

Producción de ensilaje de maíz blanco (*Zea mays* L.) de alto valor proteico con y sin mazorca asociado con dos leguminosas anuales, lablab (*Lablab purpureus* L.) y crotalaria (*Crotalaria juncea* L.)^{1,2}

David Zavala³, Elide Valencia^{4*}, Paul F. Randel⁵ y Rafael Ramos-Santana⁶

J. Agric. Univ. P.R. 95(3-4):151-167 (2011)

RESUMEN

En este estudio se evaluó el rendimiento de materia seca (RMS) y la composición botánica de maíz blanco (*Zea mays* L.) de alto valor proteico (QPM, por sus siglas en inglés) con y sin mazorca, asociado o no con las leguminosas anuales lablab (*Lablab purpureus* L.) y crotalaria (*Crotalaria juncea* L.), y se determinó el valor nutritivo y los productos de fermentación de los ensilajes de dichas asociaciones. El experimento se realizó en la Subestación Experimental de Isabela, Puerto Rico, entre los meses de enero y abril de 2010 en un suelo Oxisol. Se intercaló lablab y crotalaria con el maíz QPM blanco en un diseño de bloques completos aleatorizados con seis tratamientos y cuatro repeticiones. A los 90 d post siembra se removieron las mazorcas, en estado de grano lechoso, en tres de los tratamientos [Monocultivo (MSM), y maíz en asociación con lablab (MLSM) y con crotalaria (MCSM)]; al día siguiente se ensilaron las plantas. Hubo tres tratamientos análogos de maíz con mazorca (MM, MLM y MCM). Entre los tratamientos con mazorca, el RMS subió de 9,890 kg/ha (MM) a 11,256 kg/ha (MLM) y 14,786 kg/ha (MCM) con la inclusión de leguminosa, mientras entre los tratamientos sin mazorca subió de 7,270 kg/ha (MSM) a 8,667 kg/ha (MLSM) y 10,641 kg/ha (MCSM); la remoción de mazorca significó pérdidas de RMS de 2,620; 2,589; y 4,145 kg/ha para las tres respectivas comparaciones. El beneficio al RMS resultante de la asociación fue mayor con crotalaria (4,134 kg/ha) que con lablab (1,382 kg/ha). La asociación con crotalaria también fue más efectiva que aquella con lablab para reducir la proporción de maleza en

¹Manuscrito sometido a la Junta Editorial el 26 de mayo de 2011.

²Este trabajo de investigación se realizó con fondos del programa "Tropical and Sub-tropical Agricultural Research" (TSTAR-125). Se agradece al Dr. James Beaver y al Dr. Elide Valencia por proveer la semilla utilizada en este estudio.

³Ex-Estudiante Graduado, Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales, Box 9000, Universidad de Puerto Rico-Mayagüez, Mayagüez, P.R. 00681.

⁴Catedrático, Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales, Box 9000, Universidad de Puerto Rico-Mayagüez, Mayagüez, P.R. 00681. *Autor para correspondencia: Tel. 787-265-3855; E-mail elide.valencia@upr.edu.

⁵Nutricionista Animal, Departamento de Industria Pecuaria.

⁶Catedrático, Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales.

el cultivo (MM, 20.5%; MLM, 17.1%; MCM, 9.9%). Relativo a los ensilajes de monocultivo, la asociación con leguminosa resultó en una leve reducción en materia seca (26.6 a 25.9%), pero un aumento en proteína bruta (PB) (10.0 a 11.9%) ($P < 0.05$). No se afectó el contenido de fibra detergente neutro, pero el de fibra detergente ácido aumentó de 32.9% en monocultivo a 38.3% en asociación con leguminosa, siendo dicho efecto más marcado en ausencia de mazorcas. Las asociaciones maíz-leguminosa beneficiaron el combate de malezas y el RMS en el campo e incrementaron el contenido de PB en los ensilajes sin afectar el proceso fermentativo aun cuando se removió la mazorca del maíz antes de ensilar.

Palabras clave: QPM, remoción de mazorca, lablab, crotalaria, ensilaje

ABSTRACT

Silage from high protein value white corn (*Zea mays* L.) with and without ears associated with two annual legumes, lablab (*Lablab purpureus* L.) and sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.).

In this study we evaluated the dry matter yield (DMY) and botanical composition of high protein value (QPM) white maize (*Zea mays* L.) with and without ear removal and associated or not with the annual legumes lablab (*Lablab purpureus* L.) and sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.), and determined the nutritional value and products of fermentation of silage of these associations. The experiment was conducted in the Experimental Substation at Isabela, Puerto Rico, between January and April 2010 in an Oxisol soil. Lablab and sunn hemp were intercropped with white QPM corn in a randomized complete block design with six treatments and four replications. Ears with grain in the milky stage were removed from the plant at 90-d post seeding; the next day the crop was ensiled in three of the treatments [Monoculture (CWOE), associated with lablab (CLWOE) and with crotalaria (CCWOE)]. There were three analogous treatments of corn with ears present (CE, CLE and CCE). Among the latter, DMY increased with intercropping from 9,890 kg/ha (CE) to 11,256 kg/ha (CLE) and 14,786 kg/ha (CCE) whereas among the treatments without ears the increases were from 7,270 kg/ha (CWOE) to 8,667 kg/ha (CLWOE) and 10,641 kg/ha (CCWOE), thus indicating DMY losses of 2,620 kg/ha, 2,589 kg/ha and 4,145 kg/ha as a result of ear removal, for the three respective comparisons. A greater benefit to DMY occurred when sunn hemp was the intercrop (4,134 kg/ha) compared with that of lablab (1,382 kg/ha). Intercropping with sunn hemp was also more effective in reducing the proportion of weeds in the crop than with lablab (CE, 20.5%; CLE, 17.1%; CCE, 9.9%). Relative to monoculture silage, the intercropped legumes resulted in a slight reduction in dry matter (26.6 to 25.9%), but an increase in crude protein (CP) (10.0 to 11.9%) ($P < 0.05$). The neutral detergent fiber content of the silages was not affected, but acid detergent fiber increased from 32.9% in monoculture to 38.3% when intercropped with legume; this effect was more pronounced in the absence of ears. Corn-legume intercropping benefited weed control and increased DMY in the field and CP content of silage, without affecting the fermentation process, even when the corn ears were removed before ensiling.

Key words: QPM, ear removal, lablab, sunn hemp, silage

INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de la población mundial exige la implantación de sistemas agropecuarios productivos y eficientes. Sin embargo,

elegir la productividad alimentaria de especies de interés zootécnico implica mantener los suministros de alimento durante todo el año (Castillo et al., 2009). El maíz (*Zea mays* L.), una planta anual originaria de México y Centroamérica, es un cultivo de múltiples propósitos incluyendo su uso para consumo humano, elaboración de alimentos para animales y producción industrial de etano, almidón y fructosa (Beaver, 2008; Dahmardeh et al., 2009; NRC, 1988).

El maíz como alimento humano se consume en una gran variedad de formas y la mayor variación al respecto se encuentra en México y América Latina donde es un alimento básico (Paliwal, 2001). Existen muchas formas de preparar la mazorca verde dependiendo de la región donde se cultive (Dowswell et al., 1996). Como fuente forrajera, sobre todo en forma de ensilaje, el maíz reviste mucha importancia por sus altos rendimientos de biomasa (35 a 95 t/ha; Somarribas, 2007) y el alto contenido de carbohidratos no estructurales que favorecen al proceso fermentativo; sin embargo, el aporte proteico al sistema ruminal es restringido (Chaverra y Bernal, 2000). Estudios recientes enfocan el establecimiento de asociaciones entre maíz y leguminosas para aumentar el aporte de proteína al ensilaje (Contreras-Govea et al., 2009b).

La producción de maíz para consumo humano y animal así como los ingresos para el productor de mazorcas verdes pueden alcanzar un balance. El presente estudio tiene como objetivos evaluar el RMS y composición botánica de una variedad de maíz blanco (QPM), con y sin mazorca, asociado con dos leguminosas anuales, lablab (*Lablab purpureus*) y crotalaria (*Crotalaria juncea*), y determinar la composición química y estado de conservación (productos de fermentación) de ensilajes de dichas asociaciones en el noroeste de Puerto Rico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Subestación Experimental Agrícola de Isabela (18° 30' Latitud Norte y 67° 00' Longitud Oeste) a una altura de 128 msnm. La precipitación pluvial anual media es de 1,675 mm, con una temperatura media de 25° C, con fluctuaciones entre 19 y 29 °C. La siembra se llevó a cabo en un suelo Oxisol de la serie Coto (Tepic Eustrustox) con pH de 5.42 y contenido de materia orgánica de 2.64%. Se realizó labranza convencional (10 días antes de la siembra), que constó de un pase de arado a 45 cm de profundidad y luego un pase de rastra y de rotocultivador para triturar el suelo.

Este experimento consistió en elaborar ensilajes provenientes de un cultivar de maíz blanco de alta calidad proteica (QPM) con y sin asociación de las leguminosas anuales, lablab y crotalaria "Tropic Sun". En

este caso se evaluó el ensilado del maíz con y sin mazorca, resultando en seis combinaciones descritas a continuación:

- MM: QPM blanco con mazorca
- MSM: QPM blanco sin mazorca
- MLM: QPM blanco con mazorca + lablab
- MLSM: QPM blanco sin mazorca + lablab
- MCM: QPM blanco con mazorca + crotalaria
- MCSM: QPM blanco sin mazorca + crotalaria.

La siembra se realizó el 29 de enero de 2010 utilizando semilla de maíz QPM blanco (95% de germinación) obtenida del programa de mejoramiento genético que se realiza en la Subestación Experimental de Isabela. Las semillas de lablab y crotalaria (78 y 90% de germinación, respectivamente) se obtuvieron del programa de pastos y forrajes de la Estación Experimental Agrícola, que se realiza en varias subestaciones experimentales de la Universidad de Puerto Rico.

Se realizó una siembra convencional, utilizando una sembradora Flex 71 John Deere⁷ de dos hileras, a una distancia de 90 cm entre hileras y de 15 cm entre plantas para el maíz. Al momento de intercalar la leguminosa se pasó la sembradora a la misma distancia, solo que en mitad del surco, quedando una distancia de 90 cm entre leguminosa y leguminosa, y de 45 cm respecto al maíz. El lablab se sembró a la misma distancia entre plantas que el maíz, pero en el caso de la crotalaria, por tratarse de semilla más pequeña, se utilizó otro disco para sembrar y el espaciamiento entre plantas fue de 7 cm aproximadamente. El área total experimental estimada fue de 0.13 ha. El diseño experimental fue de bloques completos aleatorizados con seis tratamientos y cuatro repeticiones.

A los 27 días después de la siembra se aplicó un insecticida biológico, Dipel (*Bacillus thuringiensis*) a razón de 1.2 g/L, para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). Al persistir el cogollero, se recurrió a una segunda aplicación a los 48 días después de la siembra, asperjando con Lannate (Metomil) 2.5 ml/L. El cultivo se monitoreó una o dos veces por semana para observar el estado físico de la mazorca, hasta ver un estado lechoso pastoso del grano que indicó el momento preciso para cosechar y ensilar.

A los 90 días después de la siembra se removieron las mazorcas de las plantas cuyo tratamiento no las incluía, y al siguiente día se realizó

⁷Los nombres de compañías y de marcas registradas sólo se utilizan para proveer información específica y su uso no constituye garantía por parte de la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico, ni endoso sobre otros productos o equipo que no se mencionan.

la cosecha y ensilado con sus respectivas mezclas. Se midió y recolectó 1 m² de material forrajero de todas las repeticiones de los distintos tratamientos, y se pesó con una balanza de campo (Pelouze® modelo 7820). Se extrajeron dos sub-muestras de aproximadamente 500 g, una que se secó en un horno de aire forzado (65° C/72 horas) y se utilizó para la determinación de materia seca (MS), y la otra que se utilizó para determinar la composición botánica (separando manualmente maíz, leguminosa y malezas).

Para el proceso de ensilaje se cortó el material de cada tratamiento manualmente con machete; luego se trituró mecánicamente (Ferry Mac de 16 HP modelo SC183 NS- B00297), un proceso que redujo el tamaño de partícula a aproximadamente 1 a 2 cm. El material triturado se recolectó en micro-silos de capacidad de 15 L, compactando manualmente hasta aforar el micro-silo, que luego se selló herméticamente. Al final se obtuvieron cuatro microsilos por tratamiento, haciendo un total de veinticuatro micro-silos, que se guardaron a temperatura ambiente (26° C).

Se abrieron los microsilos después de 31 d de fermentación. De cada micro-silo se tomó y pesó en balanza eléctrica (Denver Instrument® XP600) tres muestras de aproximadamente 500 g cada una. Dos de ellas se colocaron en bolsas plásticas de cierre hermético (Ziploc®, 946 ml) y se congelaron; la tercera muestra se colocó en una bolsa de tela y se secó en horno de aire forzado (65° C/72 h); posteriormente se molió en un molino eléctrico Wiley pasándola por un tamiz de 1 mm de porosidad. Las muestras molidas se depositaron en bolsas plásticas herméticas (Nasco Whirl-Pak®, 355 ml), debidamente identificadas, y se almacenaron en un lugar salvaguardadas de la humedad. De las muestras congeladas se cogió un lote y se dejó las duplicadas como muestras de seguridad. Se enviaron muestras congeladas y secas al laboratorio comercial (Dairy One Forage Lab, Ithaca, NY) para análisis de las primeras para productos de fermentación del ensilaje, y las segundas para fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA).

Se cuantificaron las variables RMS, composición botánica (proporción de maíz, leguminosa y maleza), proteína bruta (PB), FDN y FDA de los ensilajes de maíz con y sin mazorca y sus combinaciones con las leguminosas anuales. Como productos de la fermentación se analizó el contenido de MS; pH; ácidos láctico, acético, propiónico, butírico, isobutírico y totales; razón ácido láctico: ácido acético; amonio proteína equivalente; y proporción de amonio en nitrógeno total; todo esto bajo los estándares del laboratorio comercial de forrajes Dairy One.

Los datos recopilados se digitaron en hojas electrónicas de Excel para ser analizados según un diseño de bloques completos aleatorizados con el paquete estadístico SAS versión 9.1 para Windows (SAS Institute,

2002). Se realizaron pruebas de heterogeneidad de varianzas en el efecto de tratamiento para elegir el modelo de mejor ajuste según el criterio de máxima verosimilitud restringida (-2 res log likelihood). Las variables respuestas correspondientes a ácido acético, ácido isobutírico y amonio proteína equivalente fueron las que se ajustaron al modelo de heterogeneidad de varianzas en el efecto de tratamiento; las demás variables se ajustaron al modelo con varianzas homogéneas. Se usó El PROC MIXED (SAS Institute, 2002) para detectar diferencias en las variables respuestas de RMS, composición botánica, valores nutritivos y características fermentativas del ensilaje proveniente de los distintos tratamientos. Los tratamientos fueron efectos fijos y los bloques efectos aleatorios. La prueba de tipo 3 para efectos fijos y los efectos principales significativos fueron analizados mediante LSMEANS de SAS (SAS Institute, 2002). La prueba de Tukey (P=0.05) y la opción pdiff adjust sirvieron para comparación de medias, usando la macro PDMIX800 (Saxton, 1998).

El modelo estadístico usado se describe a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable dependiente

μ = Promedio general estimado

α_i = Factor tratamiento

β_j = Efecto del j -ésimo bloque

ε_{ij} = Error aleatorio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de materia seca (RMS)

El RMS (kg/ha) varió significativamente (P < 0.05) entre los seis tratamientos (Cuadro 1). La media mayor de 14,786 correspondió a la combinación de maíz con mazorca y crotalaria (MCM), que superó (P < 0.05) a los tratamientos de maíz en monocultivo sin mazorca (MSM) y con mazorca (MM) y maíz sin mazorca en asociación con lablab (MLSM) cuyas medias fueron 7,270; 9,890; y 8,667 kg, respectivamente, pero no superó significativamente a MLM (11,256) ni a MCSM (10,641). El RMS de MCM superó por 40% a los otros tres tratamientos citados (Cuadro 1). Alfonso et al. (1997) obtuvieron rendimientos de biomasa de 11,860 kg MS/ha al asociar maíz con crotalaria, resultado inferior al de la misma combinación encontrado en el presente estudio, pero muy cercano al del tratamiento maíz sin mazorca y crotalaria (10,641 kg MS/ha).

Al comparar las medias de RMS de los tratamientos con mazorca y sin mazorca no hubo diferencias significativas (P > 0.05), pero se obser-

CUADRO 1. *Rendimiento de materia seca y composición botánica de maíz blanco (QPM) con y sin mazorca en asociación o no con dos leguminosas anuales.*

Tratamiento	Rendimiento		Composición botánica %		
	(kg/MS ¹ /ha)	Maíz	Maleza	Lablab	Crotalaria
MM ²	9,890 a	79.48 a	20.52 a	0	0
MSM ³	7,270 a	81.35 a	18.65 a	0	0
MLM ⁴	11,256 ab	65.17 a	17.12 a	17.71	0
MLSM ⁵	8,667 a	64.50 a	15.08 a	20.42	0
MCM ⁶	14,786 b	68.76 a	9.87 a	0	21.37
MCSM ⁷	10,641 ab	68.43 a	10.61 a	0	20.96

Dentro de la misma columna, promedios seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas $P < 0.05$.

¹Materia Seca; ²Maíz + Mazorca; ³Maíz sin Mazorca; ⁴Maíz + Lablab + Mazorca; ⁵Maíz + Lablab sin Mazorca; ⁶Maíz + Crotalaria + Mazorca; ⁷Maíz + Crotalaria sin Mazorca

vó una inferioridad relativa de 24 a 28% en los segundos. Prieto (2007) reportó un rendimiento de biomasa en mazorcas de 2,250 kg MS/ha equivalente al 28% de la producción de la biomasa total (7,940 kg MS/ha). Por su parte, Amador y Boschini (2000) informaron un rendimiento de mazorcas, para maíz con 121 días de edad, de 3,524 kg MS/ha equivalente al 23% del rendimiento total (15,184 kg MS/ha). Todos los tratamientos sin mazorca dieron RMS por encima de 7,000 kg/ha, lo que difiere del valor obtenido por Jiménez et al. (2002) de 5,609 kg MS/ha al asociar maíz y soya y remover el 50% de los elotes (mazorcas). Esta comparación sienta la pauta para sospechar que las leguminosas usadas en el presente estudio aportan más biomasa por unidad de área que la usada por Jiménez et al. (2002).

Composición botánica

En el Cuadro 1 se observa que la asociación de maíz con lablab o crotalaria resultó en una reducción, aunque no significativa ($P = 0.39$) del porcentaje de maleza. La proporción de maleza más alta correspondió al tratamiento MM con 20.52% o 2,029 kg MS/ha. Por su parte, el tratamiento MCM tan solo reflejó un 9.87% de maleza equivalente a 1,459 kg MS/ha. Es notable que los tratamientos de maíz en monocultivo MM (20.52%) y MSM (18.65%) duplican el porcentaje de maleza comparado con los tratamientos de maíz con y sin mazorca asociado con crotalaria, MCM (9.87%) y MCSM (10.61%). Sandoval (2007) obtuvo 6.59 y 3.0% de maleza para maíz en monocultivo y maíz asociado con mucuna, respectivamente, aunque aquellos datos no están en la misma dimensión que los presentes porque se realizaron controles de malezas.

Contenido de materia seca (MS)

Se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en el porcentaje de MS del ensilaje, los tratamientos MM, MCM y MCSM superando al MLSM; con medias respectivas de 27.28, 27.18, 27.30 y 23.68 (Cuadro 2). Esto significa disminución de MS de tres puntos porcentuales en el tratamiento MLSM. Contrario a los tratamientos con lablab, los tratamientos con crotalaria (MCM y MCSM) fueron los de mayor porcentaje de MS. Los resultados presentes difieren a los hallazgos de Castillo et al. (2009), de valores de 21.44 y 19.76% MS al combinar maíz con vigna (*Vigna radiata*) al 30 y 40%, respectivamente. Según Boschini y Elizondo (2003) los ensilajes con valores menores de 25% de MS se consideran de alta humedad, y se prestan a perder nutrientes altamente digeribles en los efluentes líquidos (Cañeques y Sancha, 1998).

Proteína bruta (PB)

Existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos en porcentaje de PB de los ensilajes (Cuadro 2). El tratamiento MLSM seguido por el MCSM fueron los de mayor porcentaje de PB (12.65 y 12.15%), superando ($P < 0.05$) a MM y MSM (10.20 y 9.78%, respectivamente). El tratamiento MCM (11.80%) también superó al MSM, mientras el MLM (11.18%) no difirió con ninguno de los otros. Hubo un aumento en PB de 2 a 2.5 unidades porcentuales al asociar el maíz con las leguminosas anuales comparado con los tratamientos de monocultivo. De modo semejante, relativo al monocultivo, Colbert (2009) observó un aumento entre 3.1 y 3.8 unidades porcentuales al asociar sorgo con lablab y con mucuna, respectivamente. Quizás en el presente estudio el aumento fue menor debido al tipo de maíz usado (cultivar QPM), que tiene una composición proteica modificada. Castillo et al. (2009) encontraron porcentajes de PB de 10.39 y 11.28 en los ensilajes al aumentar de 30 a 40% la proporción de vigna en la asociación maíz-leguminosa. Este resultado sugiere comparar la extracción de mazorcas a los tratamientos asociados con leguminosas (MLSM y MCSM) con los correspondientes tratamientos incluyendo las mazorcas (MLM y MCM). Los primeros mostraron una pequeña ventaja (12.65 y 12.15% contra 11.18 y 11.80%, respectivamente). Este resultado señala que el pequeño productor de maíz tiene la opción de producir mazorcas para la venta y también forraje de buena calidad cuando el precio de mercado de la mazorca sea rentable.

Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido

No se verificaron diferencias significativas ($P = 0.10$) entre los tratamientos en contenido de FDN de los ensilajes; los valores variaron entre 53.35 y 59.20%. Dahmardeh et al. (2009) obtuvieron valores de

55.34% FDN al asociar maíz con “cowpea” (*Vigna unguiculata*) en la proporción de 50:50, resultado que está congruente con lo observado en la presente investigación.

Existió una tendencia a un mayor contenido de FDN en los tratamientos sin mazorca (MSM, 56.70; MLSM, 57.00; y MCSM 59.20%) comparado con los de presencia de mazorca (MM, 54.48; MLM, 53.35; y MCM, 55.18%) (Cuadro 2). Esta tendencia puede deberse a que la extracción de mazorca deja mayor proporción de tallos en la asociación. Amador y Boschini (2000) verificaron mayor contenido de FDN en los tallos de maíz que en las mazorcas (67.03 y 56.97%, respectivamente). Contreras-Govea et al. (2009a) observaron que el contenido de FDN aumentó por 8.8 puntos porcentuales al asociar lablab o mucuna con maíz. Por lo tanto, sería de esperar que la combinación de leguminosa presente y extracción de mazorca incrementara el %FDN de los ensilajes obtenidos, tal como se notó en los seis tratamientos presentes (Cuadro 2).

Se encontró diferencias significativas en el contenido de FDA ($P < 0.05$) en los ensilajes entre los tratamientos, siendo MM (31.48%) menor ($P < 0.05$) que MCM (38.90%) y MCSM (41.68%) y este último también diferente al MSM (34.25%), mientras los tratamientos MLM y MLSM no difieren a ningún otro. Queda claro que tanto la inclusión de las leguminosas como la extracción de la mazorca tienden a elevar el porcentaje de FDA y el de FDN en el ensilaje (Cuadro 2). Notable es la diferencia de 10 puntos porcentuales de FDA entre los tratamientos MM y MCSM. Salinas y Crespín (2010) reportaron respectivos porcen-

CUADRO 2. Porcentaje de materia seca, proteína bruta, fibra detergente neutro y ácido de ensilajes de maíz QPM blanco con y sin mazorca asociado o no con dos leguminosas anuales.

Tratamiento	MS ¹	PB ²	FDN ³	FDA ⁴
	%	%	%	%
MM ⁵	27.28 a	10.20 bc	54.48 a	31.48 c
MSM ⁶	25.82 ab	9.78 c	56.70 a	34.25 bc
MLM ⁷	25.52 ab	11.18 abc	53.35 a	35.32 abc
MLSM ⁸	23.68 b	12.65 a	57.00 a	37.38 abc
MCM ⁹	27.18 a	11.80 ab	55.18 a	38.90 ab
MCSM ¹⁰	27.30 a	12.15 a	59.20 a	41.68 a

Dentro de la misma columna, promedios seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

¹Materia Seca; ² Proteína Bruta; ³ Fibra Detergente Neutro; ⁴Fibra Detergente Ácido; ⁵ Maíz + Mazorca, ⁶ Maíz sin Mazorca, ⁷ Maíz + Lablab + Mazorca; ⁸ Maíz + Lablab sin Mazorca, ⁹ Maíz + Crotalaria + Mazorca, ¹⁰ Maíz + Crotalaria sin Mazorca

tajes de FDA de 42.32 y 42.41 para ensilajes de sorgo en asocio con canavalia (*Canavalia ensiformis*) y con vigna (*Vigna sinensis*) en proporción 50:50 comparado con valores de 38.60 y 33.48% para el sorgo solo.

Amador y Boschini (2000) verificaron una mayor concentración de FDA en los tallos de maíz que en las mazorcas (42.44 y 24.79%, respectivamente) y Contreras-Govea et al. (2009a) señalaron un aumento de FDA en 12 unidades porcentuales cuando lablab o mucuna se asociaron con maíz. La combinación de inclusión de leguminosa y extracción de mazorca necesariamente harán que se incremente el %FDA de los ensilajes relativo a los monocultivos de maíz y los cultivos con mazorca presente. Aunque los presentes valores de FDA se puedan considerar un poco altos, en solo uno de los seis tratamientos rebasa el 40% y en ninguno se acerca al valor de 48.75% reportado por Elizondo y Boschini (2001) para forraje de maíz a los 84 días de edad.

pH

En el Cuadro 3 se observa que existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el pH de los ensilajes entre los tratamientos, con el pH de MSM más bajo que los de MCM, MCSM y MLSM, siendo las respectivas medias 3.70 contra 3.88, 3.85 y 3.82; así también entre el pH del ensilaje MM que difirió al de MCM con 3.75 y 3.88, respectivamente. La extracción de la mazorca no presentó tendencia alguna al respecto, pero la inclusión de leguminosas tendió a aumentar el pH del ensilaje. Salinas y Crespín (2010) observaron pH de 3.58, 3.70, 3.77, 3.83 y 4.00 en los ensilajes al mezclar sorgo-canavalia en las respectivas proporciones 100:0, 80:20, 70:30 60:40 y 50:50. Sandoval (2007) encontró pH de 3.87 en ensilaje de maíz como monocultivo y 3.96 en el de maíz asociado con mucuna. La resistencia a cambiar el pH ante la adición de ácido o álcali es conocida como capacidad "buffer" y las leguminosas tienen dicha capacidad en mayor grado que las gramíneas al poseer en abundancia cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ y alta concentración de proteína, la cual es efectiva especialmente si la proteólisis libera nitrógeno no proteico (NNP) (Collin y Owen, 2003).

Ácidos orgánicos en general

Los ensilajes de los distintos tratamientos no difirieron significativamente en contenido de ácido láctico ($P = 0.14$) y ácido acético ($P = 0.45$) ni en la relación ácido láctico: acético ($P = 0.20$) y tampoco en ácidos totales ($P = 0.18$). Se encontró diferencias sólo en el caso de ácido isobutírico ($P < 0.05$).

Ácido láctico

La concentración de ácido láctico varió entre los límites de 6.66 a 7.60%, con una leve tendencia de aumento en aquellos tratamientos sin

mazorca (Cuadro 3). Según Chaverra y Bernal (2000), un ensilaje de buena calidad debe acidificarse rápidamente al formarse ácido láctico y mantener un alto nivel de este en el periodo de almacenamiento. Contreras-Govea et al. (2009b) observaron porcentajes de ácido láctico que fluctuaron entre 4.72 a 7.20 en ensilajes procedentes de diferentes densidades de siembra de maíz y lablab. En el presente estudio y uno anterior (Zavala et al., 2011) la inclusión de leguminosas tendió a aumentar el porcentaje de ácido láctico en el ensilaje. Los ensilajes de los distintos tratamientos evaluados en ambas investigaciones cumplen con el estándar de calidad que exige una concentración de ácido láctico mayor de 4.0% en la MS (Collin y Owens, 2003; [http:// Dairy One](http://Dairy One), 2007a).

Ácido acético

Las concentraciones medias de ácido acético en los ensilajes de los distintos tratamientos variaron entre 1.26 y 1.79%. Los valores más altos de 1.79 y 1.53% corresponden a los tratamientos con crotalaria, MCM y MCSM, respectivamente (Cuadro 3). Contreras-Govea et al. (2009a), hallaron porcentajes algo menores que los del presente estudio, con variación de ácido acético entre 1.03 a 1.25% al asociar maíz con tres tipos de leguminosas. La media combinada de los tratamientos con lablab (MLM y MLSM) fue de 1.43% de ácido acético, siendo la misma levemente mayor que la cifra de 1.25% obtenida por Contreras-Govea et al. (2009a) al asociar maíz con lablab. Chaverra y Bernal (2000) indican que los ensilajes de buena calidad deben de tener menos de 2.5% de ácido acético en la MS, condición que cumplen todos los ensilajes del presente estudio.

Proporción ácido láctico: acético

La relación ácido láctico: acético varió entre los límites de 4.08 y 5.42 (Cuadro 3), sin más discernible patrón que menores valores para los tratamientos con crotalaria. Contreras-Govea et al. (2009a) informaron valores de 4.9, 4.5, 4.5 y 4.9% para ensilajes provenientes de maíz en monocultivo y maíz asociado con mucuna, con lablab y con frijol corredor escarlata (*Phaseolus coccineus*), respectivamente. Se ha postulado que un ensilaje de buena calidad debe presentar una relación ácido láctico: acético entre los límites 1.6 a 3.0 (Dairy One, 2007a), pero si los valores de ácido láctico son altos y los de ácido acético bajos los valores para esta relación se saldrían de este rango estipulado, tal como ocurrió en el estudio de Contreras-Govea et al. (2009a), y en la presente investigación, evidentemente sin efecto adverso.

Ácido isobutírico

Las diferencias significativas ($P < 0.05$) en el contenido de ácido isobutírico fueron entre los ensilajes del tratamiento MCM que superó

CUADRO 3. Características fermentativas de ensilajes de maíz blanco (QPM) con y sin mazorca y asociado o no con dos leguminosas anuales.

Tratamiento	pH	Ácido láctico %	Ácido acético %	Á. láctico/ Á. acético	Ácido isobutírico %	Ácidos Totales %	APE ¹ %	ANT ² %
MM ³	3.75 bc	6.66 a	1.26 a	5.42 a	0.02 b	7.94 a	0.46 cd	4.56 a
MSM ⁴	3.70 c	7.16 a	1.42 a	5.08 a	0.03 ab	8.60 a	0.43 d	4.41 a
MLM ⁵	3.78 abc	7.24 a	1.40 a	5.18 a	0.01 b	8.65 a	0.52 bc	4.63 a
MLSM ⁶	3.82 ab	7.60 a	1.46 a	5.24 a	0.02 b	9.08 a	0.62 ab	4.88 a
MCM ⁷	3.88 a	6.92 a	1.79 a	4.08 a	0.09 a	8.80 a	0.78 ab	6.53 b
MCSM ⁸	3.85 ab	7.36 a	1.53 a	4.87 a	0.04 ab	8.93 a	0.79 a	6.47 b

Dentro de la misma columna, promedios seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas $P < 0.05$.

¹Amonio Proteína Equivalente; ²Amonio Nitrógeno Total; ³Maíz + Mazorca; ⁴Maíz sin Mazorca; ⁵Maíz + Lablab + Mazorca; ⁶Maíz + Lablab sin Mazorca; ⁷Maíz + Crotalaria + Mazorca; ⁸Maíz + Crotalaria sin Mazorca,

a los de MM, MLM y MLSM, con medias de 0.09 contra 0.02, 0.01 y 0.02%, respectivamente. El otro tratamiento con crotalaria (MCSM) presentó el segundo valor más alto (0.04%). En general las concentraciones de este ácido de cadena ramificada fueron muy bajas y de poca importancia entre el conjunto de ácidos orgánicos presentes. Phiri et al. (2007) determinaron valores de ácido isobutírico de 0.28, 0.43 y 0.58% para ensilajes provenientes de maíz como monocultivo y mezclado con *Acacia boliviana* y con *Leucaena leucocephala*, respectivamente, siendo estos niveles mucho mayores que los encontrados en el presente estudio.

Los ácidos propiónico, isobutírico, butírico, isovalérico y valérico presentes en los ensilajes son producidos únicamente por el metabolismo de bacterias indeseables, principalmente las clostrídicas del grupo proteolítico, que dan mal olor y sabor al mismo. En ensilajes bien conservados estos ácidos deben estar ausentes o presentes en cantidades muy pequeñas. Se consideran como aceptables concentraciones de ácido butírico inferiores a 0.1%, mientras que para el resto de los ácidos citados sólo se admiten trazas (Ojeda et al., 1991). Los valores de ácido isobutírico encontrados en el presente estudio constituyen trazas, ya que el valor más alto de 0.09% representa 0.9 g/kg MS. Por lo tanto los ensilajes de los distintos tratamientos cumplen con este criterio de buena calidad.

Ácidos totales

Las medias de concentración de ácidos totales estuvieron entre los límites de 7.94 a 9.08% de la MS. Se observó una leve pero consistente tendencia a mayor contenido de ácidos totales en aquellos tratamientos sin mazorca, MSM, MLSM y MCSM (Cuadro 3). Según los estándares del laboratorio de forraje Dairy One (Dairy One, 2007a), un ensilaje de buena calidad debe presentar para este criterio un valor entre 7.0 y 12.0% a base seca. Por lo tanto, todos los ensilajes preparados en el presente estudio cualifican para dicha designación según su contenido de ácidos totales.

Amonio proteína equivalente (APE)

Para la variable APE en la MS se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos MCM y MCSM (0.78, 0.79%) y MM y MSM (0.46, 0.43%). Se puede observar la tendencia a mayor APE cuando el maíz se asocia con ambas leguminosas pero menos en el caso de lablab con y sin mazorca (MLM, 0.52% y MLSM, 0.62%) que con la inclusión de la crotalaria que resultó en los mayores valores de APE (Cuadro 3).

El APE es un modo de expresar el contenido de nitrógeno no proteico (NNP), el cual, aunque no sea proteína verdadera, representa

compuestos que suministran nitrógeno que puede ser utilizado para formar la proteína microbiana en el rumen (Dairy One, 2007b). El APE no ha sido hasta ahora muy usado en estudios de producción y caracterización de perfiles de fermentación de ensilajes, pero arroja valores típicos de 0.77% para ensilajes con contenido de MS menor de 26% y de 0.72% para aquellos con 26 a 28% de MS (Dairy One, 2007a).

Relación nitrógeno amoniacal / nitrógeno total ($N-NH_3/N$)

Existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) en el porcentaje de nitrógeno total representado por nitrógeno amoniacal (ANT) entre los tratamientos MM, MSM, MLM, MLSM que dieron valores menores que los MCM y MCSM. En promedio la diferencia relativa entre dichos tratamientos fue de 29%, equivalente a 1.88% ANT a base seca. Los tratamientos de maíz asociado con crotalaria (MCM y MCSM) arrojaron los mayores valores de ANT (6.53 y 6.47, respectivamente), pero no difirieron entre sí (Cuadro 3). Castillo et al. (2009) reportaron valores de ANT de 2.48 y 3.92% para ensilajes basados en las proporciones 70:30 y 60:40 de maíz y vigna, respectivamente. Ensilaje proveniente de la mezcla maíz-lablab mostró un 3.6% de ANT (Contreras-Govea et al., 2009b), valor que resulta ser 25% menor que los encontrados en la presente investigación (4.63 y 4.88% para los respectivos tratamientos MLM y MLSM). Según Haigh (1987), altos porcentajes de ANT indican una degradación excesiva de la proteína durante el proceso de fermentación, lo cual es indeseable e indicativo de una pobre preservación del material.

Phiri et al. (2007) obtuvieron valores de ANT de 3.23, 7.20 y 6.50% para ensilajes provenientes de maíz en monocultivo y combinado con *Acacia boliviana* y con *Leucaena leucocephala*, los cuales son congruentes con los encontrados en la presente investigación. El valor de 6.50%, correspondiente al ensilaje de maíz y *Leucaena leucocephala*, concuerda bien con los valores de los ensilajes de los tratamientos presentes con crotalaria MCM (6.53%) y MCSM (6.47%). Se consideran ensilajes bien conservados aquellos cuyo valor de ANT sea menor del 10% de la MS (Chaverra y Bernal, 2000; Collin y Owens, 2003). Los valores de ANT de los ensilajes en el presente estudio difieren un poco de los observados por Castillo et al. (2009) y Contreras-Govea et al. (2009a) y tienden a ser similares a los de Phiri et al. (2007), pero en todo caso están por debajo del valor máximo señalado para definir ensilajes de buena calidad.

CONCLUSIONES

El asociar maíz QPM blanco con crotalaria incrementó el RMS. La extracción de la mazorca disminuyó el RMS entre 24 y 28% (aun-

que no estadísticamente), y no afectó la reducción en la proporción de maleza en el cultivo debido a la inclusión de leguminosa relativo al monocultivo de maíz. Referente a la composición del ensilaje el contenido de MS disminuyó cuando se asoció maíz-lablab y se extrajo la mazorca, pero el contenido de PB incrementó 2.66 unidades porcentuales comparado con maíz en monocultivo con o sin mazorca (MM y MSM). La FDA incrementó cuando se asoció maíz con crotalaria, así también por la extracción de la mazorca. La inclusión de crotalaria, pero no la extracción de la mazorca, afectó la fermentación resultante. Los ensilajes elaborados a partir de maíz-crotalaria (MCM y MCSM) mostraron mayores valores de pH, APE y ANT, comparado con los ensilajes de los tratamientos MM y MSM, pero sin que estos incrementos afectaran la preservación del ensilaje. Los otros productos de fermentación presentes en los ensilajes no difirieron significativamente. Los criterios de pH y el perfil de los productos de fermentación estuvieron dentro de límites considerados normales para un buen ensilaje. Los resultados del presente y otro estudio anterior (Zavala et al., 2011) demuestran que las asociaciones maíz-leguminosa beneficiaron el RMS, la inhibición de maleza y la riqueza proteica del ensilaje y que tanto la adición de leguminosa como la extracción de la mazorca tienen efectos insignificantes sobre las características fermentativas del ensilaje.

LITERATURA CITADA

- Alfonso, C., M. Riverol, P. Porras, E. Cabrera, J. Llanes, J. Hernández y V. Somoza, 1997. Las asociaciones maíz-leguminosa: su efecto en la conservación de la fertilidad de los suelos. *Agronomía Mesoamericana* 8(1): 65-73.
- Amador, L. A. y C. Boschini, 2000. Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana* 11(1):171-177.
- Argüelles, G., 1982. Carta Ganadera. Vol 1 No. 4, Bogotá.
- Beaver, J. S., 2008. Guía técnica para la producción de maíz. Estación Experimental Agrícola. <http://academic.uprm.edu/jbeaver/>
- Boschini, C. y J. Elizondo, 2003. Curso teórico y práctico de ensilaje de forrajes. Serie Agrotecnología 1. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. p 3-29.
- Cañeques, M. V. y J. L. Sancha, 1998. Ensilado de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 260 pp.
- Castillo, M., A. Rojas y A. Wing Ching-Jones, 2009. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con vinya (*Vigna radiata*). *Agronomía Costarricense* 33(1): 136-146.
- Chaverra, G. H. y E. J. Bernal, 2000. El ensilaje en la alimentación del ganado vacuno. IICA. Editores Tercer Mundo, Bogotá. 153 pp.
- Colbert, R. W., 2009. Composición botánica y química de asociaciones de sorgo forrajero y leguminosas anuales. M.S. Tesis, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, P.R. 66 pp.

- Collin, M. y V. N. Owen, 2003. Preservation of forage as hay and silage. *En*: R.F. Barnes, C. J. Nelson, M. Collins y K.J. Moore (eds.). Forages, an introduction to grassland agriculture. Iowa State University Press. Ames, IA. pp. 443-470.
- Contreras-Govea, F. E., R. E. Muck, K. L. Armstrong y K. A. Albrecht, 2009a. Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. *Animal Feed Science and Technology* 150: 1-8.
- Contreras-Govea, F. E., R. E. Muck, K. L. Armstrong y K. A. Albrech, 2009b. Fermentability of corn-lablab bean mixture from different planting densities. *Animal Feed Science and Technology* 149: 298-306.
- Dahmardeh, M., A. Ghanbari, B. Syasar y M. Ramroudi, 2009. Effect of intercropping maize (*Zea mays* L.) with cow pea (*Vigna unguiculata* L.) on green forage yield and quality evaluation. *Asian Journal of Plant Sciences* 8(3): 235-239.
- Dairy One, 2007a. Fermentation report. http://www.dairyone.com/Forage/services/Forage/Fermentation_Report.pdf
- Dairy One, 2007b. Understanding and significance of forage analysis results. <http://www.dairyone.com/Forage/Factsheet/ForageAnalysis.htm>
- Dowswell, C. D., R. L. Paliwal y R. P. Contrell, 1996. Maize in the Third World. Westview Press. Boulder, CO. 1-268 p
- Elizondo, J. y C. Boschini, 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 12(2):181-187.
- Haigh, P. M., 1987. The effect of dry matter content and silage additives on the fermentation of grass on commercial farms. *Grass Forage Science* 42:1-8.
- Jiménez, C., L. Pineda, B. León y A. Montenegro, 2002. Producción de maíz y soya forrajera para ensilaje y venta parcial de la cosecha de elotes o chilotes. *Agronomía Mesoamericana* 13(1): 45-48.
- NRC, 1988. Quality protein maize. National Research Council. National Academy Press, Washington. DC. 100 pp.
- Ojeda, F., O. Cáceres y M. Esperance, 1991. Conservación de forrajes. Pueblo y Educación. La Habana. 80 pp.
- Paliwal, R. L., 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal 28:1-369.
- Phiri, M. S., N. T. Ngongoni, B. V. Maasdorp, M. Titterton, J. F. Mupangwa y A. Sebata, 2007. Ensiling characteristics and feeding value of silage made from browse tree legume-maize mixture. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 7:149-156.
- Prieto, P. R. J., 2007. Efecto en el manejo de nitrógeno sobre características agronómicas, composición química y fermentativa de híbridos de maíz a diferentes edades de corte. M.S. Tesis, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, P.R. 77 pp.
- Salinas, M. F. M. y E. A. Crespín P., 2010. Evaluación productiva y nutricional de los cultivos de frijol canavalia (*Canavalia ensiformis*), frijol vigna (*Vigna sinensis*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) variedades CENTA S-2 y RCV y su asocio para la alimentación de ganado. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de El Salvador, El Salvador. 126 pp.
- Sandoval, C. B., 2007. Caracterización agronómica y nutricional de asociaciones de gramíneas y leguminosas tropicales. M.S. Tesis, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, PR. 90 pp.
- SAS Institute, 2002. The SAS system for Windows: Version 9.1. SAS Inst., Cary, NC.
- Saxton, A. M., 1998. A macro for converting means separation output to letter grouping in PROC MIXED, Paper 230. P.1243-1246. *En*: Proc. 23rd Annual SAS User Group Intl. Conf. SAS Inst., Cary, NC.
- Somaribas, M., 2007. Efecto de diferentes densidades de maíz y diferentes agotamientos de agua disponible en el suelo sobre la producción de forraje de maíz asociado con mucuna. M.S. Tesis, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 90 pp.

Zavala, D., E. Valencia, P. F. Randel y R. Ramos-Santana, 2011. Composición botánica, rendimiento y características fermentativas de asociaciones de lablab (*Lablab purpureus* L.) y crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) con maíz amarillo (*Zea mays* L.) para la producción de ensilaje. *J. Agric. Univ. P.R.* 95(3-4): 133-149.