9% para el material inoculado y de 80.1, 48.6, 24.6, 15.6% para material no inoculado respectivamente. La degradación de la MS a los 25 días del crecimiento del hongo y los 96h de incubación en rumen fue 61.7, 61.6, 62.4 esterilizado, pasterizado sin y con cal, inoculado y de 56.4, 54.7, 54.3% para el material no inoculado. La degradación de la FDN fue 64.7, 64.6, 67.1 esterilizado, pasterizado, esterilizado sin y con cal. Inoculado, de 61.5, 63.5, 64.3% esterilizado, pasterizado, esterilizado sin y con cal, no inoculado. La PC fue de 4.6 y 1.8% para los RCMCA inoculada y no inoculada. **Conclusiones.** Los RCMCA al inocularse con el hongo *pleurotus ostreatus* se mejoró su valor nutritivo, por disminuir el contenido de FDN, FDA, Hemicelulosa, Celulosa y lignina y aumentar el contenido de PC, y la degradación de la MS, FDN.

Palabras Claves: residuos caña de azúcar, degradación, valor nutritivo

Introducción

Los residuos generados por la cosecha mecanizada de la caña de azúcar (RCMCA) son un recurso potencial que representa 15-25 t ha⁻¹ Salgado *et al* (2014), que puede utilizarse en los periodos de sequía, en la alimentación bovina, por escasez de pastos,

principal fuente de alimentación en las regiones tropicales. Los RCMCA presentan baja digestibilidad por su contenido alto en compuestos fibrosos lignocelulósicos, que tienen limitaciones para ser degradados por los microorganismos en la digestión ruminal de los bovinos, donde el ecosistema ruminal tiene características anaeróbicas. Sin embargo, estos RCMCA pueden mejorarse por medio de procedimientos tecnológicos con sustancias químicas, como el hidróxido de sodio (García, 2008), hidróxido de calcio Aranda *et al* (2014), por la adición de microorganismos lignocelulolíticos Olivera *et al* (2014). El objetivo del trabajo fue evaluar los cambios en el valor nutricional de los RCMCA esterilizados y pasterizados e inoculados con el hongo *Pleurotus ostreatus*.

Metodología.

El trabajo se realizó en el laboratorio de Hongos Comestibles del Campus Puebla en Puebla Puebla y en el laboratorio de nutrición animal del campus Tabasco en Cárdenas Tabasco del Colegio de Postgraduados. Los RCMCA fueron inoculados con el hongo *pleurotus ostreatus* bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial (4 x 3 x 2) tiempo de crecimiento 0, 7, 15 y 25 días, los tratamientos fueron esterilizado, pasterizado sin cal y pasterizado con cal; con y sin inóculo. Los RCMCA fueron del cultivar de caña de azúcar Mex. 69-290 se obtuvieron de una plantación de 4 ha en la comunidad C-31 del Plan Chontalpa Tabasco, se colectaron pacas de 20 kg, después fueron molidas, de este material se tomaron 130 g de material seco, se agregó 300 ml de agua, equivalente a 430 g de material húmedo. Este material húmedo fue esterilizado en autoclave y pasterizado con y sin cal, colocado en bolsas de polipapel e inoculado con el 10% de la semilla del hongo (43 g) en una campana de flujo laminar. Las bolsas se colocaron en anaqueles para su crecimiento a los 0, 7, 15 y 25 días. El material obtenido de acuerdo a los tratamientos, se le midió pH, la materia seca (MS), Proteína cruda (PC), con la metodología de AOAC, (2012), Fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa, y lignina detergente ácido Van Soest (1991) y la degradación a las 6, 12, 24, 48, 72 y 96 h con animales canulados Orskov (1980) Los resultados se analizaron por medio del programa SAS (2012) y comparación de medias tukey (Steel y Torrie 1980).

Resultados y discusión.

Se presenta las evidencias fotográficas de la colonización del hongo *pleurotus ostreatus* en los RCMCA durante diferentes tiempos de crecimiento (figura 1)

RCMCA obtenidos en campo

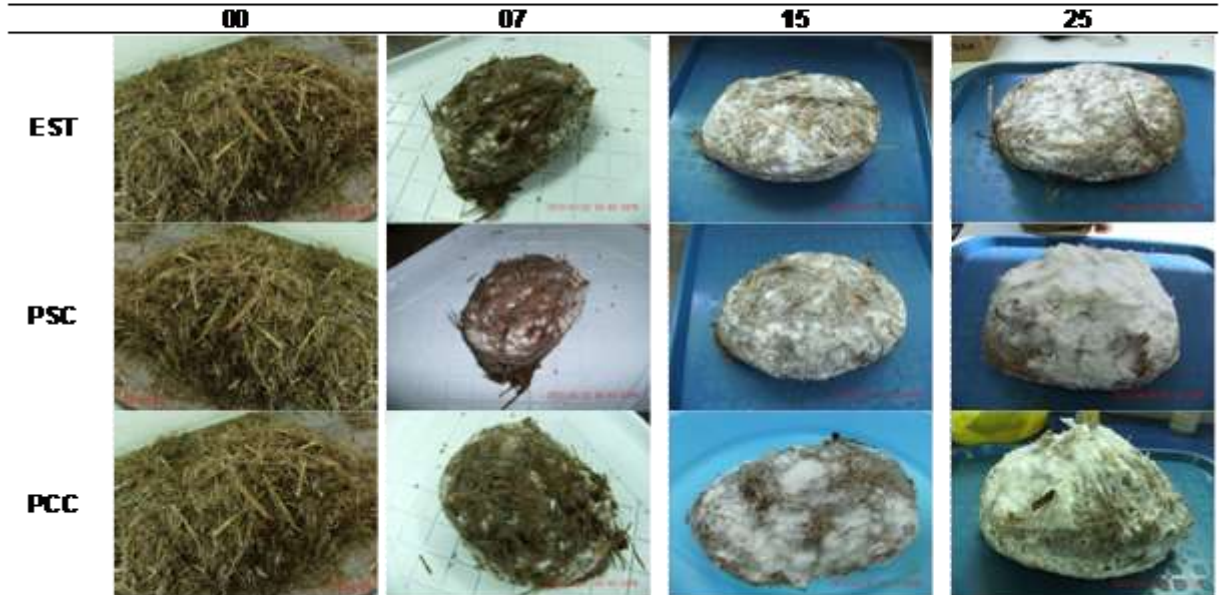


Figura 1. Representación fotográfica de los RCMCA inoculadas con hongo *Pleurotus ostreatus* obtenidas con los tratamientos esterilizado (EST), pasteurización sin cal (PSC) y pasteurización con cal (PCC) durante los días de crecimiento en el Laboratorio de Hongos Comestibles del Colegio de Postgraduados Campus Puebla comparado con los RCMCA obtenidas en el campo.

El contenido de materia seca de los RCMCA presentaron interacción de tratamiento x inóculo. Los valores fueron de 22.7 a 28.7 con los tratamientos de esterilización y pasteurización, con y sin la inoculación del hongo *pleurotus ostreatus* (figura 2)

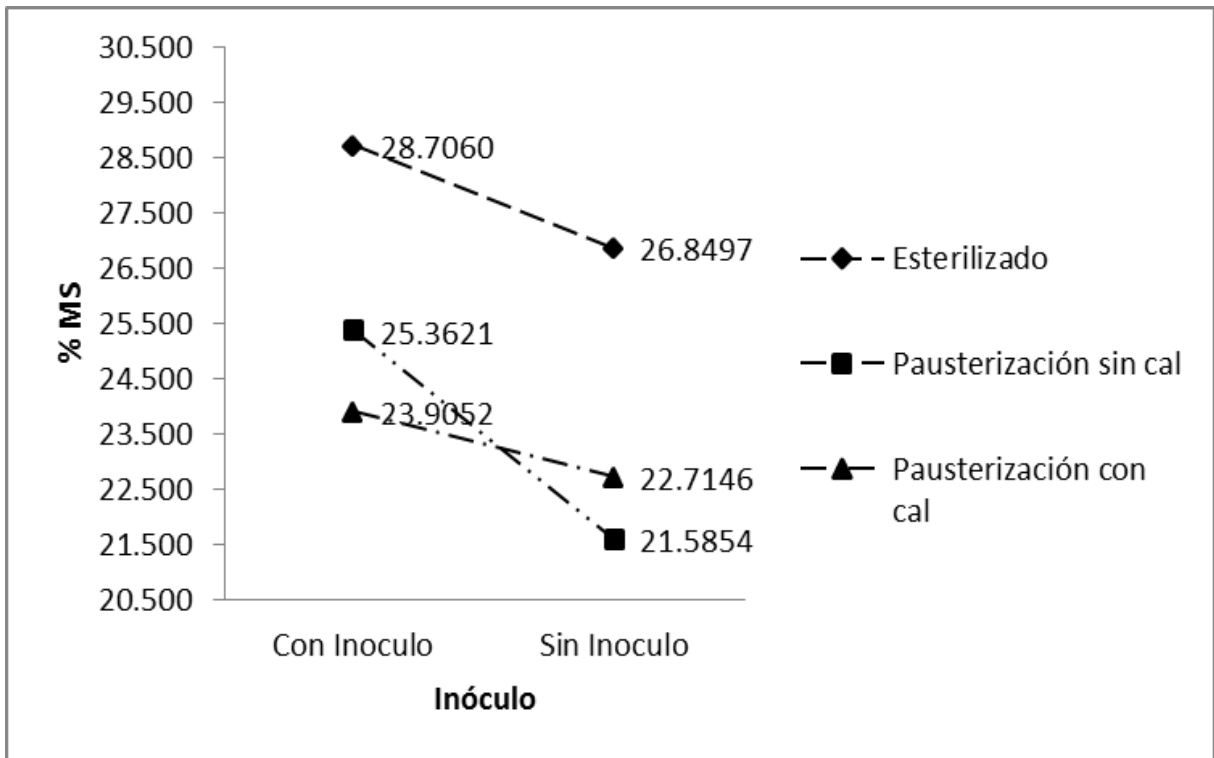


Figura 2. Contenido de MS de los RCMCA esterilizado, pasterizado sin y con cal, inoculados y sin inoculo del hongo *pleurotus ostreatus*.

Los valores de pH presentaron interacción de tiempo de crecimiento x tratamiento x inoculo. Durante el crecimiento del hongo *pleurotus ostreatus*, el pH disminuye (figura 3 cuadro 1).

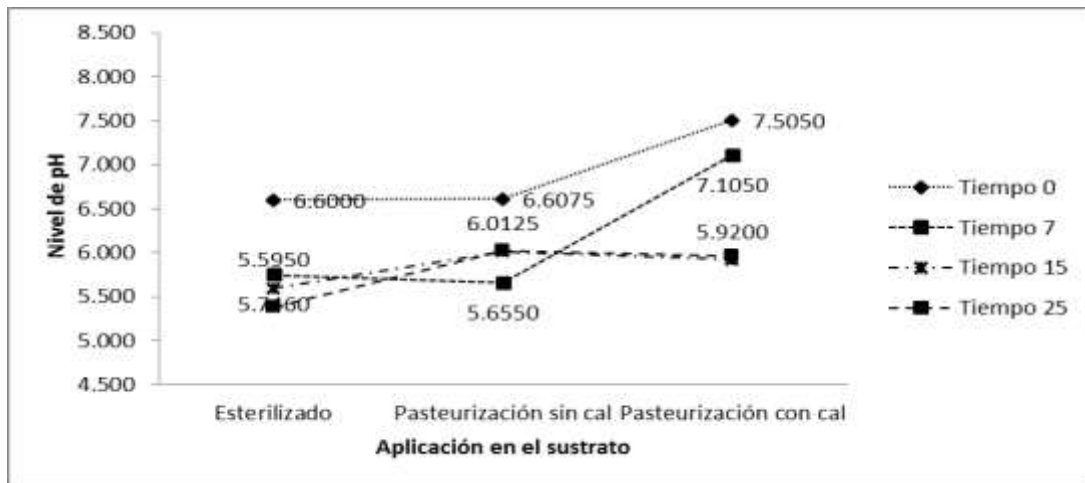


Figura 3. Valores de pH en los RCMCA Esterilizada, pasterizada sin y con cal. Inoculados con el hongo *pleurotus ostreatus* en diferentes días de crecimiento

Cuadro 1. Valores de pH de los RCMCA esterilizados, pasterizados sin y con cal inoculados con el hongo *pleurotus ostreatus* con diferentes tiempos de crecimiento

tratamientos	Tiempo de colonización (días)				E.E±
	0	7	15	25	
Esterilización	6.60	5.75	5.59	5.38	0.12
Pasteurización sin cal	6.61	5.66	6.01	6.02	0.11
Pasteurización con cal	7.51	7.11	5.92	5.96	0.14

El contenido de FDN, FDA, celulosa y lignina tiene un efecto de la inoculación del hongo *Pleurotus ostreatus* disminuyendo su concentración en 11.6, 8.4, 6.2 y 1.7 unidades porcentuales respectivamente, evidenciando la capacidad del hongo en el rompimiento de los enlaces lignocelulósicos Olivera *et al.* (2014). El contenido de FDN no presentan diferencias en el tratamiento de esterilización y pasterizado con cal, pero si hay diferencias con la pasterización sin cal. Los RCMCA esterilizados en el laboratorio es un proceso normal pero a nivel de campo en grandes volúmenes es un procedimiento complicado, la pasterización es un procedimiento más amigable y práctico, por lo que el tratamiento pasterizado con cal al no presentar diferencia con el esterilizado, presenta ventajas practicas, además que el efecto de la cal puede romper estructuras de enlaces químicos lignocelulósicos (Per Aman. (1991). La concentración de FDA por efecto de los tratamientos no presentas diferencia ($P>0.05$), el contenido de celulosa y lignina presenta diferencia significativas ($P<0.01$) (Cuadro 2). Sobre el efecto del crecimiento del hongo en el contenido de FDN y FDA no presenta diferencias significativas ($P<0.05$), la celulosa y lignina presenta diferencias significativas ($P>0.1$)

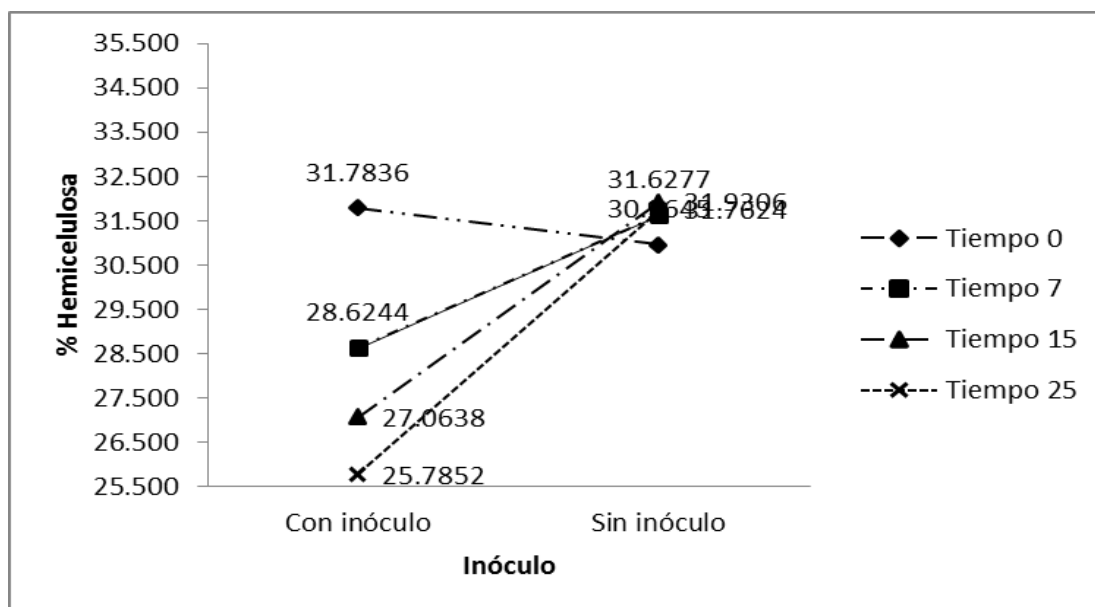


Figura 4. Valores de hemicelulosa en los RCMCA Inoculados con el hongo *pleurotus ostreatus* en diferentes días de crecimiento

Cuadro 2. Valores de fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, hemicelulosa, celulosa y lignina de los RCMCA inoculados con el hongo *Pleurotus ostreatus*

Factores	FDN (%)	FDA (%)	Celulosa (%)	Lignina (%)
Inoculo				
Con inoculo	68.5 ^b	40.2 ^b	18.4 ^b	13.9 ^b
Sin inoculo	80.1 ^a	48.6 ^a	24.6 ^a	15.6 ^a
E.E.±	0.8	0.624	1.78	1.24
Tratamiento				
Esterilizado	73.5 ^b	43.8 ^a	20.1 ^a	14.2 ^a
Pasteurización Sin Cal	76.8 ^a	45.1 ^a	15.8 ^c	11.9 ^b
Pasteurización Con Cal	72.7 ^b	44.2 ^a	19.4 ^b	15.5 ^a
E.E.±	0.48	0.38	0.78	1.82
Tiempo crecimiento hongo				
0 Días	74.8 ^a	43.5 ^a	19.9 ^b	11.6 ^c
7 Días	74.7 ^a	44.4 ^a	15.2 ^c	10.7 ^c
15 Días	73.9 ^a	44.4 ^a	20.5 ^a	15.0 ^b
25 Días	73.9 ^a	45.1 ^a	18.1 ^b	18.3 ^a
E.E.±	0.042	0.033	1.01	1.89

Medias con diferente letra en columnas son diferentes ($P \leq 0.05$).

El contenido de hemicelulosa de los RCMCA presenta interacción entre el inoculo y el tiempo de crecimiento del hongo (Figura 4), y los valores del material inoculado son menores que el material no inoculado (cuadro 3).

Cuadro 3. Contenido de hemicelulosa de RCMCA inoculados y sin inoculo en diferentes tiempo de crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus*

Inoculo	Tiempo de crecimiento (días)				EE
	0	7	15	25	
Con inoculo	31.8	28.6	27.1	25.8	1.66
Sin inoculo	31.0	31.6	31.9	31.7	0.69

En el contenido PC de los RCMCA inoculados fue superior a los no inoculados ($P > 0.01$) (cuadro 4), El efecto de la esterilización y pasterización no presentan diferencias ($P < 0.05$), esta característica presenta una ventaja practica para trabajar los RCMCA a nivel de campo

Cuadro 4. Valores de la proteína cruda de los RCMCA inoculados con el hongo *Pleurotus ostreatus*

Factores	PC (%)
Inoculo	
Con inoculo	4.6^a
Sin inoculo	1.8^b
E.E.±	0.09
Tratamiento del sustrato	
Esterilizado	3.2^a
Pasteurización Sin Cal	3.2^a
Pasteurización Con Cal	3.2^a
E.E.±	0.06
Tiempo de crecimiento del hongo	
0 Días	3.2^a
7 Días	3.2^a
15 Días	3.1^a
25 Días	3.3^a
E.E.±	0.01

Medias con diferente letra en columnas son diferentes ($P \leq 0.05$).

La degradación de la MS de los RCMCA para el material inoculado es mayor con respecto al no inoculado, independientemente del tratamiento esterilizado y pasterizado.

Cuadro 5. Valores de degradación *in situ* de la MS de RCMCA esterilizados, pasterizados sin y con cal inoculados con el hongo *pleurotus ostreatus* con diferentes tiempos de crecimiento.

Tiempo incubación en rumen (h)	Con inoculo											
	Esterilizado				Pasteurización sin cal				Pasteurización con cal			
	0	7	15	25	0	7	15	25	0	7	15	25
0	3.09	2.39	3.37	1.52	2.51	2.17	1.70	2.09	2.00	2.94	2.72	2.05
6	13.07	12.46	12.01	13.31	10.64	12.83	13.43	11.48	10.59	10.04	11.46	9.13
12	18.30	20.45	24.35	21.48	22.55	23.26	25.19	22.21	21.82	25.19	21.89	22.04
24	32.20	33.05	34.30	32.90	28.73	32.55	31.57	30.88	33.81	31.28	31.43	28.07
48	39.79	42.11	42.04	40.99	41.67	41.41	40.83	41.39	43.11	40.58	41.80	43.81
72	55.08	54.37	52.21	51.71	58.02	54.17	52.15	51.59	55.19	52.90	50.84	58.60
96	63.65	60.68	61.88	61.76	62.23	62.57	61.79	61.68	60.84	64.21	62.39	62.40
Td (% h ⁻¹)	2.86	3.02	2.36	2.37	2.83	2.59	2.54	2.35	3.24	2.20	2.21	3.87

Tiempo incubación en rumen (h)	sin inculo											
	Esterilizado				Pasteurización sin cal				Pasteurización con cal			
	0	7	15	25	0	7	15	25	0	7	15	25
0	2.16	2.24	2.73	2.00	1.50	2.82	2.41	3.44	3.05	3.94	2.88	2.71
6	10.46	7.97	7.58	6.81	6.39	6.43	6.10	7.68	9.03	7.33	6.79	7.61
12	16.04	16.93	20.56	18.98	17.55	16.35	17.90	17.76	15.16	17.27	16.39	18.51
24	27.34	27.37	28.09	25.41	28.46	25.54	25.60	26.56	25.91	26.26	29.36	27.71
48	39.33	37.80	39.37	39.13	42.83	39.24	39.81	40.20	39.70	39.23	40.86	40.79
72	47.98	49.34	49.36	46.85	49.48	47.62	45.46	46.88	47.60	45.03	45.02	47.24
96	55.88	54.78	55.30	56.47	56.32	56.29	56.73	54.72	57.41	56.30	55.45	54.39
Td (% h ⁻¹)	2.64	2.71	2.59	2.41	3.03	2.62	2.30	2.69	2.51	2.20	2.39	2.84

Cuadro 6. Valores de degradación efectiva ruminal de la MS de RCMCA esterilizados, pasterizados sin y con cal inoculados con el hongo *pleurotus ostreatus*

Inoculo	Tasa de recambio (K)				E.E.±
		Esterilización	Pasteurización sin cal	Pasteurización con cal	
Con inculo	0.044	14.5	14.9	16.2	1.67
Sin inculo	0.044	14.7	15.3	14.9	1.87
Con inculo	0.03	19.4	19.5	21.4	1.04
Sin inculo	0.03	19.5	20.7	19.8	1.98
Con inculo	0.05	13.0	13.4	14.6	1.09
Sin inculo	0.05	13.2	14.1	13.4	1.56

Ajuste de comparaciones múltiples Tukey (SAS, 1976)

Cuadro 7. Valores de degradación *in situ* de la FDN de RCMCA esterilizados, pasterizados sin y con cal inoculados con el hongo *pleurotus ostreatus* con diferentes tiempos de crecimiento.

Tiempo incubación en rumen (h)	Con inculo											
	Esterilizado				Pasteurización sin cal				Pasteurización con cal			
	0	7	15	25	0	7	15	25	0	7	15	25
0	32.45	33.54	33.35	32.45	32.87	33.54	30.45	32.87	31.45	32.45	34.12	32.45
6	35.12	36.49	37.46	37.87	36.34	35.76	34.67	35.98	35.33	36.12	37.45	37.89
12	44.53	45.98	47.47	48.56	43.65	44.56	45.62	46.34	42.89	43.76	44.67	45.22
24	48.45	49.67	50.78	51.56	45.09	45.98	46.23	47.22	49.34	50.78	51.67	52.56
48	52.76	54.78	55.12	56.98	51.65	52.76	51.65	52.87	53.89	54.61	55.65	56.34
72	59.45	60.12	61.45	61.87	55.87	54.76	55.87	57.45	57.45	58.90	60.12	60.46
96	62.32	63.65	63.78	64.76	60.45	61.34	62.11	64.66	68.56	67.34	66.56	67.11
Td (% h ⁻¹)	2.67	2.56	3.24	2.17	2.44	3.54	2.45	2.98	3.75	2.19	2.56	3.87

Tiempo incubación en rumen (h)	sin inculo											
	Esterilizado				Pasteurización sin cal				Pasteurización con cal			
	0	7	15	25	0	7	15	25	0	7	15	25
0	30.45	31.54	29.45	30.12	28.56	28.88	28.45	29.45	28.01	28.09	29.01	30.31
6	32.45	35.47	30.45	33.65	34.23	34.77	34.88	35.12	29.89	31.67	33.45	34.36
12	42.12	43.48	42.13	40.56	42.12	40.12	42.33	44.34	29.45	30.21	42.56	43.39
24	46.98	47.56	45.75	44.76	48.56	48.99	49.03	50.45	33.45	45.34	48.44	49.23
48	52.33	54.66	51.44	54.12	55.34	55.77	57.45	58.34	52.56	53.56	54.67	55.73
72	58.56	59.45	55.35	55.78	58.56	59.23	60.23	61.98	58.56	60.34	61.34	60.38
96	61.54	61.89	59.56	61.56	60.34	61.34	61.88	63.56	59.45	62.45	62.34	64.34
Td (% h ⁻¹)	2.56	3.21	2.78	2.67	3.56	2.56	2.43	2.69	2.34	2.20	2.12	2.84

La degradación de FDN de los RCMCA también es superior en el material inoculado con respecto al no inoculado. La FDN representa a las paredes celulares de las células vegetales, también conocido como carbohidratos estructurales o material fibroso, que químicamente son compuestos pectinas, hemicelulosa, celulosa, lignina y proteínas y lípidos ligados a los compuestos lignocelulósicos. Estos compuestos químicos al formar enlaces con la lignina, representan una limitante en la degradación a nivel de la digestión ruminal de los rumiantes, para formar compuestos simples como glucosa y ácidos grasos volátiles, que puedan ser asimilados por los animales y así aprovecharlos como fuente de energía, para la producción de carne o leche. La concentración de FDN, FDA, hemicelulosa, celulosa y lignina al disminuir en el material RCMCA inoculado con el hongo *pleurotus ostreatus* con respecto al no inoculado (Cuadro 2 y 3 figura 4) y al aumentar la degradación de la MS y de la FDN (Cuadro 5 y 6), son evidencias del mejoramiento del valor nutritivo de los RCMCA. Según Kristensen, *et al.* (1982) la degradación es afectada por la tasa de recambio o velocidad de paso en el tracto digestivo, para dietas fibrosas o de pastos se considera una tasa de recambio de 0.044 por esto se calculo la degradación efectiva ruminal y el material inoculado con el hongo y pasterizado con cal indicando una mayor degradación efectiva (cuadro 6). En los RCMCA inoculados el contenido de proteína es mayor (cuadro 4), sin embargo este valor es limitado si se quiere utilizar como base de la alimentación de los animales, ya que los requerimientos generalmente deben ser de 12 a 18% de proteína en la ración.

Conclusiones.

Los RCMCA al inocularse con el hongo *pleurotus ostreatus* se mejoro su valor nutritivo, por disminuir el contenido de FDN, FDA, Hemicelulosa, Celulosa y lignina y aumentar el contenido de PC, y la degradación de la MS, FDN.

Referencias.

AOAC. 2012. Official Methods of Analysis. 19th Ed. Off. Agric.Chem; Washington, D.C., U.S.A.

Aranda-Ibáñez, E.M., Ramos-Juárez, J.A., Lázaro-Que, C.J., Vargas-Villamil, L.M., Hernández-Mendo, O. y Salgado-García, S. (2014). Efecto del hidróxido de calcio y conservación de alimentos a base de residuos de caña de azúcar. Revista Agroproductividad p 65-69

Kristensen, E.S., Moller, P.D. & Hvelplund. 1982. Estimation of the effective protein degradability in the rumen of cows using the Nylon bag Technique combined with the out flow rate. Acta Agric. Escandinavica. 32:123.

Olivera,A., Aranda,E., Ramos, J., Vargas,L., Zaldivar J., Mendoza. G. (2014) Evaluación del valor nutritivo de residuos de caña de azúcar inoculado con hongo *Fomes* sp Revista MVZ Codoba Vol 19 p 4047-4058

Ørskov, E.R., Deb-Hovell, F.D. and Mould. F. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. Trop. Anim. Prod. 5(3):195-213.

Per Aman. (1991). Composition and structure of cell wall polysaccharides in forages. In Forage cell wall structure and digestibility Editors H.G. Jung, D.R. Buxton, R.D. Hatfield, and J. Ralph. American Society and Agronomy inc. Crop Science society of American inc. Soil Science Society of American inc. Madison Wisconsin USA. p 183-196.

Salgado-García, S., Aranda-Ibáñez, E., Castelán-Estrada, M., Ortiz-Laurel, H., Palma-López, D y Córdova-Sánchez, S.(2014) Que hacer con la paja de la cosecha mecanizada de caña de azúcar. Revista Agroproductividad Tomo II p. 3-7

Van Soest, P.J., Robertson, J. and Lewis, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74:3583-3597.

SAS/STAT® (programa de computadora). Versión 9.3. SAS Institute Inc; 2013.

Steel G.D.R., Torrie H.J., Dickey D.A. (1997) Principles and procedures of statistics a biometrical approach. 3ra Ed. Michigan, USA: McGraw Hill Companies, Inc; 1997.