

Efecto de la adición de urea y el tipo de fermentación en la estabilidad de silajes de Caña de Azúcar (*Saccharum* spp.)

Jorge A. Borges*, Yanireth Bastardo, Espartaco Sandoval, Mariana Barrios y Rogelio Ortega

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, (INIA) Km.3, Sector La Ermita, Municipio Cocorote del estado Yaracuy.

*Correo electrónico: jborges@inia.gob.ve.

RESUMEN

Se estudió el efecto de la adición de 1%, 2% y 3% de urea y dos fermentaciones (FAe= aeróbica y FAn= anaeróbica), sobre parámetros fermentativos y microbiológicos en microsilos con caña de azúcar, confeccionados en bolsas de polietileno negro de capacidad 3 Kg. Los tratamientos evaluados fueron: caña sola (testigo) y caña adicionada con 3 niveles de urea en función del peso fresco, sometidos a 2 fermentaciones durante 30 d. Se evaluaron las variables Materia Seca (MS), nitrógeno amoniacal (N-NH₃), pH y recuento de flora fúngica, estos dos últimos a las 0, 24 y 48 h de exposición aeróbica post-fermentación. Se utilizó un diseño factorial 4 x 2 (4 tratamientos x 2 fermentaciones) con 3 repeticiones. Los datos obtenidos fueron procesados a través del programa estadístico InfoStat. Se observó mayor porcentaje de MS con la adición de urea al 1% bajo ambas fermentaciones (FAn= 23,02% y FAe= 26,45%), disminuyendo a medida que se incrementó el nivel de urea en los microsilos. En cuanto al porcentaje de N-NH₃ se evidenció un ascenso a medida que se aumentó los niveles de urea, obteniéndose los mayores valores para FAn (2,13%) y FAe (1,45%) al adicionar urea al 3%. Fueron encontrados valores de pH aceptables para la FAn (3,43; 4,38 y 4,54), después de ser sometida la masa ensilada a condiciones aeróbicas durante 0, 24 y 48 h respectivamente, mientras que para FAe (3,26; 3,93 y 5,90) llegó a niveles cercanos a la neutralidad transcurridas 48 h. En cuanto al desarrollo fúngico, se corroboró el efecto fungistático de la urea a partir del 1% de concentración, aún cuando el silo estuvo expuesto al aire por 48 h, siendo *Aspergillus* sp. la especie más resistente a los tratamientos. En conclusión, la adición de urea al 1% en silajes de caña de azúcar contribuye a mantener la estabilidad del silo una vez expuesto a condiciones aeróbicas pos-fermentación.

Palabras clave: Deterioro aeróbico, silaje, caña de azúcar, desarrollo fúngico.

Effect of the urea addition and type of fermentation in the sugarcane silage stability

ABSTRACT

The effect of the addition of 1%, 2% and 3% urea levels and two fermentations (FAe = aerobic and FAn = anaerobic) on fermentation and microbiological parameters were study in sugarcane microsilos, made in 3 kg black polyethylene bags capacity. Treatments were: sugarcane (control) and sugarcane added to the 3 levels of urea in fresh weight basis, subject to the 2 fermentations for 30 days. Variables evaluated were dry matter (DM), ammonia nitrogen (N-NH₃), pH and counting of fungal flora, the latter two at 0, 24 and 48 hours post-fermentation aerobic exposure. We used a factorial design 4 x 2 (4 treatments x 2 fermentation) with 3 replications. The data were processed through InfoStat program. Showed higher percentage of MS with the addition of urea to 1% in both fermentations (FAn = 23.02% and FAe= 26.45%), decreasing as increased the level of urea in the microsilos. As the percentage of N-NH₃ rise was observed as it increased the levels of urea, yielding the highest values for FAn (2.13%) and FAe (1.45%) to add 3% urea. pH values were found acceptable to the FAn (3.43, 4.38 and 4.54) after the silage mass to be subjected to aerobic conditions for 0, 24 and 48 hours respectively, while for FAe (3.26; 3.93 and 5.90) reached levels close to neutrality within 48 hours. With regard to fungal development, was

corroborated fungistatic effect of urea from 1% concentration, even when the silo was exposed to air for 48 hours, with *Aspergillus* sp. the species most resistant to treatment. In conclusion, the addition of urea to 1% in sugarcane silage helps maintain the stability of the silo once exposed to aerobic post-fermentation conditions.

Keywords: Aerobic deterioration, silage, sugar cane, fungal development.

INTRODUCCIÓN

El uso de la caña de azúcar para la alimentación de rumiantes ha venido incrementándose continuamente como una alternativa durante la época seca en los sistemas ganaderos de doble propósito del país, suministrándose tanto fresca como conservada mediante la técnica del ensilaje.

Por esta razón, la búsqueda de información sobre las tecnologías para elaborar silajes de caña de azúcar, así como los resultados de su uso en el desempeño productivo de los animales está siendo demandada, lo que justifica las investigaciones respectivas a esta alternativa. Entretanto, una de las grandes barreras para la confección de estos ensilajes es la intensa fermentación alcohólica que ocurre cuando esta planta es ensilada sola, debido a la gran población de levaduras, naturalmente, presentes en la caña de azúcar en el momento de ensilarla (Lopes y Evangelista, 2010).

Trabajos realizados por Lima *et al.*, (2002) y Molina *et al.*, (2002), han demostrado que silajes de caña de azúcar a los cuales se les adicionaron de 0,5 a 1,5% de urea presentaron mejores patrones fermentativos y composición bromatológica.

La urea depende de la hidrólisis que realizan las ureasas microbianas y/o vegetales y de la presencia de agua para su transformación en amoníaco, reaccionando para formar hidróxido de amonio y cierta cantidad de gas amoniacal, lo que provoca un aumento en el pH (Brown, 1993).

De acuerdo a Rodríguez-Romero *et al.*, (2002), el crecimiento de los microorganismos está influenciado por el pH del medio donde se encuentran. Los mohos y levaduras crecen dentro de un intervalo de pH entre 5 y 6, mientras que los pH ácidos y la alcalinidad inhiben el crecimiento microbiano (Tortora *et al.*, 1993).

El principio fundamental de la conservación de forrajes ensilados es lograr rápidamente una

disminución del pH, a través de la fermentación producida por las bacterias ácido lácticas y el mantenimiento de las condiciones anaeróbicas en todo el silo (Woolford, 1990). Cuando el deterioro aeróbico tiene lugar, hay cambios en los parámetros químicos del forraje ensilado. El nivel de pH tiende a aumentar, el amoníaco y las aminas se acumulan, y los niveles de ácidos orgánicos tienden a disminuir (Jonsson, 1989). La susceptibilidad al deterioro aeróbico del ensilaje está determinada por factores físicos, químicos y microbiológicos, tales como el contenido de MS en el ensilaje, tamaño de las partículas ensiladas, velocidad de llenado, densidad de embalaje en el silo, entre otros (Johnson *et al.*, 2002).

Por su parte Jobim y Gonçalves (2003), advirtieron sobre el efecto de la entrada de aire al ensilado, ya que el oxígeno promueve la actividad de microorganismos deteriorantes y reductores de los azúcares solubles y ácidos orgánicos, resultando en un incremento del pH y disminución en la digestibilidad y contenido de energía. En consecuencia, los ensilajes deteriorados pueden conducir a pérdidas económicas elevadas y bajo desempeño productivo en los animales.

Durante los últimos años, mucho se ha mejorado la calidad de los procesos de fermentación del silaje, desafortunadamente lo mismo no puede decirse de la estabilidad aeróbica de los ensilados durante su apertura y uso (Honig *et al.*, 1999). La mejoría en la eficiencia de fermentación implicó una reducción en la formación de ácidos butírico, propiónico y acético, ácidos que naturalmente tiene actividad antimicótica. Generalmente, es por esta razón, que los ensilajes bien conservados se consideran más susceptibles al deterioro aeróbico por crecimiento de levaduras y hongos, en comparación con los ensilajes que tuvieron procesos de fermentación más pobres (Cai *et al.*, 1999).

Por consiguiente, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto que tiene la adición de tres niveles de urea y dos tipos de fermentación sobre los

parámetros fermentativos y microbiológicos de silajes de caña de azúcar, como indicadores de la estabilidad aeróbica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este ensayo fue realizado en el INIA Yaracuy Planta Sede, zona caracterizada como Bosque Seco Tropical (BsT), de acuerdo a la clasificación de Holdridge (1967). Los datos climáticos de los últimos 3 años para la zona reportan promedios de temperatura de 24,39°C, precipitaciones de 79,97 mm y humedad relativa del 76,34%.

Para la realización de este trabajo se confeccionaron microsilos de laboratorio a partir de caña de azúcar cosechada el mismo día, procedente de un lote diferido de 16 meses de edad, variedad PR69-2176 y ubicado en el municipio Manuel Monge del estado Yaracuy, zona de clasificada como Bosque Seco Tropical en Transición según Holdridge (1967). La caña fue cosechada de forma manual, aprovechando tallos, hojas y cogollos, siendo repicada en partículas de aproximadamente 0,5 cm., usando una picadora mecánica a gasolina, marca SANDI, modelo MP-500 de fabricación en el país. Se tomaron 3 Kg de caña repicada para preparar las mezclas según los tratamientos descritos a continuación:

- T1: Caña de azúcar repicada (100%).
- T2: Caña de azúcar repicada + 30 gr. de Urea (1%)
- T3: Caña de azúcar repicada + 60 gr. de Urea (2%)
- T4: Caña de azúcar repicada + 90 gr. de Urea (3%)

Los porcentajes de urea perlada (Marca Pequiven) agregados a los tratamientos fueron en base al peso fresco total de la caña ensilada. Cada mezcla fue preparada por separado, compactada y sellada en bolsas doble de polietileno negro tipo jardinería, de capacidad 10 kg. Se prepararon tres microsilos por tratamiento bajo fermentación anaeróbica (compactados) y replica sin compactar para garantizar la presencia de aire en su interior (fermentación aeróbica). Los microsilos fueron almacenados por un período de 30 d, a temperatura ambiente dentro de un depósito con iluminación natural (12 h luz – 12 h oscuridad), sin radiación solar directa. Cumplidos los 30 d de fermentación, se procedió a aperturar los microsilos, tomando muestras representativas de aproximadamente 500 g en cada uno, previa

homogeneización del material ensilado, a las cuales se les realizaron las siguientes evaluaciones:

pH: se tomaron 10 g de muestra a los cuales se les adicionó 90 mL de agua destilada en un beaker, agitándose con una varilla de vidrio y filtrando posteriormente la solución. Se determinó el pH directamente a través de un potenciómetro con electrodo de vidrio (Oakton pH Meter 510 Series).

Materia Seca: Según norma COVENIN 1553-80 para la determinación de humedad.

Nitrógeno amoniacal (N-NH₃): Según norma COVENIN 1195-80 para determinaciones de nitrógeno por el método de Kjeldahl.

Recuento e identificación de flora fúngica: Se trituraron 10 g de la muestra colocándose en un erlenmeyer con 90 mL de agua de peptona al 0,1% (dilución 10⁻¹). Se procedió a agitar la mezcla durante 5 minutos en agitador rotatorio (Digisistem Vortex Mixer 2000), transfiriéndose, posteriormente, una alícuota (1 mL) de la solución matriz a tubos con 9 mL de agua de peptona 0,1% (dilución 1 – 100). Se sembró en superficie 0,1 mL de la dilución final en medio papa-dextrosa-agar (PDA) por duplicado, las cuales fueron colocadas dentro de una cámara de flujo laminar (Marca C4, modelo CSB-85) a 25°C durante 5 d con intermitencia de 12 h luz – 12 h oscuridad. Se realizó el recuento expresándose los resultados como unidades formadoras de colonias/gramo (UFC/g).

A partir de estas colonias se hicieron repicajes y siembras nuevamente en medio PDA, se sometieron a las condiciones de luz y temperatura anteriormente mencionadas, y posterior a su crecimiento se procedió a su identificación. Todo esto se realizó adaptado a la metodología descrita por Carrillo (2003) para el procesamiento microbiológico de muestras de forrajes. Tanto la evaluación de pH como el recuento de flora fúngica se realizaron para los tiempos 0, 24 y 48 h de exposición aeróbica luego de ser abiertos.

Se utilizó un diseño factorial 4 x 2 (4 tratamientos x 2 fermentaciones evaluadas), con 3 repeticiones cada uno. Los datos obtenidos fueron procesados mediante un análisis de varianza y separación de medias a través de la prueba de Tukey, con el uso del programa estadístico InfoStat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la adición de urea y el tipo de fermentación sobre la MS y concentración de nitrógeno amoniacal

Se observaron mayores porcentajes de MS en el tratamiento adicionado con 1% de urea en ambas fermentaciones, y entre éstas, los microsilos fermentados en presencia de aire (FAe), mostraron mayor contenido de MS (26,45%). También se observó disminución de la misma a medida que se incrementó el contenido de urea en los microsilos (Cuadro 1).

Los promedios de ambas fermentaciones para MS mostraron poca diferencia entre ellos (± 1), evidenciando poco efecto de la presencia de aire dentro del microsililo sobre el porcentaje final de esta variable. Resultados similares fueron reportados por Araujo-Febres *et al.*, (1996) y Selaman (2004), en silajes de pasto elefante enano y King Grass, respectivamente, ambos adicionados con urea al 3%. Ferreira *et al.*, (2007), reportó el mismo efecto en silajes de caña de azúcar adicionados con 0,5% de urea a partir del primer día de fermentación.

Por su parte, López *et al.*, (1976), asociaron las pérdidas de MS por pudrición en silajes con la adición de urea o amoniac. La reducción de MS se relaciona con disminución de contenido celular, especialmente de los carbohidratos solubles durante la fermentación (Woolford, 1984). McDonald *et al.*, (1991), informó que otras vías comunes de pérdidas de MS son la producción de residuos y la pérdida de agua como resultado de las reacciones metabólicas, coincidiendo

con lo expresado a su vez por Lopes y Evangelista (2010), ya que en el caso de la caña de azúcar ensilada, el rápido inicio del proceso fermentativo se debe al elevado número de levaduras que se encuentran en el material de forma natural, por lo que las pérdidas de MS causada por el metabolismo de estos organismos puede llegar a ser bastante significativa.

Los valores porcentuales del N-NH₃ presentes en base seca en los microsilos experimentales muestran un comportamiento creciente a medida que se incrementan los niveles de urea adicionados a los mismos (Cuadro 1), obteniéndose mayores concentraciones en aquellos microsilos adicionados con el mayor porcentaje de urea (T3= 3% urea). En comparación, los tratamientos bajo fermentación anaeróbica mostraron mayor incremento en los niveles de N-NH₃ que aquellos fermentados en condición aeróbica, mientras que la diferencia observada entre los promedios de ambas fermentaciones es baja (0,22). Esto permite inferir que la presencia de oxígeno dentro del silo facilita la volatilización de este compuesto en forma de amoniac, el cual fue liberado al momento de aperturar los microsilos.

Valores cercanos a los encontrados en este trabajo fueron señalados por Urdaneta *et al.*, (2009), en silajes de caña adicionados con 3% de urea los cuales presentaron un valor de 4,86% de N-NH₃. En contraposición, no se encontró concordancia con los resultados señalados por Ferreira *et al.*, (2007) y Castro Neto *et al.*, (2008), quienes reportan valores de 29,93 y 33,3% de N-NH₃ en silajes de caña adicionados con 0,5% de urea, lo cual es indicativo de mala fermentación en el silo. Una rápida y adecuada

Cuadro 1. Contenidos de Materia Seca y nitrógeno amoniacal en silajes de caña de azúcar adicionados con diferentes niveles de urea y sometidos a dos tipos de fermentaciones.

Tratamientos	Materia Seca (%)		Nitrógeno amoniacal (%)	
	FAn	FAe	FAn	FAe
Caña	21,38	18,21	0,37	0,66
Caña + Urea 1%	23,02	26,45	0,87	0,68
Caña + Urea 2%	19,92	22,60	1,56	1,24
Caña + Urea 3%	18,78	20,03	2,13	1,45
Promedios \pm DE	20,8 \pm 1,8	21,8 \pm 3,6	1,23 \pm 0,8	1,01 \pm 0,4
Dif. entre fermentaciones	± 1		$\pm 0,22$	

FAn: fermentación anaeróbica; FAe: fermentación aeróbica.

compactación durante el proceso del ensilaje contribuye a que ocurra una baja tasa de proteólisis en el material ensilado, produciéndose entonces bajas concentraciones de N-NH₃.

Al ser hidrolizada por la ureasa, la urea es transformada en N-NH₃ que reacciona con agua para producir hidróxido de amonio (Sundstol y Coxworth, 1984), elevando la concentración de N-NH₃. En principio, esta reacción parece ser indeseable, pero en silajes de caña de azúcar la presencia del amoníaco puede ser una ventaja al controlar la presencia de levaduras (Siqueira *et al.*, 2007).

Efecto de la adición de urea y los tipos de fermentación sobre el pH y los períodos de exposición aeróbica

En el Cuadro 2 se presentan los resultados de pH para ambas fermentaciones y períodos de exposición aeróbica. Los tratamientos bajo fermentación anaeróbica mantuvieron niveles de acidez aceptables al aperturar los microsilos luego de 30 d de fermentación, según los rangos señalados por Gutiérrez (2009), e incluso se mantuvieron estables luego de ser sometidos a exposición aeróbica durante 24 y 48 h pos-fermentación. Por su parte, los tratamientos bajo fermentación aeróbica mostraron un comportamiento similar a los anteriores durante las h 0 y 24 de exposición aeróbica pos-fermentación, notándose un incremento del pH a las 48 h, alcanzando niveles cercanos a la neutralidad. En ambos casos, los microsilos a los cuales se les adicionó urea presentaron valores relativamente mayores a los del testigo, con diferencias significativas entre los tratamientos y

las fermentaciones, siendo común encontrar mayor acidez en aquellos microsilos donde no se adicionó urea (testigos).

Los resultados de pH inicial pos-fermentación (0 h) coinciden con los encontrados por Lima *et al.*, (2002) y Siqueira *et al.*, (2007), quienes reportaron valores de pH 3,75 y 4,2 respectivamente en silajes de caña de azúcar con 60 d de almacenamiento, a los cuales se les adicionó 1,5% de urea. En trabajo previo, Borges y Urdaneta (2009) indujeron el deterioro aeróbico en silajes de caña + urea (3%), encontrando valores finales de pH 9,16, así como un aumento del mismo en silajes bajo fermentación anaeróbica sometidos a 72 h de exposición aeróbica pos-fermentación (de 4,8 a 7,7). Al respecto, Rodríguez *et al.*, (1997), concluyen que la estabilidad de los ensilajes depende de la especie, contenido de MS y duración de la fermentación del material ensilado, demostrando a su vez que el deterioro de ensilajes ocurre después de 2 de que el material es expuesto a condiciones aeróbicas.

La velocidad de mantenimiento del pH resulta más importante que el pH final, pues es directamente proporcional a la disminución de la acción de los microorganismos indeseables en el silo y aisladamente no es suficiente para impedir el desenvolvimiento de las levaduras, debido a que el ácido láctico tiene bajo poder fungicida (McDonald *et al.*, 1991).

Efecto de la adición de urea y los tipos de fermentación sobre la presencia y desarrollo de flora fúngica

Las principales especies de hongos identificadas en los microsilos fueron: *Aspergillus flavus*,

Cuadro 2. Valores de pH en silajes de caña de azúcar adicionados con diferentes niveles de urea, sometidos a dos fermentaciones y dos periodos de exposición aeróbica pos-fermentación.

Tratamientos	pH					
	Fermentación anaeróbica			Fermentación aeróbica		
	0h	24h	48h	0h	24h	48h
Caña	3,18 ^c	4,72 ^a	4,17 ^b	3,15 ^b	3,33 ^b	4,65 ^c
Caña + Urea 1%	3,32 ^{abc}	4,65 ^a	4,94 ^a	3,17 ^{bc}	4,50 ^a	6,14 ^{ab}
Caña + Urea 2%	3,47 ^b	3,92 ^b	4,76 ^a	3,28 ^a	3,84 ^{ab}	6,19 ^{ab}
Caña + Urea 3%	3,77 ^a	4,24 ^{ab}	4,32 ^{ab}	3,45 ^a	4,08 ^{ab}	6,65 ^a
Promedios±DE	3,43 ^c ±0,3	4,38 ^b ±0,4	4,54 ^a ±0,4	3,26 ^c ±0,1	3,93 ^b ±0,5	5,90 ^a ±0,9

Letras distintas indican diferencias significativas (P≤0,05). Prueba de Tukey.

Aspergillus sp., *Fusarium tricinatum*, *Fusarium* sp. y *Penicillium* sp. De estas, sólo *A. flavus* y *Fusarium* sp. se encontraron en los microsilos con urea al 1 y 2%, mientras que para el tratamiento con 3% de urea se encontró solamente *Aspergillus* sp. En evaluaciones realizadas durante el período 2007-2010, Borges *et al.*, (2010), reportaron especies del género *Fusarium* como principales responsables de contaminación y deterioro en silajes de caña de azúcar con y sin aditivos. Reyes *et al.*, (2006), encontraron estos mismos géneros asociados con ensilajes de maíz, obteniendo recuentos promedios de $6,5 \cdot 10^4$ ufc/g para *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp., mientras que para *Fusarium* sp. fue de $3,5 \cdot 10^6$ ufc/g.

Estos resultados coinciden con lo señalado por Rodríguez-Romero *et al.*, (2002), quienes obtuvieron un comportamiento similar en las especies de hongos encontradas en henolaje amonificado de *B. humidicola*, donde a medida que se incrementaban los niveles de urea, disminuían estas especies, encontrándose también alta resistencia de *Aspergillus* sp. a las aplicaciones de urea. Al respecto, Tortora *et al.*, (1993), señalan que la presencia de materia orgánica y el pH del medio en que están presente los microorganismos podrían determinar si un

agente químico resulta inhibitorio o letal para los microorganismos.

Sin embargo, para los tratamientos sin urea se evidenció un mayor desarrollo de hongos al momento de la apertura del microsilo, incrementándose al ser sometidos a exposición aeróbica durante 2 d (48 h), con mayor expresión en el testigo bajo fermentación aeróbica. Los microsilos adicionados con urea mostraron un perfil bajo para desarrollar colonias fúngicas, durante los 3 tiempos de exposición aeróbica (0, 24 y 48 h) (Figura). Coincide esto también con lo señalado por Rodríguez-Romero *et al.*, (2002), los cuales señalaron un retardo en la aparición de las especies de hongos cuando se le adicionaba urea al henolaje. Esto permite inferir que el amoniaco proveniente de la urea actúa como fungicida hasta cierto nivel para algunas especies, mientras que para otras actúa como fungistático (inhibidor del crecimiento), previniendo la descomposición del material por hongos, tal como se observó en este experimento y en concordancia con los autores anteriormente señalados.

El total de las ufc/g de hongos en un silaje es determinante de su calidad. Van Saun y Heinrichs (2008), señalan conteos de hongos menores a 300.000

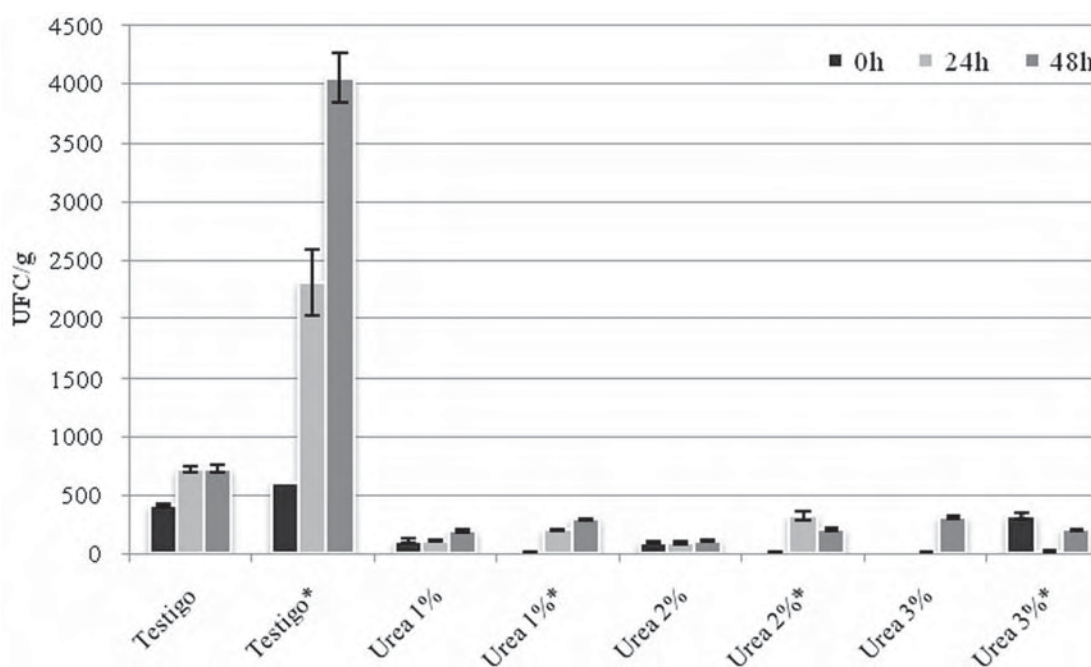


Figura. Recuento de la flora fúngica (ufc/g) presente en microsilos de caña de azúcar adicionados con diferentes niveles de urea y bajo tres periodos de exposición aeróbica pos-fermentación. (*fermentación aeróbica).

ufc/g como indicativos de silajes de calidad, mientras que por encima de 600.000 ufc/g pueden comprometer la calidad del silo; así mismo, contaminaciones extremas que excedan de 1.000.000 ufc/g donde predomine una sola especie fúngica que se considere toxigénica, como es el caso de *Aspergillus*, *Fusarium* o *Penicillium*, puede estar relacionada con la presencia de micotoxinas en el ensilaje.

Asociaciones entre las variables, los tipos de fermentación y los períodos de exposición aeróbica post-fermentación

Se pudo detectar correlación positiva significativa entre los tratamientos (microsilos de caña adicionados con niveles crecientes de urea) y el N-NH₃ ($r = 0,81$ y $P = 0,0159$), así como también correlación altamente significativa entre tratamientos y pH ($r = 0,81$ y $P = <0,0001$). Este comportamiento permite señalar que la adición de urea en niveles crecientes se encuentra asociada directamente con el incremento en los contenidos de nitrógeno amoniacal y del pH, por lo que la adición de porcentajes mayores a los evaluados en esta investigación podrían interferir negativamente en la fermentación y calidad final del silaje.

Para los tipos de fermentaciones se obtuvieron correlaciones positivas significativas para la fermentación anaeróbica entre el tratamiento y N-NH₃ ($r = 1,00$ y $P = 0,0017$), tratamiento y pH a las 0 h pos-fermentación ($r = 0,96$ y $P <0,0001$); para la fermentación aeróbica se detectaron entre tratamiento y pH a las 0 y 48 h pos-fermentación ($r = 0,87$ y $P = 0,0002$ / $r = 0,82$ y $P = 0,0012$), respectivamente, así como no significativa para pH a las 24 h pos-fermentación y la flora fúngica desarrollada a las 24 h ($r = 0,72$ y $P = 0,27$).

Estas asociaciones encontradas y conjuntamente con los resultados encontrados en esta investigación nos permiten demostrar que una adecuada elaboración y fermentación anaeróbica en los silaje es una de las mejores medidas para evitar el crecimiento de hongos que puedan causar deterioro en el material ensilado y posiblemente producir toxinas, coincidiendo con lo reportado por Gaggiotti *et al.*, (2001). La adición de urea al 1% permite mantener la estabilidad aeróbica del silaje sin interfeerir significativamente en el patrón fermentativo del mismo. De igual forma, estos resultados contribuyen en el fortalecimiento de las tecnologías para mejorar la calidad de los silajes de

caña de azúcar para la alimentación animal en el trópico.

CONCLUSIONES

La adición de urea en silajes de caña de azúcar contribuye a mantener la estabilidad del silo una vez expuesto a condiciones aeróbicas pos-fermentación.

La concentración del 1% de urea no afectó los contenidos de MS y ejerció un efecto fungistático para las especies de hongos encontradas en los silos, tanto en condiciones de anaerobiosis como en aerobiosis durante el proceso fermentativo.

La adición de urea al 2 y 3% disminuyó los contenidos de MS e incrementó los porcentajes de nitrógeno amoniacal presentes en el silo, lo cual puede afectar la calidad final del mismo.

La fermentación inducida por ausencia de aire (anaerobiosis), en silajes de caña asegura la calidad e inocuidad del mismo, disminuyendo la formación de microorganismos indeseables durante el proceso.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Finca Sincelejo por la cesión de sus instalaciones para la preparación de los microsilos, a la Fundación CIEPE por los análisis químicos realizados. Igualmente a los bachilleres Joel Figueroa y Nirvio Rodríguez quienes apoyaron la realización de esta investigación.

LITERATURA CITADA

- Araujo-Febres O., A. Márquez-Araque, O. Ferrer y A. Pirela. 1996. Evaluación cualitativa de silaje de pasto elefante enano (*Pennisetum purpureum* cv. Mott) a diferentes edades de corte y adicionando urea y melaza. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 13:371-380.
- Borges J.A., J. Urdaneta y M. González. 2009. Deterioro y contaminación de ensilajes. Venezuela Bovina 82: 56-59.
- Borges J.A., M. Barrios, E. Sandoval, Y. Bastardo, O. Márquez, D. Sánchez, A. García y R. Belisario. 2010. Observaciones sobre la micoflora contaminante en alimentos para rumiantes. Mundo Pecuario (6)2: 143-150.
- Brown W. 1993. Amoniacación de heno y suplementación de energía y proteína para ganado de carne.

- Memorias de la Conferencia Internacional sobre Ganadería en los Trópicos. Universidad de Florida: 39-47.
- Cai Y., Y. Benno, M. Ogawa, and S. Kuma. 1999. Effect of applying lactic acid bacteria isolated from forage crops on fermentation characteristics and aerobic deterioration of silage. *J. Dairy Sci.* 82:520-526.
- Carrillo L. 2003. Los hongos de los alimentos y forrajes. Ediciones Universidad Nacional de Salta, Argentina. ISBN 987-9381-19-X. 128 p.
- Castro Neto A.G., L.R. Molina, L.C. Gonçalves, C.G. Jayme. 2008. Parâmetros de fermentação de silagens de cana-de-açúcar submetidas a diferentes tratamentos. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 60(5):1150-1156.
- Ferreira D.A., L.C. Gonçalves, L.R. Molina, A.G. Castro Neto y T.R. Tomich. 2007. Fermentation of sugarcane silage treated with urea, zeolita, bacteria inoculant and bacteria/enzymatic inoculants. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.* 59(2):423-433.
- Gaggiotti M.C., J.C. Basílico, L.A. Romero, M.Z. de Basílico, S. Caffaratti y O.A. Quaino. 2001. Eficacia del uso de vomitoxina como indicadora de la presencia de otras micotoxinas en silajes. XVII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal, La Habana, Cuba.
- Gutiérrez, L.M. 2009. Evaluación práctica de silajes y henolajes empaquetados. E.E.A. Balcarce, INTA. Disponible en línea: <http://www.produccion-animal.com.ar>. [Noviembre 10, 2009]
- Holdridge L.R. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica.
- Honig H., G. Pahlow and J. Thaysen. 1999. Aerobic instability – Effects and possibilities for its prevention. The XII International Silage Conference. Uppsala, Sweden. pp 288-289.
- Jobim C. C. y G. D. Gonçalves. 2003. Microbiología de forrajes conservadas. **In:** Reis R. A., T. F. Bernardes, G.R. Siqueira. (Eds.) *Volumos na produção de ruminantes: valor alimentício de forrajes*. Jaboticabal: Funep, 2003. pp. 1-26.
- Johnson L.M., J.H. Harrison, D. Davison, W.C. Mahanna, K. Shinnars and D. Linder. 2002. Corn silage management: Effects of maturity, inoculation, and mechanical processing on pack density and aerobic stability. *Journal of Dairy Science* 85: 434-444.
- Jonsson A. 1989. The role of yeast and clostridia on silage deterioration. Ph.D. Diss. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Lima J.A., A.R. Evangelista, J.G. Abreu. 2002. Silagem de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) enriquecida com ureia ou farelo de soja. **In:** REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. Anais... Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia. (CD-ROM).
- Lopes J. y A. R. Evangelista. 2010. Características bromatológicas, fermentativas e população de leveduras de silagens de cana-de-açúcar acrecidas de ureia e aditivos absorventes de umidade. *R. Bras. Zootec.* 39(5):984-991.
- López J. M., T. R. Preston y T. M. Sutherland. 1976. Efectos de varios aditivos sobre la producción de ácido láctico en ensilajes de sorgo (*Sorghum vulgare*). *Prod. Anim. Trop.* 1:180.
- McDonald P., A.R. Henderson and S.J.E. Heron. 1991. The biochemistry of silage. 2.ed. Merlow: Chalcomb Publications. 340 p.
- Molina L.R., D.A. Ferreira, L.C. Gonçalves. 2002. Padrão de fermentação da silagem de cana-de-açúcar submetida a diferentes tratamentos. **In:** REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39., 2002, Recife. Anais... Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia. (CD-ROM).
- Reyes W., C. Jiménez, F. Rojo. 2006. Evaluación de la calidad nutricional y contaminación por hongos y micotoxinas en el ensilado destinado al consumo animal. Avances en la Investigación Científica en el CUCBA, México. ISBN 970-27-1045-6. pp. 813-818.
- Rodríguez A.A., J.A. Acevedo y E.O. Riquelme. 1997. Estabilidad aeróbica de ensilaje de pasturas tropicales nativas. Efecto del ácido propiónico y

- tiempo de exposición aeróbica. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 5 (Supl. 1): 83-85.
- Rodríguez-Romero N., O. Araujo-Febres, B. González y R. Santos. 2002. Efecto de la amonificación con urea sobre el pH y la presencia de microorganismos en heno de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. Rev. Científica 12(2):572-574 (supl.)
- Selaman M. 2004. Effects of legume, molasses and urea inclusion on the quality of dwarf napier and king grass silages. Masters thesis, Universiti Putra Malaysia.
- Siqueira G.R., R.A. Reis, e R.P. Schocken-Iturrino. 2007. Perdas de silagens de cana-de-açúcar tratadas com aditivos químicos e bacterianos. R. Bras. Zootec. 36(6):2000-2009 (Supl.)
- Sundstol F. and E.M. Coxworth. 1984. Ammonia treatment. **In:** Sundstol, F.; Owen, E. (Eds.). Straw and other fibrous products as feed. Amsterdam: Elsevier, 1984. pp. 196-247.
- Tortora G.J., B.R. Funke and C.L. Case. 1993. Introducción a la Microbiología. Editorial Acribia. S. A. Tercera edición. 792 p.
- Urdaneta J., M. González y J. Borges. 2009. Silajes mixtos: alternativa para el pequeño productor. Venezuela Bovina 81: 26-31.
- Van Saun R.J. and A.J. Heinrichs. 2008. Troubleshooting silage problems: how to identify potential problems. Proceedings of the Mid-atlantic Conference. Disponible en línea: www.das.psu.edu/das/dairy/dairy-nutrition/forges/tmr. [Noviembre 10, 2009]
- Woolford, M. K. 1984. The silage fermentation. New York: Marcel Dekker. 350 p.
- Woolford M .K. 1990. The detrimental effect of air on silage. J. Appl. Bact. 68:101-116.