

Artículo científico

Producción y calidad nutricional del forraje del sorgo dulce en monocultivo e intercalado con maíz y frijol

Production and nutritional quality of sweet sorghum forage in monoculture and intercropped with corn and beans

Sergio Mejía-Kerguelén, José Jaime Tapia-Coronado, Liliana Margarita Atencio-Solano y Jorge Cadena-Torres

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Agrosavia, Centro de Investigación Turipaná km 13 vía Montería-Cereté, Cereté, Córdoba, Colombia

Correo electrónico: smejia@agrosavia.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2498-756X>

Resumen

Con el objetivo de evaluar la productividad y la calidad del forraje verde de *Sorghum bicolor* (L.) Moench cv. Corpoica JYT-18 en siembras en monocultivo e intercalado con maíz y frijol, se realizó un experimento en la región Caribe en Colombia, en el cual se evaluaron cinco tratamientos que consistieron en la siembra de *S. bicolor* cv. Corpoica JYT-18 en monocultivo y en intercalamiento con *Zea mays* L. y *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. El rendimiento del forraje verde de *S. bicolor* en monocultivo (77,92 t ha⁻¹) fue significativamente superior al del maíz (61,04 t ha⁻¹), y no se observaron incrementos significativos por efecto del intercalamiento. Por su parte, la productividad total de forraje verde en los sistemas intercalados fue de 84,58; 86,67 y 82,92 t ha⁻¹ en sorgo/frijol, sorgo/maíz y sorgo/maíz/frijol, respectivamente. Los análisis bromatológicos indicaron que el forraje verde producido por el sorgo dulce presentó una calidad nutricional similar a la del maíz en el contenido de PC, FDN y FDA, y superior en los sólidos solubles. Por el contrario, la degradabilidad *in situ* y el contenido de materia seca fueron superiores en el forraje verde de maíz. Se concluye que *S. bicolor* es una alternativa viable para la sustitución del maíz en sistemas de producción de forraje verde, para la suplementación animal en el caribe colombiano.

Palabras clave: alimentación de los animales, productividad, sequía.

Abstract

In order to evaluate the productivity and green forage quality of *Sorghum bicolor* (L.) Moench cv. Corpoica JYT-18 in monoculture and intercropped with corn and beans, a trial was conducted in the Caribbean region of Colombia, in which five treatments were evaluated consisting in sowing *S. bicolor* cv. Corpoica JYT-18 in monoculture and intercropped with *Zea mays* L. and *Vigna unguiculata* (L.) Walp. A completely randomized design was used with three repetitions. The green forage yield of *S. bicolor* in monoculture (77,92 t ha⁻¹) was significantly higher than that of corn (61,04 t ha⁻¹), and no significant increases were observed because of intercropping. On the other hand, the total green forage productivity in the intercropped systems was 84,58; 86,67 and 82,92 t ha⁻¹ in sorghum/beans, sorghum/corn and sorghum/corn/beans, respectively. The bromatological analyses indicated that the green forage produced by sweet sorghum showed a nutritional quality similar to corn in the CP, NDF and ADF content, and higher in soluble solids. On the contrary, *in situ* degradability and dry matter content were higher in the green forage of corn. It is concluded that *S. bicolor* is a viable alternative for substituting corn in green forage production systems, for animal supplementation in the Colombian Caribbean.

Keywords: animal feeding, drought, productivity

Introducción

En Colombia, y especialmente en la región Caribe, el forraje generado por las pasturas es la principal fuente de alimento para los bovinos y la más práctica y económica. Sin embargo, los sistemas de la región Caribe colombiana enfrentan serias limitantes, debido a las variaciones que ocurren en las precipitaciones a través del año; las cuales se manifiestan en un período lluvioso

seguido por uno de sequía, este último con una duración aproximada de cinco meses.

Este comportamiento de la precipitación ocasiona limitaciones en la producción ganadera, principalmente en la disponibilidad y la calidad nutricional de las pasturas en la época de seca, la cual puede disminuir entre 30 y 60 % (Mejía *et al.*, 2013). De ahí que, para evitar pérdidas durante los periodos críticos, se requiera del establecimiento de

plantas forrajeras de alta producción de biomasa y de materia seca, adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de la región y cuya conservación permita mantener estable la producción de carne y leche.

En tal sentido, *Zea mays* L. (maíz) es el material forrajero que más se ha utilizado como estrategia para minimizar los efectos de la sequía en la producción ganadera (Castro-Rincón *et al.*, 2017), principalmente como forraje conservado en forma de ensilaje. Esta planta se caracteriza por su alto valor energético y alto rendimiento de biomasa, con promedios que varían entre 34 y 54 t ha⁻¹ (Asangla y Gohaim, 2016); sin embargo, su aporte proteico al sistema ruminal es limitado, por lo que es necesario disponer de otras alternativas de siembra, que reduzcan los costos de producción y mejoren la competitividad del sistema productivo. La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) ha puesto a disposición de los ganaderos el sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) Moench cv. Corpoica JTT-18 (Bernal *et al.*, 2014), como una opción para la producción de forraje verde con fines de conservación, con el cual se puede suplementar a los animales en la época de sequía.

S. bicolor cv. Corpoica JTT-18 se caracteriza por generar entre 40 y 56 t ha⁻¹ de forraje verde en el primer corte (88-100 días después de la siembra); es posible, en ocasiones, aprovechar el rebrote y realizar un segundo corte, con lo que se logra producir en total hasta 80 t ha⁻¹ en los dos cortes. Asimismo, sus tallos presentan un alto contenido de sólidos solubles (13-16 %), lo que hace de este material una buena opción para la suplementación animal (Bernal *et al.*, 2014). Además, presenta una gran capacidad de adaptación a diferentes tipos de suelos y a períodos cortos de déficit hídrico (Getachew *et al.*, 2016).

Debido a su alta producción, se considera que el sorgo dulce podría sustituir al maíz en los sistemas de alimentación del ganado. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la producción y la calidad nutricional del forraje verde del sorgo dulce en siembras en monocultivo e intercalado con maíz y frijol.

Materiales y Métodos

Localización. El estudio se realizó en la región Caribe de Colombia, en las instalaciones del Centro de Investigación Turipaná de Agrosavia, ubicado en el municipio Cereté (departamento de Córdoba), en las coordenadas geográficas 8° 58' de latitud norte y

75° 47' de longitud oeste, y a una altura de 15 msnm. Su temperatura promedio anual y precipitación anual son de 28 °C y 1 200 mm, respectivamente; mientras que la humedad relativa varía entre 85 y 90 %.

Material vegetal. Se utilizó el cultivar comercial de sorgo Corpoica JTT-18; una variedad de frijol caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] (Araméndiz-Tatis *et al.*, 2017), de hábito de crecimiento postrado; y el híbrido comercial de maíz 30F35, de la casa comercial Pioneer® (Acosemillas, 2019).

Tratamientos y diseño experimental. Fueron evaluados cinco tratamientos: T1: sorgo en monocultivo, T2: maíz en monocultivo, así como los intercalamientos T3: sorgo/frijol, T4: sorgo/maíz, y T5: sorgo/maíz/frijol; se usó como testigo el maíz en monocultivo. La unidad experimental estuvo conformada por parcelas de seis surcos de 5 m de largo, separados a 0,80 m. El área total de cada parcela fue de 24 m², y para el muestreo se tomaron los cuatro surcos centrales de cada parcela. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con cinco tratamientos y tres repeticiones.

Siembra y manejo agronómico. La siembra del sorgo en monocultivo y en intercalamiento se hizo a una distancia de 0,80 m entre surcos y 0,10 m entre plantas, para una densidad de población de 125 000 plantas ha⁻¹; mientras que en el maíz en monocultivo e intercalado la distancia fue de 0,80 m entre surcos y 0,20 m entre plantas, para una densidad de población de 62 500 plantas ha⁻¹.

En los tratamientos de intercalamiento, la siembra de las especies se realizó de forma simultánea; en el caso del sorgo/frijol, este último se sembró a 0,10 m del surco de sorgo, con una separación de 0,30 m entre plantas. En el sorgo/maíz, el maíz se sembró a 0,20 m del surco de sorgo; mientras que en el sorgo/maíz/frijol, la siembra del maíz se realizó a 0,20 m de los surcos de sorgo, y el frijol se sembró dentro del surco de maíz, a 0,30 m entre plantas. Para el control de las arvenses, antes de la siembra se aplicó un herbicida no selectivo basado en glifosato, en dosis de 4,0 L ha⁻¹.

El análisis del suelo del sitio mostró un pH neutro, con bajos contenidos de materia orgánica, fósforo y elementos menores. De acuerdo con los resultados de este análisis (tabla 1), se calculó una fertilización completa dirigida al maíz.

La dosis total de fertilización fue de 156,6 kg ha⁻¹ de N [fuente urea, fosfato diamónico (DAP) y Vicor®¹]; 46,0 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fuente DAP); 60 kg

¹ Vicor®: fertilizante granulado de aplicación edáfica, formulado como fuente de microelementos. http://www.ghcia.com.co/plm/source/productos/3610_23_152.htm

Tabla 1. Resultados del análisis químico del suelo.

Indicador	Valor	Método
pH	6,4	NTC 5264 de 2008
CE, ds m ⁻¹	0,2	NTC 5596
MO, %	2,2	Walkley & Black
P, mg kg ⁻¹	15,4	NTC 5350
S, mg kg ⁻¹	4	Turbidimétrico (fosfato monobásico de calcio)
Ca, Cmol ⁺ kg ⁻¹	10	NTC 5349
Mg, Cmol ⁺ kg ⁻¹	7,3	
K, Cmol ⁺ kg ⁻¹	0,4	
Na, Cmol ⁺ kg ⁻¹	0,1	
CIC, Cmol ⁺ kg ⁻¹	17,8	Suma de cationes
B, mg kg ⁻¹	0,2	Turbidimétrico (fosfato monobásico de calcio)
Cu, mg kg ⁻¹	6,0	NTC 5526
F, mg kg ⁻¹	86,4	
Mn, mg kg ⁻¹	0,5	
Zn, mg kg ⁻¹	1,2	

ha⁻¹ K₂O (fuente KCl) y elementos menores (fuente Vicor). Dicha dosis total se fragmentó en tres aplicaciones: la primera en la presiembra, con 100 % de DAP, 100 % de Vicor y 50 % de KCl; la segunda aplicación se hizo a los 15 días de emergido el cultivo, con 50 % de urea y el restante 50 % de KCl; y la tercera aplicación se realizó a los 25 días después de emergido el cultivo, con el 50 % restante de urea.

Cosecha de forraje verde. En el caso de los tratamientos que contenían el maíz en monocultivo, la época de cosecha se definió cuando el grano se encontraba en estado pastoso, lo cual ocurrió a los 75 días después de la siembra (dds). Para los que contenían sorgo en monocultivo o en intercalamiento con frijol, la cosecha se realizó cuando el grano de sorgo se encontraba en estado de ampolla (grano lechoso), que sucedió a los 90 dds. En los tratamientos de intercalamiento con maíz, para la cosecha se utilizó como indicador el estado de desarrollo del grano de maíz (75 dds). El estado de desarrollo del frijol al momento de la cosecha correspondió a la etapa de formación de vainas para el caso del intercalamiento con maíz, y al estado de llenado de granos para el caso del intercalamiento con sorgo.

La cosecha del forraje verde se realizó de forma manual; se cortaron las plantas de los cuatro surcos centrales de cada parcela, se separaron las correspondientes a cada especie y se registró de forma

individual el peso del forraje verde de cada una de las especies; para ello se usó una balanza marca OHAUS, modelo CS 5000 (Pine Brook, NJ, USA).

Variables evaluadas

Población final de plantas. Diez días antes de la cosecha, se realizó un conteo del número total de plantas de sorgo, maíz y frijol en cada uno de los tratamientos. Esta variable se expresó en número de plantas por hectárea.

Volcamiento de las plantas. Para determinar esta variable en cada parcela, 10 días antes de la cosecha se contó el número de plantas de sorgo acamadas o volcadas a nivel del cuello de la raíz y el tallo. El porcentaje de volcamiento se calculó como la proporción de plantas volcadas respecto al número total de plantas finales en cada parcela.

Altura de la planta. A cinco plantas de maíz y de sorgo por parcela se les determinó la altura, mediante mediciones desde el cuello de la raíz hasta la primera ramificación de la espiga; esta variable se expresó en centímetros. La evaluación se realizó cinco días antes de la cosecha.

Peso verde de la mazorca. Esta variable se determinó solamente en los tratamientos que contenían maíz en monocultivo y como parte del intercalamiento. Para ello, se tomaron muestras de 10 mazorcas con capacho en cada parcela, y se registró su peso verde.

Producción de forraje verde. Se registró el peso total del forraje verde producido por parcela. En el caso de los tratamientos de intercalamiento, la producción total de forraje verde se calculó adicionando la producción de forraje verde de las especies incluidas en cada uno.

Contenido de sólidos solubles (grados Brix). Se tomaron muestras del forraje verde de cada parcela, las cuales fueron molidas en un trapiche eléctrico para colear su jugo. En este jugo se determinó el contenido de sólidos solubles, con la ayuda de un refractómetro digital (Marca ATAGO, Modelo PAL-1, Tokio, Japón).

Composición nutricional del forraje ensilado. Se tomó una muestra de 1 000 g de la mezcla del forraje verde producido por cada tratamiento. Este forraje fue empacado y sellado herméticamente en bolsas plásticas para microsilos, y se conservó por un periodo de 30 días para favorecer la fermentación. Del ensilaje obtenido de cada tratamiento, se pesó una muestra de 300 g. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de nutrición animal del Centro de Investigación Turipán de Agrosavia, donde se les determinó: el contenido de materia seca (MS), mediante secado en horno a 60 °C durante 48 h; el contenido de proteína cruda (PC), mediante el método de Kjeldahl (AOAC, 2016); así como el contenido de fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA), según el método de Van Soest y Robertson (1987). Además, se determinó la degradabilidad *in situ* de la materia seca (DISMS),

según la técnica de digestión ruminal, para lo cual se incubaron muestras de forraje molido en bolsas de nailon en el rumen de los animales fistulados (Orskov *et al.*, 1980)

Análisis estadístico. Los datos se sometieron a pruebas de normalidad y de homogeneidad de varianza mediante los métodos de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente, los cuales indicaron el cumplimiento de los supuestos para las variables. A todas las variables de respuesta se les realizó un análisis de varianza (ANOVA), y en los casos en que se detectaron diferencias a un nivel de significación de 0,05 se hicieron pruebas de separación de medias usando la prueba HSD de Tukey. También se hicieron pruebas de contrastes ortogonales para comparar conjuntos de tratamientos. Se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.4.

Resultados y Discusión

Población final de plantas. Como producto de la competencia intraespecífica e interespecífica que se establece entre plantas de la misma especie en los sistemas de monocultivo, y entre plantas de distintas especies en los sistemas de intercalamiento, una parte de la población inicialmente establecida no logra sobrevivir durante el proceso de desarrollo. En este experimento se observaron pérdidas significativas de la población, tanto en el monocultivo como en los sistemas intercalados (tabla 2).

En el monocultivo con sorgo y con maíz, se observaron reducciones de 14,0 y 12,7 %, respec-

Tabla 2. Población inicial y final de plantas por tratamiento.

Tratamiento	Población inicial	Población final		
		Maíz	Sorgo	Frijol
Maíz en monocultivo	62 500	54 583,3	-	-
Sorgo en monocultivo	125 000	-	107 500,0 ^a	-
Sorgo/frijol	125 000 41 666	-	96 666,7 ^{ab}	26 250,0 ^a
Sorgo/maíz	125 000 62 500	57 083,3	90 000,0 ^b	-
Sorgo/maíz/frijol	125 000 62 500 41 666	54 166,7	87 916,7 ^b	28 750,0 ^a
Media		55 277,8	95 520,8	27 500,0
CV, %		6,5	5,5	31,7
DE		3 596,39	5 270,46	8 705,20
Significación		NS	*	NS

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias estadísticas, según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

tivamente, en la población de plantas inicialmente establecidas. Con el intercalamiento, las pérdidas en la población de sorgo dulce fueron de 22,7; 28,0 y 29,7 % en los sistemas sorgo/frijol, sorgo/maíz y sorgo/maíz/frijol, respectivamente; mientras que en el caso del maíz, las pérdidas fueron de 8,7 y 13,3 % para sorgo/maíz y sorgo/maíz/frijol, respectivamente.

Estos resultados mostraron que *S. bicolor* es una especie sensible a la competencia que se establece en los sistemas intercalados, lo que resulta en una pérdida significativa de plantas durante el desarrollo de los cultivos; ello indica una posible desventaja del sorgo dulce en la competencia por los recursos disponibles, especialmente agua, luz y nutrientes.

Producción de forraje verde. Los análisis de la producción de forraje verde total (FVT) indicaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos (tabla 3). La producción de FVT del maíz en monocultivo fue inferior a la del sorgo en monocultivo y a la de sorgo/maíz, sorgo/frijol y sorgo/maíz/frijol. No hubo diferencias estadísticas en la producción de FVT entre el sorgo en monocultivo y el intercalamiento. La producción de FVT fue un 27,7 % superior en el sorgo dulce en monocultivo, respecto a la del maíz en monocultivo; e igualmente un 38,5; 41,9 y 35,8 % superior a la del maíz en los sistemas sorgo/frijol, sorgo/maíz y sorgo/maíz/frijol, respectivamente.

Los resultados de este estudio coinciden con los obtenidos por Islam *et al.* (2018), quienes evaluaron diferentes arreglos de intercalamiento de sorgo para grano (millo) y frijol caupí, y obtuvieron mayores

rendimientos de ambas especies en monocultivo que en los diferentes sistemas de intercalamiento.

La productividad de *S. bicolor* en este ensayo coincide con lo reportado por Nava-Berumena *et al.* (2017), quienes evaluaron el rendimiento y la calidad del forraje de tres variedades de esta especie y obtuvieron 75,9 t ha⁻¹ en adecuadas condiciones ambientales. Ello resulta de gran interés para la ganadería de la región Caribe de Colombia, pues la siembra de sorgo dulce podría representar aumentos significativos en la producción de forraje en relación con los sistemas modales que se basan en la siembra de híbridos de maíz, en los cuales se reportan producciones comerciales que varían entre 15 y 50 t ha⁻¹ (Mejía *et al.*, 2013).

De igual forma, el análisis de contrastes ortogonales entre grupos de tratamientos indicó que las distintas posibilidades de intercalamiento del sorgo dulce con maíz y frijol no contribuyeron significativamente a aumentar la producción total de forraje verde en el sistema, ya que el sorgo dulce en monocultivo tiene la capacidad de producir una alta cantidad de forraje verde, que no es superada por la de los sistemas de intercalamiento (tabla 4).

Por el contrario, en el caso del maíz las pruebas de contrastes indicaron que la producción de FVT, en los intercalamientos sorgo/maíz y sorgo/maíz/frijol, fue significativamente superior a la producción del maíz en monocultivo. Los incrementos fueron, en promedio, de 41,9 y 35,8 % (para sorgo/maíz y sorgo/maíz/frijol, respectivamente), en relación con la especie en monocultivo. Tales resultados indican que en los sistemas donde se utiliza esta especie como forraje, una alternativa para aumentar la pro-

Tabla 3. Producción de forraje verde (t ha⁻¹) por tratamiento.

Tratamiento	Sorgo	Maíz	Frijol	Total (FVT)
Maíz en monocultivo	-	61,0 ^a	-	61,0 ^b
Sorgo en monocultivo	77,9 ^a	-	-	77,9 ^a
Sorgo/frijol	83,3 ^a	-	1,3 ^a	84,6 ^a
Sorgo/maíz	47,3 ^b	39,3 ^b	-	86,7 ^a
Sorgo/maíz/frijol	36,8 ^b	41,4 ^b	4,7 ^a	82,9 ^a
Media	61,4	47,3	3,0	78,6
CV, %	15,2	6,8	39,7	7,4
DE	9,30	3,22	1,19	5,86
Significación	**	**	NS	**

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias estadísticas, según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

FVT: Producción de forraje verde total.

Tabla 4. Contrastes para la comparación de la producción de forraje del sorgo dulce en monocultivo e intercalado en la región Caribe en Colombia.

Contraste	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-valor	Pr > F
Maíz monocultivo vs. sorgo monocultivo	427,1	427,1	12,5	0,0077**
Maíz monocultivo vs. en intercalamiento	1 128,1	1128,1	32,9	0,0004**
Maíz monocultivo vs. intercalamiento doble	985,0	985,0	28,7	0,0007**
Maíz monocultivo vs. intercalamiento triple	717,8	717,8	20,9	0,0018**
Sorgo monocultivo vs. en intercalamiento	104,2	104,2	3,0	0,1194 NS
Sorgo monocultivo vs. intercalamiento doble	118,8	118,8	3,5	0,0997 NS
Sorgo monocultivo vs. intercalamiento triple	37,5	37,5	1,1	0,3262 NS
Sorgo en intercalamiento doble vs. intercalamiento triple	14,7	14,7	0,4	0,5314 NS
Maíz en intercalamiento doble vs. intercalamiento triple	21,1	21,1	0,6	0,4554 NS
Error	274,3	34,3		
Total	1 626,7			
Media	78,6			
R ²	0,8			
CV, %	7,4			
DE	5,9			
Significación	**			

R²: coeficiente de determinación, CV: coeficiente de variación, DE: desviación estándar de la media. **Altamente significativo ($p < 0,01$); *significativo ($p < 0,05$); NS: no significativo ($p > 0,05$).

ducción podrían ser los sistemas de intercalamiento con sorgo y frijol.

Similares resultados fueron reportados por Getachew *et al.* (2016), quienes indicaron que el sorgo tiene la posibilidad de remplazar al maíz en sistemas de producción de forraje, especialmente en áreas donde la disponibilidad de agua es limitada, pues sus rendimientos son comparables; sin embargo, estos autores aclaran que la calidad del ensilaje de maíz es superior debido a su mayor contenido de energía metabolizable.

Se observó que la productividad del maíz y la del sorgo disminuyeron, a consecuencia de la competencia que se establece en los sistemas asociados, en los que la reducción es mayor en la medida que el sistema de intercalamiento se hace más complejo. En este sentido, en el intercalamiento sorgo/maíz la producción individual del sorgo se redujo en 39,2 % y la del maíz en 35,5 %, en comparación con la de ambas especies en monocultivo; mientras que en el intercalamiento sorgo/maíz/ frijol, el rendimiento de sorgo se redujo en 52,7 % y el del maíz en 32,2 %, a diferencia del intercalamiento sorgo/frijol en la que la productividad del sorgo se mantuvo.

Según Islam *et al.* (2018), el rendimiento del sorgo incluso puede aumentar en los sistemas de intercalamiento con leguminosas, debido al aporte que hacen estas últimas al sistema, dada su capacidad para fijar el nitrógeno atmosférico. En la literatura es frecuente encontrar sistemas que combinan cereales con leguminosas para la producción de forraje, debido a la complementariedad en los hábitos de crecimiento de las especies, y a las ventajas biológicas y económicas que resultan de la asociación (Eskandari *et al.*, 2009). En el caso del sorgo para forraje, son frecuentes los sistemas mixtos e intercalados con soya, frijol y maní, de los cuales se reportan incrementos sustanciales en la producción de biomasa (Iqbal *et al.*, 2019).

Los análisis bromatológicos indicaron que el sorgo dulce Corpoica JTT-18 presenta una calidad nutricional similar a la del maíz en cuanto a proteína cruda, fibra en detergente neutro y fibra en detergente ácido, y superior en el contenido de sólidos solubles (grados Brix). Por el contrario, la degradabilidad *in situ* y el contenido de materia seca fueron significativamente superiores en el forraje de maíz (tabla 5).

Tabla 5. Calidad nutricional del forraje verde del sorgo dulce en monocultivo e intercalado, en la región Caribe en Colombia (%).

Tratamiento	MS	PC	FDN	FDA	DISMS	Grados Brix
Maíz en monocultivo	25,0 ^a	6,8 ^a	51,9	27,3 ^b	71,2 ^a	3,4 ^c
Sorgo en monocultivo	16,0 ^b	6,7 ^a	58,5	36,0 ^{ab}	56,2 ^b	9,0 ^a
Sorgo-frijol	18,8 ^b	4,3 ^c	64,9	40,3 ^a	54,2 ^b	7,0 ^{ab}
Sorgo-maíz	20,0 ^b	7,0 ^a	56,5	34,2 ^{ab}	60,4 ^{ab}	6,8 ^{ab}
Sorgo-maíz-frijol	18,9 ^b	5,3 ^b	62,6	39,8 ^a	55,9 ^b	6,6 ^b
Media	20,1	6,5	57,1	33,9	61,2	6,6
CV, %	5,1	2,5	8,6	6,6	4,0	12,7
DE	1,02	0,15	4,9	2,23	2,47	0,83
Significación	**	**	NS	*	**	**

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias estadísticas entre los tratamientos según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$).

En este estudio se registraron valores de MS inferiores a 25 %, lo cual es indicativo de altos contenidos de humedad en el forraje. Dichos resultados pueden ser explicados por la estructura de almacenamiento utilizada (microsilos de bolsas plásticas), que no genera efluentes y hace que el material conservado mantenga la humedad del momento de la cosecha. El contenido de MS fue estadísticamente superior ($p < 0,05$) en el ensilaje proveniente del maíz en monocultivo, lo cual puede estar relacionado con el mayor estado de desarrollo que presentaban las plantas de maíz al momento de la cosecha (grano pastoso), en comparación con el de las plantas de sorgo y frijol.

Por su parte, los contenidos de PC del forraje verde pueden considerarse bajos, pero suficientes para garantizar la disponibilidad de nitrógeno para una efectiva fermentación microbiana en el rumen de los bovinos (García-Ferrera *et al.*, 2015). Estos resultados difieren de los reportados por Castillo-Jiménez *et al.* (2009), quienes al evaluar la asociación maíz/vigna registraron una concentración de 11,3 % de PC, valor que supera los del presente estudio. Asimismo, son inferiores a los valores de PC hallados por Contreras-Govea *et al.* (2008), quienes al evaluar ensilajes de maíz en intercalamiento con *Mucuna pruriens* (L.) DC., *Lablab purpureus* (L.) Sweet y *Phaseolus coccineus* L. reportaron concentraciones de PC de 8,2; 7,8 y 7,1 %, respectivamente.

A su vez, se observó poca contribución del frijol al contenido total de proteína del FVT en los intercalamientos sorgo/frijol y sorgo/maíz/frijol. Lo anterior puede deberse a que, al momento de la co-

secha, el frijol se encontraba en el inicio de la etapa de formación de vainas; y, adicionalmente, presentó baja producción individual de biomasa (1,28 y 4,69 t ha⁻¹, respectivamente). Al respecto, diversos autores resaltan la contribución del frijol caupí en la producción y el contenido de proteína cruda del forraje verde en los sistemas intercalados con sorgo (Iqbal *et al.*, 2015; Basaran *et al.*, 2017).

En cuanto a la fibra del forraje verde, se halló un mayor contenido de FDN y FDA en los tratamientos que incluyeron el sorgo en los sistemas de intercalamiento, debido a la incorporación fibrosa del sorgo dulce al forraje. Lo anterior podría significar una limitación en el consumo por parte de los animales, debido a que aumenta la densidad del forraje y ello reduce el consumo (Castillo-Jiménez *et al.*, 2009). El sorgo y el maíz son especies que presentan una cantidad considerable de compuestos estructurales, como celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que se manifiesta en los contenidos de fibra. Por tal razón, en especies de este tipo y en muchas gramíneas, es recomendable realizar la cosecha del forraje en prefloración (embuche) y hasta un poco después de la emergencia de la espiga, con el fin de no afectar la digestibilidad (Nava-Berumena *et al.*, 2017).

El forraje proveniente del maíz en monocultivo presentó los menores valores de fibra en detergente ácido, lo cual es importante debido a que esta fracción está estrechamente relacionada con la digestibilidad y el aporte de energía de los forrajes. En tal sentido, Ribeiro y Pereira (2010) afirman que los forrajes con valores de FDA por encima de 40 % son menos consumidos y aportan menos

energía a los animales; mientras que aquellos con concentraciones cercanas al 30 % presentan un consumo y aporte de energía más alto.

Los mayores valores de degradabilidad *in situ* de la materia seca fueron registrados en el forraje verde del maíz en monocultivo y en el intercalamiento sorgo/maíz. Estos resultados indican que la DISMS del forraje verde del sorgo dulce Corpoica JYT-18 es inferior a la del maíz, con una baja contribución del frijol en el mejoramiento de esta. La DISMS expresa la proporción de compuestos digeribles contenidos en un forraje, respecto al total del alimento ingerido por el animal. Una digestibilidad del 65 % en un forraje es indicativa de un buen valor nutricional, y permite un consumo adecuado de la energía requerida por la mayoría de los animales (Pirela, 2005). En este experimento, valores de DISMS superiores a 65 % se alcanzaron solamente con el maíz en monocultivo (71,23 %); mientras que el intercalamiento con sorgo redujo significativamente la digestibilidad. Ello indica la necesidad de considerar el intercalamiento, preferentemente con leguminosas que presenten un mayor estado de desarrollo, y el empleo de densidades superiores a las utilizadas en este ensayo.

El mayor contenido de sólidos solubles se encontró en el forraje verde del sorgo dulce en monocultivo, y también en los intercalamientos sorgo/maíz y sorgo/frijol. Esto se debe a que el cv. Corpoica JYT-18 proviene de un programa de mejoramiento genético en el cual, originalmente, se buscaban materiales para la producción de alcohol carburante, y cuyo objetivo era aumentar los niveles de azúcares en el tallo (Bernal *et al.*, 2006). Finalmente se decidió la liberación de dicho cultivar para la

producción de forraje, debido a sus atributos productivos y a la posibilidad de mejorar la contribución energética de la especie en la suplementación animal (Bernal *et al.*, 2014).

Peso verde de la mazorca. Uno de los cuestionamientos de los productores de forraje verde en la región Caribe de Colombia, en relación con el intercalamiento del maíz con otras especies, es que este reduce el peso verde de la mazorca, que es un importante componente en la calidad del forraje de esta especie. En los tratamientos que incluían maíz no hubo reducciones en el peso verde de la mazorca, lo cual indica que el intercalamiento del maíz con el sorgo y el frijol no compromete el tamaño y el peso de este importante componente del forraje.

En efecto, el peso promedio de la mazorca de maíz en monocultivo fue estadísticamente similar (tabla 6) al de la mazorca en los tratamientos con sorgo y frijol (sorgo/maíz y sorgo/maíz/frijol). Estos resultados difieren de lo reportado por Pérez-López *et al.* (2013), quienes al evaluar en varias edades la acumulación y distribución de la biomasa del maíz en asociación con frijol, encontraron que el peso de la mazorca se redujo sustancialmente. Desde el punto de vista de la producción de forraje, es importante la complementariedad de las especies en los sistemas intercalados, de tal manera que disminuya la competencia y se pueda garantizar el aporte energético de las mazorcas de maíz al forraje verde.

Altura de la planta. La altura de la planta se determinó previamente a la cosecha, en sorgo y maíz, en los arreglos donde estas especies se encontraban presentes. Los tratamientos no afectaron la altura final de las plantas de maíz, pero sí las del sorgo. En

Tabla 6. Peso verde de la mazorca de maíz, altura del maíz y el sorgo, y volcamiento de plantas de sorgo dulce.

Tratamiento	Peso verde mazorca, g	Altura maíz, cm	Altura sorgo, cm	Altura mazorca, cm	Volcamiento de plantas, %
Maíz en monocultivo	307,5 ^a	256,6 ^a	-	135,6 ^a	-
Sorgo en monocultivo	-	-	359,0 ^{ab}	-	40,5 ^a
Sorgo/frijol	-	-	366,6 ^a	-	28,8 ^a
Sorgo/maíz	244,7 ^a	247,6 ^a	345,6 ^{ab}	133,3 ^a	16,8 ^a
Sorgo/maíz/frijol	240,1 ^a	251,3 ^a	313,3 ^b	142,6 ^a	23,8 ^a
Media	264,1	251,8	346,1	137,2	27,5
CV	11,0	4,3	4,8	8,6	22,2
DE	29,06	10,92	16,58	11,79	0,98
Significación	NS	NS	*	NS	NS

Letras desiguales en una misma columna indican diferencias estadísticas entre los tratamientos, según prueba de Tukey ($p \leq 0,05$)

este caso, la altura final de las plantas fue superior en los tratamientos de sorgo en monocultivo y en los intercalamientos sorgo/frijol y sorgo/maíz. Por el contrario, en el intercalamiento sorgo/maíz/frijol, la altura final de las plantas de sorgo fue inferior al resto de los tratamientos en el ensayo; ello indica que el grado de competencia en este último tratamiento ocasionó reducciones en la altura del sorgo.

El intercalamiento entre los cereales y las leguminosas produce incremento en la altura de los primeros, como producto de una mejor complementariedad entre las especies (Eskandari *et al.*, 2009). Este indicador es de suma importancia en los sistemas de producción de forraje en la región Caribe de Colombia, debido a los fuertes vientos que ocurren en algunas épocas del año, que ocasionan volcamiento y pérdidas en la producción.

Volcamiento de las plantas. El intercalamiento del sorgo con otras especies pretende no solo aumentar la producción de forraje verde, sino también mejorar su calidad nutricional y reducir la altura de las plantas. En este sentido, de acuerdo con los resultados, el asocio o intercalamiento del sorgo con otras especies permitió alturas que redujeron el riesgo de volcamiento.

Conclusiones

Se concluye que el sorgo dulce Corpoica JYT-18 es una alternativa viable para la producción de forraje verde destinado a la suplementación animal en la región Caribe de Colombia, ya que presenta altas producciones y una calidad de forraje similar a la del maíz en sistemas de monocultivo. Las distintas alternativas de intercalamiento estudiadas permitieron elevar la producción de forraje verde por unidad de superficie e incrementar su calidad.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).

Referencias bibliográficas

Acosemillas. *Híbrido Pioneer® 30F35*. Bogotá: Acosemillas. <http://www.acosemillas.com/producto/30f35-30f35h-30f35r-30f35hr-30f35vyhr/>, 2019.

AOAC. *Official Method 960.52 Microchemical determination of nitrogen micro-Kjeldahl Method First Action 1960 Final Action 1961 Surplus 1994*. AOAC. 20th ed. USA: Association of Official Analytical Chemists, 2016.

Araméndiz-Tatis, H.; Espitia-Camacho, M. & Cardona-Ayala, C. Adaptabilidad y estabilidad fenotípica en cultivares de frijol caupí en el caribe húmedo colombiano. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. (ed. esp):14-22, 2017. DOI: [http://dx.doi.org/10.18684/bsaa\(v15\)](http://dx.doi.org/10.18684/bsaa(v15)).

Asangla, H. & Gohaim, T. Effect of fodder yield and quality attributes of maize (*Zea mays* L.) + cowpea 351(*Vigna unguiculata* L.) intercropping and different nitrogen levels. *Int. J. Agr. Sci.* 6 (2):349-356, 2016.

Basaran, U.; Copur-Dogruso, Medine; Gulumser, E. & Mut, Hanife. Hay yield and quality of intercropped sorghum-sudan grass hybrid and legumes with different seed ratio. *Turk. J. Field Crops.* 22:47-53, 2017. DOI: <http://doi.org/10.17557/tjfc.301834>.

Bernal, J. H.; Hernández, R. S.; Vanegas, M. & Sánchez, J. *Potencial de sorgos forrajeros para producción de alcohol carburante. Informe final de actividades 2005*. Villavicencio, Colombia: CORPOICA, 2006.

Bernal, J. H.; Rincón, Á.; Guevara, Elsa J.; Hernández, Ruby S. & Flórez, H. *Sorgo forrajero Corpoica JYT-18*. Villavicencio, Colombia: CORPOICA, 2014.

Castillo-Jiménez, Marianela; Rojas-Bourrillón, A. & WingChing-Jones, R. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con vinya (*Vigna radiata*). *Agronomía Costarricense*. 33 (1):133-146, 2009.

Castro-Rincón, E.; Sierra-Alarcón, Andrea M.; Mojica-Rodríguez, J. E.; Carulla-Fornaguera, J. E. & Lascano-Aguilar, C. E. Efecto de especies y manejo de abonos verdes de leguminosas en la producción y calidad de un cultivo forrajero utilizado en sistemas ganaderos del trópico seco. *Arch. Zootec.* 66 (253):99-106, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v66i253.2131>.

Contreras-Govea, F. E.; Muck, R. E.; Armstrong, K. L. & Albrecht, K. A. Fermentability of corn-lablab bean mixture from different planting densities. *Anim. Feed Sci Technol.* 150:1-8, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.05.009>.

Eskandari, H.; Ghanbari, A. & Javanmard, A. Intercropping of cereals and legumes for forage production. *Not. Sci. Biol.* 1:7-13, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.15835/nsb113479>.

García-Ferrera, Lidia; Bolaños-Aguilar, E. D.; Ramos-Juárez, J.; Osorio-Arce, M. & Lagunes-Espinoza, Luz del C. Rendimiento y valor nutritivo de leguminosas forrajeras en dos épocas del año y cuatro edades de rebrote. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 6 (4):453-468, 2015.

Getachew, Girma; Putnam, D. H.; De Ben, C. M. & De Peters, E. J. Potential of *Sorghum* as an alter-

- native to corn forage. *Am. J. Plant Sci.* 7:1106-1121, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2016.77106>.
- Iqbal, M. A.; Hamid, A.; Ahmad, T.; Siddiqui, M. H.; Hussain, I.; Ali, S. A. *et al.* Forage sorghum-legumes intercropping: effect on growth, yields, nutritional quality and economic returns. *Bragantia*. 78 (1):82-95, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2017363>.
- Iqbal, M. A.; Iqbal, A.; Ali, K.; Ali, H.; Khan, R. D.; Ahmad, B. *et al.* Integration of forage sorghum and by-products of sugarcane and sugar beet industries for ruminant nutrition: A Review. *Glob. Vet.* 14 (5):752-760, 2015. DOI: <http://doi.org/10.5829/idosi.gv.2015.14.05.93223>.
- Islam, N.; Zamir, M. S. I.; Din, S. M. U.; Farooq, U.; Arshad, H.; Bilal, A. *et al.* Evaluating the intercropping of millet with cowpea for forage yield and quality. *Am. J. Plant Sci.* 9:1781-1793, 2018.
- Mejía-Kerguelén, S.; Cuadrado-Capella, H. & Rivero-Espitia, Tatiana. *Manejo agronómico de algunos cultivos forrajeros y técnicas para su conservación en la región Caribe Colombiana*. 2 ed. Bogotá: CORPOICA, 2013.
- Nava-Berumena, Cynthia A.; Rosales-Serna, R.; Jiménez-Ocampo, R.; Carrete-Carreón, F. Ó.; Domínguez-Martínez, P. A. & Murillo-Ortiz, M. Rendimiento y valor nutricional de tres variedades de sorgo dulce cultivadas en cuatro ambientes de Durango. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 8 (2):147-155, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4426>.
- Orskov, E.; Hovell, F. & Mould, F. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para la evaluación de los alimentos. *Prod. Anim. Trop.* 5:213-218, 1980.
- Pérez-López, Astrid E.; Martínez-Bustamante, E.; Vélez-Vargas, L. D. & Cotes-Torres, J. M. Acumulación y distribución de fitomasa en el asocio de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Fac. Nac. Agron., Medellín*. 66 (1):6865-6880, 2013.
- Pirela, M. *Valor nutritivo de los pastos tropicales. Manual de ganadería doble propósito*. Venezuela: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, 2005.
- Ribeiro, K. G. & Pereira, O. G. Valor nutritivo do capim-Tifton 85 sob doses de nitrogênio e idades de rebrotação. *Vet. Zootec.* 17 (4):560-567, 2010.
- Van Soest P. J. & Robertson, J. B. *Analysis of forages and fibrous foods. A laboratory manual*. New York: Cornell University; 1987.

Recibido el 26 de noviembre del 2018

Aceptado el 17 de mayo del 2019