

Producción de biomasa y valor nutritivo de líneas de soya forrajera [*Glycine max* L. (Merr.)] en el noroeste de Puerto Rico^{1,2}

Alfredo Aponte³, Elide Valencia-Chin^{4*} y James Beaver⁵

J. Agric. Univ. P.R. 99(1):19-36 (2015)

RESUMEN

Se evaluaron diez líneas de soya forrajera [*Glycine max* L. (Merr.)] en dos fechas de siembra (FS), septiembre y enero, y dos edades fisiológicas de cosecha (EFC), R2 (plena floración) y R5.4 (mayoría de vainas con 51 a 75% de llenado), en un área total de 496 m² de un suelo Oxisol, bajo condiciones de temperatura y precipitación no limitantes al crecimiento del cultivo. El diseño experimental fue de parcelas divididas en bloques completos al azar, constituyendo FS las parcelas completas, EFC las subparcelas, y las líneas de soya las sub-subparcelas. El rendimiento de materia seca (RMS) fue mayor ($P < 0.01$) con R5.4 que con R2 (6,452 vs. 5,436 kg/ha), osciló ($P < 0.058$) de 5,300 a 6,573 kg/ha entre las líneas de soya y no difirió entre las dos FS. La densidad de siembra, alrededor de 260,000 plantas por hectárea, no estuvo afectada por ninguno de los tres factores principales. La altura de las plantas osciló ($P < 0.01$) de 84.2 a 93.2 cm entre las líneas de soya; difirió ($P < 0.05$) entre las FS (89.2 cm, septiembre vs. 87.5 cm, enero) y ($P < 0.01$) entre las EFC (72.4 cm, en R2 vs. 104.3 cm en R5.4); y acusó efecto ($P < 0.01$) de todas las dobles y de la triple interacción entre los tres factores. La proporción de hoja en la MS total fue mayor ($P < 0.01$) con EFC R2 que con R5.4 (44.1 vs. 41.1%) y hubo interacción ($P < 0.05$) de EFC x línea. Referente a la composición química porcentual del forraje, la proteína bruta (PB) varió entre las líneas de soya ($P < 0.05$) y entre las EFC ($P < 0.01$) y estuvo afectada ($P < 0.01$) por la interacción de estos dos factores (29.6 a 33.6, R2; 23.1 a 26.7, R5.4). La fibra detergente ácido (FDA) se comportó como la PB en cuanto a la significación de las variables independientes (21.0 a 25.6, R2; 26.2 a 33.3, R5.4); mientras la fibra detergente neutro (FDN) no difirió entre las líneas de soya, pero fue mayor ($P < 0.01$) con R5.4 que con R2 (41.0 vs. 33.5) y estuvo afectada por la interacción de EFC x línea. Se concluye que, tanto en características agronómicas como en composición química, todas

¹Manuscrito sometido a la junta editorial el 18 de abril de 2013.

²Esta investigación se realizó con el apoyo financiero del Departamento de Agricultura de EE.UU., Proyecto de Investigación en Agricultura Tropical y Subtropical (USDA-TSTAR-125).

³Exestudiante graduado, Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

⁴Catedrático, Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Box 9000, Mayagüez, PR 00681

*Autor para correspondencia. Tel.: 787-265-3852. E-mail: elide.valencia@upr.edu

⁵Catedrático, Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

las líneas de soya evaluadas tuvieron un comportamiento aceptable, pero se destacaron las SF-6, SF-24, SF-50, SF-88 y SF-110 más que las SF-1, SF-2, SF-22, SF-57 y SF-72; la cosecha a R5.4 fue ventajosa para aprovechar un mayor RMS sin sacrificar demasiado la excelente composición química que caracteriza el forraje de R2; y los efectos de la FS no fueron de mucha magnitud.

Palabras clave: forrajes, edades fisiológicas de cosecha, fechas de siembra, composición química

ABSTRACT

Biomass and nutritive value of forage soybean lines [*Glycine max* L. (Merr.)] in northwestern Puerto Rico

Ten lines of forage soybean [*Glycine max* L. (Merr.)] were evaluated using two planting dates (PD) in September and January; and two crop harvest physiological stages (CHPS), R2 (full bloom) and R5.4 (most pods 51 to 75% full), a total area of 496 m² with an Oxisol soil, under conditions of temperature and precipitation not limiting crop growth. The experimental design was one of split plots in randomized complete blocks, PD constituting the complete plots, CHPS the subplots, and soybean lines the sub-subplots. Dry matter yields (DMY) were higher ($P < 0.01$) for R5.4 than R2 (6,452 vs. 5,436 kg/ha), fluctuated ($P < 0.058$) from 5,300 to 6,573 kg/ha among the soybean lines and did not differ between the two PD. Plant populations were about 260,000 kg/ha and were not affected by the three principal factors. Plant height varied ($P < 0.01$) from 84.2 to 93.2 cm among the soybean lines; differed ($P < 0.05$) between the two PD (89.2 cm, September vs. 87.5 cm, January) and ($P < 0.01$) between the two CHPS (72.4 cm, R2 vs. 104.3 cm, R5.4); and was also affected by all of the double and the triple interactions of the three factors. The proportion of leaf in the total DM favored ($P < 0.01$) R2 over R5.4 (44.1 vs. 41.1%) and involved an interaction ($P < 0.05$) of CHPS x soybean line. Regarding the chemical composition of the forage, crude protein (CP) varied among the soybean lines ($P < 0.05$) and between the CHPS ($P < 0.01$) and was affected ($P < 0.01$) by an interaction of these two factors (29.6 to 33.6, R2 and 23.1 to 26.7, R5.4). Acid detergent fiber (ADF) behaved like a CP with respect to significance of the independent variables (21.0 to 25.6, R2 and 26.2 to 33.3, R5.4); whereas neutral detergent fiber (NDF) did not differ among soybean lines, but was higher ($P < 0.01$) for R5.4 than for R2 (41.0 vs. 33.5), and involved an interaction ($P < 0.01$) of CHPS x soybean line. It is concluded that, according to both agronomic characteristics and chemical composition, all the soybean lines evaluated performed adequately, but SF-6, SF-24, SF-50, SF-88 and SF-110 outperformed SF-1, SF-2, SF-22, SF-57 and SF-72; harvest at the R5.4 stage was advantageous in achieving greater DMY without unduly sacrificing the excellent chemical composition of R2 forage; and the magnitude of PD effects was not large.

Key words: forages, crop phenological stages, chemical composition

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas principales de la industria pecuaria en Puerto Rico es que durante ciertas épocas del año hay escasez y baja calidad de los forrajes, tanto de los cosechados en la misma finca como de los

comprados a fuentes comerciales. Los forrajes existentes en muchos casos no suplen suficientes nutrientes para satisfacer los requerimientos del animal, lo que conduce a un bajo desempeño productivo.

La escasez de forraje de alta calidad obliga a los productores a suplementar a sus animales, en particular a las vacas lecheras, con alimento concentrado importado, para suplir la proteína y energía necesarias. Este tipo de alimentación aumenta la productividad animal, pero tiende a causar un desbalance dietético que acorta la vida útil del animal e incrementa los costos de producción, lo cual ha puesto en riesgo la industria lechera del país. Se podría mejorar la calidad de los pastos a través de la introducción de leguminosas que aporten más energía y proteína que las gramíneas comunes. Varias leguminosas [ej., maní forrajero (*Arachis glabrata* Benth) y estilosantes (*Stylosantes guianensis*)] han sido evaluadas favorablemente, pero no han sido aceptadas por los agricultores debido a su dificultad de manejo. Sin embargo, la soya forrajera [*Glycine max* L. (Merr.)] podría ser una buena alternativa por su alto rendimiento forrajero de buena calidad nutricional y facilidad para henuficación mecánicamente. También podría servir como un cultivo multiuso al prestarse para producir forraje de calidad o alternativamente para la producción de grano destinado al uso industrial o a la alimentación.

En los países templados la leguminosa forrajera por excelencia es la alfalfa (*Medicago sativa* L.), la cual, debido a su alto contenido de proteína y fibra digerible, aporta mucho a la producción animal. Sin embargo, la alfalfa exige suelos con alta fertilidad y de pH neutro a levemente alcalino, mientras que en el trópico húmedo, por la alta precipitación, los suelos suelen ser altamente meteorizados y ácidos, lo que, en adición a problemas de malezas y enfermedades, dificulta grandemente la producción de este cultivo.

En varios países tropicales de América Latina se está utilizando la soya como alternativa a la alfalfa en hatos bovinos de leche y carne donde la alfalfa está mal adaptada. Afortunadamente, el forraje de soya cortado a la edad fisiológica de cosecha (EFC) R6 (90 días después de la siembra aproximadamente) es muy similar en producción y en calidad a la alfalfa. Incluso la soya presenta una ventaja energética por contar con una mayor concentración de lípido. Los altos costos de la producción intensiva de leche en el trópico se deben principalmente a los altos precios de las materias primas importadas para uso en la alimentación. Estos costos contribuyen a la baja rentabilidad que afecta actualmente a esta actividad. Evidentemente, la única salida viable para mitigar los costos de alimentación en los sistemas de alta producción de leche y carne es la producción de forrajes con concentraciones elevadas de energía y proteína. De esta manera se podrá reducir el uso de alimentos concentrados en las raciones (Tobías y Villalobos, 2004).

El propósito de la presente investigación es evaluar los efectos de la época de siembra y la EFC en la producción de biomasa y en el valor nutricional de diez líneas de soya forrajera. La meta es obtener un alto rendimiento de materia seca (RMS) de composición bromatológica óptima. La disponibilidad de heno de soya local de alta calidad podría reducir el uso de alimento concentrado en la producción de leche, alargando a la vez la vida útil del animal y reduciendo los costos de operación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo entre el 10 de Septiembre de 2010 y el 25 de abril de 2011 en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, de la Universidad de Puerto Rico, ubicada en el noroeste de la isla (18° 30' Latitud norte y 67° 00' Longitud oeste) a 128 metros sobre el nivel del mar, donde la precipitación promedio anual es de 1675 mm y la temperatura promedio anual es de 25° C, pero fluctúa a través del año entre límites de 19 a 29° C. El suelo es del orden Oxisol, serie Cotito (arcilloso, caolínico, isohipertérmico Lithic Kandistox). Es un suelo de buen drenaje y poca profundidad, su pH es de 5.4 a 6.5 y responde positivamente a la aplicación de carbonato calizo (Beinroth *et al.*, 2002).

El diseño experimental es uno de parcelas divididas en bloques completos al azar (DBCA) con cuatro repeticiones. Se estudió el efecto de tres factores: la época de siembra con dos niveles (asignados a las parcelas completas); la EFC con dos niveles (asignados a las sub-parcelas); y diez líneas de soya (Cuadro 1), asignadas a las unidades experimentales (sub-sub-parcelas). El geneticista Thomas Devine del USDA/ARS, Beltsville, Maryland, EE.UU., facilitó para este estudio poblaciones F₂ de soya segregando para el gen juvenil tardío. En la Subestación

CUADRO 1.—Líneas de soya forrajera evaluadas en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, P.R., 2010-2011.

Líneas de soya	Fuente de Semilla	Pedigrí Correspondiente
SF-1	0968-1-1	Donegal x F85-1138(GHS 95-96)
SF-2	0968-1-2	Donegal x F85-1138(GHS 95-96)
SF-6	0968-2-2	Donegal x F85-1138(GHS 95-96)
SF-22	0968-6-3	Donegal x F85-1138(GHS 95-96)
SF-24	0968-7-1	Donegal x F85-1138(GHS 95-96)
SF-50	0968-14-2	OR 3-12-2-4-1 x F91-3076(95-96)
SF-57	0968-16-2	OR 14-13-4 PL x F91-3076GHS(96-96)
SF-72	0968-19-1	OR 13-12-2-4-1 x F85-1138
SF-88	0968-22-3	OR5-12-1T x F91-1507
SF-110	0968-16 Bulk	OR 14-13-4 PL x F91-3076GHS(96-96)

de Isabela se seleccionaron plantas individuales de las generaciones F₃ y F₄ para insensibilidad al fotoperiodo, porte erecto y altura.

El suelo del campo experimental se preparó mecánicamente con un pase de arado de discos y dos pases de rastra, tres semanas antes de la siembra. El día de la siembra se pasó la rastra y luego se surcó el predio con una surcadora de dos hileras, a 60 cm de distancia entre las mismas. En cada parcela útil y borduras se sembraron 40 semillas de soya a dos semillas por postura, a una distancia de 10 cm (equivalente a una densidad de siembra de alrededor de 333,333 plantas por hectárea). Tres semanas después de la germinación se removieron las malezas entre las hileras usando una cultivadora. Más tarde, la sombra provista por las hojas de soya bastó para controlar las malezas. Insectos como la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) se combatieron con aplicaciones del insecticida metomil, cuando fueron necesarias.

El área total utilizada fue de 496 m², cada bloque o repetición constó de dos sub-parcelas de 31 m de largo y 2 m de ancho. Las sub-parcelas correspondieron a dos cosechas en estados de desarrollo vegetativo: i) cosecha a la florecida de la planta (R2), y ii) cosecha cuando el llenado fisiológico del grano alcanzó un 75% (R5.4) (Román, 2008). Las 10 líneas de soya evaluadas se habían seleccionado previamente por su altura, finura de los tallos y segregación (Cuadro 1). El tamaño de las unidades experimentales (sub-sub-parcelas) fue de 2 m x 2 m, mientras que la parcela útil consistió de 2 m lineales de la hilera central únicamente, el resto sirvió de borde. La distancia entre hileras fue de 60 cm y el espacio entre las unidades experimentales fue de 1 m a lo largo y 60 cm a lo ancho. En ambas fechas de siembra se siguió este mismo procedimiento.

El primer ensayo se realizó del 10 de septiembre al 3 de diciembre del 2010 y el segundo del 31 de enero al 25 de abril de 2011. En ambos ensayos experimentales se evaluaron las variables agronómicas: (1) emergencia de plántulas; (2) altura, medida cada dos semanas hasta la cosecha, en la R2 o R5.4, según correspondiera; (3) proporción de la hoja en la biomasa; (4) RMS; y las variables indicativas del valor nutritivo: (5) proteína bruta (PB, N*6.25), por el método Kjeldahl (AOAC, 1990); (6) fibra detergente neutro (FDN); y (7) fibra detergente ácido (FDA), por los métodos de Van Soest *et al.* (1991). Se contaron las plantas que emergieron en los 2 m lineales de la parcela útil para determinar la densidad de siembra. La altura hasta el ápice de la planta se midió tomando cuatro plantas al azar en la parcela útil de cada unidad experimental.

A las ocho semanas, cuando las sub-parcelas correspondientes al tratamiento EFC R2 se encontraban florecidas, se cosechó 1 m lineal de la parcela útil de cada línea de soya evaluada. Al observar que las

CUADRO 2.—*Descripción fisionómica de los estadios fenológicos del cultivo de la soya.*

EF ¹	Descripción Fisionómica ²
VE	Emergencia de los cotiledones sobre el suelo.
VC	Cotiledones expandidos, con las hojas unifoliadas, sin que los bordes de las hojas se toquen.
V1	Primer nudo; hojas unifoliadas expandidas, con la primera hoja trifoliada abierta.
V2	Segundo nudo; primer trifolio expandido, y la segunda hoja trifoliada abierta.
V3	Tercer nudo; segundo trifolio expandido, y la tercera hoja trifoliada abierta.
Vn	Ultimo nudo con trifolio abierto sobre el tallo principal, antes de la floración.
R1	Inicio de floración; hasta 50% de las plantas con una flor.
R2	Plena floración; la mayoría de los racimos con flores abiertas.
R3	Final de floración; vainas hasta 1.5 cm.
R4	La mayoría de las vainas del tercio superior miden 2 a 4 cm.
R5.1	Granos en inicio de formación, perceptibles al tacto, 10% de llenado de grano.
R5.2	Mayoría de las vainas con grano, 11 a 25% de llenado
R5.3	Mayoría de las vainas con 26 a 50% de llenado.
R5.4	Mayoría de las vainas con 51 a 75% de llenado.
R5.5	Mayoría de las vainas con 76 a 100% de llenado.
R6	Vainas con 100% de llenado y hojas verdes.
R7.1	Inicio hasta 50% de amarillamiento de las hojas y vainas
R7.2	Entre 51 y 75% de hojas y vainas amarillas, fase reproductiva.
R7.3	Más del 76% de hojas y vainas amarillas
R8.1	Inicio hasta un 50% de defoliación
R8.2	Más del 51% de defoliación a pre-cosecha.
R9	Punto de maduración de cosecha.

¹Estado fenológico del cultivo²Román, P., 2008. Fenología de la soya. www.fundacruz.org.bo/publication.php.

plántulas habían llegado al EFC R5.4, a las 12 semanas en las sub-parcelas correspondientes, se repitió el mismo procedimiento de cosecha. Muestras de 500 g del forraje cosechado se secaron por 48 horas a 60° C en un horno de aire forzado y luego se tomó su peso seco y se calculó el porcentaje de materia seca (MS) con el cual se determinó el RMS. Se tomaron otras sub-muestras de cada línea de soya evaluada en EFC R2 y R5.4. Las muestras se dividieron en tallos y hojas y se secaron ambas fracciones. Los resultantes pesos secos sirvieron para determinar la porción de la MS total constituida por hojas y tallos. Las muestras usadas para determinar RMS se molieron en un molino Thomas Willey⁶ para pasar un tamiz de 1 mm de porosidad y se enviaron

⁶Los nombres de compañías y de marcas registradas solo 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.

a la Universidad del Estado de Dakota del Norte donde se analizaron para contenidos de PB, FDN y FDA, por los métodos citados.

Se realizó ANOVA de los datos utilizando el paquete estadístico InfoStat (2008). Las variables dependientes evaluadas fueron: densidad de siembra (plantas por hectárea), RMS (kg/ha), contenido de PB, FDN y FDA, proporción de hoja en la MS total (%) y altura (cm). Para la separación de medias se utilizó la prueba de Tukey. Los datos de todas las variables analizadas se adaptaron al modelo de parcelas divididas en un DBCA, donde la parcela principal correspondió a la fecha de siembra (septiembre o enero), y las sub-parcelas, a la etapa de cosecha (EFC R2 y R5.4). El tercer factor, las diez líneas de soya representaron un sub-tratamiento y funcionaron como sub-sub-parcelas. En el modelo estadístico se incluyó los efectos de las dobles y triples interacciones de los tres factores: (fecha de siembra x EFC), (EFC x líneas), (fecha de siembra x líneas) y (fecha de siembra x EFC x líneas), siendo su fórmula la siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + (\alpha\tau)_{il} + \beta_j + (\beta\alpha)_{ij} + (\alpha\beta\tau)_{ijl} + \delta_k + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + (\beta\alpha\delta)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = Valores de las variables dependientes (rendimiento, fracciones químicas (3), proporción de hoja, altura, densidad de siembra)

μ = promedio general

α_i = efecto de fecha de siembra i, donde i= 1(septiembre), 2 (enero)

$(\alpha\tau)_{il}$ = Efecto del bloque en cada fecha de siembra o error de parcela completa

β_j = efecto de EFC j, donde j= EFC R2 y R5.4

$(\beta\alpha)_{ij}$ = efecto aleatorio de interacción EFC j y fecha de siembra i

$(\alpha\beta\tau)_{ijl}$ = error de la sub-parcela

δ_k = efecto de las líneas k, donde k= las 10 líneas de soya evaluadas

$(\alpha\delta)_{ik}$ = efecto aleatorio de la interacción fecha de siembra i y línea k

$(\beta\delta)_{jk}$ = efecto aleatorio de la interacción EFC j y línea k

$(\beta\alpha\delta)_{ijk}$ = Efecto de la interacción entre EFC j, fecha de siembra i y línea k

ϵ_{ijkl} = error experimental

Los datos de altura en función del tiempo se analizaron utilizando una regresión polinomial cuyo modelo es según se describe:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 x_{ij} + \beta_2 x_{ij}^2 + \beta_3 x_{ij}^3 + \epsilon_{ij}$$

Y_{ij} = altura en semanas (i) y fecha de siembra (j)

x = semanas después de siembra

β_0 = intercepto, valor de la altura cuando $x = 0$

ϵ_{ij} = error aleatorio (diferencia entre el error observado y el poblacional)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas

Durante los ocho meses de septiembre 2010 a abril 2011 la temperatura media registrada fue 2.85° C menor a la media que abarca los últimos 20 años, la diferencia mayor ocurrió en el mes de diciembre 2010 cuya temperatura fue 4.25° C menor a la media de los últimos 20 años (Cuadro 3). En septiembre se registró la temperatura más alta durante el periodo del ensayo (30.5° C). Durante los 85 días después de la siembra de septiembre del 2010 se observaron temperaturas consistentemente menores a las registradas anteriormente en el mismo mes del año, hasta descender a 26.39° C en diciembre. Durante los 85 días después de la segunda siembra, que comprendió de enero a abril del

CUADRO 3.—Temperatura (°C) y precipitación (mm) mensual de los últimos 20 años en promedio y durante el ensayo en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, P.R., 2010-2011.

Mes	2010-2011		20 años	
	Temperatura observada °C	Precipitación observada -----mm-----	Precipitación promedio	Temperatura promedio °C
Enero	28.2	170.3	115.5	29.9
Febrero	27.6	232.7	75.8	29.8
Marzo	28.7	71.5	93.2	30.8
Abril	29.4	79.4	129.9	31.5
Mayo	29.6	266.7	191.8	32.1
Junio	29.7	161.9	156.6	32.9
Julio	29.7	344.9	152.7	33.0
Agosto	30.6	64.2	166.2	33.3
Septiembre ¹	30.5	186.0	175.7	33.4
Octubre ¹	29.8	297.2	192.8	33.1
Noviembre ¹	27.8	161.1	168.9	29.3
Diciembre ¹	26.3	73.6	112.6	30.6
Enero ¹	27.2	67.0	117.7	29.9
Febrero ¹	27.7	71.5	82.6	29.4
Marzo ¹	27.4	71.0	95.3	30.9
Abril ¹	28.5	106.3	132.8	31.6

¹Meses en los cuales transcurrió el experimento

2011, la temperatura se mantuvo casi constante por tres meses para luego subir levemente a 28.5° C en abril, pero estando siempre por debajo de los niveles normales de los últimos 20 años.

La precipitación mensual durante el periodo de la primera siembra de septiembre a diciembre de 2010 fue sucesivamente de 186, 297, 161, 74 mm, para un total de 718 mm en esos cuatro meses (Cuadro 3), total que excedió al de los últimos 20 años por 68 mm. En octubre, el mes más lluvioso, esta diferencia fue de 104 mm (Cuadro 3). Ocurrió lo contrario después de la segunda siembra, al registrarse precipitaciones de 67, 72, 71 y 106 mm en los cuatro meses sucesivos de enero a abril, para un total de 316 mm. Este valor fue menor al promedio de precipitación de los últimos 20 años para esta misma época por 113 mm. No se aplicó riego suplementario a la siembra de septiembre, en cambio fue necesario el riego para asegurar el establecimiento del segundo cultivo (enero y febrero). En general, la temperatura y la precipitación no fueron factores limitantes para el crecimiento y desarrollo de las líneas de soya forrajera evaluadas. Los resultados arrojados por los análisis de variancia se presentan en los Cuadros 4 y 5 (variables agronómicas) y el Cuadro 6 (variables de calidad forrajera).

Densidad de siembra

Para esta variable no se encontró efectos significativos ($P > 0.05$) de ninguna de las dobles interacciones ni de los tres factores principales, si bien hubo tendencias ($P < 0.01$) de interacción en fecha de siembra x

CUADRO 4.—Valores *F* con su respectivo valor de probabilidad obtenidos en el análisis de tres variables agronómicas de líneas de soya forrajera evaluadas en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, P.R., en 2010 y 2011.

Variable agronómica	Fuente de variación	Rendimiento materia seca		Densidad siembra		Altura	
		Gl	F ¹	P ²	F	P	F
Fecha de siembra	1	0.8	0.4010	0.9	0.6840	3.7	0.0103
Rep (fecha siembra)	6	0.6	0.7700	0.2	0.9640	1.1	0.3470
EFC ³	1	1247.8	0.0001	2.0	0.1830	1456.5	0.0001
EFC x rep (fecha siembra)	12	0.001	0.9999	0.001	0.9999	0.001	0.9999
Fecha siembra x EFC	1	3.0	0.0840	1.9	0.2740	62.5	0.0001
Líneas	9	2.5	0.0580	1.5	0.1630	6.9	0.0001
Fecha siembra x línea	9	1.7	0.0940	1.3	0.2340	5.2	0.0001
EFC x línea	9	1.7	0.1020	0.7	0.7100	3.6	0.0001
Fecha siembra x EFC x línea	9	1.1	0.3830	0.8	0.6440	3.1	0.0001
	CV, %		3.1		3.3		6.0

¹Valor F

²Probabilidad

³Edad fenológica de cosecha

CUADRO 5.—Valores *F* con su respectivo valor de probabilidad obtenidos en el análisis de la proporción de hoja de las líneas de soya forrajera evaluadas en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, P.R., en 2010 y 2011.

Variable agronómica	Proporción Hoja		
	Gl	F ¹	P ²
Fuentes de variación			
Fecha siembra	1	1.8	0.2310
Rep(fecha siembra)	6	1.9	0.0950
EFC ³	1	53.8	0.0001
EFC x rep(fecha siembra)	12	0.001	0.9999
Fecha siembra x EFC	1	4.8	0.0631
Línea	9	2.0	0.0580
Fecha siembra x línea	9	1.6	0.1530
EFC x línea	9	2.3	0.0198
Fecha siembra x EFC x línea	9	1.1	0.3990
	CV, %		6.0

¹Valor F

²Probabilidad

³Edad fenológica de cosecha

EFC, y en fecha de siembra x línea (Cuadro 4). En cuanto a la cantidad de plantas que emergieron, las medias por fecha de siembra y por EFC presentadas en el Cuadro 7 demuestran escasa variabilidad. Las densidades de siembra, al combinar las diez líneas de soya forrajera, fueron 259,247 y 262,166 plantas por hectárea para los meses de siembra de septiembre y enero, respectivamente (Cuadro 7). Estas densidades tan similares entre fechas de siembra se observaron aun cuando las diferencias en precipitación pluvial y temperatura entre septiembre y enero fueron notables (Cuadro 3).

La alta densidad poblacional permitió el desarrollo de plantas de menor grosor de ramas y tallos, deseables para facilitar la henificación. Esta alta densidad, que se obtuvo a una distancia de siembra de 60 cm entre hileras y a dos semillas por postura cada 10 cm, resultó ideal para la producción de forraje de soya. Tobías y Villalobos (2004), comprobaron que para optimizar la producción de biomasa de soya las densidades óptimas oscilan entre los 150,000 y 300,000 plantas por hectárea. Es recomendable, además, que la distancia de siembra entre hileras sea de 50 a 60 cm para evitar problemas de acame que pueden ocurrir a una distancia de siembra menor de los 50 cm, por volverse muy finos los tallos. Bajo condiciones de Wisconsin, Hintz *et al.* (1989) observaron una tendencia a rendimientos más altos de forraje de soya a distancias menores que a distancias mayores entre hileras. En sus ensayos, realizados con los cultivares 'Corsoy 79', 'Pella' y 'William 82', estos autores cosecharon 0.9 Mg/ha más forraje de soya a 20 cm entre

CUADRO 6.—Valores F con su respectivo valor de probabilidad obtenidos en los análisis de tres fracciones químicas indicativas de calidad de las líneas de soja forrajera evaluadas en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, P.R., en 2010 y 2011.

Variable agronómica	FDN ¹			FDA ²			PB ³		
	Gl	F ⁴	P ⁵	F	P	F	F	P	
Fuentes de variación									
Fecha de siembra	1	0.5	0.5040	1.2	0.3180	0.4		0.5380	
Rep (fecha de siembra)	6	2.9	0.0110	11.6	0.0001	1.6		0.1620	
EFC ⁶	1	141.2	0.0001	71.4	0.0001	295.4		0.0001	
EFC x rep (fecha de siembra)	12	0.001	0.9999	0.001	0.9999	0.001		0.9999	
Fecha de siembra x EFC	1	0.1	0.7860	1.1	0.2920	0.2		0.6540	
Líneas	9	1.9	0.6690	2.2	0.0290	2.2		0.0250	
Fecha de siembra x líneas	9	1.5	0.1740	1.3	0.2540	1.1		0.3780	
EFC x líneas	9	2.9	0.0047	2.6	0.0100	3.4		0.0001	
Fecha de siembra x EFC x líneas	9	1.4	0.1965	1.3	0.2440	1.1		0.3450	
CV, %		10.7			15.5			8.9	

¹Fibra detergente neutro
²Fibra detergente ácido
³Proteína Bruta
⁴Valor F
⁵Probabilidad
⁶Edad fenológica de cosecha

CUADRO 7.—Efecto de la edad fenológica de cosecha sobre la densidad de siembra y el rendimiento de materia seca de líneas de soya forrajera, evaluadas en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, P.R., en el 2010 y 2011.

	Septiembre	Enero	Media EFC
	Densidad siembra		
	-----Plantas por hectárea-----		
EFC ¹			
R2	259,160	261,833	260,496
R5.4	259,333	262,500	260,916
Media	259,247	262,166	
LSD (0.05)	NS		NS
	Rendimiento materia seca		
	-----kg/ha-----		
R2	5,420.8	5,451.7	5,436.3
R5.4	6,486.7	6,417.4	6,452.1
Media	5,953.8	5,934.6	
LSD (0.05)	NS		106.1

¹Edad fenológica de cosecha
Interacción EFC x fecha de siembra no significativa

plantas que a 76 cm de distancia entre hileras. Indicaron, además, que el efecto de la densidad de siembra sobre la calidad del forraje de soya es de baja magnitud. En México, Tosquy *et al.* (2010) registraron un incremento en la altura de plantas al incrementar la densidad de siembra. Para el cultivar ‘Huasteca 100’ en densidades de 200,000; 300,000; y 400,000 plantas por hectárea, se obtuvieron alturas de 36.2, 40.9 y 42.9 cm, respectivamente, mientras para ‘Huasteca 200’ las cifras correspondientes fueron 52.2, 29.0 y 66.1 cm.

Proporción de hoja en la biomasa

No se encontró una triple interacción significativa ($P > 0.05$) de fecha de siembra x EFC x línea para la proporción de hoja (Cuadro 5). Tampoco hubo diferencias en las proporciones de tallos y hojas entre las diez líneas de soya evaluadas en dos épocas y dos EFC, pero la interacción EFC x línea de soya sí resultó ser significativa ($P < 0.05$) (Cuadro 5). A estos efectos, en R2 las líneas SF-1, SF-22, SF-57 y SF-72 presentaron una tendencia a una mayor proporción de hoja sobre el resto de las líneas evaluadas (Cuadro 8), mientras que en R5.4 fueron las líneas SF-6, SF-24 y SF-110 con dicho comportamiento. En promedio el EFC R2 presentó una mayor proporción de hojas respecto al R5.4 (44.1 vs. 41.1%). Una alta proporción foliar es deseable en términos de digestibilidad y palatabilidad del forraje.

CUADRO 8.—Proporción de hoja y de tallo por edad fenológica de cosecha y por línea de soya forrajera evaluada en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, P.R., en el 2010 y 2011.

	Edad fenológica de cosecha			
	R2	R5.4	R2	R5.4
	Hoja		Tallo	
Líneas soya	----- % -----			
SF-1	46.0	41.0	54.0	59.0
SF-2	43.0	40.0	57.0	60.0
SF-6	44.0	43.0	56.0	57.0
SF-22	45.0	40.0	55.0	60.0
SF-24	43.0	42.0	57.0	58.0
SF-50	44.0	41.0	56.0	59.0
SF-57	45.0	41.0	55.0	59.0
SF-72	45.0	40.0	55.0	60.0
SF-88	43.0	40.0	57.0	60.0
SF-110	43.0	43.0	57.0	57.0
Media EFC	44.1	41.1	55.9	58.9
DMS(0.05) ¹			2.5	
DMS(0.05) ²			3.4	

¹Comparar medias de líneas dentro de una misma edad fenológica de cosecha.

²Comparar medias de una misma línea e igual o diferente edad fenológica de cosecha.

La alta densidad de siembra utilizada resultó en tallos delgados en el EFC R5.4, que son aptos para henificar con relativa facilidad. Tobías y Villalobos (2004) concluyeron que altas densidades de siembra son preferibles para minimizar la formación de ramas y el engrosamiento de los tallos. Blount *et al.* (2002), de la Universidad de Florida, también señalaron que con siembras de soya a densidades de 225 a 300 kg/ha de semilla se pueden obtener tallos finos para facilitar la producción de heno. En lugares lluviosos es recomendable cosechar la soya forrajera en la EFC que permita obtener una relación hoja: tallo adecuada y tallos finos para asegurar un secado rápido. Según Hoffman *et al.* (2007), el efecto negativo que ejerce la madurez del forraje en la digestibilidad de la FDN está relacionado con las proporciones hoja: tallo, por ser la FDN en las hojas mucho más digestible que la de los tallos.

Altura de las plantas

Se verificó una triple interacción significativa ($P < 0.01$) de fecha de siembra x EFC x línea respecto a esta variable (Cuadro 4). En el Cuadro 9 se observa el comportamiento de cada línea de soya bajo cuatro combinaciones de EFC y fecha de siembra, donde la triple interacción queda ilustrada mediante el escalonamiento de las diez líneas. Por

CUADRO 9.—*Altura de las plantas por edad fenológica de cosecha, fecha de siembra y línea de soya forrajera evaluada en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, P.R., en el 2010 y 2011.*

Líneas	Edad fenológica de cosecha						
	R2		R5.4		Media (línea)	Media	
	Fecha de siembra					Sept	Enero
	Sept	Enero	Sept	Enero			
	Altura						
	-----cm-----						
SF-1	70.6	66.9	98.9	108.5	86.2	84.6	87.7
SF-2	72.1	68.0	98.6	107.0	86.4	85.4	87.5
SF-6	79.3	72.9	102.9	105.6	90.2	91.1	89.3
SF-22	79.8	69.1	104.6	108.9	90.6	92.2	89.0
SF-24	79.9	67.6	104.1	106.1	89.4	92.0	86.9
SF-50	84.7	65.5	109.8	112.8	93.2	97.3	89.2
SF-57	74.0	75.0	100.3	105.1	88.6	87.2	90.0
SF-72	77.3	63.3	100.0	101.8	85.6	86.1	82.5
SF-88	72.8	62.9	99.4	101.8	84.2	87.9	82.4
SF-110	75.9	72.2	99.9	110.0	89.5	89.3	91.1
Media columna	76.6	68.3	101.9	106.7	88.4	80.7	87.6
Media EFC	72.4		104.3			89.3	87.5
DMS (0.05) ¹	6.8						
DMS (0.05) ²	9.5						
DMS (0.05) ³	14.9						

¹Comparación media dentro de una misma línea de soya forrajera

²Comparación medias entre las diferentes líneas de soya forrajera

³Comparaciones cruzadas entre cualquiera de las medias

ejemplo, la SF-50 fue la más alta en tres de las combinaciones pero ocupó el octavo puesto bajo la combinación R2-enero; la SF-57 fue primera bajo R2-enero pero quinta, séptima y octava en los otros tres casos; y la SF-6 fue segunda bajo R2-enero pero séptima bajo R5.4-enero. Las diez líneas de soya sembradas en septiembre y cosechadas en la etapa R2 variaron en altura de 70.6 a 84.7 cm. Mientras, para la combinación R5.4-septiembre se obtuvieron medias entre 98.6 y 109.8 cm, lo que reflejó un aumento relativo promedio de 75% en altura durante los 28 días transcurridos entre EFC R2 a R5.4. Para ambas EFC de la siembra de septiembre, la línea SF-50 fue la de mayor altura, y las líneas SF-22, SF-24 y SF-6 también superaron a las demás líneas evaluadas.

La siembra realizada en enero con cosecha a EFC R2 y R5.4 resultó en amplitudes de altura de 62.9 a 75.0 cm, y 101.8 a 112.8 cm, respectivamente. El incremento relativo porcentual fue de 64% en los 28 días del EFC R2 al R5.4, por lo que fue un incremento algo menor al

registrado en la siembra de septiembre. Al usar el EFC R2 las líneas SF-57, SF-6 y SF-110 con 75.0, 72.8 y 72.2 cm, respectivamente, fueron las mayores en altura; entre las líneas evaluadas en EFC R5.4 luego de siembras de enero, las líneas SF-50 y SF-110 con 112.0 y 110.0 cm, respectivamente, resultaron más altas (Cuadro 9).

La altura de las plantas fue marcadamente mayor ($P < 0.01$) con EFC R5.4 que con R2, siendo los promedios generales 104.3 y 72.4 cm (Cuadro 9). Por su parte, la fecha de siembra no tuvo un efecto general grande, al favorecer levemente a septiembre sobre enero (89.2 vs. 87.5 cm), si bien esta diferencia alcanzó significación ($P < 0.05$; Cuadro 4). Lo más notable de la fecha de siembra fue su interacción ($P < 0.01$) con la EFC. Para R2 la siembra de septiembre dio mayor altura que la de enero (76.6 vs. 68.3 cm), mientras con R5.4 ocurrió lo inverso (101.9 vs. 106.7).

Rendimiento de materia seca

No existió un efecto del factor fecha de siembra sobre el RMS (Cuadros 4 y 7). Se verificó una tendencia ($P < 0.058$) a diferencias entre las líneas de soya, pero notoriamente hubo un gran efecto ($P < 0.01$) de la EFC sobre la productividad forrajera. El RMS promedio fue de 5,436 y 6,452 kg/ha en EFC R2 y R5.4, respectivamente (Cuadro 7). Dicho aumento en rendimiento de biomasa de casi 1,000 kg/ha entre R2 y R5.4, refleja claramente el progresivo cúmulo de biomasa. Aun cuando no existiera diferencia significativa entre las líneas, para R2 ni para R5.4, la línea SF-6 sobresalió en R2 con 5,579 kg/ha, mientras en R5.4 las líneas SF-110 y SF-50 produjeron los mayores RMS con 6,559 y 6,573 kg/ha, respectivamente. Estas mismas líneas de soya se destacaron también en altura de la planta (Cuadro 9). Los RMS presentes superan a los registrados por Moyer y Long (2010), para los cultivares 'Hutcheson', 'Tyrone', 'Derry' y 'Donegal' de entre 2,920 a 3,780 kg/ha con EFC R2, y de 2,960 a 4,520 kg/ha con EFC R5. Usando el cultivar 'Bragg', Blount *et al.* (2002) obtuvieron RMS que oscilaron entre 5,053.4 y 6,197.5 kg/ha para la R2 y R5.4, respectivamente, similares a los de la presente investigación.

Fracciones químicas

La interacción triple de fecha de siembra x línea x EFC no tuvo efecto significativo en el análisis de las variables PB, FDN y FDA (Cuadro 6). De las tres interacciones dobles solo la de EFC x línea afectó ($P < 0.01$) estas tres fracciones químicas. Dicha interacción se refleja en el escalonamiento inconsistente de las líneas de soya en contenidos de PB, FDN y FDA entre las EFC R2 y R5.4. Por ejemplo, en PB, la línea SF-1 ocupó el último lugar en R2 pero el primero en R5.4, con respecti-

vos valores de 29.6 y 26.7% (Cuadro 10); en FDA, la línea SF-88 fue la más alta en R2 y la más baja en R5.4; y en FDN, la línea SF-110 fue la más baja en R2 y la segunda más alta en R5.4.

El efecto de la fecha de siembra sobre las tres fracciones químicas no se acercó a la significación, pero en los análisis de FDA y FDN se detectaron diferencias significativas entre las parcelas o observaciones repetidas de cada fecha de siembra (Cuadro 6). La EFC ejerció efectos de importancia ($P < 0.01$), siendo el contenido de PB mayor en R2 que en R5.4 (31.6 vs. 24.8%) y a lo inverso referente a contenidos de FDA (23.7 vs. 29.2%) y FDN (33.5 vs. 41.0%, Cuadro 10).

El cambio de estado fenológico R2 al R5.4 causó una disminución promedio en el contenido de PB de 6.8 unidades porcentuales (Cuadro 10). Los correspondientes cambios en sentido contrario de FDA y FDN fueron de 5.5 a 7.5 unidades porcentuales. Aunque los niveles de PB disminuyeron en el EFC R5.4, aun así se mantuvieron por encima de los niveles necesarios para satisfacer el requerimiento nutricional de los rumiantes. Los niveles de FDN, aun después del aumento de R2 a R5.4, siguieron siendo menores a los encontrados en muchas gramíneas

CUADRO 10.—*Contenidos porcentuales de tres fracciones químicas en soya forrajera en dos edades fenológicas, evaluadas en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, P.R., en el 2010 y 2011.*

Líneas soya	Edad fenológica de cosecha							
	R2		R5.4		R2		R5.4	
	PB ¹		FDA ²		FDN ³			
	-----%							
SF-1	29.6	26.7	25.2	27.9	34.7	38.4		
SF-2	32.7	26.5	21.6	26.5	33.1	38.8		
SF-6	31.6	23.9	23.5	28.9	33.3	40.4		
SF-22	33.6	23.6	21.0	30.8	33.0	42.5		
SF-24	31.2	25.6	24.1	29.5	33.5	42.0		
SF-50	30.9	23.1	24.4	29.7	34.7	41.3		
SF-57	32.3	24.8	23.7	28.6	33.6	40.9		
SF-72	30.9	23.4	24.2	33.3	32.9	44.9		
SF-88	30.8	26.2	25.6	26.2	34.3	38.2		
SF-110	32.3	23.8	23.9	30.3	32.3	42.6		
Media EFC	31.6	24.8	23.7	29.2	33.5	41.0		
DMS(0.05) ⁴		2.5		4.0		3.6		
DMS(0.05) ⁵		3.6		3.8		3.9		

¹Proteína Bruta

²Fibra Detergente Ácida

³Fibra Detergente Neutra

⁴Comparación medias de líneas dentro de una misma edad fenológica de cosecha

⁵Comparación medias de una misma línea e igual o diferente EFC

forrajeras, lo que es favorable para su valor nutricional en términos de probables efectos sobre su consumo voluntario (CV). El contenido de FDA también se mantuvo a niveles relativamente bajos, lo que podría favorecer la digestibilidad de la materia seca (DMS).

Juan *et al.* (1995) afirmaron que la concentración de FDA de los forrajes está negativamente correlacionada con la DMS, y esta última puede ser estimada mediante la fórmula: % DMS = 88.9 - (0.779 x % FDA). Estos autores también señalaron que la FDN presenta una fuerte correlación negativa con el CV, es decir, a mayor nivel de FDN el animal ingiere menor cantidad de forraje. Se mencionó, además, que la alfalfa tiene en promedio 23% y 18% de PB a las EFC de flor temprana y vegetativa tardía, respectivamente, y que su nivel de FDN sube de 40 a 65% entre las EFC de pre-botón floral a 100% de florecida, mientras la FDA muestra un aumento correspondiente de 31 a 45%. Los citados contenidos de PB, FDN y FDA típicos de la alfalfa y los valores observados en el presente trabajo permiten sugerir que el forraje de soya evaluado tiene un alto valor nutricional, similar al de la alfalfa.

CONCLUSIONES

Las líneas de soya cosechadas en la EFC R5.4 sobrepasaron la producción de biomasa obtenida con la EFC R2, por más de 1,000 kg/ha en los 28 días transcurridos entre las dos etapas. Además, el forraje cosechado en la R5.4 tuvo más de 23% PB, menos de 45% FDN y menos de 33% FDA. Estos resultados justifican cosechar el cultivo en la EFC R5.4 como la mejor alternativa para obtener un mayor RMS de forraje, con un valor nutricional lo suficientemente alto para incluirse en sistemas intensivos de producción. Esta investigación permitió identificar las líneas de soya SF-50, SF-110, SF-6, SF-88 y SF-24 como las de mayor potencial forrajero, cuya futura evaluación, específicamente para la producción de heno en Puerto Rico, podría ser muy provechosa.

LITERATURA CITADA

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1996. Official Methods of Analysis. 16th ed. AOAC, Arlington, VA.
- Beinroth, F. H., A. J. Engel, J. L. Lugo, C. L. Santiago, S. Rios y G. R. Brannon, 2002. Updated taxonomic classification of the soils of Puerto Rico. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Estación Experimental Agrícola. Boletín 294.
- Blount, A. R. S., D. L. Wright, R. K. Sprenkel, T. D. Hewitt y R. O. Myer, 2002. Forage soybeans for grazing, hay and silage. University of Florida, Florida Coop. Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. SS-Agr-180.
- Hintz, W. R., A. K. Albrecht y S. E. Oplinger, 1989. Yield and quality of soybean forage as affected by cultivar and management practices. *Agronomy Journal* 84: 1-4.

- Hoffman, P. C., K. M. Lundberg, L. M. Bauaman, R. D. Shaver y F. E. Contreras-Govea, 2007. El efecto de la madurez en la digestibilidad de la FDN (Fibra detergente neutro). *Focus on Forage* 5(15). University of Wisconsin-Madison.
- InfoStat, 2008. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera edición, Editorial Brujas. Córdoba, Argentina.
- Juan, N. A., L. A. Romero y O. A. Bruno, 1995. Conservación del forraje de Alfalfa. En: E. E. A INTA, C. R. Cuyo. La alfalfa en la Argentina. cap. 9, 173-192.
- Moyer, J. L. y J. H. Long, 2010. Forage Yield and Quality of Soybean Cultivars. Agricultural Research, Report of Progress 1033. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service.
- Román, P., 2008. Fenología de la soya. www.fundacruz.org.bo/publication.php.
- Tobías, C. y E. Villalobos, 2004. Producción y valor nutricional del forraje de soya en condiciones tropicales adversas. *Agronomía Costarricense* 28(1): 17-25.
- Tosquy-Valle, O. H., V. A. Esqueda-Esquinel, R. Zetina-Lezama y G. Ascencio-Luciano, 2010. Densidad y distancia de siembra en dos variedades de soya de temporal en Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana* 21 (1): 63-72. ISSN 1021-7444.
- Van Soest, P. J., J. Robertson y B. Lewis, 1991. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal production. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3595.