

# Evaluación del rendimiento de maíz dulce (*Zea mays* 'Suresweet') con las leguminosas cobertoras mucuna enana (*Mucuna pruriens*) y crotalaria (*Crotalaria juncea* 'Tropic Sun') en un Oxisol de Puerto Rico<sup>1,2</sup>

Eliana Martínez-Mera<sup>3</sup>, Elide Valencia<sup>\*4</sup> y Hugo Cuevas<sup>5</sup>

J. Agric. Univ. P.R. 100(1):57-70 (2016)

## RESUMEN

La agricultura sostenible requiere la rotación de cultivos y asociación con leguminosas para aumentar la materia orgánica y reducir el uso de fertilizantes inorgánicos. En este estudio se llevaron a cabo tres experimentos (diferentes fechas de siembra) para evaluar el efecto de dos leguminosas apisonadas (LA), mucuna enana (*Mucuna pruriens*) y crotalaria (*Crotalaria juncea* 'Tropic Sun'), versus siembra convencional (SC; arado y pases de disco) sobre el rendimiento y tamaño de mazorca verde, daño por insectos y rendimiento de semilla del maíz [*Zea mays* (L.) 'Suresweet 2011']. Los experimentos se llevaron a cabo en abril y julio 2013, y febrero 2014 en la Estación Experimental Agrícola de Isabela (Puerto Rico) en un suelo Oxisol. Se encontró mayor aporte de biomasa (MS) y nitrógeno (N) en julio (verano), cuando la mucuna enana produjo 1.66 Mg/ha MS y 45.54 kg/ha de N comparado con crotalaria 'Tropic Sun' con 0.96 Mg/ha MS y 26.33 kg/ha de N. Esta diferencia posiblemente está relacionada con las respuestas fotosensitivas de las LA. Análisis de contrastes entre LA vs. SC y comparaciones entre mucuna enana vs. 'Tropic Sun', no mostraron diferencias significativas para el rendimiento de mazorca fresca y semilla comerciable en la siembra de abril. Sin embargo, en la siembra de julio, la mucuna enana sobrepasó ( $P<0.05$ ) a 'Tropic Sun' con 4.09 Mg/ha en el rendimiento de mazorca fresca y 2.57 Mg/ha en el rendimiento de semilla comerciable. En la siembra de febrero, el rendimiento de mazorca fresca fue mejor ( $P<0.05$ ) con SC (diferencia  $>3.63$  Mg/ha) que con LA. El daño promedio de la mazorca ocasionado por *Helicoverpa zea* fue de 1 a 2 cm y no presentó diferencias significativas entre las tres fechas de siembra en los

<sup>1</sup>Manuscrito sometido a la Junta Editorial el 2 de marzo de 2015.

<sup>2</sup>Esta investigación se realizó con fondos del proyecto SARE "Developing sustainable tropical leguminous cover and green manure mulch systems for low-external-input crop production in the U.S. Virgin Islands, Puerto Rico and Florida".

<sup>3</sup>Profesora, Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia. Exestudiante graduada, Departamento de Agronomía, Universidad de Puerto Rico-Recinto de Mayagüez.

<sup>4</sup>Catedrático, Departamento de Ciencias Agroambientales, Box 9000, Universidad de Puerto Rico-Recinto de Mayagüez, Mayagüez, PR 00681. \*Autor para correspondencia, Tel.: 787-951-6444, E-mail address: elide.valencia@upr.edu

<sup>5</sup>Investigador en Genética de Plantas, Tropical Agriculture Research Station, USDA-ARS-TARS, Mayagüez, P.R.

tres sistemas. A pesar de las diferencias en los rendimientos con sistemas de siembra, la mucuna enana proporcionó rendimientos más uniformes en las tres siembras.

Palabras clave: agricultura sustentable, leguminosas apisonadas, rendimiento de mazorca fresca

#### ABSTRACT

Yield evaluation of sweet corn (*Zea mays* L. 'Suresweet') with cover crops dwarf velvet bean (*Mucuna pruriens*) and crotalaria (*Crotalaria juncea* 'Tropic Sun') on an Oxisol of Puerto Rico

Sustainable agriculture requires crop rotation and legume cover crop associations to increase organic matter and reduce inorganic fertilizer use. In this study, three experiments were conducted to evaluate the effects of crimped legumes (CL) using dwarf velvet bean (*Mucuna pruriens*) and sun hemp (*Crotalaria juncea* 'Tropic Sun') versus conventional planting (CP; plowing and disking) on ear yield and size, insect damage and seed yield of sweet corn [*Zea mays* (L.) 'Suresweet 2011']. Experiments were conducted in April and July 2013, and February 2014 at the Isabela Agricultural Experiment Station (Puerto Rico) on an Oxisol. Greater biomass (DM) and nitrogen (N) contribution were found in the July (summer) planting, where dwarf velvet bean produced 1.66 Mg/ha DM and 45.5 kg/ha of N compared to 'Tropic Sun' with 0.96 Mg/ha DM and 26.33 kg/ha of N. This difference was possibly related to the photosensitive responses of CL. Contrast analysis between CL vs. CP and dwarf velvet bean vs. Tropic Sun showed no significant differences on ear yield and marketable yield seed in the April planting. However, for the July planting, dwarf velvet bean surpassed ( $P < 0.05$ ) 'Tropic Sun' by 4.09 Mg/ha on ear yield and 2.57 Mg/ha on marketable seed yield. In the February planting, ear yield was better ( $P < 0.05$ ) in CP ( $> 3.63$  Mg/ha) than in CL. Ear corn damage caused by *Helicoverpa zea* averaged 1 to 2 cm and was not significantly different among the three planting dates in the three systems. Despite the differences in yields with seeding systems, dwarf velvet bean yields were uniform across planting dates.

Key words: sustainable agriculture, crimped legumes, ear yield

#### INTRODUCCIÓN

En el trópico las condiciones ambientales para la agricultura incluyen lluvias potencialmente fuertes donde el suelo está expuesto a altos niveles de erosión, lo que combinado con las altas temperaturas dificulta la conservación de residuos sobre la superficie del suelo y consecuentemente el mantenimiento de materia orgánica (MO). Las deficiencias de nutrientes, las malezas, nematodos y plagas se pueden desarrollar sin interrupción en este ambiente (Teasdale et al., 2007) disminuyendo el rendimiento de los cultivos.

Aproximadamente 80 millones de toneladas de N comercial se utilizan en la agricultura mundial cada año y solo entre el 50 y 75% se cosecha en el cultivo, mientras el resto se pierde por la erosión, lixiviación y volatilización (Pimentel, 1996). El N es un contaminante del

medio ambiente originado en la industria agrícola, el cual incrementa el contenido de sal en el suelo donde puede contaminar tanto la superficie como aguas subterráneas (Heichel, 1987). La identificación de fuentes alternas de fertilización y manejo de suelos es imperativo para el desarrollo sustentable de la agricultura. Los cultivos de cobertura pueden jugar un rol importante en el manejo de estos problemas (Teasdale et al., 2007). Las plantas cobertoras se han integrado con éxito en los sistemas de agricultura de conservación en muchas partes del mundo principalmente para proporcionar la cubierta superficial, así como para mejorar la fertilidad del suelo y suprimir las poblaciones de malezas (Flower et al., 2011).

Los efectos que provocan los cultivos de cobertura en el suelo son muy variables, dependen de las propiedades químicas, la especie utilizada y la producción de biomasa. De igual manera, dependen del tiempo de cobertura, las condiciones locales y la interacción entre estos factores. La familia de las leguminosas es la más utilizada en cultivos de cobertura, ya que recicla macro y micronutrientes, generalmente tiene un sistema radicular profundo y extenso, es capaz de extraer nutrientes de las capas más profundas del suelo, y proporciona grandes cantidades de MO en el suelo (Almeri et al., 2012).

Además de su función de proteger el suelo, los cultivos de cobertura juegan un papel importante en el ciclo del N y pueden ser una herramienta eficaz para optimizar la administración de este nutriente (Tonitto et al., 2006). Los cultivos de cobertura pueden proporcionar todo o la mayor parte del N requerido por el cultivo subsiguiente si hay suficiente cantidad de producción de biomasa de la leguminosa (Griffin et al., 2000), ya que la acumulación de materia seca es quizás el factor más importante para determinar la cantidad de N que es capaz de abastecer para la siguiente cosecha (Balkcom and Reeves, 2005).

El uso de fertilizantes inorgánicos, a pesar de aumentar los rendimientos en los cultivos, se relaciona con la contaminación ambiental. Por el contrario, las leguminosas de cobertura pueden producir rendimientos equivalentes al sistema convencional y el uso de labranza mínima optimiza la conservación de agua y suelo. La introducción de las plantas de cobertura con los diferentes cultivos tropicales ha cambiado las prácticas convencionales convirtiéndose en una tecnología de doble propósito que combina la conservación del suelo y los efectos de la productividad aumentando los rendimientos de los cultivos (Erenstein, 2002).

En Puerto Rico, en el año 2012, la producción de maíz [*Zea mays* (L)] alcanzó un área de 410.36 ha (USDA-National Agricultural Statistics Service, 2012). Sin embargo, el sistema de producción de maíz dulce con coberturas leguminosas no ha sido evaluado en el campo. El objetivo de esta investigación fue contrastar los efectos de tres sistemas de

siembra: abono verde de crotalaria [*Crotalaria juncea* (L) ‘Tropic Sun’] y mucuna enana [*Mucuna pruriens* (L) DC.] con mínima labranza versus el manejo convencional sobre el rendimiento de mazorca y semilla, tamaño de mazorca y daño por insectos en el maíz dulce ‘Suresweet 2011’ (Beaver et al., 2011).

### MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron tres ensayos de campo en la Estación Experimental Agrícola de Isabela (18° 30’ latitud norte y 67° 00’ longitud oeste) a 128 msnm, con precipitación pluvial de 128.2 mm y temperatura de 25.52° C promedio anual. Los experimentos de sistemas de siembra de maíz dulce se desarrollaron durante el 2013 (abril a junio, julio a octubre) y 2014 (febrero a mayo). Además, se tomaron muestras del suelo Oxisol de la serie Coto (very fine, kaolinitic, isohyperthermic Typic Eutruxox) aleatoriamente en los tres sitios de siembra a una profundidad de 15 cm, para realizar análisis químicos en el Laboratorio Central Analítico de Río Piedras.

En un área de 1,080 m<sup>2</sup> se estableció el ensayo con un diseño en Bloques Completos Aleatorizados (DBCA) con cuatro réplicas, cada una con tres parcelas con un área de 75.6 m<sup>2</sup> (12 m x 6.3 m). En cada parcela se establecieron tres tratamientos: mucuna enana, crotalaria ‘Tropic Sun’ o sin cobertura (siembra convencional). Las leguminosas se sembraron con la sembradora mecánica de dos hileras en tres fechas: marzo, junio y diciembre 2013. En la siembra de marzo, a una distancia de 60 cm entre hileras, 9 cm entre plantas. Debido al problema de malezas y la competencia de estas con las leguminosas en la siembra de marzo, para la siembra de junio y diciembre se duplicó la densidad de plantas leguminosas, reduciendo la distancia entre plantas a 5.6 cm con un total de 10 hileras. Se aplicó Fusilade® DX<sup>6</sup> (Fluazifop-p-butil Butil(R)-2-{4[[5-(trifluorometil)-2-piridinil] oxi] fenoxi} propanoato) para el control del pasto johnson (*Sorghum halapense*) en las parcelas con leguminosas cobertoras.

A las seis semanas de crecimiento de las leguminosas, se tomaron muestras de 3 m lineales en cada parcela, se calculó la biomasa de muestras secas y para cada una de las siembras se estimó la concentración de N por el método Kjeldahl en la Estación de Investigación de

<sup>6</sup>Marca comercial de Syngenta (contiene 24.5% del ingrediente activo). Los 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.

Agricultura Tropical del Departamento de Agricultura Federal (TARS, por sus siglas en inglés).

En las parcelas con cobertoras, se dejaron dos surcos de leguminosas en cada borde (filas 1-2 y 9-10) y los surcos restantes se apisonaron con un rolo ('crimper') para añadir las plantas como cobertura (leguminosas apisonadas). En medio de las hileras de las leguminosas se estableció el cultivo de maíz dulce 'Suresweet 2011', con una sembradora mecánica de dos hileras a una distancia de 60 cm entre hileras y 15 cm entre plantas, para un total de seis filas y 9,600 plantas en el área de estudio. En el cultivo del maíz el control de malezas se realizó con una cultivadora mecánica y el de insectos con Lanate® LV<sup>7</sup> (S-metil-N-[(metilcarbamoil) oxi] tio acetimidato) para el gusano elotero (*Helicoverpa zea*). En el tratamiento de siembra convencional, cinco semanas después de plantado el maíz se fertilizó con 56 kg/ha de N [sulfato de amonio (21% N)].

Once semanas después de la siembra del maíz, en la fila tres y en estado fresco de la mazorca se eligieron 8 m lineales por réplica y se evaluó el rendimiento (peso fresco). Posteriormente, se escogieron 10 mazorcas al azar y se determinó: el largo de la mazorca y el daño de insectos. Se utilizó una escala de 0 a 5 donde 0=ningún daño, 1=daño de la barba solamente, 2=menos de 1 cm de daño en la punta de la mazorca, 3=de 1 a 2 cm de daño, 4=de 2 a 3 cm de daño, y 5=más de 3 cm de daño (Beaver et al., 2011). Se estimó la producción de semillas 28 días después; por cada réplica se muestrearon 8 m lineales de la hilera cuatro, para determinar el peso del grano seco comerciable.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de experimentos combinados. Los efectos principales (sistema de siembra y fecha de siembra) y las interacciones entre estos efectos principales (sistema x fecha de siembra) se evaluaron en las variables de respuesta de la biomasa de leguminosas y N aportado. De igual manera, el tamaño de mazorca, daño de insectos, rendimiento de mazorca fresca y rendimiento de semilla comerciable. Para determinar si hubo diferencias en los tratamientos, se utilizó un ANOVA con un nivel de significancia del 5%. Se realizó la prueba de separación de medias con Fisher LSD para las variables que presentaron diferencias significativas. También se realizaron comparaciones con contrastes para cada una de las fechas de siembra con el objetivo de determinar el efecto de los sistemas de siembra en el cultivo de maíz 'Suresweet 2011' (a excepción del daño por insectos). Se utilizó el programa Info Stat-Statistical Software versión 2012 (Di Rienzo et al., 2012).

<sup>7</sup>Marca comercial de DuPont (contiene 29% del ingrediente activo).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos climáticos muestran que durante el periodo de las siembras en la EEA Isabela las temperaturas máximas fueron 27° C (septiembre) y 25° C (mayo) para los años 2013 y 2014, respectivamente. Además, las mayores precipitaciones pluviales se presentaron en los meses de mayo 2013, con 266 mm, y febrero 2014, con 58 mm (WxCorder III, 2014).

Las características de los suelos en los predios donde se establecieron las siembras de abril y julio fueron muy similares (Cuadro 1). Ambos predios eran medianamente ácidos aunque la concentración de iones Al no fue detectada. Las concentraciones de Mg y K fueron bajas, mientras que las concentraciones de Na y P fueron bajas en el predio de la siembra de abril y medias en el predio de la siembra de julio. La concentración de Ca en ambos predios fue apropiada para el desarrollo de las plantas a pesar de tener baja capacidad de intercambio catiónico. El contenido de MO fue superior a 2%. Por el contrario, el predio de la siembra de febrero fue ácido con alta presencia de iones de Al, baja concentración de P, Ca, K y Na. El Mg se encontró en concentraciones medias. La baja fertilidad de este suelo se agudiza con el bajo contenido de MO (1.75%) (Doran y Parkin, 1996). De acuerdo a las características químicas de cada uno de los suelos, el predio utilizado para realizar la siembra de julio presentó el mejor contenido de nutrientes.

El maíz se adapta muy bien a todos los tipos de suelos, particularmente con pH entre 5 y 7, aunque es muy sensible a la acidez especial-

CUADRO 1.—*Propiedades químicas de los tres predios utilizados para la evaluación de sistemas de maíz con leguminosas cobertoras durante el 2013 y 2014 en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, Puerto Rico.*

Variable	Abril-Junio 2013	Julio-Octubre 2013	Febrero-Mayo 2014
	Predios		
	1	2	3
pH	6.74	6.46	5.28
MO (%C)	2.47	2.95	1.75
CIC (meq/100g)	9	7	4
P disponible (mg P-PO <sub>4</sub> /kg)	7	23	17
Calcio (mg Ca/kg)	1500	1152	588
Magnesio (mg Mg/kg)	91	115	77
Potasio (mg K/kg)	197	210	102
Sodio (mg Na/kg)	19	39	11
Aluminio (mg Al/kg)	ND	ND	2

ND=no detectado

mente con la presencia de iones Al. No obstante, los suelos ligeramente ácidos (con pH 5.5 y 6.5) son óptimos para el desarrollo del cultivo. Así mismo, suelos profundos y altos en MO son ideales por su buena percolación de agua (Lafitte, 2014). Por otro lado, las leguminosas mucuna enana y crotalaria ‘Tropic Sun’ son resistentes a la sequía y presentan un amplio rango de adaptación de suelos (Brunner et al., 2009 a,b).

La interacción fecha de siembra por sistema de siembra fue significativa para la producción de biomasa y N por las leguminosas coberteras (Cuadro 2). La biomasa de las leguminosas fue baja en las fechas de siembra de los meses de marzo y diciembre que corresponden a los días cortos del año, además, los rendimientos fueron similares (Cuadro 3). La mayor producción de biomasa se obtuvo en la siembra de junio con un rendimiento promedio de 1.31 Mg/ha. En esta siembra, el rendimiento de la biomasa de mucuna enana fue significativamente mayor que el rendimiento de crotalaria ‘Tropic Sun’. Por el contrario, en las siembras de marzo y diciembre, la producción promedio de biomasa fue solamente 0.46 Mg/ha.

El N aportado por las leguminosas fue determinado por la producción de biomasa y el porcentaje de N en cada parcela. La cantidad de N aportado varió de acuerdo a la época de siembra donde el mayor porcentaje de N se observó en la siembra de junio, con una cantidad promedio de 35.94 kg/ha (Cuadro 4). En esta siembra, la mucuna enana aportó casi el doble de la cantidad de N que aportó la crotalaria (45.54 kg/ha vs. 26.33 kg/ha).

La diferencia en el aporte de biomasa a diferentes fechas de siembra obtenido en esta investigación por la leguminosa mucuna enana fue similar a los resultados expuestos por Dos Santos y Campelo (2003) en Brasil, donde los meses con mayor precipitación pluvial (noviembre, diciembre y enero) favorecieron los rendimientos de biomasa de *Mucu-*

CUADRO 2.—Análisis de varianza para la producción de biomasa y contenido de N evaluado de las leguminosas mucuna enana (*Mucuna pruriens*) y crotalaria (*Crotalaria juncea* ‘Tropic Sun’) sembrados en los meses de marzo, junio y diciembre de 2013, en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, Puerto Rico.

Fuente de variación	Gl	Biomasa	Nitrógeno
		P-valor	
Fecha de siembra	2	0.0001*	0.0003*
Repetición/Fecha de siembra (Error 1)	9		
Sistema siembra	1	0.3993	0.6060
Fecha siembra x Sistema siembra	2	0.0216*	0.0145*
Error 2	9		

\*Significativamente diferentes  $P < 0.05$ .

CUADRO 3.—Rendimiento de biomasa de las leguminosas mucuna enana (*Mucuna pruriens*) y crotalaria (*Crotalaria juncea* ‘Tropic Sun’) evaluada en tres fechas de siembra durante el 2013 en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, Puerto Rico.

Sistema de siembra	Fecha de siembra		
	Marzo	Junio	Diciembre
	Rendimiento de biomasa (Mg/ha)		
Mucuna enana	0.43 c	1.66 a	0.30 c
Crotalaria ‘Tropic Sun’	0.50 bc	0.96 b	0.61bc

Medias con una letra común no son significativamente diferentes al nivel de probabilidad de 0.05 (Diferencia Mínima Significativa de Fisher 0.48)

CV (%)= Coeficiente de variación 40.55

na sp. y *Crotalaria* sp. Similarmente, en Puerto Rico, la mayor precipitación pluvial entre las tres fechas de siembra ocurrió en el mes de junio, favoreciendo el mayor rendimiento de las leguminosas durante la temporada de verano.

Dos Santos y Campelo (2003), Alcantara et al. (2000) y Espíndola et al. (1998) indicaron que el rendimiento de *Mucuna* sp. y *Crotalaria* sp., se ve afectado por variaciones en el fotoperiodo. La reducción de la longitud del día resulta en menor número de días de floración y reducción de la altura de la planta. En Puerto Rico, durante la temporada de verano, los largos del día son mayores a 12 horas luz, lo que podría haber favorecido la producción de biomasa. Santos et al. (2011) demostraron que *Crotalaria* sp. tiene buen potencial como cultivo de cobertura por su rápido crecimiento y producción de biomasa al sembrar en el verano. No obstante, al comparar la morfología de las leguminosas, donde mucuna enana es de crecimiento rastrero y crotalaria ‘Tropic Sun’ es de crecimiento erecto, el aporte de biomasa de mucuna enana

CUADRO 4.—Nitrógeno aportado de las leguminosas mucuna enana (*Mucuna pruriens*) y crotalaria (*Crotalaria juncea* ‘Tropic Sun’) evaluadas en tres fechas de siembra durante el 2013 en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, Puerto Rico.

N aportado	Fecha de siembra		
	Marzo	Junio	Diciembre
	N (kg/ha)		
Mucuna enana	13.27 bc	45.54 a	10.33 c
Crotalaria ‘Tropic Sun’	15.10 bc	26.33 b	22.17 bc

Medias con una letra común no son significativamente diferentes al nivel de probabilidad de 0.05 (Diferencia Mínima Significativa de Fisher 13.52)

CV (%)= Coeficiente de variación 38.20

en producción de follaje es mayor. Carlo (2009) evaluó el cubrimiento de superficie de terreno de las leguminosas tropicales *Crotalaria juncea* y *Mucuna pruriens* var. V-90 a la fecha de floración y determinó que mucuna cubrió 82% en 67 días, mientras que crotalaria cubrió 73% en 96 días, confirmando que esta característica morfológica puede favorecer la producción de biomasa en menor tiempo. A su vez, el aporte de N por parte de las leguminosas está relacionado con la época de siembra y la cantidad de biomasa de las leguminosas. Santos et al. (2011) afirma que la biomasa acumulada y la cantidad de materia seca determinan la producción total de N por *C. juncea*.

El crecimiento de los cultivos de cobertura, y por ende la producción de biomasa de las leguminosas, es también afectado por el tipo de suelo. En el occidente de Kenya se evaluó el efecto de la lluvia y el tipo de suelo en leguminosas cobertoras demostrando que la producción de biomasa depende de las características del suelo como el contenido de P, el pH y la disponibilidad de humedad. Suelos con bajos contenidos de P (<6 mg/kg) presentaron menor productividad puesto que el P es esencial para la nodulación, y subsiguiente fijación biológica de N (Ngome et al., 2011). El análisis de los tres tipos de suelos donde se realizaron las siembras determinó que el suelo de la siembra de julio presentó las mejores características (2.95% MO y 23 mg/kg de P) que favorecieron el desarrollo de las leguminosas y la producción del cultivo de maíz.

Un ANOVA combinado indicó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre fecha de siembra x sistema de siembra en el maíz dulce 'Suresweet 2011' para el tamaño de mazorca y el rendimiento de semilla, al igual que efectos principales en el sistema de siembra con el rendimiento de mazorca fresca. La variable daño de insectos no mostró diferencias durante las tres fechas de siembra evaluadas (Cuadro 5). El maíz es una especie  $C_4$  y requiere bastante incidencia de luz solar, pero no es una especie fotosensible, por lo que desde ese punto de vista la fecha de siembra no afectó al cultivo. De igual manera, la temperatura durante los periodos de siembra fue favorable para un óptimo desarrollo de la planta.

Las comparaciones con contrastes demostraron que en las siembras de abril y de julio no se presentaron diferencias para el rendimiento de mazorca al comparar el sistema convencional (sin leguminosas) versus las leguminosas apisonadas (mucuna enana y crotalaria 'Tropic Sun') (Cuadro 6). Sin embargo, en la siembra de febrero, el sistema convencional produjo mejor rendimiento de mazorca (39% mayor) que el sistema con las leguminosas apisonadas. En las siembras de abril y febrero, las cobertoras mostraron rendimientos de mazorca fresca similares, con promedios de 8.66 Mg/ha y 8.80 Mg/ha para parcelas con mucuna enana y crotalaria 'Tropic Sun', respectivamente. No obstante,

CUADRO 5.—Análisis de varianza para el rendimiento y tamaño de mazorca fresca, y rendimiento de semilla de maíz dulce 'Suresweet 2011' evaluado en tres fechas de siembra con leguminosas y siembra convencional.

Fuente de variación	Gl	Rendimiento	Tamaño	Rendimiento	Daño
		mazorca fresca	mazorca fresca	semilla	de insectos
		P-valor			
Fecha de siembra	2	0.2523	0.8742	0.6386	0.1450
Repetición/Fecha de siembra (Error 1)	9				
Sist. de siembra	2	0.0067*	0.0691	0.0328*	0.6141
Fecha siembra x Sist. siembra	4	0.0868	0.0027*	0.0037*	0.5382
Error 2	18				

\*Significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

en la siembra de julio la cobertura de la leguminosa mucuna enana resultó en mejor rendimiento de mazorca fresca, superando dos veces al rendimiento de mazorca fresca obtenido con el sistema de la cobertora crotalaria 'Tropic Sun'.

El rendimiento de semilla comerciable presentó el mismo patrón que el rendimiento de mazorca fresca (Cuadro 6). En las siembras de abril y julio no se presentaron diferencias entre los dos sistemas de siembra evaluados. En la siembra de febrero, el sistema convencional presentó el rendimiento de semilla mayor (3.73 vs. 2.38 Mg/ha) en comparación con el sistema de leguminosas apisonadas. En la siembra de julio, el sistema con la cobertora mucuna enana mostró mejor rendimiento (3.58 vs. 1.01 Mg/ha) de semilla que el sistema con la cobertora crotalaria 'Tropic Sun'.

En cuanto al tamaño de mazorca fresca, se encontró que en la siembra de abril el sistema convencional produjo mazorcas con tamaño 10% mayor en comparación con el sistema de leguminosas apisonadas (Cuadro 6). En las siembras de febrero y julio, con las cobertoras crotalaria 'Tropic Sun' y mucuna enana, respectivamente, se obtuvieron mejores tamaños de mazorca.

Diferentes investigaciones han indicado que los rendimientos en cultivo de maíz utilizando leguminosas cobertoras son equivalentes o superiores a los del sistema convencional. Cervantes (1993) estimó la producción de maíz y frijol con mucuna en sistemas de producción de ladera. Después de dos ciclos completos de cosecha determinó que el mejor promedio (4,451 kg/ha) fue para la asociación maíz - mucuna, mientras que con el sistema tradicional (150 kg/ha de sulfato de amonio) se logró un promedio de 3,581 kg/ha. De la Cruz et al. (1994) evaluaron la asociación del maíz con diferentes coberturas durante tres

CUADRO 6.—*Contrastes de la interacción fecha de siembra x sistema de siembra del maíz dulce ‘Suresweet 2011’ para el rendimiento de mazorca fresca, rendimiento de semilla comerciable y tamaño de mazorca fresca.*

		Fecha de siembra					
		Abril 2013		Julio 2013		Febrero 2014	
<b>Rendimiento de mazorca fresca</b>							
Contraste	P-valor	Rendimiento (Mg/ha)	P-valor	Rendimiento (Mg/ha)	P-valor	Rendimiento (Mg/ha)	
LA vs. SC	0.0711	8.30 vs. 10.51	0.4067	6.88 vs. 7.92	0.0082*	9.30 vs. 12.93	
ME vs. TS	0.4619	8.69 vs. 7.63	0.0096*	8.93 vs. 4.84	0.3572	8.64 vs. 9.97	
<b>Rendimiento de semilla comerciable</b>							
Contraste	P-valor	Rendimiento (Mg/ha)	P-valor	Rendimiento (Mg/ha)	P-valor	Rendimiento (Mg/ha)	
LA vs. SC	0.1201	2.2 vs. 3.04	0.7176	2.29 vs. 2.48	0.0184*	2.38 vs. 3.73	
ME vs. TS	0.5579	2.02 vs. 2.38	0.0004*	3.58 vs. 1.01	0.1018	1.87 vs. 2.90	
<b>Tamaño de mazorca fresca</b>							
Contraste	P-valor	Tamaño (cm)	P-valor	Tamaño (cm)	P-valor	Tamaño (cm)	
LA vs. SC	0.0065*	14.14 vs. 15.60	0.7267	14.49 vs. 14.33	0.6071	14.20 vs. 14.45	
ME vs. TS	0.1750	14.53 vs. 13.75	0.0016*	15.51 vs. 13.48	0.0355*	13.58 vs. 14.45	

LA= leguminosas apisonadas (promedio de ME y TS), SC= siembra convencional (sin leguminosas), ME= mucuna enana, TS= Tropic Sun.

\*Significativamente diferentes (P<0.05).

ciclos de siembra en Costa Rica, y encontraron que el mejor efecto supresor de la maleza y los mayores rendimientos del maíz se obtuvieron con la mucuna. El efecto sobre la productividad (2,438 kg/ha) fue muy superior a los obtenidos con el testigo absoluto (211 kg/ha), lo que coincidió con mayores rendimientos de cobertura, mejor control de malezas y posiblemente mayor aporte de la biomasa total. Fischler y Wortmann (1999) evaluaron *Crotalaria* sp. y *Mucuna* sp. en el rendimiento de maíz, encontrando que la asociación con *Crotalaria* sp. fue superior a 41% comparado con dos temporadas de barbecho. De igual manera, con *Mucuna* sp. el rendimiento fue 60% mayor en comparación con dos temporadas de maíz. En Indonesia, Vidal et al. (2014) evaluaron cinco ciclos rotacionales en el rendimiento de maíz cultivado con *Mucuna* sp., el cual incrementó en 132% con una media de 2.19 Mg/ha.

En esta investigación, el mejor rendimiento de maíz con el sistema de las leguminosas lo presentó la siembra de julio con la leguminosa mucuna enana. Aunque el aporte de N por parte de la mucuna enana fue menor comparado con el sistema convencional (45.54 kg/ha versus

56 kg/ha, respectivamente) las condiciones climáticas y edáficas contribuyeron a maximizar los procesos de aporte de N por parte de las leguminosas. Maltas et al. (2009) afirman que el proceso de mineralización se encuentra determinado por factores como la calidad de los residuos, tipo de suelo, temperatura, humedad, entre otros. En los residuos de leguminosas, la relación C/N es baja por lo tanto la liberación del N es rápida y se encuentra disponible inmediatamente para absorción por el siguiente cultivo. No obstante, la eficiencia en la transferencia de N al cultivo se encuentra determinada por la sincronía entre la liberación del N aportado y la absorción de N por el cultivo, siendo esta última la posible respuesta a un mejor rendimiento de mazorca en el sistema de la leguminosa mucuna comparado con el sistema convencional. Por el contrario, en la siembra de abril y febrero, el cultivo se estableció en suelos con menores nutrientes de acuerdo a los análisis químicos, y el sistema convencional presentó mejor tamaño de mazorca y rendimiento de semilla comerciable por la aplicación del fertilizante nitrogenado ya que el aporte de N por parte de las leguminosas en comparación con este fue menor (56 kg/ha en sistema convencional versus 14.19 kg/ha y 16.25 kg/ha de N por parte de leguminosas para las siembras de abril y febrero, respectivamente). Estos resultados comprueban que en suelos pobres el bajo aporte de N por leguminosas no es apto para mejorar los rendimientos en el cultivo de maíz.

No hubo diferencias significativas en el daño de la mazorca fresca ocasionado por insectos durante las tres fechas de siembra evaluadas con los tres sistemas de siembra; el valor promedio de daño en la escala de evaluación fue 3, que corresponde a entre 1 y 2 cm de daño en la mazorca. Los resultados obtenidos en el experimento fueron acordes con Beaver et al. (2011) quienes evaluaron la tolerancia a plagas y enfermedades de 20 líneas de 'Suresweet 2011' durante dos ciclos de selección, considerándolo resistente al gusano elotero. Durante el experimento no se presentaron diferencias significativas en el daño de la mazorca en las tres fechas de siembra debido a que las aplicaciones del insecticida fueron iguales para los sistemas de siembra evaluados.

### CONCLUSIONES

Durante un año se evaluó el rendimiento y tamaño de mazorca fresca, rendimiento de la semilla comerciable y daño por insectos en el cultivo de maíz dulce 'Suresweet 2011' para el sistema de siembra en asociación con leguminosas versus el sistema convencional (sin leguminosas). Todos los parámetros estudiados presentaron diferencias estadísticas, a excepción del daño en la mazorca ocasionado por *Helicoverpa zea*.

Comparado con el sistema de siembra en asociación con leguminosas, el sistema convencional mostró mejores rendimientos de mazorca fresca y semilla comerciable en la siembra de febrero, y de tamaño de mazorca en la siembra de abril. Por otro lado, al comparar las leguminosas apisonadas, en la siembra de febrero 'Tropic Sun' proporcionó el mayor tamaño de mazorca. En la siembra de julio, la mucuna enana presentó el mayor rendimiento y tamaño de mazorca fresca, y semilla comerciable. La variabilidad en los resultados podría estar relacionada con las propiedades químicas del suelo utilizado en cada siembra, la época de siembra (fotoperiodo), y el aporte de MS y de N de la leguminosa cobertora. La asociación del cultivo de maíz con mucuna enana registró valores estables de rendimiento y tamaño de mazorca fresca para todas las fechas de siembra, sugiriendo su implementación en la práctica de la agricultura como una alternativa a la sustitución de la fertilización nitrogenada (inorgánico) y justificando futuros estudios de validación con esta leguminosa cobertora.

Los resultados encontrados en este estudio son prometedores para el desarrollo de sistemas de cultivo sustentables. Sin embargo, es necesario realizar estudios exhaustivos que permitan apreciar el efecto de los diferentes parámetros que influyen en el aporte de nutrientes de las leguminosas en el suelo.

#### LITERATURA CITADA

- Alcantara, F., A. Furtini, M. Paula, H. Mezquita y J. Muñiz, 2000. Fertilización verde en la restauración de la fertilidad de un Ferralsol degradado. *Rev. Bras. Invest. Agrop.* 35(2):277-288.
- Almeri, L., M. Viera, N. Heredia, L. Ramos da Silva, W. Farias, M. Pilecco, A. Nazari, R. Pereira y M. Parrón, 2012. Cover crops and their effects on the biomass yield of *Serjania marginata* plants. *Cienc. Rural. Santa Maria* 42(4): 614-620.
- Balkcom, K. y D. Reeves, 2005. Sunn Hemp utilized as a legume cover crop for corn production. *Agron. J.* 97: 26-31.
- Beaver, J., B. Brunner y A. Armstrong, 2011. Release of sweet corn (*Zea mays* L.) open-pollinated cultivar 'Suresweet 2011'. *J. Agric. Univ. P.R.* 95(1-2): 105-110.
- Brunner, B., S. Martínez, L. Flores, y J. P. Morales, 2009a. Crotalaria. Proyecto de agricultura orgánica, Estación Experimental Lajas. <http://prorganico.info/crotalaria.pdf>. Acceso 24 junio 2014.
- Brunner, B., S. Martínez, L. Flores y J. P. Morales, 2009b. Mucuna. Proyecto de agricultura orgánica, Estación Experimental Lajas. <http://prorganico.info/mucuna.pdf>. Acceso 25 junio 2014.
- Carlo, S., 2009. Promoting the use of tropical legumes as cover crops in Puerto Rico. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico – Recinto Universitario de Mayagüez. 67p.
- Cervantes, C., 1993. Introducción de frijol de abono (*Mucuna deeringianum*) en sistemas de cultivo de maíz y frijol en Pérez Zeledón, Costa Rica. *En: IX Congreso Agronómico y de Recursos Naturales.*
- De la Cruz, R., E. Rojas y A. Merayo, 1994. Manejo de la caminadora (*Rotboellia cochinchinensis*) en el cultivo de maíz y el periodo de barbecho con leguminosas de cobertura. *Manejo integrado de plagas* 31: 29-35.

- Di Rienzo, J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. Robledo. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Doran, J. y T. Parkin, 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. *En: Doran, J. y A. Jones (Eds). Methods for Assessing Soil Quality* (pp 25-37). Wisconsin: SSSA, Inc.
- Dos Santos, V. y J. Campelo, 2003. Influencia de los elementos meteorológicos en la producción de abonos verdes en diferentes fechas de siembra. *Rev. Bras. Ing. Agri. Ambient.* 17(1): 91-98.
- Erenstein, O., 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil Till. Res.* 67: 15-133.
- Espíndola, J., D. Almeida, J. Guerra, E. Silva y F. Souza, 1998. Influencia de los abonos verdes en la micorrización y el rendimiento de la batata. *Rev. Bras. Invest. Agrop.* 33(3): 339-347.
- Fischler, M. y C. Wortmann, 1999. Green manures for maize – bean systems in eastern Uganda: Agronomic performance and farmer's perceptions. *Agrofor. Syst.* 47: 123-138.
- Flower, K., N. Cordingley, P. Ward y C. Week, 2011. Nitrogen, weed management and economics with cover crops in conservation agriculture in a Mediterranean climate. *Field Crop Res.* 132: 63-75.
- Griffin, T., M. Liebman y J. Jemison, 2000. Cover crops for sweet corn production in a short season environment. *Agron. J.* 92: 144-151.
- Heichel, G., 1987. Agricultural chemicals in ground water: Extent and implications. *Amer. J. Alt. Agr.* 2: 3-15.
- Lafitte, H., 2014. El maíz en los trópicos: Estrés bióticos que afectan al maíz. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). <http://www.fao.org/>. Acceso 16 junio 2014.
- Maltas, A., M. Corbeels, E. Scopel, J. Wery y S. Macena, 2009. Cover crop and nitrogen effects on maize productivity in no tillage systems of the Brazilian. *Agron. J.* 101 (5): 1036-1046.
- Ngome, A., M. Becker y K. Mtei, 2011. Leguminous cover crops differentially affect maize yields in three contrasting soil types of Kakamega, Western Kenya. *J. Agr. Rural Dev. Trop.* 112(1): 1-10.
- Pimentel, D., 1996. Green revolution agricultural and chemical hazards. *The Science of the Total Environment* 188: 86-98.
- Santos, A., E. Valencia, E. Román y R. Ramos-Santana, 2011. Época de siembra y fecha de cosecha afectan el rendimiento de materia seca de *Crotalaria juncea* L. "Tropic Sun" en el noreste de Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P.R.* 95 (3-4): 179-191.
- Teasdale, J., L. Brandstaetter, A. Clegari y F. Skora, 2007. Cover crops and weed management. Upadhyaya, M and Blackshaw, R. (Eds.). *Non-chemical weed Management: Principles, concept and technology* (pp 49-64). U.K.: Colume Design Ltd.
- Tonitto, C., M. David y L. Drinkwater, 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agric. Ecosyst. Environ.* 112: 58-72.
- USDA-National Agricultural Statistics Service, 2012. Census of Agriculture-Puerto Rico Data. Accessed 10<sup>th</sup> June 2014.
- Vidal, M., L. Pererira, L. De Almeida, R. Williams, J. Freach, H. Nesbitt y W. Erskine, 2014. Maize–mucuna (*Mucuna pruriens* (L.) DC) relay intercropping in the lowland Tropics of Timor – Leste. *Field Crop Res.* 156: 272-280.
- WxCoder III. <http://wxcoder.org>. Accessed 10<sup>th</sup> May 2014.