

SISTEMA INTEGRADO DE LEGUMINOSAS Y SU EFECTO EN EL ESTABLECIMIENTO DE PLÁTANO (*Musa acuminata* x *balbisiana*, AAB) EN DOS AGROECOSISTEMAS DE PUERTO RICO

por

Johana Gicela Parreño Humanante

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

en

AGRONOMÍA

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2014

Aprobado por:

Elide Valencia, Ph.D.
Presidente del Comité graduado

Fecha

David Jenkins, Ph.D.
Miembro, Comité graduado

Fecha

Juan Ortiz, M.Sc.
Miembro, Comité graduado

Fecha

Ricardo Goenaga, Ph.D.
Miembro, Comité graduado

Fecha

Rubén Díaz, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Elvin Román Paoli, Ph.D.
Director de Departamento

Fecha

RESUMEN

En Puerto Rico, los plátanos (*Musa acuminata* x *balbisiana*, AAB) son considerados como una importante empresa agrícola, con un ingreso bruto anual de \$81 millones. Sin embargo, el costo de producción de este cultivo es alto debido a que demanda grandes cantidades de nitrógeno (N); también se afecta por malezas, plagas y otros factores que influyen negativamente en su rendimiento. Las leguminosas cobertoras, en un sistema integrado con plátano, pueden minimizar el efecto de malezas, controlar plagas y aportar N. No existe información documentada sobre sistemas integrados de leguminosas (SIL) con plátanos en Puerto Rico. Se llevaron a cabo dos estudios para determinar el efecto de tres SIL {canavalia [*Canavalia ensiformis* (L.) DC.], crotalaria cv. Tropic Sun [*Crotalaria juncea* L.] y gandul cv. Lázaro [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]} y siembra convencional (SC), sobre el control de malezas, aporte de N, crecimiento vegetativo, composición mineral (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, B y Zn), parámetros de producción e incidencia de picudo en el clon tipo falso-cuerno Maricongo. En junio del 2013, los cormos de plátano se sembraron en las Estaciones Experimentales Agrícolas (EEA) de Isabela (suelo bien fino, caolinítico, isohipertérmico Eustróxico Típico) y Corozal (suelo arcilloso, mixto, isohipertérmico Aquic Haplohumults). Entre las hileras del plátano se sembraron cuatro hileras (60cm) de los SIL. Se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con tres y cuatro repeticiones en Isabela y Corozal, respectivamente. A los 90 días después de la siembra (DDS) del clon Maricongo, las malezas y los SIL se muestrearon podando (a ras del suelo), se pesó el

material fresco, se tomaron submuestras representativas (500 g) y se secaron para evaluar el rendimiento en materia seca (MS) (Kg ha^{-1}). El resto del material vegetativo se dejó sobre la superficie del suelo durante dos semanas y una vez descompuestas se sembraron los SIL (tres siembras durante el estudio). Durante el ciclo de crecimiento (3, 5, 7 meses y floración) del clon Maricongo se midió la altura (m), el diámetro del pseudotallo (cm) y se tomó una muestra de la tercera hoja superior para análisis foliar. Una vez observada la madurez de los frutos, se cosecharon para medir parámetros de producción. En los cormos de las plantas productoras se contabilizaron los picudos (larvas y adultos). En Isabela, en la primera siembra de los SIL, se observó malezas en la SC ($3,094 \text{ Kg MS ha}^{-1}$), pero no así en los SIL (100% de control). En las siembras subsecuentes de los SIL, la cantidad de malezas fue escasa debido a la sombra proporcionada por el plátano. Se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre etapas de siembra de los SIL. Por lo que, la primera siembra (junio-septiembre) aportó mayor cantidad de N (244 Kg N ha^{-1}), ya que en esta siembra hubo el mayor rendimiento de MS. No se encontró interacción ($p > 0.05$) entre los tratamientos x etapa de crecimiento del clon Maricongo para altura y diámetro del pseudotallo (3 m y 15 cm, respectivamente). Sin embargo, se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para potasio (K), donde el SIL con canavalia mostró mayor concentración (2.8%), con respecto a los otros tratamientos. Mientras que, los otros nutrientes no se vieron afectados. Tampoco, se encontró diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos para rendimiento de los frutos del clon Maricongo (35 Mg ha^{-1}). En Corozal, se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre etapas de siembra de

los SIL, donde la primera siembra (junio-septiembre) contribuyó la mayor cantidad de N (75 Kg N ha^{-1}), debido a que en este periodo hubo mayor rendimiento de MS. Se encontró interacción ($p < 0.05$) entre los tratamientos x etapa de crecimiento del clon Maricongo para diámetro del pseudotallo y concentraciones foliares de K y magnesio (Mg), pero no para altura. A los cinco meses y en la etapa de floración, el SIL con ‘Tropic Sun’ mostró mayor diámetro (17 cm) y mayor concentración de K (4.50%) vs. los otros tratamientos. Además, a los cinco y siete meses, el SIL con canavalia fue diferente a la SC en concentración de Mg (0.22 y 0.18%, respectivamente). Las otras concentraciones de nutrientes no se vieron afectados por los SIL. Estos resultados demuestran que los SIL controlan malezas, aportan N y hacen más disponibles el K y Mg, pero no afectaron el rendimiento del plátano. Por lo que, se recomienda estudios a largo plazo (2-5 años) utilizando leguminosas cobertoras y luego analizar el suelo para establecer un plan de fertilización, que supla las necesidades del cultivo, antes de la siembra de plátano. Además, en la región montañosa utilizar coberturas vivas perennes como canavalia y maní forrajero para controlar malezas entre hileras y plantas de plátano.

ABSTRACT

In Puerto Rico, plantains (*Musa acuminata* x *balbisiana*, AAB) are considered an important agricultural commodity, with a gross annual income of \$81 million. However, the cost of production of this crop is high because it demands large amounts of nitrogen (N); also it is affected by weeds, pests and other factors that adversely affect its yield. Legume cover crops in an integrated system with plantains can minimize weed effects, control pests and provide N. There is no documented information about integrated legumes systems (ILS) with plantains in Puerto Rico. Two experiments were conducted to determine the effect of three ILS {Jack bean [*Canavalia ensiformis* (L.) DC.], Sunn hemp cv. Tropic Sun [*Crotalaria juncea* L.] and Pigeon pea cv. Lazaro [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]} and conventional planting (CP) on weed control, N supply, vegetative growth, mineral composition (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, B and Zn), production parameters and weevil incidence in the false-horn type Maricongo clone. On June 2013, corms of the false-horn Maricongo clone were planted at the Agricultural Experiment Station (AES) of Isabela (very fine, kaolinitic, isohyperthermic and Typic Eutruster) and Corozal (mixed semiactive, isohyperthermic and Aquic Haplohumults). Between plantain rows, four rows (60cm) of ILS were planted. A Randomized Complete Block (RCB) design with three and four replications in Isabela and Corozal, respectively, was used. Ninety days after planting, weeds and ILS samples were cut at ground level, fresh weight taken and subsamples taken (500 g) to evaluate DM yield (Kg ha⁻¹). The rest of vegetative material was left on the soil surface for

two weeks and once decomposed the ILS were replanted (three plantings during the experiment). During the growth cycle of Maricongo clone (3, 5, 7 months and flowering) height (m), pseudostem diameter (cm) and leaf tissue were taken for leaf analysis. Once fruits were mature, they were harvested to measure production parameters. In the corms from producing plants, weevils (larvae and adults) were counted. At Isabela, in the first planting of ILS, weeds were observed in the CP (3,094 Kg DM ha⁻¹), but not in the ILS (100% of control). In subsequent ILS plantings, weeds were not sampled because the amount was low due to shade from plantains. There were significant differences ($p < 0.05$) between ILS planting dates. The first planting (June-September) provided greater amount of N (244 Kg N ha⁻¹) because in this planting there was the highest DM yield. There was no interaction ($p > 0.05$) between treatments x growth stage for height and pseudostem diameter (3 m and 15 cm, respectively). However significant differences ($p < 0.05$) were found between treatments for potassium (K), in which Jack bean ILS showed higher concentration (2.8%). The other nutrients were not affected. There was no significant difference between treatments on yield of Maricongo clone fruit (35 Mg ha⁻¹). At Corozal there was significant differences ($p < 0.05$) between ILS planting, where the first planting (June-September) contributed the greatest amount of N (75 Kg N ha⁻¹), because this period had the highest DM yield. There was an interaction ($p < 0.05$) between treatments x growth stage of the Maricongo clone for pseudostem diameter and foliar concentrations of K and magnesium (Mg), but not for plant height. At five months and flowering 'Tropic Sun' ILS had the highest diameter (17 cm) and also the highest concentration of K (4.50%) vs. the other

treatments. In addition, at five and seven months, Jack bean ILS was significantly different from the CP with regard to Mg concentration (0.22 and 0.18% Mg, respectively). The other nutrients concentrations were not affected by ILS. These results showed that ILS controlled weeds, provided N, and K and Mg were more available, but did not affect the plantain yield. Therefore, performing long term studies (2-5 years) using cover crops and then soil sampling to assess fertilizer needs before plantain planting are recommended. Also, in the mountain region using perennial living mulches like Jack bean and Forage peanut to weeds control between rows and plants of plantain are recommended.

©Johana Gicela Parreño Humanante

DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada a Dios, a mis padres Holger Parreño y Patricia Humanante, a mis hermanos Ismael, Jeffrey y Leopoldo y a mi familia, por su amor, comprensión y consejos. También, a mi novio Abel por ser mi apoyo incondicional, al Sr. Abel Almeida y Sra. Adriana Montenegro por su confianza y apoyo durante estos años de estudio. Finalmente, a Lorena, Edgar, Jorge, Grace, Adrian y a todos mis amigos por estar en los buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al financiamiento del proyecto SARE (Sustainable Agricultural Research) Z-253. También, al Colegio de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez y a la Estación de Investigaciones en Agricultura Tropical, Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola (USDA, ARS-TARS).

Agradezco al Dr. Elide Valencia por ser mi mentor y darme la oportunidad de poder realizar este proyecto, también a los miembros de mi comité Dr. Ricardo Goenaga, MSc. Juan Ortiz y Dr. David Jenkins por su tiempo y enseñanzas. Además, al Dr. Raúl Macchiavelli y al Dr. David Sotomayor por su disponibilidad en cuanto a dudas de este experimento.

A los técnicos Jorge Fuentes (Pastos y Forrajes), Delvis Pérez y Zilma Poueymirou (USDA, ARS TARS) y Robert Mcphail (Laboratorio de Entomología USDA, ARS TARS); y a los trabajadores de la EEA de Isabela y de Corozal, por su ayuda y contribución al desarrollo de esta investigación.

Finalmente, a los estudiantes graduados Eliana Martínez, Yolima Arenas, Rene Rosado, Natalia Cerón y Edgar Quijia por su colaboración en las tareas de campo; y a todas las personas que hicieron posible la elaboración de esta investigación y que aportaron a mi aprendizaje.

¡Gracias!

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	x
TABLA DE CONTENIDO.....	xi
LISTA DE TABLAS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 IMPACTO DEL USO DE AGROQUÍMICOS.....	3
2.2 ALTERNATIVAS PARA MITIGAR EL IMPACTO DE LOS AGROQUÍMICOS EN LA AGRICULTURA.....	6
2.2.1 Fertilizantes orgánicos y biofertilizantes.....	6
2.2.2 Rotación de cultivos.....	7
2.2.3 Policultivos.....	8
2.2.4 Barreras vivas.....	9
2.2.5 Plantas cobertoras.....	10
2.3 USO DE PLANTAS COBERTORAS INTEGRADAS EN SISTEMAS DE CULTIVOS.....	11
2.3.1 Leguminosas anuales.....	11
2.3.2 Leguminosas perennes.....	13
2.3.3 Sistema integrado con musáceas.....	15
2.4 PRINCIPALES PROBLEMAS EN EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO DE PLÁTANO.....	19
2.4.1 Malezas.....	19
2.4.2 Picudo (<i>Cosmopolites sordidus</i> Germar).....	20
2.4.3 Nemátodos.....	23
2.5 CLON TIPO FALSO-CUERNO MARICONGO.....	24
2.6 ANÁLISIS FOLIAR PARA LA DETERMINACIÓN DE NUTRIENTES EN EL PLÁTANO.....	25
2.6.1 Macronutrientes.....	27
2.6.2 Micronutrientes.....	29
CAPÍTULO II.....	32
SISTEMA INTEGRADO LEGUMINOSAS-PLÁTANO (<i>Musa acuminata</i> x <i>balbisiana</i> , AAB) EN ISABELA, PUERTO RICO.....	32
1 INTRODUCCIÓN.....	32
2 OBJETIVOS.....	34
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1 ESTABLECIMIENTO DE LOS CULTIVOS.....	35
3.1.1 Localización.....	35
3.1.2 Muestreo de suelo y siembra.....	36
3.1.3 Siembra.....	36
3.2 PRÁCTICAS CULTURALES.....	37
3.3 MEDICIÓN DE VARIABLES DE RESPUESTA.....	38

3.3.1	Biomasa de malezas y leguminosas	38
3.3.2	Composición mineral de las leguminosas.....	39
3.3.3	Crecimiento vegetativo del clon Maricongo.....	39
3.3.4	Análisis foliar del clon Maricongo.....	39
3.3.5	Parámetros de producción del clon Maricongo.....	40
3.3.6	Incidencia de picudo	41
3.4	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	41
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1	MALEZAS	42
4.2	BIOMASA Y APORTACIÓN DE N DE LAS LEGUMINOSAS	43
4.3	CRECIMIENTO VEGETATIVO.....	46
4.4	ANÁLISIS FOLIAR	47
4.5	RENDIMIENTO	52
4.6	INCIDENCIA DE PICUDO	53
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
	CAPÍTULO III	56
	SISTEMA INTEGRADO LEGUMINOSAS-PLÁTANO (<i>Musa acuminata</i> x <i>balbisiana</i>, AAB) EN COROZAL, PUERTO RICO	56
1	INTRODUCCIÓN	56
2	OBJETIVOS.....	57
3	MATERIALES Y MÉTODOS	58
3.1	ESTABLECIMIENTO DE LOS CULTIVOS	58
3.1.1.	Localización	58
3.1.2	Muestreo de suelo	59
3.1.3	Siembra y prácticas culturales	59
3.2	MEDICIÓN DE VARIABLES DE RESPUESTA	61
3.2.1	Biomasa de leguminosas	61
3.2.2	Composición mineral de las leguminosas.....	62
3.2.3	Crecimiento vegetativo del clon Maricongo.....	62
3.2.4	Análisis Foliar.....	62
3.2.5	Parámetros de producción del clon Maricongo.....	63
3.3	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	63
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
4.1	BIOMASA Y APORTACIÓN DE N DE LEGUMINOSAS.....	64
4.2	CRECIMIENTO VEGETATIVO.....	67
4.3	ANÁLISIS FOLIAR	69
4.4	RENDIMIENTO	74
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
6	LITERATURA CITADA	77
7	APÉNDICES.....	87

LISTA DE TABLAS

Tablas	Pág.
Capítulo II: Sistema integrado leguminosas-plátano (<i>Musa acuminata</i> x <i>balbisiana</i>, AAB) en Isabela, Puerto Rico	
Tabla 1. Cuadros mínimos (Lsmeans) para rendimiento de materia seca de tres sistemas integrados de leguminosas en asociación con el clon Maricongo, en tres etapas de siembra en Isabela, Puerto Rico.	44
Tabla 2. Cuadros mínimos (Lsmeans) para rendimiento de materia seca, aportación y concentración de N de tres sistemas integrados de leguminosas en asociación con el clon Maricongo, durante tres etapas de siembra en Isabela, Puerto Rico.....	44
Tabla 3. Rendimiento total de materia seca, aportación total y concentración promedio de N de tres sistemas integrados de leguminosas en el primer ciclo de producción del clon Maricongo en Isabela, Puerto Rico.	45
Tabla 4. Parámetros de crecimiento vegetativo del clon Maricongo en la etapa de floración, en un sistema integrado con leguminosas y siembra convencional en Isabela, Puerto Rico.	47
Tabla 5. Cuadros mínimos (Lsmeans) para concentración foliar de macronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con leguminosas y siembra convencional en Isabela, Puerto Rico.	48
Tabla 6. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con canavalia en Isabela, Puerto Rico.....	49
Tabla 7. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con ‘Tropic Sun’ en Isabela, Puerto Rico.....	49
Tabla 8. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con ‘Lázaro’ en Isabela, Puerto Rico.	50
Tabla 9. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en la siembra convencional en Isabela, Puerto Rico.	50

Tabla 10. Parámetros de producción del clon Maricongo en un sistema integrado con leguminosas y siembra convencional en Isabela, Puerto Rico.....	54
---	----

Capítulo II: Sistema integrado leguminosas-plátano (*Musa acuminata* x *balbisiana*, AAB) en Corozal, Puerto Rico

Tabla 11. Cuadrados mínimos (Lsmeans) para rendimiento de materia seca de tres sistemas integrados de leguminosas en asociación con el clon Maricongo, en tres etapas de siembra en Corozal, Puerto Rico.	65
Tabla 12. Cuadrados mínimos (Lsmeans) para rendimiento de materia seca, aportación y concentración de N de los sistemas integrados de leguminosas en asociación con el clon Maricongo, durante tres ciclos de siembra en Corozal, Puerto Rico.....	66
Tabla 13. Rendimiento de materia seca y aportación de N total, y concentración de N de los sistemas integrados de leguminosas en el primer ciclo de producción del clon Maricongo en Corozal, Puerto Rico.....	66
Tabla 14. Cuadrados mínimos (Lsmeans) para diámetro del pseudotallo del clon Maricongo en cuatro etapas de crecimiento, en asociación con sistemas integrados de leguminosas y siembra convencional; en Corozal, Puerto Rico.....	68
Tabla 15. Cuadrados mínimos (Lsmeans) para la concentración foliar de potasio del clon de Maricongo en un sistema integrado de leguminosas y siembra convencional en Corozal, Puerto Rico.....	69
Tabla 16. Cuadrados mínimos (Lsmeans) para la concentración foliar de magnesio del clon de Maricongo en un sistema integrado de leguminosas y siembra convencional en Corozal, Puerto Rico.....	70
Tabla 17. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con canavalia en Corozal, Puerto Rico.	71
Tabla 18. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con ‘Tropic Sun’ en Corozal, Puerto Rico.	71
Tabla 19. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con ‘Lázaro’ en Corozal, Puerto Rico.	72
Tabla 20. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en la siembra convencional en Corozal, Puerto Rico.....	72

Tabla 21. Variables de producción del clon Maricongo en un sistema integrado de leguminosas y siembra convencional en Corozal, Puerto Rico.....	75
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Pág.
Figura 1. Precipitación promedio mensual (mm) en los últimos 20 años y del 2013 y 2014 en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, Puerto Rico.	35
Figura 2. Precipitación promedio mensual (mm) en los últimos 20 años y del 2013 y 2014 en la Estación Experimental Agrícola de Corozal, Puerto Rico.	58

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

En Puerto Rico, los farináceos (plátanos y guineos) son una importante empresa agrícola; además se adaptan a un alto nivel de tecnología con un mínimo de mecanización (Alvarado y Diaz, 2007). En el año 2012, el área cultivable de plátano incrementó en 1,845 ha en relación al año 2007 (Census of Agriculture, 2012). A nivel de la Isla, el clon comercial mayormente utilizado es Maricongo de tipo falso-cuerno, caracterizado por producir seis manos y alrededor de 46 frutas por racimo (Irizarry et al., 2001).

La producción convencional de estos cultivos, implica la utilización de agroquímicos para combatir malezas, plagas, enfermedades y deficiencias nutricionales (Altieri, 2001; Everson y Gollin, 2003; Pisani, 2006). Sin embargo, estos productos, de utilizarse inapropiadamente, generan efectos negativos en los agroecosistemas como la erosión de los suelos, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, daños a la salud de los agricultores, entre otros (Gliessman, 2000; Noguera et al., 2011; Ramachandran, 2014).

La agricultura sostenible tiene un gran desafío que es la disminución de la utilización de agroquímicos sin afectar negativamente los rendimientos y la calidad del producto cosechado (Martin et al., 2007). Por lo que, para minimizar el impacto de estos y mantener la estabilidad de los agroecosistemas, existen varias alternativas agroecológicas como el uso de fertilizantes orgánicos, biofertilizantes, rotación de cultivos, policultivos, barreras vivas y plantas cobertoras (Altieri, 2001). Entre estas alternativas, las leguminosas

cobertoras están tomando auge a nivel de los trópicos (Carlo, 2009), por su capacidad de adaptarse a una amplia variedad de agroecosistemas (Eusse, 1994), aportar N y controlar malezas (Altieri, 2001). Así tenemos por ejemplo estudios realizados con *Arachis pinto*i en un cultivo de plátano, donde se disminuyó el porcentaje de germinación de las semillas de malezas, siendo eficiente en el control de malezas con un 52.1% (Isaac et al., 2007). Aunque, la efectividad de esta cobertura es 20% menor comparada con los resultados de aplicaciones de herbicidas como paraquat y glifosato durante un año (Gómez, 2005). Pero, al realizar más aplicaciones químicas se aumenta la resistencia de las malezas y la efectividad de los herbicidas disminuye, por el contrario el comportamiento de *A. pinto*i, con el tiempo va desplazando las malezas y aumentando su efectividad de control por su producción de biomasa (Ramos et al., 2011).

En definitiva, los sistemas integrados de leguminosas con plátano han sido utilizados a nivel de América y el Caribe. Sin embargo, en Puerto Rico no existe suficiente información documentada sobre estos sistemas. Por esta razón, surge la necesidad de definir estos sistemas y así difundir este conocimiento a agricultores locales. Además, disminuir la utilización de insumos agrícolas como fertilizantes, herbicidas y plaguicidas. Pues estos, representan uno de los mayores costos de producción y podrían causar daños al agroecosistema local.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Impacto del uso de agroquímicos

A partir de la Revolución Verde en los años sesenta, la agricultura tradicional fue cambiada por una agricultura convencional o conocida también como industrial (Altieri et al., 1998; Negrete, 2013; Pisani, 2006). Esta idea surge con la necesidad de incrementar la producción de alimentos básicos y la maximización de los recursos naturales (suelo y agua). La producción convencional enfatizó el uso de variedades mejoradas, semillas híbridas y agroquímicos (herbicidas, fertilizantes, insecticidas) para tener una mayor eficiencia en la utilización de monocultivos (Altieri, 2001; Everson y Gollin, 2003; Pisani, 2006). Es entonces que a partir de este sistema, la utilización de agroquímicos, a nivel mundial, ha ido aumentando continuamente hasta la actualidad (Torres y Capote, 2004). En países desarrollados como Estados Unidos en el 2007 el uso de herbicidas e insecticidas fue de 18,597 Mg. Por otro lado, en el Caribe el consumo de fertilizantes nitrogenados para el año 2002 fue de 144,096 Mg (FAOSTAT, 2014). Sin duda la utilización de agroquímicos trae muchos beneficios a nivel agrícola, relacionados al incremento de los rendimientos y por ende ganancias económicas, pero también conlleva impactos negativos a nivel ambiental y socioeconómico, causados por su mal manejo (Aktar et al., 2009; Delaplane, 1996; Gliessman, 2000; McDonald et al., 2013). Estos problemas se mencionaran a continuación.

La agricultura convencional trae como consecuencia la pérdida de agroecosistemas a través de los monocultivos, donde no existe diversidad de especies, por lo que afecta la entomofauna (Altieri, 2001). A nivel de los países tropicales, los herbicidas e insecticidas son los de mayor aplicación (Noguera et al., 2011). Cuando se realizan las aplicaciones aproximadamente el 90% de estos no cumplen su función específica y se dispersan en el aire, agua, frutos y acumulación a nivel del suelo (Aktar et al., 2009; Gamón et al., 2003; Ortiz et al., 2011). También, cuando se utilizan estos agroquímicos resultan tóxicos no solo para las plagas, sino también para insectos benéficos y otros organismos que habitan dentro de ese agroecosistema (Aktar et al., 2009). Aunque el daño que pueden causar va a depender del tipo de plaguicida que se aplique y de los organismos existentes (Ortiz et al., 2011).

Además, un sistema convencional implica la utilización de fertilizantes sintéticos, por la deficiencia de nutrientes y la descomposición rápida de materia orgánica a nivel de los trópicos, siendo el más limitante el N. Otros elementos no disponibles son el fósforo (P) y K. Una de las características de los fertilizantes nitrogenados es su baja eficiencia (50%) al ser aplicados en un cultivo, ya que existen pérdidas por volatilización (gases NO y N₂O), lixiviación o escorrentía, trayendo como consecuencia un impacto a los recursos naturales como el agua en forma de NO₃ y eutrofización (Altieri et al., 1998; Gliessman, 2000; Ramanathan et al., 1985). En relación a ésta contaminación, las fuentes naturales de agua se ven afectadas ocasionando daños a un sin número de organismos, entre los que están los peces que pueden tener deformaciones vertebrales y problemas en reproducción (Aktar et al., 2009; Gliessman, 2000). Este es el caso del río Mississippi al norte del Golfo de México, donde se encuentra con severos daños ambientales ocasionados por el exceso de nutrientes

(Dagg y Breed, 2003). Además, el mal uso de fertilizantes nitrogenados puede provocar la acumulación de nitratos en frutos y verduras comestibles, así como en agua potable, puesto que concentraciones de 0.2% de N y 10 ppm de NO_3 son de alto riesgo para la salud humana. En cuanto a los fertilizantes fosforados, tienen como materia prima roca fosfórica, la cual contiene cadmio y es uno de los elementos no deseados a nivel del suelo, ya que produce toxicidad en plantas y animales (Ramachandran, 2014). También se ven afectados el clima y otros factores ambientales, con el uso intensivo de estos productos (Gliessman, 2000; Noguera et al., 2011; Ramachandran, 2014). A nivel de Puerto Rico, se puede observar fuentes naturales de agua contaminadas por el exceso de P no disponible producido por granjas lecheras.

Sin embargo, los daños no son solo a nivel ambiental, también existen daños graves a la salud de las zonas expuestas ocasionando un millón de enfermedades crónicas y muertes alrededor del mundo (Aktar et al., 2009; Hernández-González et al., 2007). En relación a las áreas tropicales de Latinoamérica, se han visto alteradas por los cultivos de plátano y banano, ya que para su alta producción se requiere del uso de agroquímicos, trayendo consigo efectos en los trabajadores y agroecosistemas (Henriques et al., 1997). En México se realizó un estudio con trabajadores agrícolas, donde encontraron que la mayoría de intoxicaciones fueron del tipo ocupacional, causados por organofosforados (Hernández-González et al., 2007). Otro caso fue observado en Veracruz-México, donde jóvenes de 20 años tenían altos niveles de contaminación (9 y 20 ppm) por DDT (Torres y Capote, 2004). Pese a los perjuicios que ocasionan los agroquímicos, su utilización va en incremento. No obstante, al

utilizarlos de manera cuidadosa, adecuada e incorporarlos en un sistema integrado de manejo de plagas y enfermedades, su utilización es razonable (Cooper y Dobson, 2007).

Es por esto, que la tendencia actual es la reducción del uso de éstos, a través de prácticas agroecológicas, como el uso leguminosas en sistemas integrados o policultivos para mejoramiento de suelo, controlar malezas, establecer la entomofauna natural en los agroecosistemas, fuente de nutrientes y brindar seguridad a los agricultores (Altieri et al., 1998). A continuación se presentan alternativas para mitigar el impacto del uso de agroquímicos como la utilización de fertilizantes orgánicos, rotación de cultivos, policultivos, barreras vivas y plantas cobertoras. Estas alternativas poseen características en común que contribuyen a la diversidad de los agroecosistemas; entre las que tenemos: conservación de los recursos naturales, suministro de materia orgánica, reciclaje de nutrientes y mantienen la entomofauna benéfica (Altieri, 2001).

2.2 Alternativas para mitigar el impacto de los agroquímicos en la agricultura

2.2.1. Fertilizantes orgánicos y biofertilizantes

Los fertilizantes orgánicos provienen de desechos animales (Ej., estiércol), alimentos, compostaje, entre otros y son una fuente importante de N. Estudios muestran que estos contribuyen al cuidado del suelo evitando la erosión, pérdida de nutrientes, incremento de materia orgánica y actividad biológica, controlan enfermedades y disminución de la contaminación de aguas (Bengtsson et al., 2005; Chen, 2006). Sin embargo estos resultados en la actualidad están siendo cuestionados debido a que, fertilizantes orgánicos como el

estiércol o biosólidos, afectan las relaciones químicas del suelo y provocan contaminación en fuentes de agua (Bastidas, 2007; Mortvedt, 1996). Aunque, a nivel de Puerto Rico las fincas orgánicas están en incremento y con ellas la utilización de estos productos (Negrete, 2013).

Los biofertilizantes se obtienen de microorganismos (bacterias, hongos y algas) y se aplican al suelo o plantas para la obtención de nutrientes, soportar condiciones extremas y resistir patógenos. Un estudio realizado por Armenta et al. (2010) mostró que la fertilización biológica de N incrementó la producción de garbanzo y soya. Por otro lado, Baca et al. (2000) reportaron que *Acetobacter diazotrophicus* asociado con caña de azúcar aportó 160 Kg N ha⁻¹.

2.2.2. Rotación de cultivos

La rotación de cultivos consiste en la diversidad temporal de los sistemas de cultivos, al intercalar cultivos de diferentes familias, con la finalidad de proveer nutrientes e interrumpir el ciclo de plagas, enfermedades y malezas (Altieri, 2001). Esta alternativa se practica en muchos países de Latinoamérica. Por ejemplo en Uruguay desde 1960 se ha adoptado la rotación de pastos con leguminosas, reduciendo la labranza convencional y aplicaciones de agroquímicos aproximadamente en un 50%. Además, las leguminosas aprovechan la disponibilidad de P en las pasturas (García et al., 2004). De igual manera en México un estudio donde se intercaló piña con *Mucuna deeringiana*, mostró que esta leguminosa controló enfermedades de la raíz e incrementó los rendimientos de piña hasta ocho veces que un cultivo tradicional (García de la Cruz et al., 2006).

En Estados Unidos, los frutales de hueso como almendra (*P. amygdalus* Batsch), durazno (*P. persica* (L.) Batsch), cereza (*P. avium* L. y *P. cerasus*), albaricoque (*P.*

armeniaca L.), nectarina y ciruela (*P. domestica* L. y *P. salicina* Lindl.) constituyen una fuente importante de ingresos económicos. Sin embargo, su principal problema es el ataque de nemátodos como *Meloidogyne* spp., *Xiphinema* spp., *Pratylenchus* spp., y *Crictonemella* spp. Las prácticas comunes para el control de estos nemátodos son las químicas, pero provocan resistencia o tolerancia en estas plagas. Es por esto, que se ha optado por la rotación de cultivos (Nyczepir, 1991). En Georgia se roto el cultivo de durazno con el pasto bermuda (*Cynodon dactylon* L.), resultando un buen controlador de nemátodos de raíz como *Meloidogyne* spp. Con esto, se obtuvo la reducción de aplicaciones de nematicidas y se mejoraron las características del suelo (Nyczepir, 1991). También, se han realizado ensayos en rotación de fresa con avena (*A. sativa* ‘Garry oats’), reduciendo notablemente la colonización de *Rhizoctonia fragariae* (hongo patógeno radical) en el cultivo de fresa (Elmer y LaMondia, 1999).

2.2.3. Policultivos

Los policultivos son la combinación de diferentes especies de plantas (anuales o perennes), que pueden competir o ser complementarias, con el objetivo de aumentar la producción y aprovechar el área disponible (Altieri, 2001; Liebman, 1997). En las zonas tropicales latinoamericanas, la producción de los cultivos básicos como yuca (>40%), maíz (60%) y frijoles (80%), se realizan a través de policultivos (Liebman, 1997).

Según Pérez y Ruiz (2010), el maíz en un sistema de policultivo (yuca, maíz, habichuela, lechuga y rábano), obtuvo casi el doble de producción (12,030 Kg) versus un monocultivo tradicional (6,570 Kg). De igual manera, el uso de policultivos proporciona

otros beneficios, como por ejemplo el sistema maíz-tomate. Donde, el maíz fue sembrado 30 días antes del trasplante de tomate, para proporcionar sombra, beneficiando la producción de tomate fuera de su óptimo periodo (Pino et al., 2003).

2.2.4. Barreras vivas

Las barreras vivas son plantas que se cultivan en los alrededores de un predio específico o en curvas a nivel, principalmente en las pendientes, teniendo varias funciones como repeler e impedir la entrada de plagas, hospedaje de enemigos naturales, evitar la erosión ocasionada por escorrentía, mejoramiento del suelo, pueden dar beneficios extras (leña, alimento) y evitan la pérdida de la fertilidad del suelo (FAO, 2011; Vázquez, 2007). Entre las plantas mayormente utilizadas con este fin se encuentran maíz y sorgo (millo), solas o en asociación. También, se utiliza el girasol pues es un excelente hospedero para predadores y parasitoides (Vázquez, 2007). Además, ensayos realizados con la variedad de tabaco negro ‘Sancti Spíritus 96’, utilizando la combinación de maíz con crotalaria como barrera viva, mostró un índice de intensidad de la plaga de 5.21% versus 12.26% perteneciente a la parcela control (sin ningún tipo de barrera). Esto demuestra que las barreras vivas son albergue de enemigos naturales para el control de plagas y con esto se disminuye de aplicaciones de plaguicidas (Hurtado et al., 2006). Por otro lado, investigaciones realizadas en Venezuela, en un cultivo de zanahoria en ladera, se probaron cinco tipos de pastos como barreras vivas, siendo el más eficiente el pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.), ya que redujo la pérdida de suelo, humedad, materia orgánica y nutrientes (Andrade y Rodríguez, 2002).

2.2.5. Plantas cobertoras

Las plantas cobertoras o cultivos de cobertura son leguminosas, gramíneas u otras especies, que se establecen en la superficie de suelo, donde al introducir otro cultivo son eliminadas (cobertura muerta) o incorporadas como abonos verdes. También, pueden ser sembradas contemporáneamente (cobertura viva) en cultivos anuales (Ej., vegetales) o perennes (Ej., frutales) (Altieri, 2001; Hartwig, 2002). Éstas pueden ser perennes o anuales, al ser perennes se pueden mantener año tras año sin la necesidad de ser resembradas, teniendo una mínima labranza (Hartwig, 2002). La integración de sistemas de cobertura en sus diferentes formas, proveen beneficios como la fijación de N, evitan la erosión, incrementan el contenido de materia orgánica, ayudan al control de malezas y conservan la humedad del suelo (Altieri, 2001; Carlo, 2009; Hartwig, 2002).

A nivel de los trópicos, el uso de plantas cobertoras ha sido fundamentalmente para el control de malezas, manejo de plagas, conservación de agua y suelo (ej. cultivos en pendientes), fijación de N en sistemas integrados con otros cultivos (Carlo, 2009; Negrete, 2013). En cuanto al control de malezas, las leguminosas cobertoras tienen la capacidad de competir con éstas, inhibir su crecimiento y germinación a través de sustancias alelopáticas y pueden modificar características del suelo como la temperatura y humedad (Creamer y Baldwin, 2000). Además, algunas especies de leguminosas cobertoras poseen una amplia adaptación a las condiciones del trópico como bajo pH, bajos niveles de nutrientes, sequía y altas temperaturas (Carlo, 2009; Negrete, 2013). Entre estas leguminosas se encuentran especies anuales como haba (*Vicia fava*), caupí (*Vigna umguiculata*), mucuna (*Mucuna pruriens*), soya (*Glycine max*), crotalaria, lablab (*Lablab purpureus*); y perennes como

canavalia, gandul, estilosantes (*Stylosanthes guianensis*), maní estolonífero (*Arachis pintoii*), y maní rizomático (*Arachis glabrata*). La aportación de N y biomasa va a ser variable en cada leguminosa, esto va a depender de la duración de su crecimiento por ejemplo Creamer y Baldwin, 2000 reportaron que en el caupí el N acumulado a las siete semanas de edad fue el doble que el acumulado a las cinco semanas de edad. A continuación se presentan investigaciones con estos cultivos de cobertura a nivel de Latinoamérica, el Caribe y Puerto Rico.

2.3 Uso de plantas cobertoras integradas en sistemas de cultivos

2.3.1. Leguminosas anuales

En la agricultura, las leguminosas anuales se utilizan en asociaciones con cultivos estacionales (policultivos) o son cultivadas en ciclos cortos cuando un lote se encuentra sin uso (barbecho). Los beneficios que presentan estas especies son amplios a nivel de los agroecosistemas, así tenemos por ejemplo en Guatemala donde los agricultores utilizaron un sistema de policultivo, que consistió en la combinación de leguminosa-gramínea-cucurbitácea, donde las especies combinadas fueron: haba, maíz (*Zea mays*) y calabaza (*Cucurbita maxima*). En este sistema se observó la disminución de malezas y la estabilidad sin ataque de plagas, por lo que no tuvieron que utilizar plaguicidas (Nicholls y Altieri, 2006).

Por otro lado, en Centroamérica una de las leguminosas mayormente utilizadas es la mucuna, ya que controla malezas y mantiene la fertilidad del suelo, reportándose que puede fijar 150 Kg N ha⁻¹ y producir 350 Mg de materia orgánica por año (Carlo, 2009). En Guatemala y Honduras, los agricultores han obtenido un incremento en la producción de

maíz de 3,000 Kg ha⁻¹ al colocar mucuna como cobertura presiembra del maíz. Además, esta leguminosa es utilizada para alimentación del ganado (Buckles et al., 1998). En los trópicos y subtrópicos de Suramérica, una de las leguminosas más utilizadas es el caupí, debido a que tiene alto contenido de proteína, resistente a la sequía, se desarrolla en suelos pobres, es competitiva con las malezas y puede fijar 100 Kg N ha⁻¹ por año (Carlo, 2009).

En adición, el uso de leguminosas tropicales anuales es importante para la producción de vegetales, no solo por la aportación de N, también por el control de malezas y mejoramiento de suelo. Debido a que, el control común de malezas es mecánico (arado) y químico, lo que ocasiona el deterioro del suelo y existen pocos herbicidas registrados para el uso en estos cultivos (Creamer y Baldwin, 2000; Negrete, 2013). En North Carolina-Estados Unidos, se evaluaron sistemas de producción de vegetales con la utilización de especies leguminosas con alto potencial como: caupí, mucuna, soya, sesbania (*Sesbania exaltata* L.), hairy indigo (*Indigofera hirsuta* L.), y lablab, para determinar la biomasa, aportación de N, nodulación y supresión de malezas. La producción de biomasa estuvo en un rango de 1,420 (mucuna) a 4,807 Kg ha⁻¹ (sesbania), la aportación de N estuvo entre 32 (mucuna) a 97 Kg ha⁻¹ (sesbania). Las leguminosas suprimieron malezas, excepto el lablab (Creamer y Baldwin, 2000).

A nivel de los trópicos, una de las leguminosas anuales mayormente utilizadas como abono verde para mejoramiento de suelo es la crotalaria cv. Tropic Sun, por su alta capacidad de producción de biomasa (14.8-21 Mg MS ha⁻¹) en periodos cortos (60-90 días) y puede fijar entre 380 a 490 Kg N ha⁻¹ (Carlo, 2009; Li et al., 2012; Rotar y Joy, 1983). Además, Rotar y Joy (1983) señalan que a nivel de laboratorio y pruebas de alimentación, el forraje y

semillas de este cultivar, no resultaron ser tóxicos a diferencia de otras especies de crotalaria que contienen alcaloides y pueden ser dañinos para los animales. Por otra parte, ‘Tropic Sun’ es un arbusto, que puede medir más de 3 m de altura, resistente a la sequía, se adapta a diferentes tipos de suelo que pueden ser pobres y con bajo pH (5-7.5). También, es una especie fotosensitiva que responde a floración en días cortos y crecimiento vegetativo en días largos (Negrete, 2013; Rotar y Joy, 1983). Además, esta leguminosa resistente a nemátodos de la raíz como *Meloidogyne* spp. A través de estudios se ha demostrado que la población de nemátodos, se reduce con la presencia de crotalaria, esto se puede deber a que no es una planta hospedera. En adición, esta planta tiene otros usos como forraje, fibra de fabricación de papel y biocombustible (Rotar y Joy, 1983).

2.3.2. Leguminosas perennes

El uso de leguminosas perennes está enfocado en el establecimiento de agroecosistemas (diversidad de especies) con otros cultivos perennes como frutales y pasturas. Debido a que, éstas ayudan al mejoramiento de las características del suelo, retienen humedad, disminuyen los requerimientos de fertilización y contribuyen a la conservación de la entomofauna. Además, se utilizan para la producción de semilla en varios ciclos (Real et al., 2011; Rebuffo et al., 2004).

Actualmente, una de las leguminosas perennes que está tomando auge es la canavalia, sobre todo en frutales (Carlo, 2009). Esto se debe a que es un abono verde potencial, resistente a la sequía, sombra, a un amplio rango de suelos (bajo pH y baja fertilidad), con una gran producción de biomasa que puede ir de 5-10 Mg MS ha⁻¹ año,

capacidad de supresión de malezas y control de nemátodos de raíz. Sus tres principales centros de distribución son: 1) Centroamérica, México y el Caribe, 2) Paraguay, Norte de Argentina y Sur de Brasil, y 3) Norte de Brasil (Tropical Forages, 2014). En Honduras se han hecho asociaciones de canavalia con café, donde se ha demostrado la tolerancia de ésta leguminosa a la sombra, obteniendo una aportación de más de 200 Kg N ha⁻¹ año. También, se utiliza el forraje de esta leguminosa como alimentación de rumiantes (Bunch, 1990). En las regiones tropicales de México, al realizar estudios en maíz y tomate, aplicando cuatro leguminosas como abonos verdes, entre ellas canavalia, el rendimiento de maíz aumentó de 1,400 Kg ha⁻¹ a 1,900 Kg ha⁻¹. Además, se observó que hubo un control de malezas (>56%). En relación al tomate, redujo plagas como nemátodos al incorporarla como mulch, donde se encontró como media 1.33 de índice de agallas de *Meloidogyne incognita* en las raíces de tomate. Al mismo tiempo aportó materia orgánica al suelo (Camal-Maldonado et al., 2001). En Puerto Rico, Carlo (2009) estableció experimentos, en la EEA de Isabela y en 20 fincas de cítricos con condiciones similares en la región montañosa de la Isla, para determinar el comportamiento de tres leguminosas: mucuna (determinada e indeterminada), crotalaria y canavalia. En la EEA de Isabela se obtuvieron los rendimientos de biomasa de: 900 (mucuna determinada), 2,400 (mucuna indeterminada) y 3,810 Kg ha⁻¹ (canavalia) y área cubierta por las leguminosas mucuna de 82%, canavalia de 60% y crotalaria de 73%. En las fincas de cítricos se determinaron la producción de MS y la aportación de N, obteniendo promedios de 2,477 Kg ha⁻¹ y 93 Kg N ha⁻¹ para canavalia; 1,816 Kg ha⁻¹ y 69 Kg N ha⁻¹ para mucuna; y 1,849 Kg ha⁻¹ y 60 Kg N ha⁻¹ para crotalaria.

Otra leguminosa de interés es el gandul o cachito que puede ser perenne o anual, dependiendo del manejo. Su principal uso es la obtención de semilla para alimentación humana, siendo cultivado en alrededor de 4 millones de hectáreas alrededor del mundo. También, esta leguminosa se utiliza para alimentación de rumiantes, leña, cultivos en callejones, en establecimiento de cultivos de sombra (ej. café), abono verde y control de malezas. Esta leguminosa puede producir en condiciones semiáridas 2 Mg MS ha⁻¹ y en condiciones óptimas de 25-40 Mg MS ha⁻¹ con 100 Kg N ha⁻¹ (Tropical Forages, 2014). Experimentos realizados con gandul en India, en sistemas de intercultivo con sorgo, maíz o caupí, para el control de malezas, se determinó que la etapa de establecimiento del gandul es la más crítica porque tiene baja competencia con las malezas, por su crecimiento lento. Aunque, una vez ya establecida esta leguminosa puede controlar las malezas entre 50 –75 % (Shetty y Rao, 1981). En cuanto a Puerto Rico, los cultivares de gandul resultan susceptibles a la mosca *Ormyrus orientalis*, por lo que se desarrollaron en la EEA de Isabela dos cultivares (Cordata y Lázaró) resistentes a este insecto (Bosques-Vega et al., 2000; Bosques-Vega, 2014). Con respecto a ‘Lázaró’, es una leguminosa arbustiva que mide entre 1.30-1.80 m, de crecimiento determinado, no fotosensitiva, ya que puede producir tanto en días largos como cortos (Bosques-Vega, 2014).

2.3.3. Sistema integrado con musáceas

El manejo de sistemas de plantas cobertoras en asociación con plátano y banano, han sido mayormente estudiados y documentados a nivel de agroecosistemas en Cuba y Brasil. En Cuba, surge la necesidad de desarrollar trabajos agroecológicos con plátano por la

escasez de insumos agrícolas y tecnología, y para reducir el impacto del sistema convencional. Estudios muestran que se han probado coberturas vivas de leguminosas como *Centrosema plumieri*, *Teramnus labialis* y *Stylosanthes guianensis* en asociación con el plátano FHIA-03; donde se determinó que la leguminosa *T. labialis* controló significativamente la biomasa de malezas versus las otras leguminosas, desde la etapa de establecimiento hasta los tres años del cultivo de plátano. Además, influyó positivamente en características del plátano (altura, diámetro del pseudotallo, número de hojas activas y días a cosecha) y en el suelo (aportación de K, P y materia orgánica). También, se incrementó la macrofauna del suelo, lo que define una tendencia positiva al mejoramiento y conservación del suelo. Otro parámetro fue la determinación de número de picudos, encontrándose poblaciones menores en el área donde se encontraba ésta leguminosa. *Teramnus labialis*, no solo resultó la mejor opción en parámetros agronómicos, sino también a nivel económico, comparada con el control, ya que fueron menores los costos de establecimiento y mantenimiento (Gutiérrez et al., 2002).

En cuanto a Brasil, es el quinto productor de banano a nivel mundial, en cantidad de producción (6 millones de toneladas) (FAOSTAT, 2014), por tal razón se han realizado y se están implementando estudios con leguminosas como una alternativa agroecológica, al mismo tiempo para incrementar sus rendimientos (Azevedo et al., 2006). Entre estos estudios, se evaluó el efecto de residuos de banano como cobertura muerta para mantener la humedad, control de malezas y picudo, después de su cosecha. Se determinó que hubo mayor uniformidad del agua sobre el perfil del suelo (0-40 cm), menor germinación de malezas, pero incrementó la población de picudo, resultando ser un atrayente para este insecto.

Mientras que, al comparar con experimentos anteriores realizados con cuatro leguminosas [canavalia, crotalaria, leucaena (*Leucaena leucocephala*) y mata ratón (*Glycine javanica*)], donde se observó que se redujo la población de picudo, al tenerlas como cobertura natural (Pinto de Oliveira y Marciano de Souza, 2003). También, se han establecido intercultivos de banano con leguminosas perennes, como es el caso de estudios realizados con maní forrajero, kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*) y siratro (*Macroptilium atropurpureum*) comparado con una vegetación natural (*Panicum maximum*), evaluándose rendimiento de banano, producción de MS y aportación de N. Los resultados mostraron que todas las leguminosas aceleraron el crecimiento vegetativo del banano e incrementaron el porcentaje de racimos cosechados, obteniendo altos rendimientos y reduciendo el tiempo de cosecha. El kudzu tropical tuvo el valor más alto de MS (15 Mg ha⁻¹) y aportación de N (376 Kg ha⁻¹). Además junto con el siratro tuvieron los pesos más altos de racimo y manos (10.8 y 12.6 Mg ha⁻¹, respectivamente) (Azevedo et al., 2006).

Por otro lado, en zonas tropicales los agricultores implementan sistemas de policultivos con banano o plátano, donde incluyen variedad de especies de plantas con diferentes estadios de cosecha, como es el caso del sistema entre banano-frijoles-yuca-maíz. A diferencia de tener un monocultivo de banano, se incrementa los rendimientos y el control de malezas. Además los otros cultivos de ciclo corto son de importancia económica y alimentaria. Otra práctica que se realiza después de cosechar los cultivos de ciclo corto, es intercalar el cultivo de banano con mucuna u otras especies leguminosas, ya que se mejora la fertilidad del suelo, se evita la erosión e incrementa la competitividad con las malezas (Liebman y Dick, 1993).

Otros experimentos muestran la relación canavalia-plátano a nivel de invernadero (maceta, tiesto), determinando el aporte de N de la leguminosa con el método de abundancia natural ^{15}N . Donde se obtuvo que del N total, absorbido por el plátano, el 5% fue de los exudados de la canavalia, el 53% fue liberado por la descomposición de las raíces y el 42 % provino del suelo. Además, se observó que el porcentaje de los exudados fue bajo porque hubo competencia entre el plátano y la canavalia, principalmente por el P disponible en el suelo. Sin embargo, no se ha evaluado a nivel de campo (Motisi et al., 2007).

En Puerto Rico se han hecho ensayos en Isabela y Corozal, donde se ha intercalado canavalia (asociada con el hongo *Paecilomyces lilacinus* y quitina) con plátano, observándose la supresión de poblaciones de nemátodos fitoparasíticos del género *Radopholus* sp., *Pratylenchus* sp. y *Meloidogyne* sp. (Morales, 2006). Sin embargo, no se muestra el beneficio a nivel de parámetros agronómicos y agroecosistema, pese a que en la actualidad se están implementando estos sistemas por parte de los agricultores. Por lo tanto, surge la necesidad de documentar estas prácticas. A través de estos estudios se justifica el uso de leguminosas como canavalia, crotalaria y gandul en Puerto Rico para la disminución de los principales problemas fitosanitarios en el establecimiento del cultivo plátano como son malezas, plagas, enfermedades y deficiencia de nutrientes. A continuación se muestran como interfieren estos factores en el desarrollo de este cultivo.

2.4 Principales problemas en el establecimiento del cultivo de plátano

2.4.1. Malezas

En las regiones tropicales las malezas resultan un problema en el cultivo de plátano, debido a su rápido crecimiento y desarrollo, beneficiado por las condiciones de lluvia y radiación. Además, el plátano es susceptible a la competencia con las malezas durante los tres primeros meses. Esta etapa es una de las más importante, pues puede ocurrir un mal desarrollo de planta (Obiefuna, 1989). Aparte de eso, el sistema radicular del plátano es superficial, se encuentra en los primeros 15 cm del suelo, lo que hace que se genere una competencia con malezas de hoja ancha y gramíneas que se encuentran en este perfil. También éstas son uno de los factores que influyen en los bajos rendimientos de las cosechas de plátano y baja calidad de los frutos (Hassan y Ahmed, 2007; Obiefuna, 1989; Rodríguez y Agüero, 2000). En adición, dificultan las labores que se realizan en el éste cultivo como fertilización, deshije y control de patógenos (Rodríguez y Agüero, 2000).

El manejo tradicional de malezas en el cultivo de plátano se basa en una imagen profiláctica, es decir eliminando en su totalidad cualquier maleza que surja sobre el perfil del suelo, dejando al descubierto el mismo, a través del uso de herbicidas (pre emergentes y post emergentes). Los herbicidas pre emergentes utilizados son de acción residual (ureas sustituidas y triazinas), que evitan que haya cobertura sobre la superficie del suelo, lo que provoca erosión, disminución de la materia orgánica y daño a los microorganismos benéficos. Los herbicidas post emergentes no residuales hacen que las malezas formen una cobertura muerta en el suelo; pero generan fitotoxicidad, son tóxicos para los agricultores, sus costos son elevados.

En general los herbicidas pueden crear resistencia en las malezas, desarrollándose nuevos biotipos, como el caso del glifosato (post emergente, no selectivo y sistémico), que es utilizado extensivamente a nivel mundial. A través del uso de este herbicida, se ha identificado la resistencia de ocho especies de malezas (*Ambrosia artemisiifolia*, *Conyza bonariensis*, *Conyza canadensis*, *Eleusine indica*, *Lolium multiflorum*, *Plantago lanceolata*, *Amaranthus tuberculatus* y *Lolium rigidum*) en diferentes países como Estados Unidos, África del Sur, Argentina, Brasil, China, España, Chile, África del Sur, entre otros (Nandula et al., 2005).

Además del control químico, se encuentra también el cultural que consiste en el manejo de densidades, arado y dejando ciertas especies de malezas que no son capaces de competir con el plátano (De la Cruz et al., 2001). Estas labores en la fase de establecimiento del plátano (primeros seis meses) representan alrededor del 45% de las prácticas agronómicas del manejo de este cultivo (Obiefuna, 1989).

2.4.2. Picudo (*Cosmopolites sordidus* Germar)

El picudo (Orden Coleóptera, Familia Curculionidae) es una de las plagas que causan más daño en plátano y banano (Gold y Messiaen, 2000). Es originario de Malasia e Indonesia (Mau y Martin, 2007) pero se ha distribuido a lo largo del mundo entre los cultivos de plátano en las zonas tropicales y subtropicales. Su dispersión ha sido a través de cormos infectados con huevos y larvas, introducidos por el hombre, ya que los adultos tienen un rango de movilidad reducido, por lo general permanecen en la misma planta y un porcentaje pequeño puede moverse 25 m en 6 meses, son de hábito nocturno y raras veces pueden volar

(Carballo, 2001; Gold y Messiaen, 2000; Woodruff, 2012). Éste insecto ataca los cormos de las plantas ya establecidas e hijuelos, pero prefiere cormos y pseudotallos en descomposición que vayan secando lentamente con ambientes húmedos. Además, estas partes son usadas comúnmente como trampas en Centroamérica y Suramérica (Mau y Martin, 2007).

En adición, este insecto posee cuatro etapas (huevo, larva, pupa y adulto), su ciclo de vida está completo entre 30-40 días y no se encuentran en temperaturas menores de 12°C con alturas mayores de 1,600 msnm (Gold y Messiaen, 2000; Mau y Martin, 2007; Woodruff, 2012). La tasa de ovoposición es de un huevo por semana, los huevos son de color blanco, ovalados, miden 2 mm y su etapa es de 5-7 días. La hembra coloca los huevos en las galerías excavadas en el cormo por su aparato bucal y aunque la mayoría son puestos en las vainas foliares y rizoma, los plátanos en floración y residuos de cosechas son los lugares de preferencia. Las larvas (15-20 días) (Mau y Martin, 2007) miden 12 mm de largo se alimentan del cormo y algunas veces del pseudotallo, produciendo perforaciones (galerías) que dañan y vuelven vulnerable el sistema radical (Gold y Messiaen, 2000). Las pupas (12 mm de largo) completan su ciclo en ocho días, se encuentran en la superficie de los cormos, no causan daño en esta etapa (Mau y Martin, 2007). Los adultos miden 12 mm de largo, pueden vivir hasta dos años, mientras que en ambientes húmedos sin alimentación pueden sobrevivir varios meses (Carballo, 2001; Mau y Martin, 2007). La relación entre machos y hembras es de 1:1 (Gold y Messiaen, 2000).

El daño ocasionado por el picudo afecta negativamente la producción, pues el peso del racimo se reduce, esto se debe a que se pierde tejido interno y radicular, debilitando la raíz, con esto el cormo se vuelve más frágil, ocasionando la caída de la planta ya sea por el

peso del racimo, viento o lluvia (Carballo, 2001; Lardizabal, 2007). Además al realizar galerías permite que ingresen otros patógenos como nemátodos, bacterias y hongos (Carballo, 2001). En plantaciones recién establecidas las pérdidas son alrededor del 5% por su baja tasa de ovoposición y más del 40% en el tercer ciclo de siembra (Gold y Messiaen, 2000).

El control de esta plaga va a variar de acuerdo al sistema de siembra, estadio de la plaga e impacto. Normalmente se realiza a través de aplicaciones químicas (insecticidas) provocando resistencia, daños a insectos benéficos, impacto ambiental, daños a la salud de los operadores y los costos son altos. Sin embargo, existen alternativas como el control biológico a través de nemátodos entomófagos (*Heterorhabditidae* y *Steinernematidae*), hongos entomopatógenos (*Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*) y enemigos naturales como hormigas (*Pheidole megacephala* y *Tetramorium guineense*). También, está el control cultural a través de trampas, rotación de cultivos, cormos sanos, variedades resistentes e intercultivos con leguminosas. Desde la antigüedad se ha reportado que ciertas leguminosas tienen propiedades repelentes o insecticidas, ej. *Physostigma venenosum* que es precursora de los plaguicidas carbamatos (COLPROCAH, 2011; McIntyre et al., 2001). Además, leguminosas como el chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) son utilizadas como agentes fungicidas, insecticidas, bactericidas y nematicidas, debido al potencial de los alcaloides que poseen, ya que éstos actúan inhibiendo la síntesis de proteína del ARN de transcripción y atacan al sistema nervioso central (Villacrés et al., 2009). Investigaciones con canavalia, mucuna y *Tephrosia vogelii* han demostrado que poseen estas propiedades disminuyendo la población de picudo, al mantenerlas en un intercultivo con plátano (McIntyre et al., 2001).

2.4.3 Nemátodos

Los nemátodos representan una plaga importante en la disminución de la producción del cultivo de plátano (30-50%), encontrándose el 70% de la población en las raíces (Araya, 2003), provocando daños al sistema radicular lo que conduce a un débil anclaje y pobre capacidad de absorber agua y nutrientes, por ende afecta la calidad de la fruta. Su ciclo de vida lo desarrollan y completan en las raíces del plátano y banano, éstos penetran las raíces, en fase de adultos y juveniles se encuentran a nivel intercelular en la parénquima y viajan a través de la células corticales provocando lesiones de color rojizo al principio, después se observan negras o cafés. Se movilizan en el agua y en material infectado en el momento del establecimiento de una siembra (Araya, 2003; Guzmán, 2011).

En plantaciones establecidas hace varios años los nemátodos que se encuentran comúnmente son *Radopholus similis* y *Pratylenchus coffeae* (endoparásitos migratorios), *Helicotylenchus multicinctus* o *H. dihystreria* (ecto-endoparásito) y *Meloidogyne incognita* o *M. javania* (endoparásito sedentario). En un periodo de sequía se observa la disminución de la población de éstos, pero va a depender del riego que se suministre (Araya, 2003). Los métodos de control de ésta plaga son culturales, químicos y biológicos.

A nivel de Puerto Rico, se han encontrado todos los géneros de nemátodos mencionados anteriormente, donde el control comúnmente usado es el químico con los siguiente nematicidas: oxamyl (Vydate®L.), ethoprop (Mocap®10G) y fenamiphos (Nemacur 15G) (Morales, 2006). Los efectos causados por los nematicidas son adversos para los agroecosistemas deteriorando la diversidad biológica y la capacidad antagonista de la rizósfera (Meneses et al., 2003). En Puerto Rico se han realizado varios trabajos en control

biológico con hongos, nemátodos benéficos y leguminosas antagonistas (Morales, 2006). Otros ensayos realizados en Costa Rica evaluaron la población de nemátodos de un sistema convencional vs un sistema orgánico de plátano en monocultivo y con algunas especies (banano, cacao y forestales), encontrándose menor población a nivel orgánico (604 nemátodos/100 g de raíz) que en el convencional (19,956 nemátodos/100 g de raíz) (Meneses et al., 2003).

2.5 Clon tipo falso-cuerno Maricongo

A nivel de Puerto Rico el clon comercial mayormente utilizado es Maricongo o Guayamero de tipo falso-cuerno, caracterizado por presentar racimos pequeños, frutos alargados y altura mediana (Wilson, 1896). Además, este clon puede producir seis manos y alrededor de 46 frutas por racimo (tipo cuerno) (Irizarry et al., 2001). Es un híbrido triploide (*Musa hybrid* AAB) que resulta del cruce entre *Musa acuminata* (AA) y *M. balbisiana* (BB) (Irish et al., 2009; Irizarry et al., 1985) y se pudo haber originado de una mutación somática del clon Congo (Irizarry y Montalvo., 1995). El lugar de origen de este clon no está determinado, pero junto con los clones utilizadas en la actualidad, pudieron haber sido introducidas a Puerto Rico durante la colonización desde India, Asia y Filipinas (Barret, 1925). No obstante, TARS (Tropical Agriculture Research Station) en Mayagüez ha venido realizando trabajos con esta variedad hace varios años, en conjunto con los agricultores (Adams, 1995).

Por otro lado, este clon puede medir de tres a cinco metros de altura (dependiendo del manejo y área), la producción promedio es de 46 frutas por racimo, con un peso entre

0.30-0.35 Kg por fruta. Aunque, en plantaciones comerciales pueden producir menos de 30 o más de 60 frutas por racimo, estas tienen bajo valor comercial, por eso es indispensable su manejo (Irizarry y Montalvo, 1995). El número de manos y frutas no son uniformes en el racimo (Goenaga e Irizarry, 2006).

En Puerto Rico, el clon Maricongo es preferido por los agricultores, ya que es una planta muy resistente a enfermedades como la Sigatoka (Barret, 1925; Goenaga e Irizarry, 2006). Estudios realizados para observar la susceptibilidad a Sigatoka, entre varios cultivares, el clon Maricongo presentó un índice de severidad de 34% en el momento de la floración y 68% a cosecha, esto implica un nivel intermedio de susceptibilidad (Irish et al. 2013). También, es preferida por el consumidor local por sus propiedades culinarias y rasgos de la fruta, como el peso, ya que puede estar entre 270 g o más (Goenaga e Irizarry, 2006).

2.6 Análisis foliar para la determinación de nutrientes en el plátano

La nutrición mineral es un parámetro importante en el plátano, ya que este cultivo es altamente eficiente y produce gran cantidad de biomasa en un periodo corto (López y Espinosa, 1995). De igual manera, para lograr su óptimo desarrollo y obtener producciones altas y rentables (Espinosa y Mite, 2002; Kamara, 2001; López y Espinosa, 1995). Esta consiste, en procesos que realizan las plantas para tomar minerales del exterior y asimilarlos para procesos tanto metabólicos como fisiológicos (Kamara, 2001). Los primeros trabajos en nutrición de plátano y banano empezaron en 1930 y se expandieron hasta los años 60 (Lahav, 1995). Hasta inicios de los años 70, la nutrición en plátano estaba enfocada en determinar el desbalance y deficiencia de nutrientes en la planta, sin tomar en cuenta el aporte del suelo,

además de no contar con un modelo estándar. Fue entonces, que surgió la idea de crear un método universal de referencia, para ver la efectividad de los fertilizantes, por lo que se establecieron el método de muestreo foliar y tabla de contenidos foliares estándares, que pueden variar de acuerdo a la variedad y agroecosistema. Esto es una base de diagnóstico para el manejo de nutrición del plátano, dependiendo de la historia del área a utilizarse (tipo de suelo, fertilización) (Espinosa y Mite, 2002; Lahav, 1995).

El muestreo foliar consiste en tomar una porción de la tercera hoja, nervadura central o pecíolo (Espinosa y Mite, 2002; Irizarry et al., 2002). Además, tanto el análisis de suelo como foliar son herramientas importantes, por lo que hay que relacionarlas para que sea efectiva la nutrición (Espinosa y Mite, 2002; Espinosa et al., 1998). Una buena nutrición en plátano se ve reflejada en el incremento del peso de los dedos y número de dedos por racimo (Espinosa et al., 1998). Para lograr esto, se requiere de la interacción o especificidad de macro y micronutrientes, que intervienen en diferentes cantidades en los estados fisiológicos del plátano, aparte de la influencia del ambiente y concentración de los mismos (Lahav, 1995). Al obtener los nutrientes se pueden realizar curvas de extracción que muestran la época de mayor absorción durante todo el ciclo del cultivo. Estas a su vez, sirven para establecer un plan de fertilización y dosis de aplicación de fertilizantes en una zona determinada (Espinosa y Mite, 2002). Las plantas generalmente contienen 92 elementos, pero para su desarrollo necesitan de 18, considerados los minerales esenciales, entre estos se encuentran el carbono que lo toman del aire (CO_2), hidrógeno y oxígeno que son tomados del agua, el resto son tomados del suelo. Estos se clasifican dependiendo de la cantidad de energía metabólica que suministran, siendo macronutrientes (contenido mayor) y

micronutrientes (cantidades menores) (Vélez y Berger, 2011). En lo que concierne a los análisis de nutrientes en plátano, realizados en Puerto Rico, demuestran que utilizan altas cantidades de N y K. Este cultivo al estar bien fertilizado debe contar a los siete meses con los siguientes niveles nutricionales: entre 2.90 y 3.25% de N; 0.17 y 0.20% de P; 3.30 y 3.80% de K; 0.50 y 0.80% de calcio (Ca) y alrededor de 0.30% de Mg (Irizarry et al., 1995). A continuación se describen la importancia de los principales macro y micronutrientes en el desarrollo fisiológico del plátano.

2.6.1. Macronutrientes

Entre los macronutrientes de mayor interés en el plátano se encuentran el N, P, K, Mg. El N se considera uno de los nutrientes más importantes por el alto requerimiento en el cultivo de plátano, para su crecimiento, desarrollo y producción de frutos (Irizarry et al., 2002). El rol de este elemento es en la estructura de moléculas de proteína, en la fotosíntesis (formación de la clorofila) y es componente de vitaminas que influyen en el crecimiento de la planta (López y Espinosa, 1995; Vélez y Berger, 2011). Las deficiencias del mismo se ven reflejadas en problemas radiculares (causados por nemátodos), las hojas muestran un color verde claro, retraso del crecimiento y desarrollo de la planta (producción de hojas). También pueden ser determinadas a través de análisis foliares (López y Espinosa, 1995; Irizarry et al., 2002;). La cantidad de este elemento es pequeña en el suelo por lo que se debe suplementar ya sea con fuentes orgánicas (gallinaza, estiércol, abonos verdes) o inorgánicas (NH_4 y NO_3) (Vélez y Berger, 2011). Según recomendaciones de Irizarry y colaboradores (1995 y 2002),

la concentración óptima de N en la lámina foliar, cuatro meses antes de la cosecha esta entre 2.75 y 2.85 g Kg⁻¹ o 2.30 a 3.25%.

Por su parte, el P pese que en otros cultivos es de gran importancia, en el cultivo de plátano no es requerido en grandes cantidades, esto puede deberse a que es un elemento móvil y es reutilizado por la planta (Espinosa y Mite, 2002). Este mineral es absorbido como ion (H_2PO_4), y la etapa de mejor absorción es durante los primeros cinco meses (etapa vegetativa), ya que se requiere en altas concentraciones en las partes de crecimiento activo. Es componente de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, coenzimas NAD y NADP, ATP y es el transportador de energía en la planta (Vélez y Berger, 2011). Los niveles óptimos de P a los siete meses del plátano se encuentran entre 0.17 a 0.20% (Irizarry et al., 1995).

Además, el K es considerado el elemento más importante en el cultivo de plátano, por las grandes cantidades que requiere este cultivo (García et al., 1977; López y Espinosa, 1995). Este elemento interviene en la respiración, fotosíntesis y formación de la clorofila; se encarga de regular la presión osmótica y acidez (pH). Es esencial en la parte productiva del plátano, ya que forma parte del transporte y acumulación de azúcares dentro de la planta, permitiendo el llenado de la fruta (García et al., 1977; López y Espinosa, 1995; Vélez y Berger, 2011). Varios trabajos han demostrado que las plantas más productivas tienen altas concentraciones de K, indicando una alta correlación positiva entre el número de manos, peso del racimo, dimensiones del pseudotallo, rendimiento, entre otras. García et al. (1977) señala que el nivel crítico de K es 4.75% y para lograr altos rendimientos tiene que ser mayor que 5.00%. Aunque, ensayos en Puerto Rico han demostrado que el nivel óptimo puede encontrarse entre 3.30 a 3.80% (Irizarry y Montalvo, 1995). Este elemento es tomado por las

plantas en forma de ion (K^+) de la solución del suelo (López y Espinosa, 1995). En algunas ocasiones puede presentarse un antagonismo entre el K-Ca y K-Mg, dependiendo del tipo de suelo y cuando la cantidad de uno de ellos es mayor que el otro, ocasionando problemas en el crecimiento y rendimiento del plátano (Espinosa y Mite, 2002; García et al., 1977).

En cuanto al Mg, después del N, es uno de los elementos más importantes en el plátano, se encarga de regular el pH celular, equilibra los cationes y aniones, interviene en la formación de estructuras proteicas: RuBP-Carboxilasa en el ciclo de Calvin-Benson y clorofila (6-25% del Mg total) (Martínez et al., 2002; Vélez y Berger, 2011). Este es un elemento móvil dentro de la planta y es absorbido del suelo como catión (Mg^{2+}) (López y Espinosa, 1995). La deficiencia de este elemento se ve reflejada en la reducción del crecimiento y enfermedades fisiológicas en la planta como la disposición de las hojas que emergen del tallo (aparición de roseta) (Martínez et al., 2002; Robinson y Galán, 2010). Esto ocurre en suelos erosionados, causando la reducción de los rendimientos (>25%) en plátano y banano (Martínez et al., 2002). En un análisis foliar la concentración adecuada de magnesio es de 0.30% (siete meses del cultivo) (López y Espinosa, 1995).

2.6.2. Micronutrientes

Los micronutrientes, aunque se encuentran en pequeñas cantidades no dejan de ser importantes para el desarrollo del plátano durante todo su ciclo. Entre estos elementos tenemos hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B) y zinc (Zn). El Fe, se utiliza en bajas cantidades, por lo general el suelo puede suplir al cultivo de plátano, excepto en suelos alcalinos, por lo que no se incluye en el plan de fertilización. En la planta el Fe, es importante

en la formación de proteínas reductoras como el citocromo en los cloroplastos e interviene en procesos de respiración de la planta. La forma que absorben las plantas el Fe es como Fe^{2+} (ferroso) (López y Espinosa, 1995; Vélez y Berger, 2011). La deficiencia de este elemento se ve reflejada en las hojas más jóvenes con clorosis intervenal (Vélez y Berger, 2011). También se puede observar toxicidad, en suelos altos en Fe (suelos ácidos), caracterizado por necrosis en el borde de las hojas viejas de plátano (López y Espinosa, 1995).

En cuanto al Mn, es esencial como activador de enzimas en los procesos de respiración y metabolismo del N. Además, interviene en la fotosíntesis, ya que ayuda a la síntesis de la clorofila (López y Espinosa, 1995). La deficiencia de este elemento, se refleja en la clorosis marginal entre las venas de las hojas jóvenes, con manchas necróticas en el haz de la hoja. Esta necrosis, puede causar la muerte prematura las hojas y por ende un pobre desarrollo de la fruta, ocasionado por la falta de acumulación de productos de la fotosíntesis. Otro de los problemas que puede presentarse en suelos ácidos, es la toxicidad en las plantas de plátano por Mn (López y Espinosa, 1995; Robinson y Galán, 2010). Sin embargo, Robinson y Galán (2010) mencionan que en estudios con concentraciones foliares mayores de $6,000 \text{ mg Kg}^{-1}$, no han observado que se afecte el rendimiento.

Por otro lado, el B a nivel de campo no es comúnmente deficiente, es por esto que los planes de fertilización muchas veces no lo incluyen, va a variar de acuerdo al agroecosistema. La función que cumple en la planta, es la formación de paredes celulares, desarrollo radicular y metabolismo de ácidos nucleicos (ADN y ARN). Cuando existe deficiencia las flores y frutos se ven afectados. Es absorbido por la planta como H_3BO_3 y B(OH)^{4-} (suelos ácidos), no tiene mucha movilidad en la planta (López y Espinosa, 1995;

Vélez y Berger, 2011). Los síntomas de deficiencia de este elemento en el plátano se reflejan en las hojas nuevas (rayas cloróticas perpendiculares), mala formación de la hoja bandera (hoja emergente), pobre desarrollo radical (necrótico) y deformación del racimo. En algunos casos cuando la deficiencia es severa se confunde con los síntomas de Ca o virus que afectan el cultivo de plátano (López y Espinosa, 1995).

Por último, el Zn es uno de los microelementos que reporta mayor deficiencia en cultivos de plátano y banano a nivel de campo, sobretodo en suelos altos en Ca y arenosos (López y Espinosa, 1995). Esto se debe a que el Zn se encuentra combinado con la materia orgánica o unida a las arcillas. Además su solubilidad disminuye en suelos alcalinos (pH alto) (Vélez y Berger 2011). La función que tiene el Zn es que interviene en reguladores de crecimiento (auxinas), forma parte de enzimas catalíticas, co-catalíticas o estructurales, en la replicación del ADN (López y Espinosa, 1995; Vélez y Berger, 2011). La deficiencia de Zn produce retraso en el crecimiento y desarrollo de las plantas y rayas cloróticas-blanquesinas paralelas a las venas, en hojas nuevas, que pueden confundir con virosis. También la toxicidad de este elemento, por aplicaciones foliares, presenta los mismos síntomas (López y Espinosa, 1995).

CAPÍTULO II

SISTEMA INTEGRADO LEGUMINOSAS-PLÁTANO (*Musa acuminata* x *balbisiana*, AAB) EN ISABELA, PUERTO RICO

1 INTRODUCCIÓN

En Puerto Rico, los plátanos (*Musa acuminata* x *balbisiana*, AAB) son considerados como alimento básico y fuente principal de ingresos agrícolas (Irizarry y Goenaga, 1995). En el año 2012, este cultivo generó un ingreso bruto de \$81 millones en un área de 9,080 ha (Census of Agriculture, 2012). La producción de plátano estaba concentrada principalmente en la región montañosa de la Isla, pero debido al incremento de la demanda de frutos de alta calidad, altos costos y a la disponibilidad de áreas mecanizables e infraestructura en el llano, se ha ido desplazando hacia otros agroecosistemas (Goenaga et al., 1995), como por ejemplo Isabela.

Este cultivo demanda grandes cantidades de N (Irizarry y Montalvo, 1995) y es afectado por malezas, plagas y enfermedades que, de no ser manejadas adecuadamente, afectan significativamente su producción y generan grandes pérdidas económicas (Alvarado y Díaz, 2007). La deficiencia de N se muestra en el amarillamiento del follaje joven, la reducción de altura y diámetro, maduración tardía y bajos rendimientos (Terry, 1996). Esta deficiencia generalmente se corrige fertilizando con fuentes inorgánicas, pero actualmente el costo elevado de estos insumos es una limitación. Las malezas compiten por agua, luz y

nutrientes, por ello es importante su control en los primeros seis meses del cultivo (Pinilla y García, 2002). Existen diferentes estrategias de control, sin embargo en la actualidad el uso de herbicidas es una práctica común. Esta práctica, de no ser operada adecuadamente, puede generar consecuencias negativas como la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, fitotoxicidad en otros cultivos y erosión del suelo (Pinilla y García, 2002).

Dentro de las alternativas agroecológicas para el control de malezas y aportación de N, se encuentran las leguminosas cobertoras. Nicholls y Altieri (2006) mostraron que al utilizar un sistema de leguminosa-gramínea-cucurbitácea, disminuyeron las malezas, manteniendo estable el sistema sin la necesidad de utilizar fertilizantes y herbicidas. Rotar y Joy (1983) utilizaron ‘Tropic Sun’ y mostraron que a los 60 días aporta 158 Kg N ha^{-1} . Bunch (1990) cuando utilizó canavalia en cafetales, demostró que esta leguminosa provee 200 Kg N ha^{-1} . Finalmente, el gandul también es una alternativa para controlar malezas y contribuir N. Así lo demuestran Shety y Rao (1981), quienes determinaron que en sistemas de intercultivo de gandul con sorgo o maíz, esta leguminosa controló las malezas entre 50 – 75 %.

En Puerto Rico, el uso de leguminosas como cobertura para controlar malezas y aportar N, en sistemas integrados con plátano, no ha sido documentado. Por lo tanto, se justifica desarrollar investigaciones para identificar leguminosas de alta producción de biomasa y alta descomposición en este tipo de sistemas que contribuyan a minimizar el uso de agroquímicos e incrementar los rendimientos.

2 OBJETIVOS

- a. Evaluar un sistema integrado de leguminosas (SIL) {canavalia [*Canavalia ensiformis* (L.) DC.], crotalaria cv. Tropic Sun [*Crotalaria juncea* L.] y gandul cv. Lázaro [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]} y siembra convencional (SC) con el clon Maricongo (*Musa acuminata* x *balbisiana*, AAB), y medir su efecto en control de malezas y aporte de Nitrógeno.
- b. Determinar el efecto de los SIL y SC sobre el crecimiento vegetativo y sobre los parámetros de producción del clon Maricongo.
- c. Comparar la composición mineral de macro (N, P, K, Ca y Mg) y micronutrientes (Fe, Mn, B y Zn) en las hojas del clon Maricongo, tanto de los SIL como de la SC.
- d. Evaluar la incidencia de picudo en los cormos de las plantas productoras del clon Maricongo en los SIL y la SC.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Establecimiento de los cultivos

3.1.1 Localización

El experimento se estableció el 13 de junio del 2013 en la EEA en Isabela, perteneciente al Colegio de Ciencias Agrícolas, Recinto Universitario de Mayagüez. La EEA en Isabela se encuentra ubicada en la zona noroeste de la Isla a 18° 30' latitud norte, 67° 00' longitud oeste y 128 msnm. Esta cuenta con una precipitación promedio anual de 1,592 mm (Figura 1). El experimento se mantuvo bajo riego por goteo en las épocas de bajas precipitaciones. La temperatura promedio anual fue de aproximadamente 25°C, variando en el año entre los 20 y los 31°C. El orden de suelo en Isabela es un Oxisol de la serie Coto (bien fino, caolinítico, isohipertérmico Eustruox Tipico) (Beinroth et al., 2003).

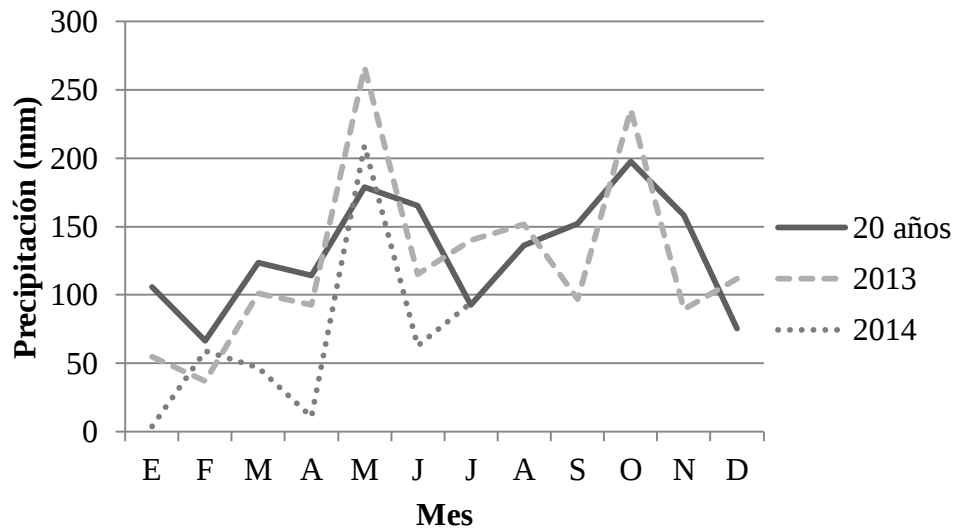


Figura 1. Precipitación promedio mensual (mm) en los últimos 20 años y del 2013 y 2014 en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, Puerto Rico.

3.1.2 Muestreo de suelo y siembra

En este estudio, se realizaron dos muestreos de suelo, el primero fue previo al establecimiento de los cultivos, recolectando una muestra compuesta (500-600 g), con diseño de cuadrícula, utilizando un barreno (0-15 cm de profundidad). Una vez recolectada la muestra, se secó al aire libre, pasó por un proceso de molienda y por un tamiz 10 de 2 mm. El análisis se llevó a cabo en el Laboratorio Central Analítico de la Universidad de Puerto Rico, en Río Piedras (Apéndice 1). El segundo muestreo, se realizó a los 10 meses DDS del clon Maricongo, recolectando una muestra de suelo por tratamiento en cada unidad experimental (zig-zag), a una profundidad de 0-15 cm. El análisis se realizó en el Laboratorio de Química de la Estación de Investigaciones en Agricultura Tropical, Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola (USDA, ARS-TARS) (Apéndice 2).

3.1.3 Siembra

El área utilizada previa al experimento se encontraba cultivada con Yautía (*Xanthosoma sagittifolium*) y como maleza predominante el pasto Johnson (*Sorghum halepense*). La superficie fue de 1,320 m² (40 x 33 m). La preparación del suelo se realizó con labranza convencional (pase de arado y rastra). La siembra de plátano se hizo manual con cormos no tratados del clon tipo falso-cuerno Maricongo. Los cormos se sembraron en parcelas de 6 m x 9 m en tres hileras (seis plantas por hilera) a una distancia de 3 m entre hilera x 1.5 m entre planta, con un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con tres repeticiones.

Posteriormente, se sembraron los SIL (cuatro hileras de ‘Tropic Sun’ y ‘Lázaro’ mecánicamente y la canavalia manual) a 60 cm entre hilera y 5 cm entre planta el ‘Tropic Sun’ y ‘Lázaro’ y 15 cm la canavalia. A los 90 días DDS, los SIL se cortaron y se dejaron sobre la superficie del suelo (cobertura muerta) durante dos semanas y una vez descompuestas se resembraron (tres etapas de siembra).

3.2 Prácticas culturales

A las seis semanas DDS del clon Maricongo, se realizó una aplicación de Fusilade®DX¹ (Fluazifop-P-butyl(R)-2-4-[[5-trifluoromethyl]-2-pyridinyl]oxy]phenoxy]propanoate) a 1.5 L ha⁻¹ para el control de pasto Johnson en todas las unidades experimentales, seguido por Gramoxone®SL² (Paraquat Dichloride, 1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridinium dichloride) a 1.5 L ha⁻¹ en cada hilera del plátano. Gly Star® Plus³ (Glyphosate, N-(phosphonomethyl) Glycine) (3 L ha⁻¹) se aplicó entre las hileras del plátano una semana antes de las resiembra del SIL.

Se aplicó 335 Kg ha⁻¹ de N, 25 Kg ha⁻¹ de P, 647 Kg ha⁻¹ de K y 59 Kg ha⁻¹ de Mg, siguiendo las recomendaciones del Conjunto Tecnológico para la Producción de Plátanos y Guineos (Irizarry y Montalvo, 1995). Se utilizaron dos fertilizantes, el 15-5-10-3 (N, P₂O₅, K₂O, MgO) que se distribuyó a los dos (15%), cinco (23%) y ocho meses (31%) y el 10-5-20-3 (N, P₂O₅, K₂O, MgO) a los 10 meses (31%). Estos se aplicaron alrededor del pseudotallo.

¹ Syngenta®. Ingrediente activo: 24.5%. .

² Syngenta®. Ingrediente activo: 30.1%.

³ Agri Star®. Ingrediente activo: 41%.

Para el manejo de Sigatoka, se siguió la metodología descrita por Lardizabal (2007). Durante el experimento (dos veces), las hojas con un estado avanzado de Sigatoka (70-80%) se cortaron y se colocaron con el envés a ras del suelo o fueron sacadas fuera del predio para evitar que sean fuente de inóculo.

3.3 Medición de variables de respuesta

3.3.1 Biomasa de malezas y leguminosas

Se realizó el reconocimiento de malezas al inicio del estudio, identificándose *Sorghum halepense*, *Echinochloa colona*, *Cyperus rotundus*, *Eleusine indica*, *Commelina diffusa*, *Emilia fosbergii*, *Ipomoea purpurea*, *Mimosa púdica*, *Amaranthus hybridus* y *Portulaca oleracea*. A los 90 días DDS del clon Maricongo, se realizó un muestreo en cada tratamiento para estimar la biomasa de malezas. Además, se determinó la biomasa de los SIL. En la SC, el material fresco de las malezas se recolectó utilizando un cuadrante de 0.25 m² (cuatro muestras) cortando a ras del suelo en zig-zag. Los SIL se muestrearon cosechando un área de 5.4 m² en la hilera central. Ambos materiales se pesaron y luego se tomaron submuestras representativas (500-600 g) de cada uno. Estas submuestras se secaron en un horno durante 48 horas a 65°C para determinar el % de MS y calcular el rendimiento de MS (Kg ha⁻¹). La biomasa de los SIL se evaluó, en cada etapa de siembra y durante el primer ciclo de producción del clon Maricongo.

3.3.2 Composición mineral de las leguminosas

Las submuestras secadas de los SIL se molieron en un Wiley Mill (pasaron por un cedazo de 1 mm) y se utilizaron para determinar la concentración de N acorde con el método Kjeldahl usando bloques de digestión y vapor de destilación (Foss, 2002). La aportación de N (Kg ha^{-1}) se estimó de acuerdo a la siguiente fórmula $\%N \times \text{Kg MS ha}^{-1}$ de los SIL. También, se determinaron K y Mg en los SIL mediante el método de “dry ashing” y la concentración de ambos elementos se detectaron por espectrometría de absorción atómica (Perkin-Elmer, 1994).

3.3.3 Crecimiento vegetativo del clon Maricongo

Seis plantas de la hilera central de cada unidad experimental, se seleccionaron para evaluar altura (desde la base de la planta hasta el punto donde el racimo emerge) y diámetro del pseudotallo (0.50 m de altura a los tres meses y luego a 1 m de altura sobre el nivel del suelo). Estas mediciones se tomaron a los tres, cinco y siete meses, y al inicio de floración siguiendo la metodología descrita por Irizarry et al. (2002). A inicios de floración, se contabilizó el número de hojas funcionales (sin daño de Sigatoka), número de brotes (hijos de espada y agua) y días desde la siembra a floración.

3.3.4 Análisis foliar del clon Maricongo

A los tres, cinco, siete meses y al inicio de floración se tomaron muestras de tejido de la tercera hoja más joven contando desde la parte superior (Irizarry et al., 2002). Las muestras se secaron, molieron en un Wiley Mill y se determinó la concentración de N por el

método de Kjeldahl descrito anteriormente. El P, K, Ca, Mg y micronutrientes (Fe, Mn, B, Zn) se procesaron por el método de “dry ashing” y se analizaron por espectrometría de absorción atómica. Los análisis de N y nutrientes en las hojas del clon Maricongo y los SIL, se realizaron en el Laboratorio de Química de la Estación de Investigaciones en Agricultura Tropical, Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola (USDA, ARS-TARS).

3.3.5 Parámetros de producción del clon Maricongo

De acuerdo a la metodología recomendada por Irizarry et al. (2001), se evaluaron los parámetros de maduración en el fruto. En donde, las aristas (bordes) desaparecen, tienden a redondear cuando están llenos, cambian de verde oscuro a claro y las flores de las puntas desaparecen. Una vez cosechado el racimo, se pesó con raquis (Kg) y luego se pesó el raquis por separado, para estimar el peso neto del racimo (Kg). Para estimar el rendimiento del clon Maricongo (Mg ha^{-1}), se consideró el peso neto promedio del racimo en cada unidad experimental. También, se contabilizó el número manos y frutas (dedos comerciables) por racimo en cada tratamiento. La tercera (desde la parte superior) y última mano se pesaron (Kg) y luego de estas se tomaron tres frutos de la parte central. De estos frutos se midieron el diámetro (parte central) y longitud externa (pedicelo hasta el ápice) (Goenaga et al., 1993; Irizarry et al., 2002).

3.3.6 Incidencia de picudo

El muestreo de picudo, se realizó al final de la cosecha en los cormos de las plantas productoras en cada unidad experimental. Se inspeccionó visualmente el daño ocasionado (galerías) y en las primeras tres plantas cosechadas (orden cronológico) se contabilizó el número de larvas, pupas y adultos por cormo.

3.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Para la mayoría de variables de respuesta se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) con Medidas Repetidas en el Tiempo (PROC MIXED), en un diseño de BCA, con tres repeticiones y cuatro tratamientos [SIL (canavalia, 'Tropic Sun', 'Lázaro') y SC (sin cobertura)]. Los tratamientos y el tiempo como efecto fijo y bloques, bloque x sistemas, bloque x tiempo como efectos aleatorios. Las variables evaluadas fueron: biomasa y aportación de N de las leguminosas, altura y diámetro de pseudotallo y análisis foliares en el clon Maricongo. Cuando existieron diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizó una separación de medias utilizando los cuadrados mínimos (LSMEANS) con la opción PDIF.

Las variables de crecimiento vegetativo muestreadas a inicio de floración y la biomasa y aportación de N total se analizaron a través de un BCA con un ANOVA utilizando un Modelo Lineal General (GLM). De haber diferencias significativas, se realizó la prueba de separación de medias de LSD Fisher ($p < 0.05$). Los parámetros de producción, fueron analizados a través de un BCA con un ANOVA. Se utilizó un análisis de Contrastes Ortogonales [SIL vs. SC (Contraste 1), canavalia vs. 'Tropic Sun' y 'Lázaro' (Contraste 2),

‘Tropic Sun’ vs. ‘Lázaro’ (Contraste 3)]. Todas las variables fueron analizadas en el programa “Statistical Analysis System” (SAS versión 9.1®) (SAS, 2009).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Malezas

Se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos para rendimiento de MS de malezas, donde la SC mostró altas cantidades ($3,094 \text{ Kg MS ha}^{-1}$), predominando el pasto Johnson. En los SIL no se encontró malezas (100% de control). Esto se debe a que, las leguminosas cobertoras generan sombra y producen posibles sustancias alelopáticas heterotóxicas que inhiben el crecimiento de otras plantas. Por lo que, son utilizadas en sistemas integrados de cultivos para el control de malezas (De Albuquerque et al., 2011). Así tenemos por ejemplo el ‘Tropic Sun’ que es utilizado principalmente en rotación con vegetales, para controlar malezas (Rotar y Joy, 1983). Esta leguminosa, también emana sustancias alelopáticas (alcaloide dehydropyrrolizidine) a través de extractos en las raíces, hojas, hojas y semillas inhibiendo el desarrollo de las malezas (Colegate et al., 2012).

Otros estudios demuestran el efecto positivo del uso de plantas cobertoras. Ramos-Hernández et al. (2011) reportó que la leguminosa *Arachis pintoii* como cobertora, en una plantación ya establecida de plátano, redujo las malezas en un 70.5%. Similar a este estudio, Gutierrez et al. (2002) utilizando tres leguminosas (*Centrosema plumieri*, *Teramnus labialis* y *Stylosanthes guianensis*) como cobertura viva, en asociación con el plátano FHIA-03 (tres

años), demostraron que *Teramnus labialis* presentó el mejor establecimiento y controló significativamente ($p < 0.05$) las malezas en comparación a las otras leguminosas. Por último, Camal-Maldonado et al. (2001) utilizando canavalia y mucuna (mulch), señala que la más efectiva suprimiendo malezas fue la mucuna con más del 68% de control. Estos resultados, al igual que este estudio, demuestran que el uso de leguminosas en sistemas integrados con plátano controlan las malezas.

4.2 Biomasa y aportación de N de las leguminosas

Se encontró una interacción ($p < 0.05$) entre los SIL x etapa de siembra, para rendimiento de MS (Tabla 1). En la etapa primera siembra (junio-septiembre), se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) en la producción de MS de los SIL, donde ‘Tropic Sun’ obtuvo la mayor cantidad de biomasa ($13,800 \text{ Kg MS ha}^{-1}$) y canavalia la menor ($5,546 \text{ Kg MS ha}^{-1}$). En la segunda (octubre-enero) y tercera etapa de siembra (febrero-mayo) la canavalia mostró el mayor rendimiento de MS ($2,105$ y $1,382 \text{ Kg ha}^{-1}$, respectivamente) vs. los otros SIL. Además, en estas etapas se observó una disminución significativa en el rendimiento de MS de los SIL.

Los resultados no mostraron una interacción significativa ($p > 0.05$) entre los SIL x etapa de siembra, para aportación y concentración de N (Tabla 2). Sin embargo, las etapas de siembra mostraron diferencia significativa ($p < 0.05$) para el rendimiento promedio de MS y aportación promedio de N. Por lo que, la primera etapa obtuvo el mayor rendimiento de MS ($9,271 \text{ Kg ha}^{-1}$) y aportación de N (244 Kg ha^{-1}) a diferencia de la segunda y tercera etapa. En cuanto a la concentración de N, los SIL no presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$).

Tabla 1. Cuadros mínimos (Lsmeans) para rendimiento de materia seca de tres sistemas integrados de leguminosas en asociación con el clon Maricongo, en tres etapas de siembra en Isabela, Puerto Rico.

SIL ¹	Etapa de siembra		
	1 ²	2	3
	Kg ha ⁻¹		
Canavalia	5546.00 ^{b3}	2104.67 ^a	1382.00 ^a
Tropic Sun	13800.00 ^a	875.00 ^b	192.33 ^b
Lázaro	8467.67 ^{ab}	865.67 ^b	424.00 ^b
Error estándar	431.73		
SILxES ⁴	<.0001		

¹Sistema Integrado de Leguminosas; ²1=junio-septiembre, 2=octubre-enero, 3=febrero-mayo;

³Lsmeans con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes (p<0.05);

⁴Etapa de siembra.

Tabla 2. Cuadros mínimos (Lsmeans) para rendimiento de materia seca, aportación y concentración de N de tres sistemas integrados de leguminosas en asociación con el clon Maricongo, durante tres etapas de siembra en Isabela, Puerto Rico.

Etapa de siembra	MS ²	Aportación de N	Concentración de N
	Kg ha ⁻¹		%
1 ¹	9271.33 ^{a3}	243.83 ^a	2.63 ^a
2	1281.78 ^b	31.78 ^b	2.48 ^a
3	666.11 ^b	15.52 ^b	2.33 ^a
Error estándar	249.26	16.38	0.14

¹1=junio-septiembre, 2=octubre-enero, 3=febrero-mayo; ²Materia seca; ³Lsmeans con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes (p<0.05).

Se encontró diferencias significativas (p<0.05) entre los SIL, en relación a la MS total durante todo el ciclo del clon Maricongo y concentración de N (Tabla 3). De modo que, el ‘Tropic Sun’ mostró el mayor rendimiento de MS (14,868 Kg ha⁻¹) y la canavalia la mayor concentración de N (2.73%). Los SIL mostraron diferencias significativas (p<0.05) con respecto a la aportación total de N, durante el primer ciclo de producción del clon Maricongo, donde el ‘Tropic Sun’ mostró mayor contenido de N (327 Kg ha⁻¹) vs. los otros SIL.

Tabla 3. Rendimiento total de materia seca, aportación total y concentración promedio de N de tres sistemas integrados de leguminosas en el primer ciclo de producción del clon Maricongo en Isabela, Puerto Rico.

SIL ¹	MS ² total	Aportación de N total	Concentración de N
	Kg ha ⁻¹		%
Canavalia	9032.67 ^{b3}	246.67 ^b	2.73 ^a
Tropic Sun	14868.33 ^a	327.10 ^a	2.20 ^b
Lázaro	10485.00 ^b	263.17 ^b	2.51 ^{ab}

¹Sistema Integrado de leguminosas; ²Materia Seca; ³Letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes según LSD (p>0.05).

El rendimiento de MS y la concentración de N, varían entre especies de leguminosas, generalmente estas incrementan con el crecimiento de la planta (Creamer y Baldwin, 2000). Así tenemos por ejemplo que en este estudio los rendimientos de MS de ‘Tropic Sun’ fueron variables en cada etapa de siembra. Santos et al. (2011) reportaron rendimientos promedios de MS entre 10,886 (71 días) y 15,873 Kg ha⁻¹ (92 días), en una siembra establecida en junio. Mientras que la siembra realizada en noviembre fue menor (4,522 y 6,409 Kg ha⁻¹, a los 71 y 92 días respectivamente). La canavalia no presenta datos previos de MS a los 90 días en Puerto Rico. Sin embargo, en Brasil, Cavalcante et al. (2012) reportaron rendimientos de 3,000 Kg MS ha⁻¹ a los 90 días para esta leguminosa. Por otro lado, ‘Lázaro’ no muestra rendimientos previos de MS, debido a que es un cultivar nuevo desarrollado por la EEA de Isabela-Puerto Rico (Bosques-Vega, 2014).

La mayor producción de MS de las leguminosas se concentró en los meses de junio-septiembre (primera etapa de siembra), lo cual coincide con la época de días largos en Puerto Rico. Esto demuestra que, las leguminosas son sensibles al fotoperiodo, por lo que concentran la mayor producción de biomasa en días largos (Carlo, 2009; Rotar y Joy, 1983; Santos et al., 2011). Además, rendimientos bajos de MS son reportados en épocas de días

cortos. (Carlo, 2009; Santos et al., 2011). Esto concuerda con lo determinado en la segunda y tercera etapa de siembra del presente estudio, donde los SIL presentaron rendimientos de MS menores de 2,104 Kg ha⁻¹. La menor producción de ‘Lázaro’ no es atribuible al fotoperiodo según Bosques-Vega (2014), ya que esta variedad no es fotosensible. Por lo tanto, diferencias en biomasa podría deberse a la humedad, ya que los ciclos de menor producción coinciden con los meses de menor precipitación (Figura 1). En adición, Azevedo et al. (2006), señala que la biomasa de las leguminosas cobertoras puede verse afectada por la sombra proporcionada por el plátano, pues se disminuye el proceso de fotosíntesis.

Por otro lado, el aporte total acumulado de N de estas leguminosas (Tabla 3), durante el primer ciclo de producción del clon Maricongo, es similar a los promedios reportados por Azevedo et al. (2006) de tres leguminosas perennes (kudzu tropical, maní forrajero y siratro) en asociación con plátano.

4.3 Crecimiento vegetativo

No se encontró interacción ($p > 0.05$) entre los tratamientos x etapa de crecimiento del clon Maricongo, para altura y diámetro del pseudotallo. Además, no se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los tratamientos en número de hojas y número de hijos (Tabla 4). La altura y el diámetro del pseudotallo, en el primer ciclo de producción del clon Maricongo, concuerdan con lo reportado por Azevedo et al. (2006). Irish et al. (2013) reportaron valores de altura (3.94 m) y diámetro (19 cm), para este clon en una SC, con leves diferencias a los promedios determinados en el presente estudio. También, Irizarry et al.

(2001) mostraron valores de 3.4 m de altura y 16.5 cm de diámetro similares a los de esta investigación en una SC.

Tabla 4. Parámetros de crecimiento vegetativo del clon Maricongo en la etapa de floración, en un sistema integrado con leguminosas y siembra convencional en Isabela, Puerto Rico.

Tratamiento	Altura (m)	Diámetro (cm)	Número de hojas	Número de hijos
Canavalia	3.03 ^{a2}	15.01 ^a	9.00 ^a	7.67 ^a
Tropic Sun	3.07 ^a	15.54 ^a	10.00 ^a	7.00 ^a
Lázaro	3.02 ^a	15.23 ^a	9.67 ^a	7.33 ^a
SC ¹	2.99 ^a	15.11 ^a	10.00 ^a	8.00 ^a
Promedio	3.03	15.20	10.00	8.00

¹Siembra convencional; ²Letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes según LSD ($p > 0.05$).

4.4 Análisis foliar

No se encontró interacción ($p > 0.05$) entre los tratamientos x etapa de crecimiento del clon Maricongo para concentración foliar. Sin embargo, se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos en cuanto a la concentración de K. De manera que, los SIL con canavalia y ‘Lázaro’ presentaron las mayores concentraciones vs. los otros tratamientos (Tabla 5). Los tratamientos mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las diferentes etapas de muestreo para las concentraciones de macro y micronutrientes en el clon Maricongo (Tabla 6, 7, 8 y 9).

Estos resultados muestran que los SIL no solo son fuente de N para el plátano, sino también pueden hacer disponibles otros nutrientes como el K (Ozores-Hampton, 2012). En el presente estudio la extracción de los SIL fue de 281, 241 y 204 Kg K ha⁻¹ para canavalia, ‘Tropic Sun’ y ‘Lázaro’, respectivamente. Estas aportaciones no difieren entre los SIL, sin

embargo, el aumento de la concentración foliar de K en el clon Maricongo, en asociación con canavalia, podría atribuirse a que este nutriente estuvo disponible más rápido para el plátano, debido a que, la canavalia tiene diferente morfología (mayor área foliar y menos tallos lignificados) que los otros SIL. En adición, en condiciones tropicales la descomposición de este tipo de especies de plantas (canavalia) es más rápida, ya que tiene una alta fracción lábil y una leve fracción recalcitrante (Del Valle-Arango, 2003; Jenny et al., 1949).

Otros estudios realizados por Sánchez et al. (2009) reportaron que ‘Tropic Sun’ y canavalia, en asociación con café, extrajeron 97 y 43 Kg K ha⁻¹, respectivamente. Valadares et al. (2012) encontraron que la canavalia y ‘Tropic Sun’ en asociación con maíz contribuyeron 104 y 60 Kg K ha⁻¹. Además, estos autores mencionan que el comportamiento de estas leguminosas varía de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas.

Tabla 5. Cuadrados mínimos (Lsmeans) para concentración foliar de macronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con leguminosas y siembra convencional en Isabela, Puerto Rico.

Tratamiento	Concentración Foliar (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
Canavalia	3.29 ^a	0.19 ^a	2.81 ^{a1}	0.88 ^a	0.37 ^a
Tropic Sun	3.54 ^a	0.19 ^a	2.54 ^b	0.98 ^a	0.38 ^a
Lázaro	3.34 ^a	0.19 ^a	2.67 ^{ab}	0.98 ^a	0.39 ^a
SC ²	3.41 ^a	0.19 ^a	2.53 ^b	0.93 ^a	0.38 ^a
Error estándar	0.058	0.004	0.072	0.068	0.020

¹Lsmeans con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes (p<0.05);

²Sistema convencional.

Tabla 6. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con canavalia en Isabela, Puerto Rico.

	Etapas de muestreo			Floración	p<0.05
	3	5	7		
	meses				
Macronutrientes (%)					
N	3.62	3.24	3.10	3.20	<.0001
P	0.21	0.19	0.20	0.18	<.0001
K	2.95	2.88	3.29	2.11	<.0001
Ca	0.78	0.93	0.76	1.05	0.1647
Mg	0.32	0.39	0.37	0.37	0.0007
Micronutrientes (mg Kg⁻¹)					
Fe	86.33	60.00	124.33	82.67	<.0001
Mn	1385.67	896.00	1023.00	1130.00	<.0001
B	8.30	11.76	10.25	19.35	<.0001
Zn	36.00	17.33	65.67	27.33	0.0112

Tabla 7. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con 'Tropic Sun' en Isabela, Puerto Rico.

	Etapas de muestreo			Floración	p<0.05
	3	5	7		
	meses				
Macronutrientes (%)					
N	4.09	3.51	3.46	3.13	<.0001
P	0.21	0.19	0.20	0.17	<.0001
K	2.73	2.81	2.76	1.87	<.0001
Ca	1.16	1.00	0.88	0.87	0.1647
Mg	0.35	0.42	0.42	0.32	0.0007
Micronutrientes (mg Kg⁻¹)					
Fe	91.00	81.33	129.67	87.33	<.0001
Mn	1740.67	1419.00	1402.67	992.67	<.0001
B	7.71	15.08	11.89	16.41	<.0001
Zn	49.00	32.00	51.67	21.00	0.0112

Tabla 8. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con 'Lázaro' en Isabela, Puerto Rico.

	Etapas de muestreo			Floración	p<0.05
	3	5	7		
	meses				
Macronutrientes (%)					
N	3.89	3.26	2.97	3.27	<.0001
P	0.21	0.20	0.19	0.18	<.0001
K	2.88	2.72	3.01	2.06	<.0001
Ca	0.87	1.06	0.96	1.03	0.1647
Mg	0.36	0.43	0.40	0.38	0.0007
Micronutrientes (mg Kg⁻¹)					
Fe	93.67	64.00	149.67	98.33	<.0001
Mn	1419.00	778.67	1241.33	1068.33	<.0001
B	7.85	10.45	12.56	17.27	<.0001
Zn	57.00	18.33	99.00	19.67	0.0112

Tabla 9. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en la siembra convencional en Isabela, Puerto Rico.

	Etapa (meses)			Floración	p<0.05
	3	5	7		
Macronutrientes (%)					
N	3.82	3.45	3.22	3.19	<.0001
P	0.20	0.19	0.19	0.17	<.0001
K	2.83	2.57	2.97	1.74	<.0001
Ca	0.82	1.06	0.81	1.05	0.1647
Mg	0.33	0.44	0.39	0.37	0.0007
Micronutrientes (mg Kg⁻¹)					
Fe	93.67	66.00	140.67	95.33	<.0001
Mn	1451.33	879.00	1247.67	1257.67	<.0001
B	8.01	10.85	11.33	14.74	<.0001
Zn	56.33	41.67	77.00	17.33	0.0112

Las concentraciones de N y Mg, disminuyen a lo largo del primer ciclo de producción del plátano. La acumulación de N, se da principalmente en la etapa vegetativa (6 meses). La concentración foliar del K, disminuye después de los siete meses (inicio de la etapa reproductiva). El fósforo, muestra poca disminución después de los tres meses. De este

modo, se concuerda con lo determinado por Irizarry y colaboradores (1981), en Puerto Rico, donde al realizar curvas de respuesta y extracción de nutrientes con el clon Maricongo, determinaron que el consumo de N incrementa a partir de los cuatro meses (etapa vegetativa) y el contenido de K disminuye antes de los nueve meses (etapa de floración). Mientras que el contenido de P y Mg, tuvieron variaciones no consistentes a lo largo del ciclo. Aunque, el Ca no presentó variaciones en este experimento, estos autores mencionan que el consumo de este elemento incrementa en los últimos tres meses antes de la cosecha. En adición, Robinson y Galán (2010) señalan que ciertos nutrientes como N y P disminuyen con la edad del plátano.

Irizarry y colaboradores (1986; 1995), indican que un cultivo de plátano en Puerto Rico, con buenos niveles de fertilización, a los siete meses debe mostrar las siguientes concentraciones de macronutrientes: 2.90-3.25% de N, 0.17-0.20% de P, 3.00-3.80% de K; 0.50-0.80% de Ca y alrededor de 0.30% de Mg. En lo que concierne a este experimento, las concentraciones foliares a los siete meses de N (3.19%) y P (0.19%), se encuentran dentro del rango mencionado anteriormente. El Ca y Mg, presentan valores superiores a los rangos establecidos, en 0.05 y 0.09%, respectivamente.

Además, estos resultados muestran que tanto los macro como los micronutrientes se encontraban disponibles para el plátano, pese a que estaba establecido en un suelo Oxisol (Tabla 1), confirmando lo reportado por López y Espinosa (1995); Rodríguez-García et al. (1985), en donde el cultivo de plátano se adapta tanto a suelos ácidos como alcalinos.

4.5 Rendimiento

Contrastes ortogonales (SIL vs. SC, canavalia vs. ‘Tropic Sun’ y ‘Lázaro’, ‘Tropic Sun’ vs. ‘Lázaro’) no mostraron diferencias significativas ($p>0.05$) en ninguna de las variables de producción del plátano (Tabla 10). Por el contrario, Azevedo y colaboradores (2006) mostraron que la productividad (Mg ha^{-1}) del plátano aumento al estar en un sistema integrado con tres leguminosas vs. un sistema de vegetación espontánea. También, estos autores mencionan el aumento de las siguientes variables de producción: número de frutas y manos por racimo; peso del racimo, frutos y manos y días entre siembra a cosecha. Además, se redujeron los días de siembra a cosecha. En adición, Gutiérrez y colaboradores (2002) determinaron que al tener un sistema integrado de plátano FHIA-03 con la leguminosa *Teramnus labialis*, el rendimiento, peso del racimo, número y peso de manos, número y peso de frutos, aumentaron en comparación con el control (sin leguminosa) y sistemas con las leguminosas *Centrosema plumieri* y *Stylosanthes guianensis*. Estos estudios, difieren del presente experimento en que las leguminosas se encontraban establecidas alrededor de dos años presiembra del plátano y la fertilización de los sistemas con leguminosas se realizó con fertilizante orgánico (estiércol), P y K.

Los promedios obtenidos de cada variable de producción del clon Maricongo, varían con experimentos anteriores de siembras convencionales. Así tenemos que, en los días de floración a cosecha y llenado del fruto, Irish et al. (2013), Irizarry et al. (2001) e Irizarry y Goenaga (1995) muestran valores adicionales en 21, 16 y 24 días, respectivamente, para el llenado de la fruta, al valor de este presente experimento (84 días). Incluso, los días para

llenado de fruta del presente estudio son menores al rango determinado (90-120 días). Esto se debe, a los altos niveles de N mostrados en el análisis foliar (Tablas 6, 7, 8 y 9), ya que el N es el nutriente que interviene en el llenado del fruto y hace que el tiempo de llenado se reduzca (Robinson y Galán, 2010).

El peso neto de racimo promedio (15.82 Kg), difiere de los valores presentados por Irish et al. (2013), Irizarry et al. (2001) y Goenaga e Irizarry (2006) (16.5, 21.4 y 20.1 Kg, respectivamente). El diámetro y longitud promedio de la tercera (4.95 y 30.33 cm) y última mano (4.76 y 26.83 cm), son menores que los mostrados por Irizarry et al. (2001) (tercera mano: 5.59 y 30.4 cm; última mano: 5.41 y 28.7 cm), excepto la longitud de la tercera mano. Por el contrario, estos valores son mayores a los determinados por Irish et al. (2013) en esta misma variedad, teniendo 4.41 cm de diámetro y 28 cm de longitud, para la tercera mano. El peso promedio de la tercera (2.60 Kg) y última mano (1.13 Kg), son menores a los valores (3.33 y 1.40 Kg, respectivamente) determinados por Irizarry et al. (2001). Sin embargo, el peso promedio de la tercera mano coincide con el valor (2.70 Kg) presentado por Irish y colaboradores (2013).

4.6 Incidencia de picudo

No se encontró diferencias significativas ($p>0.05$) entre los tratamientos en relación al número de picudos por cormo, debido a que estos fueron escasos (1-2 picudos) entre los tratamientos. Un estudio por Gold y Messiaen (2000) muestra que el umbral económico es de cinco picudos por cormo. Además, estos autores mencionan que se observó el 40% de daño en el tercer ciclo de producción del plátano.

Tabla 10. Parámetros de producción del clon Maricongo en un sistema integrado con leguminosas y siembra convencional en Isabela, Puerto Rico.

Tratamiento	DC ¹	DFC ²	PNR ³ (Kg)	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)	#Frutas	Frutas de la Tercera Mano			Frutas de la Última Mano		
						Peso (Kg)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Peso (Kg)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
Canavalia	349	87	16.10	35.80	42	2.55	31.00	5.20	1.20	27.66	5.03
Tropic Sun	375	84	16.56	36.79	41	2.46	30.33	4.96	1.11	27.66	4.76
Lázaro	367	80	15.20	33.83	42	2.66	29.66	4.76	1.16	26.00	4.60
SC ⁴	364	83	15.40	34.25	43	2.72	30.33	4.86	1.05	26.00	4.63
Promedio	364	83.5	15.82	35.18	42	2.60	30.33	4.95	1.13	26.83	4.76
SIL ⁵ vs. SC	0.9366 ⁹	0.8093	0.6944	0.7355	0.6714	0.5467	1.0000	0.4422	0.2180	0.2903	0.3954
C ⁶ vs. TS ⁷ y L	0.1347	0.2521	0.0938	0.8981	0.9656	0.9612	0.3734	0.0515	0.4473	0.4465	0.1133
TS vs. L ⁸	0.6213	0.4670	2.8016	0.5094	0.8230	0.5465	0.6011	0.2688	0.5818	0.2029	0.4843

¹Días a cosecha; ² Días entre floración y cosecha; ³Peso neto del racimo; ⁴ Siembra convencional; ⁵Sistema integrado de leguminosas;

⁶Canavalia; ⁷Tropic Sun; ⁸Lázaro; ⁹Significativo a p<0.05.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio en el noroeste de Puerto Rico ilustra el potencial de las leguminosas cobertoras en un sistema integrado con plátano al controlar malezas y aportar N, ya que se demostró un 100% de control de las malezas con los SIL en comparación con la SC. Además, los SIL presentaron un aporte bruto promedio de N de 279 Kg ha⁻¹, en el primer ciclo de producción del clon Maricongo, lo cual indica que en la etapa de plantilla, estas podrían suplir los requerimientos de este nutriente en el plátano. Sin embargo, esto depende de la época de siembra de las leguminosas debido a respuestas fotoperiódicas (Ej., ‘Tropic Sun’). Los tratamientos no afectaron el desarrollo y rendimiento del clon Maricongo (3.03 m, 15.22 cm, y 35.18 Mg ha⁻¹ de altura, diámetro del pseudotallo y rendimiento, respectivamente). El SIL con canavalia mostro mayor concentración de K (2.81%) sobre el SIL con ‘Tropic Sun’ y SC, aunque los otros nutrientes no se vieron afectados. Pese a que, los SIL presentaron beneficios en este estudio (Ej. aportación de N), estos no influenciaron en el rendimiento del plátano. Por otro lado, investigaciones posteriores al Conjunto Tecnológico para la Producción de Plátanos y Guineos realizados por Irizarry et al. (2002), señalan que rendimientos máximos en plátano son alcanzados con 240 Kg N ha⁻¹. Por lo que, se recomienda establecer un estudio a largo plazo (2-5 años), donde las leguminosas se encuentren como cobertura en un periodo de 2-3 años (presiembradel plátano). Después, realizar un análisis de suelo, previo a la siembra del plátano, para observar el contenido de nutrientes y establecer niveles de fertilización.

CAPÍTULO III

SISTEMA INTEGRADO LEGUMINOSAS-PLÁTANO (*Musa acuminata* x *balbisiana*, AAB) EN COROZAL, PUERTO RICO

1 INTRODUCCIÓN

La producción de plátano en Puerto Rico se concentra en las zonas montañosas, donde Corozal es uno de los principales productores con un total de 312 ha (Census of Agriculture, 2012). El 90% de los clones que se cultivan pertenece al clon tipo falso-cuerno Maricongo, ya que es preferido por el consumidor por poseer frutos de alta calidad y excelentes características nutricionales y culinarias (Goenaga e Irizarry, 2006; Irizarry y Goenaga, 1995).

Los suelos en las zonas montañosas se caracterizan por ser ácidos, de baja fertilidad y pobre drenaje (González-Vélez, 2012). Es por esto, que el manejo nutricional del plátano es importante para obtener un óptimo desarrollo de la planta y frutos (Espinosa y Mite, 2002; Irizarry et al., 2002; López y Espinosa, 1995). Este cultivo tiene una gran demanda de N y K (Irizarry y Montalvo, 1995; Robinson y Galán, 2010), por lo que estos nutrientes se deben distribuir en intervalos del crecimiento vegetativo activo (Robinson y Galán, 2010). Generalmente, la suplementación de estos nutrientes se realiza a través de fuentes inorgánicas, pero el aumento en los precios de estos insumos y el impacto ambiental negativo que generan al utilizarse incorrectamente, ha hecho que se busquen otras alternativas.

La utilización de leguminosas cobertoras en asociación con plátano, es una alternativa para mejorar la productividad de estos suelos. Entre las leguminosas con potencial se encuentran la canavalia, crotalaria cv. Tropic Sun y el gandul. Trabajos por Li et al. (2012) señalan que ‘Tropic Sun’ en rotación con vegetales aporta entre 382 a 505 Kg N ha⁻¹. Por otro lado, Martin et al. (2007) reportan que la canavalia en sistemas de rotación con otros cultivos (Ej. maíz, papa, calabaza, malanga) aporta 150 Kg N ha⁻¹. Finalmente, Zayas et al. (2010) trabajando con gandul en asociación con maíz, indican que aporta 165 Kg N ha⁻¹.

En las zonas montañosas (Corozal) de Puerto Rico, no existe información acerca del uso de leguminosas cobertoras en asociación con plátano para suplir nutrientes (N). Esto justifica desarrollar una investigación que documente el beneficio de estas leguminosas en sistemas de producción de plátano.

2 OBJETIVOS

- a. Evaluar un sistema integrado de leguminosas (SIL) {canavalia [*Canavalia ensiformis* (L.) DC.], crotalaria cv. Tropic Sun [*Crotalaria juncea* L.] y gandul cv. Lázaro [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]} y siembra convencional (SC) con el clon Maricongo (*Musa acuminata* x *balbisiana*, AAB), para medir su aporte de Nitrógeno.
- b. Determinar el efecto de los SIL y SC sobre el crecimiento vegetativo y parámetros de producción del clon Maricongo.
- c. Comparar la composición mineral de macro (N, P, K, Ca y Mg) y micronutrientes (Fe, Mn, B y Zn) en las hojas del clon Maricongo, tanto de los SIL como de la SC.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Establecimiento de los cultivos

3.1.1. Localización

El experimento se estableció el 26 de junio del 2013 en la EEA de Corozal perteneciente al Colegio de Ciencias Agrícolas, Recinto Universitario de Mayagüez. La EEA de Corozal está ubicada en la región central montañosa de Puerto Rico, a 18° 34' latitud norte y 200 msnm, con una precipitación promedio anual de 2,276 mm (Figura 2). La temperatura promedio anual oscila entre 19 y 30°C. El tipo de suelo de esta área es un Ultisol de la serie Corozal (Aquic Haplohumults, arcilloso, mixto, isohipertérmico) (Beinroth et al., 2003).

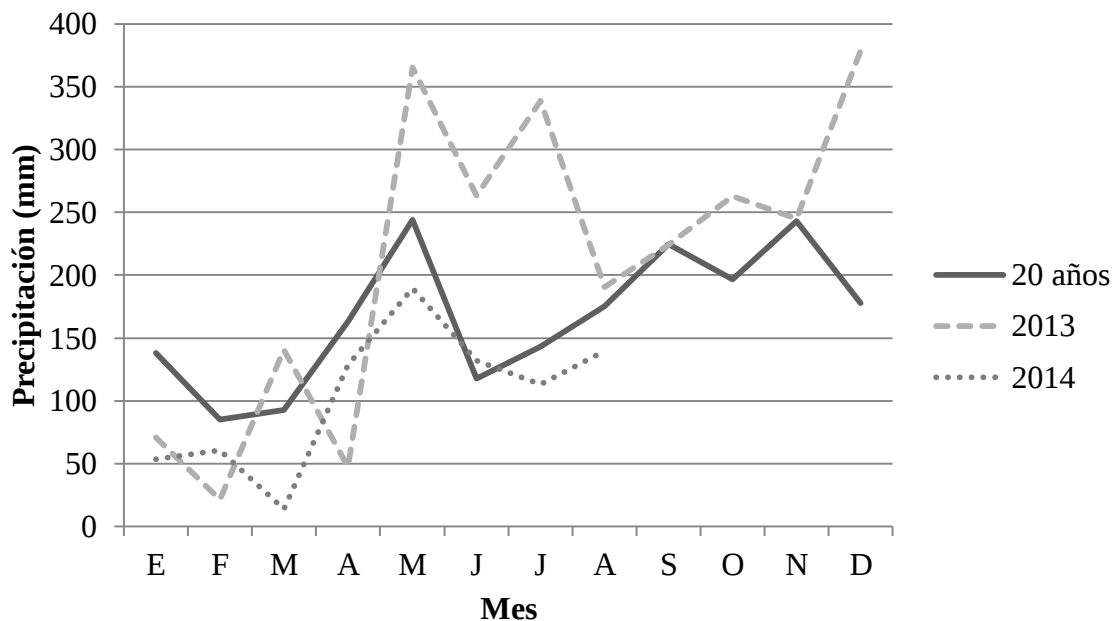


Figura 2. Precipitación promedio mensual (mm) en los últimos 20 años y del 2013 y 2014 en la Estación Experimental Agrícola de Corozal, Puerto Rico.

3.1.2 Muestreo de suelo

Se realizaron dos muestreos de suelo, el primero se hizo presiembra de los tratamientos, utilizando un barreno a 15 cm de profundidad (cuadrícula), se recolectó una muestra compuesta (500-600 g) del área. Esta muestra, se secó al aire libre, pasó por un proceso de molienda y fue tamizada (tamiz 10 de 2 mm). El análisis se llevó a cabo en el Laboratorio Central Analítico de la Universidad de Puerto Rico, en Río Piedras (Apéndice 3).

A los 10 meses DDS del clon Maricongo, se realizó el segundo muestreo recolectando una muestra de suelo (profundidad de 0-15 cm) por SIL y SC en cada unidad experimental (zig-zag). Estas muestras se analizaron en el Laboratorio de Química de la Estación de Investigaciones en Agricultura Tropical, Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola (USDA, ARS-TARS) (Apéndice 4).

3.1.3 Siembra y prácticas culturales

Previo al establecimiento de este estudio, dos meses antes, se aplicó gallinaza (12.5 Mg ha⁻¹), seguido por la aplicación del herbicida preemergente Ametrina 50 SC ⁴ (N2-etil – N4 – isopropil – 6– metitilio – 2,4 – diamina – 1,3,5 – triazina) a 2-4 L ha⁻¹. El área utilizada fue de 1,462 m² (34 x 43 m) y debido al pobre drenaje de estos suelos, se elaboraron camellones. Los cormos del clon tipo falso-cuerno Maricongo, se sumergieron en una solución de Vydate®L ⁵ (Oxamil: S-metil N',N'-dimetil-N-(metilcarbamoiloxi)-1-tio-oxamimidato) con una dosis de 0.5 L por 50 galones de agua durante 10 minutos. Al

⁴ Ingrediente activo: 2-5 Kg i.a. ha⁻¹.

⁵DuPont™. Ingrediente activo: 24%.

sembrarse los cormos se colocaron en el hoyo 28 g de P y se establecieron en 16 parcelas de 6 x 9 m (seis plantas por hilera; 3 m entre hilera x 1.5 m entre planta) en un BCA con cuatro repeticiones.

Los SIL, se sembraron manualmente por la presencia de camellones a 60 cm entre hilera, obteniendo cuatro hileras entre hilera del plátano. El ‘Tropic Sun’ y ‘Lázaro’ se colocaron a 5 cm y la canavalia a 15 cm entre planta. Cada 90 días todos los SIL se cortaron, se dejaron sobre la superficie del suelo (cobertura muerta) durante dos semanas y se resembraron en dos ciclos adicionales.

Las aplicaciones de herbicidas se realizaron en diferentes periodos, a las siete semanas DDS del clon Maricongo se aplicó Gramoxone a 1.5 L ha^{-1} en la SC. En los SIL el control de malezas fue manual. Antes de cada resiembra de los SIL se aplicó Roundup®⁶ (Glifosato; N-(fosfonometil) glicina en forma de sal Isopropilamina) a 5 L ha^{-1} en toda el área. A los cinco y siete meses, se aplicó Vydate®L (4.5 L ha^{-1}), para el control preventivo de nemátodos y picudo.

El plan de fertilización del clon Maricongo, se basó en las recomendaciones del Conjunto Tecnológico para la Producción de Plátanos y Guineos (Irizarry y Montalvo, 1995), aplicándose 335 Kg ha^{-1} de N, 25 Kg ha^{-1} de P, 647 Kg ha^{-1} de K y 59 Kg ha^{-1} de Mg. Se aplicaron dos fertilizantes, el 15-5-10-3 (N, P_2O_5 , K_2O , MgO) que se colocó alrededor del pseudotallo a los dos (15%), cinco (23%) y ocho meses (31%) y el 10-5-20-3 (N, P_2O_5 , K_2O , MgO) a los 10 meses (31%).

⁶ Monsanto imagine™. Ingrediente activo: 48%.

La Sigatoka se controló a partir de los cinco meses, utilizando TILT®PLUS⁷ (Propiconazol:2RS,4RS;2RS,4SR)-1-[2-(2,4-diclorofenil)-4-propil-1,3-dioxolan-2-ilmetil]-1H-1,2,4-triazol y Ciprodinilo:4-ciclopropil-6-metil-N-fenilpirimidin-2-amina), Scala®600 SC⁸ (Pyrimetanil), Abound®⁹ (Azoxyastrobin: methyl (E)-2-{2-[6-(2-cyanophenoxy)pyrimidin-4-yloxy]phenyl}-3-methoxycrylate), fungicida biológico y un fungicida protectante cada mes. Además, se adicionó aceite y emulsificador a los fungicidas, en la época lluviosa. También, se hizo un control cultural con la eliminación de las hojas afectadas. Finalmente, se realizó el desbellote (desflore) y descapote en el plátano cuando el racimo brotó completamente.

3.2 Medición de variables de respuesta

3.2.1 Biomasa de leguminosas

A los 90 días DDS del clon Maricongo, se realizó un muestreo en cada SIL para estimar la MS. Los SIL se muestrearon cosechando un área de 5.4 m² en la hilera central. El material fresco se pesó y luego se tomó submuestras representativas (500-600 g) de cada leguminosa. Estas submuestras se secaron en un horno durante 48 horas a 65°C para determinar el % de MS y calcular el rendimiento de MS (Kg ha⁻¹). La biomasa de los SIL se estimó para cada resiembra y durante el primer ciclo de producción de producción del clon Maricongo.

⁷ Syngenta®. Ingrediente activo: Propiconazol (6.25%) y Ciprodinilo (25%).

⁸ Bayer CropScience. Ingrediente activo: 54.6%.

⁹ Syngenta®. Ingrediente activo:22.9%.

3.2.2 Composición mineral de las leguminosas

Las submuestras secadas de los SIL se molieron en un Wiley Mill (cedazo de 1 mm) y se utilizaron para determinar la concentración de N acorde con el método Kjeldahl usando bloques de digestión y vapor de destilación (Foss, 2002). La aportación de N (Kg ha^{-1}) se estimó de acuerdo a la siguiente fórmula $\%N \times \text{Kg MS ha}^{-1}$ de los SIL. También, se determinaron las concentraciones de K y Mg a través del método de “dry ashing” y se analizaron por espectrometría de absorción atómica (Perkin-Elmer, 1994).

3.2.3 Crecimiento vegetativo del clon Maricongo

En la hilera central de cada unidad experimental se seleccionaron seis plantas para muestrear altura (desde la base de la planta hasta el punto donde el racimo emerge) y diámetro del pseudotallo (0.50 m de altura los tres meses y luego a 1 m de altura sobre el nivel del suelo). Estas mediciones se tomaron a los tres, cinco y siete meses, y al inicio de floración siguiendo la metodología descrita por Irizarry et al. (2002). A inicios de floración, se contabilizó el número de hojas funcionales (sin daño de Sigatoka), número de brotes (hijos de espada y agua) y días desde la siembra a floración.

3.2.4 Análisis Foliar

A los tres, cinco, siete meses y al inicio de floración se tomaron muestras de tejido de la tercera hoja más joven contando desde la parte superior (Irizarry et al., 2002). Las muestras se secaron, molieron en un Wiley Mill y se determinó la concentración de N por el método de Kjeldahl descrito anteriormente. El P, K, Ca, Mg y micronutrientes (Fe, Mn, B,

Zn) se procesaron por el método de “dry ashing” y se analizaron por espectrometría de absorción atómica. Los análisis de N y nutrientes en las hojas del clon Maricongo, se realizaron en el Laboratorio de Química de la Estación de Investigaciones en Agricultura Tropical, Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola (USDA, ARS TARS).

3.2.5 Parámetros de producción del clon Maricongo

De acuerdo a la metodología recomendada por Irizarry et al. (2001), se evaluaron los parámetros de maduración en el fruto. En donde, las aristas (bordes) desaparecen, tienden a redondear cuando están llenos, cambian de verde oscuro a claro y las flores de las puntas desaparecen. Una vez cosechado el racimo, se pesó con raquis (Kg) y luego se pesó el raquis por separado, para estimar el peso neto del racimo (Kg). Para estimar el rendimiento del clon Maricongo (Mg ha^{-1}), se consideró el peso neto promedio del racimo en cada unidad experimental. También, se contabilizó el número manos y frutas (dedos comerciables) por racimo en cada tratamiento. La tercera (desde la parte superior) y última mano se pesaron (Kg) y luego de estas se tomaron tres frutos de la parte central. De estos frutos se midieron el diámetro (parte central) y longitud externa (pedicelo hasta el ápice) (Goenaga et al., 1993; Irizarry et al., 2002).

3.3 Diseño experimental y análisis estadístico

Para analizar las variables de biomasa y aportación de N de las leguminosas, altura y diámetro de pseudotallo y análisis foliares en el clon Maricongo, se utilizó un ANOVA con

Medidas Repetidas en el Tiempo (PROC MIXED), en un BCA con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos [SIL (canavalia, ‘Tropic Sun’, ‘Lázaro’) y SC (sin cobertura)]. Los tratamientos y el tiempo como efecto fijo y bloques, bloque x leguminosas, bloque x tiempo como efectos aleatorios. Cuando hubo diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizó una separación de medias con LSMEANS utilizando la opción PDIF.

Las variables de crecimiento vegetativo muestreadas a inicio de floración, biomasa y aportación de N total de las leguminosas se analizaron a través de un BCA con un ANDEVA utilizando un Modelo Lineal General (GLM). Cuando existió diferencias significativas, se realizó la prueba de separación de medias de LSD Fisher ($p < 0.05$). Los parámetros de producción, fueron analizados a través de un BCA con un ANDEVA. Se utilizó un análisis de Contrastes Ortogonales [SIL vs. SC (Contraste 1), canavalia vs. ‘Tropic Sun’ y ‘Lázaro’ (Contraste 2), ‘Tropic Sun’ vs. ‘Lázaro’ (Contraste 3)]. Todas las variables fueron analizadas en el programa “Statistical Analysis System” (SAS versión 9.1®) (SAS, 2009).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Biomasa y aportación de N de leguminosas

Se encontró interacción ($p < 0.05$) entre los SIL x etapa de siembra con respecto al rendimiento de biomasa en MS (Tabla 11). Donde, en la tercera etapa de siembra (febrero-mayo) hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los SIL. Por lo que, la canavalia obtuvo el mayor rendimiento de MS ($1,142 \text{ Kg ha}^{-1}$). Por otro lado, se encontró diferencias

significativas ($p<0.05$) entre etapas de siembra. De modo que, la mayor producción de biomasa en MS ($3,523.67 \text{ Kg ha}^{-1}$) estuvo concentró en la primera etapa de siembra (junio-septiembre) de las leguminosas (Tabla 12).

Tabla 11. Cuadrados mínimos (Lsmeans) para rendimiento de materia seca de tres sistemas integrados de leguminosas en asociación con el clon Maricongo, en tres etapas de siembra en Corozal, Puerto Rico.

SIL ¹	Etapas de siembra		
	1 ²	2	3
	Kg ha ⁻¹		
Canavalia	4081.00 ^a	486.75 ^a	1142.00 ^{a1}
Tropic Sun	3526.50 ^a	481.00 ^a	165.00 ^b
Lázaro	2963.50 ^a	381.00 ^a	92.40 ^b
Error estándar	445.89		
SIL x ES ⁴	<.0001		

¹Sistema Integrado de Leguminosas; ²1=junio-septiembre, 2=octubre-enero, 3=febrero-mayo;

³Lsmeans con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes ($p<0.05$);

⁴Etapas de siembra.

Se encontraron diferencias significativas ($p<0.05$) entre los SIL en relación a la aportación y concentración de N (Tabla 12). Por lo tanto, la primera siembra (junio-septiembre) tuvo la mayor aportación de N ($75.40 \text{ Kg N ha}^{-1}$), mientras que el segundo ciclo mostró la mayor concentración (2.71%) de este nutriente. Además, la concentración de N mostró diferencias significativas ($p<0.05$) entre los SIL (Tabla 13), donde la canavalia obtuvo el mayor porcentaje (2.53%). Por otro lado, el rendimiento total de MS en el primer ciclo del clon Maricongo no tuvo diferencias significativas ($p>0.05$) entre los SIL (Tabla 13). Se observó diferencias significativas ($p<0.05$) entre los SIL para aportación de N. De modo que, el SIL con canavalia tuvo el mayor contenido de N ($152.66 \text{ Kg N ha}^{-1}$).

Tabla 12. Cuadrados mínimos (Lsmeans) para rendimiento de materia seca, aportación y concentración de N de los sistemas integrados de leguminosas en asociación con el clon Maricongo, durante tres ciclos de siembra en Corozal, Puerto Rico.

Etapas de siembra	MS ²	Aportación de N	Concentración de N
	Kg ha ⁻¹		%
1 ¹	3523.67 ^{a3}	75.40 ^a	2.14 ^b
2	449.58 ^b	12.18 ^b	2.71 ^a
3	574.64 ^b	13.16 ^b	2.29 ^b
Error estándar	257.44	5.51	0.09

¹1=junio-septiembre, 2=octubre-enero, 3=febrero-mayo; ²Materia seca; ³Lsmeans con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes (p<0.05).

Tabla 13. Rendimiento de materia seca y aportación de N total, y concentración de N de los sistemas integrados de leguminosas en el primer ciclo de producción del clon Maricongo en Corozal, Puerto Rico.

SIL ¹	MS ² total	Aportación de N total	Concentración de N
	Kg ha ⁻¹		%
Canavalia	6034.00 ^a	152.66 ^{a3}	2.53 ^a
Tropic Sun	4172.00 ^a	90.11 ^b	2.16 ^b
Lázaro	3365.75 ^a	82.80 ^b	2.46 ^{ab}

¹Sistema integrado de leguminosas; ²Materia seca; ³Letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes según LSD (p>0.05).

Aunque se han realizado investigaciones con estas leguminosas en la EEA de Corozal, no se encuentran reportes documentados de la producción de biomasa en MS. En este estudio se obtuvo la mayor producción de biomasa de canavalia (4,081 Kg ha⁻¹), ‘Tropic Sun’ (3,527 Kg ha⁻¹) y ‘Lázaro’ (2,964 Kg ha⁻¹) durante la primera etapa de siembra. Trabajos realizados por Carlo (2009) mencionan rendimientos de MS de 3,141 y 1,459 Kg ha⁻¹ para canavalia y ‘Tropic Sun’, respectivamente en un suelo Ultisol. Estos rendimientos fueron menores a los valores de este estudio (primera etapa de siembra). Esto muestra que la producción de MS, varía según factores edafoclimáticos (Ej. acidez del suelo y bajas precipitaciones) (Santos et al., 2011).

La mayor producción de MS ($3,524 \text{ Kg MS ha}^{-1}$), se concentra durante la primera etapa de siembra de las leguminosas, que corresponde a los meses de julio-septiembre. Éstos meses, coinciden con la época de días largos en Puerto Rico, lo cual influye en el crecimiento de las leguminosas, pues responden al fotoperiodo (Carlo, 2009; Rotar y Joy, 1983; Santos et al., 2011), excepto ‘Lázaro’ (Bosques et al., 2014). Además, las leguminosas en la primera siembra, se establecieron durante los primeros tres meses del crecimiento del plátano, por lo que la disminución de biomasa en las otras siembras, podría atribuirse a la sombra generada por el plátano.

Asimismo, la disminución de la biomasa y aportación de N de los SIL en esta localidad, podría ser influenciada por las características del suelo como el pH. En suelos ácidos, las bacterias y la producción de nódulos disminuyen, ya que no tienen disponibles ciertos nutrientes esenciales para la fijación de N como el Mo y P (INPI, 2012; Molina et al., 2006). En adición, Carlo (2009) señala que en suelos bajos en materia orgánica y altas cantidades de aluminio (Apéndice 3), la producción de biomasa de las leguminosas se ve afectada. Finalmente, la mayor aportación de N (75.40 Kg ha^{-1}) se concentró en el primer ciclo de las leguminosas (Tabla 12).

4.2 Crecimiento vegetativo

No se encontró interacción ($p>0.05$) entre los tratamientos x etapas de crecimiento del clon Maricongo para altura. Sin embargo, se encontró interacción ($p<0.05$) entre los tratamientos x etapas de crecimiento, en relación al diámetro del pseudotallo (Tabla 14). A los siete meses DDS, el diámetro del pseudotallo del clon Maricongo en el SIL con ‘Tropic

Sun’ presentó el mayor promedio (14 cm) vs. los otros tratamientos. En floración, el diámetro promedio de los plátanos en el SIL con ‘Tropic Sun’ fue mayor a la SC. Las variables de crecimiento vegetativo del plátano, medidas en la etapa de floración, no presentaron diferencias significativas ($p>0.05$). Los promedios de altura, número de hojas e hijos en esta etapa fueron 3.7 m, 10 hojas y 8 hijos.

Tabla 14. Cuadrados mínimos (Lsmeans) para diámetro del pseudotallo del clon Maricongo en cuatro etapas de crecimiento, en asociación con sistemas integrados de leguminosas y siembra convencional; en Corozal, Puerto Rico.

Tratamiento	Etapas de muestreo (meses)			
	3	5	7	Floración
	Diámetro (cm)			
Canavalia	3.88 ^a	8.72 ^a	12.03 ^{c1}	16.79 ^{ab}
Tropic Sun	5.07 ^a	9.59 ^a	13.99 ^a	17.18 ^a
Lázaro	5.03 ^a	9.46 ^a	12.40 ^b	16.68 ^{ab}
SC ⁴	5.17 ^a	9.25 ^a	12.29 ^b	15.40 ^b
Error estándar	0.51			
T ² x EM ³	0.0204			

¹Lsmeans con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes ($p<0.05$);

²Tratamiento; ³Etapas de muestreo; ⁴Siembra convencional.

González-Vélez (2012) menciona que el aumento en diámetro del pseudotallo puede estar relacionado con la aplicación de enmiendas orgánicas como abonos verdes, gallinaza, entre otras. Irizarry y Green (1977) reportaron que el incremento en el diámetro del pseudotallo estuvo relacionado con el aumento en el peso del racimo. A inicios de floración los promedios de altura y diámetro de este estudio, presentan leves diferencias a lo reportado por Irish et al. (2013). Irizarry et al. (2001), donde estos autores mostraron valores de 3.4 m de altura y 16.5 cm de diámetro, lo cual es similar en altura pero difiriendo en el diámetro del SIL con ‘Tropic Sun’ (17.2 cm).

4.3 Análisis foliar

Se encontró interacción ($p < 0.05$) entre los tratamientos x etapa de crecimiento del clon Maricongo para concentraciones de K y Mg (Tabla 15 y 16). A los tres meses la SC muestra la concentración de K más alta (4.01%), a los cinco meses la concentración de K con ‘Tropic Sun’ (4.48%) difiere de la SC (4.09%) pero no de las otros SIL (Tabla 15). Por otro lado, a los tres meses la concentración de Mg (0.23%) de la SC fue mayor que el SIL con canavalia (0.17%) (Tabla 16). A los cinco meses y a los siete meses, el SIL con canavalia (0.22% Mg) fue diferente de la SC (0.18% Mg) (Tabla 16). Todos los tratamientos presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las concentraciones de macro y micronutrientes, en las diferentes etapas de muestreo del clon Maricongo (Tablas 17, 18, 19 y 20).

Tabla 15. Cuadrados mínimos (Lsmeans) para la concentración foliar de potasio del clon de Maricongo en un sistema integrado de leguminosas y siembra convencional en Corozal, Puerto Rico.

Tratamiento	Etapas de muestreo (meses)			
	3	5	7	Floración
	%K			
Canavalia	3.31 ^{b1}	4.25 ^{ab}	4.25 ^a	2.99 ^a
Tropic Sun	3.84 ^b	4.48 ^a	4.26 ^a	3.03 ^a
Lázaro	3.53 ^b	4.18 ^{ab}	4.14 ^a	3.09 ^a
SC ⁴	4.01 ^a	4.09 ^b	4.05 ^a	3.20 ^a
Error estándar	0.11			
T ² x EM ³	0.0041			

¹Letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes según LSMEANS ($p < 0.05$);

²Tratamiento; ³Etapas de muestreo; ⁴Siembra convencional.

Tabla 16. Cuadrados mínimos (Lsmeans) para la concentración foliar de magnesio del clon de Maricongo en un sistema integrado de leguminosas y siembra convencional en Corozal, Puerto Rico.

Tratamiento	Etapas de muestreo (meses)			
	3	5	7	Floración
	%Mg			
Canavalia	0.17 ^{b1}	0.22 ^a	0.22 ^a	0.19 ^a
Tropic Sun	0.21 ^{ab}	0.19 ^{ab}	0.20 ^{ab}	0.17 ^a
Lázaro	0.21 ^{ab}	0.19 ^{ab}	0.21 ^{ab}	0.18 ^a
SC ⁴	0.23 ^a	0.18 ^b	0.18 ^b	0.18 ^a
Error estándar	0.01			
T ² x EM ³	0.0012			

¹Lsmeans con diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes (p<0.05);

²Tratamiento; ³Etapas de muestreo; ⁴Sistema convencional.

Los resultados encontrados en este experimento muestran que los SIL pueden hacer más disponibles el K y Mg (Ozores-Hampton, 2012). En esta localidad, los SIL extrajeron 119, 83 y 66 Kg K ha⁻¹ y 15, 8 y 5 Kg Mg ha⁻¹ para canavalia, ‘Tropic Sun’ y Lázaro, respectivamente. Sin embargo, a los cinco meses las diferencias entre los tratamientos en cuanto a las concentraciones foliares del clon Maricongo de K y Mg, respectivamente, podrían atribuirse a la aplicación de gallinaza (previo al establecimiento de este sistema) y no a los SIL debido a la baja producción de biomasa.

La acumulación de N, se da principalmente en la etapa vegetativa (6 meses), cuando inicia la etapa reproductiva se mantiene constante, mientras que la acumulación del K se da a los siete meses (inicio de la etapa reproductiva) y disminuye en floración. El consumo de Ca aumenta en floración. Esto concuerda con lo reportado por Irizarry y colaboradores (1981) quienes al realizar curvas de respuesta y extracción de nutrientes con el clon Maricongo, determinaron que el consumo de N incrementa a partir de los cuatro meses (etapa vegetativa) y el contenido de K disminuye antes de los nueve meses (etapa de floración). Además, estos

autores mencionan que el consumo de Ca incrementa en los últimos tres meses antes de la cosecha. Por otro lado, la concentración de P y Mg, disminuyeron en floración. En adición, Robinson y Galán (2010) señalan que ciertos nutrientes como N y P disminuyen con la edad del plátano.

Tabla 17. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con canavalia en Corozal, Puerto Rico.

	Etapas de muestreo			Floración	p<0.05
	3	5	7		
	meses				
Macronutrientes (%)					
N	4.42	4.33	3.95	3.95	<.0001
P	0.24	0.25	0.24	0.18	<.0001
K	3.31	4.25	4.25	2.99	<.0001
Ca	0.72	0.71	0.72	0.77	<.0001
Mg	0.17	0.22	0.22	0.19	0.0025
Micronutrientes (mg Kg⁻¹)					
Fe	105.85	67.33	85.08	71.40	<.0001
Mn	1702.25	1555.00	2173.25	1814.07	0.0007
B	8.44	9.20	16.45	20.20	<.0001
Zn	23.99	19.34	44.18	30.95	0.0610

Tabla 18. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con 'Tropic Sun' en Corozal, Puerto Rico.

	Etapas de muestreo			Floración	p<0.05
	3	5	7		
	meses				
Macronutrientes (%)					
N	4.52	4.07	3.75	3.75	<.0001
P	0.24	0.24	0.23	0.17	<.0001
K	3.84	4.48	4.26	3.03	<.0001
Ca	0.87	0.71	0.68	0.81	<.0001
Mg	0.21	0.19	0.20	0.17	0.0025
Micronutrientes (mg Kg⁻¹)					
Fe	109.82	73.67	82.75	74.38	<.0001
Mn	1571.75	1614.50	1781.75	1361.18	0.0007
B	8.81	10.20	17.58	21.24	<.0001
Zn	31.03	17.05	25.18	28.93	0.0610

Tabla 19. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en un sistema integrado con ‘Lázaro’ en Corozal, Puerto Rico.

	Etapas de muestreo			Floración	p<0.05
	3	5	7		
	meses				
Macronutrientes (%)					
N	4.57	4.05	3.78	3.78	<.0001
P	0.25	0.23	0.22	0.16	<.0001
K	3.53	4.18	4.18	4.14	<.0001
Ca	0.93	0.62	0.65	0.78	<.0001
Mg	0.21	0.19	0.21	0.18	0.0025
Micronutrientes (mg Kg⁻¹)					
Fe	126.50	48.19	76.13	77.88	<.0001
Mn	1527.25	1196.20	1469.25	1256.40	0.0007
B	9.32	10.62	16.67	16.77	<.0001
Zn	62.48	17.49	16.19	40.37	0.0610

Tabla 20. Concentración foliar de macro y micronutrientes del clon Maricongo, en la siembra convencional en Corozal, Puerto Rico.

	Etapa (meses)			Floración	p<0.05
	3	5	7		
Macronutrientes (%)					
N	4.37	3.98	3.77	3.77	<.0001
P	0.24	0.23	0.23	0.17	<.0001
K	4.01	4.09	4.05	3.20	<.0001
Ca	0.90	0.65	0.66	0.69	<.0001
Mg	0.23	0.18	0.18	0.18	0.0025
Micronutrientes (mg Kg⁻¹)					
Fe	121.67	72.70	98.64	82.19	<.0001
Mn	1477.75	1367.25	1704.25	1252.08	0.0007
B	8.01	9.69	17.44	21.99	<.0001
Zn	23.49	27.46	20.73	32.53	0.0610

La acumulación de N, se da principalmente en la etapa vegetativa (6 meses), cuando inicia la etapa reproductiva se mantiene constante, mientras que la acumulación del K se da a los siete meses (inicio de la etapa reproductiva) y disminuye en floración. El consumo de Ca

aumenta en floración. Esto concuerda con lo reportado por Irizarry y colaboradores (1981) quienes al realizar curvas de respuesta y extracción de nutrientes con el clon Maricongo, determinaron que el consumo de N incrementa a partir de los cuatro meses (etapa vegetativa) y el contenido de K disminuye antes de los nueve meses (etapa de floración). Además, estos autores mencionan que el consumo de Ca incrementa en los últimos tres meses antes de la cosecha. Por otro lado, la concentración de P y Mg, disminuyeron en floración. En adición, Robinson y Galán (2010) señalan que ciertos nutrientes como N y P disminuyen con la edad del plátano.

Irizarry et al. (1986; 1995), reportan que un cultivo de plátano con buenos niveles de fertilización, a los siete meses debe mostrar las siguientes concentraciones de macronutrientes: 2.90-3.25% de N, 0.17-0.20% de P, 3.00-3.80% de K; 0.50-0.80% de Ca y alrededor de 0.30% de Mg. En cuanto a las concentraciones foliares promedio del presente estudio, a los siete meses el N, P y K presentan valores superiores al valor más alto de los rangos establecidos, en 0.56, 0.03 y 0.39%, respectivamente. El Ca se encuentran dentro del rango y el Mg es menor en 0.10%. Estas diferencias pueden atribuirse a que se aplicaron enmiendas orgánicas (gallinaza y leguminosas). En el caso del Mg, la deficiencia mostrada en este análisis podría deberse un posible antagonismo, entre K y Mg, por los niveles altos de K. Además, a que este nutriente es limitante en suelos erosionados (Martínez et al., 2002).

4.4 Rendimiento

En esta localidad, el rendimiento del clon Maricongo se vio afectado por el viento y la fluctuación de las precipitaciones mensuales en el año 2014 (enero-agosto) (Figura 2), debido a que, durante la etapa de floración y fructificación, no se distribuyeron uniformemente las lluvias. Aunque, las precipitaciones en el año 2014 durante los meses de junio-agosto siguieron un patrón a los últimos 20 años, hubo periodos diarios de sequía y altas precipitaciones. Esto impidió que las plantas de plátano puedan asimilar el agua proveniente de la lluvia, debido a las altas tasas de evapotranspiración y escorrentía, ya que las plantas de plátano requieren 150 mm distribuidos mensualmente (Cayón, 2004). Como consecuencia, se produjo la ruptura del pseudotallo, lo que causo efectos negativos en la producción, como racimos de menor peso y su formación incompleta. Además, las bajas precipitaciones en el cultivo de plátano producen el cierre prematuro de estomas durante el día reduciendo la tasa fotosintética, esto retrasa el desarrollo de la planta, la emisión foliar es lenta, se reduce el tamaño de hojas e inflorescencia, las hojas se secan y las vainas foliares se marchitan (Cayón, 2004). Lim (2012) señala que demandan alrededor de 1,500-2,500 mm distribuidos en todo el año. Aunque estos requerimientos pueden variar de acuerdo a la región y tipo de clon utilizado. Sin embargo, se reportaron los datos hasta los días de llenado de fruta que alcanzaron cada tratamiento (Tabla 21).

Tabla 21. Variables de producción del clon Maricongo en un sistema integrado de leguminosas y siembra convencional en Corozal, Puerto Rico.

Tratamiento	DC ¹	DFC ²	PNR ³ (Kg)	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)	#Frutas	Frutas de la Tercera Mano			Frutas de la Última Mano		
						Peso (Kg)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Peso (Kg)	Longitud (cm)	Diámetro (cm)
Canavalia	310	78	10.36	23.02	42	2.31	29.00	4.65	0.90	26.79	4.77
Tropic Sun	329	59	10.71	23.80	38	1.96	28.01	4.59	0.77	24.80	4.49
Lázaro	309	62	10.75	23.91	40	1.98	29.49	4.62	0.83	25.46	4.42
Convencional	330	76	13.26	29.48	44	2.12	26.19	4.30	0.92	24.44	4.24

¹Días a cosecha; ² Días entre floración y cosecha; ³Peso neto del racimo.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta investigación realizada en la región montañosa mostró que los SIL tuvieron un aporte bruto promedio de N de 109 Kg ha^{-1} durante el primer ciclo de producción de plátano. Sin embargo, esta aportación no cubre los requerimientos del cultivo de plátano. Los SIL no afectaron la altura del plátano. Sin embargo, en relación al diámetro del pseudotallo, el SIL con ‘Tropic Sun’ a los siete meses (14 cm) y en floración (17 cm) fue diferente de los otros tratamientos. Por otro lado, las concentraciones promedio de K y Mg, en las hojas de plátano, variaron entre los tratamientos. La concentración de K en SIL con ‘Tropic Sun’ (4.5%) fue mayor que la SC (4.0%). En el SIL con canavalia (0.22%) la concentración de Mg fue mayor que en la SC (0.18%), a los cinco y siete meses. En esta localidad, los parámetros de producción de plátano se vieron afectados por sequía y vientos causando la caída prematura el plátano. Por lo tanto, en esta zona se recomienda realizar el establecimiento de plátano en épocas de altas precipitaciones (octubre-noviembre) para evitar pérdidas en el rendimiento. Además, realizar investigaciones con coberturas vivas perennes que puedan tolerar las condiciones edafoclimáticas como la canavalia y el maní forrajero, para determinar su potencial de aportación de N y control de malezas entre hileras y plantas de plátano.

6 LITERATURA CITADA

- Adams, S. 1995. Mayaguez Lab Helps Farmers in the Tropics. Agricultural Research magazine. 3 p.
- Aktar, M., D. Sengupta and A. Chowdhury. 2009. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. Interdisc. Toxicol. 2(1):1-12.
- Alarcón, J y Y. Jiménez. 2012. Manejo fitosanitario del cultivo de plátano (*Musa spp.*). ICA. Bogotá, Colombia. 51 p.
- Altieri, M. 2001. Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. Universidad de California, Bekerly. 27-33 p.
- Altieri, M., P. Rosset and L. Ann. 1998. The potential of Agroecology to combat hunger in the developing world. Vision for Food, Agriculture and the Environnement 2020(55): 1-4.
- Alvarado, A. y M. Díaz. 2007. Guía práctica de plagas y enfermedades en plátano y guineo. Servicio de Extensión Agrícola Colegio de Ciencias Agrícolas Recinto Universitario de Mayagüez. Universidad de Puerto Rico. Mayagüez, Puerto Rico. 1 p.
- Andrade, O. y O. Rodríguez. 2002. Actividad de los enemigos naturales de plagas en barreras vivas asociadas con tabaco. Bioagro 14(3): 123-133.
- Araya, M. 2003. Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de Musáceas en los trópicos: situación actual del manejo de nemátodos en banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el trópico americano. Guayaquil, Ecuador. 79-102 p.
- Armenta, A., C. García, J. Camacho, M. Apodaca, L. Montoya y E. Nava. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. Ra Ximhai 6: 51-56.
- Azevedo, J., J. Marinho, J., A. Perin, M. Grandi, D. Lopes, S. Urquiaga, y R. Nei. 2006. Bananeiras consorciadas com leguminosas herbáceas perenes utilizadas como coberturas vivas. Pesq. Agropec. Bras. 41 (3): 415-420.
- Baca, B., L. Soto, L. y M. Pardo. 2000. Fijación biológica de nitrógeno. Elementos 38: 43-49.
- Barret, O. 1925. The food plants of Puerto Rico. J. Dept. Agric. P.R. 9(2):170-174.
- Beinroth, F., R. Engel, J. Lugo, C. Santiago, S. Ríos, and G. Brannon. 2002. Updated taxonomic classification of the soils of Puerto Rico. Bulletin 303. University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. College of Agricultural Sciences Agricultural Experiment Station. San Juan, Puerto Rico. 38 p.
- Bengtsson, J., J. Ahnström, J. and C. Weibull. 2005. The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. Journal of Applied Ecology. 42: 261-269.
- Bosques-Vega, A. 2014. Gandul cultivar Lázaró: características. Estación Experimental Agrícola de Isabela, Puerto Rico. Comunicación personal.

- Bosques-Vega, A. 2014. Revisión del Conjunto Tecnológico: cultivar Lázaró. 6 p.
- Buckles, D., B. Triomphe and G. Sain. 1998. Cover crops in hillside agriculture: farmer innovation with mucuna. International Maize and Wheat Improvement Center. Ottawa, Canada. 218 p.
- Bunch, R. 2003. Adoption of green manure and cover crops. LEISA Magazine. Tegucigalpa, Honduras. 16-18 p.
- Bunch, R. 1990. Low-input soil restoration in Honduras: the Cantarranas farmer-to-farmer extension project. *Sustainable Agriculture Gatekeeper Series SA23.IIED*, London.
- Camal-Maldonado, J., J. Jiménez-Osornio, A. Torres-Barragán and A. Anaya. 2001. The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. *Agronomy Journal* 93: 27-36.
- Carballo, M. 2001. Opciones para el manejo del picudo negro del plátano. CATIE. Hoja técnica N°36. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 59: i-iv.
- Carlo, S. 2009. Promoting the use of tropical legumes as cover crops in Puerto Rico. Tesis MSc. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Mayagüez, Puerto Rico. 79 p.
- Cavalcante, V., V. Santos, A. dos Santos, M. dos Santos, C. dos Santos y L. Costa. 2012. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 16 (5): 521-528.
- Cayón, D. 2004. Ecofisiología y productividad del plátano (Musa AAB Simmonds). XVI Reunión Internacional ACORBAT. Oxaca, México. 172-183 p.
- Census of Agriculture. 2012. Puerto Rico Island and Municipio data. USDA, National Agricultural Statistics Service. Part 52. 350 p.
- Chen, J. 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use. National Chung Hsing University. Taiwan. 11 p.
- Colegate, S., D. Gardner, R. Joy, M. Betz and E. Panter. 2012. Dehydropyrrolizidine alkaloids, including monoesters with an unusual esterifying acid, from cultivated *Crotalaria juncea* (Sunn Hemp cv. 'Tropic Sun'). *J. Agric. Food Chem.* 60: 3541-3550.
- Cooper, J. and H. Dobson. 2007. The benefits of pesticides to mankind and the environment. *Crop Protection* 26(9):1337-1348.
- COLPROCAH (Colegio de Profesionales en Ciencias Agrícolas de Honduras). 2011. Manejo de plaguicidas botánicos. Fertilizantes y Químicos. 15 p.
- Creamer, N. y K. Baldwin. 2000. An evaluation of summer cover crops for use in vegetable production systems in North Carolina. *HortScience* 35(4): 600-603.

- Dagg, M. and G. Breed. 2003. Biological effects of Mississippi River nitrogen on the northern gulf of Mexico-a review and synthesis. *Journal of Marine Systems* 43:133-152.
- De Albuquerque, M., R. Dos Santos, L. Lima, P. Melo, R. Nogueira, C. Da Câmara and A. Ramos. 2011. Allelopathy, an alternative tool to improve cropping systems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 31: 379-395.
- De la Cruz, R., C. Rojas, H. Lobón y C. Burgos. 2001. El papel de las malezas en la reducción de la lixiviación de nutrientes en cultivos de banano en el trópico húmedo. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 62: 29-37.
- Delaplane, K. 1996. Pesticide usage in the United States: history, benefits, risks, and trends. Cooperative Extension Service. The University of Georgia. Athens Georgia. 6 p.
- Del Valle-Arango, J. 2003. Cantidad, calidad y nutrientes reciclados por la hojarasca fina en bosques pantanosos del pacífico sur colombiano. *Interciencia* 28 (8): 443-449.
- Elmer, W. and J. LaMondia. 1999. Influence of ammonium sulfate and rotation crops on strawberry black root rot. *Plant Disease* 83: 119-123.
- Espinosa, J., S. Belalcazar, A. Chacón y D. Suárez. 1998. Fertilización del plátano en densidades altas. CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). 89 p.
- Espinosa, J. y F. Mite. 2002. Estado actual y futuro de la nutrición y fertilización del banano. IPNI (International Plant Nutrition Institute). Quito, Ecuador. 14 p.
- Eusse, B. 1994. Pastos y forrajes tropicales. 3era Edición. Banco Ganadero, Santa Fé de Bogotá, D. C., Colombia. 320-420 p.
- Everson, R. y D. Gollin. 2003. Assessing the impact of the Green Revolution 1960 to 2000. *Science* 300: 758-762.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2011. Buenas prácticas: barreras vivas. SERVIPRENSA. Guatemala. 6 p.
- FAOSTAT, 2014. Consumo de fertilizantes nitrogenados en el Caribe (en línea). Consultado el 28 de febrero del 2014. Disponible en: http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/*/E
- Foss, T. 2002. The determination of nitrogen according to Kjeldahl using block digestion and steam distillation. Application Note. Höganäs, Sweden. 20 p.
- Gamón, M., E. Sáenz, J. Gil and R. Boluda. 2003. Direct and indirect exogenous contamination by pesticides of rice-farming soils in a Mediterranean wetland. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 44:141-151.
- García, F., O. Ernst, G. Siri and J. Terra. 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. *Soil & Tillage Research* 77: 1-13.
- García, V., E. Fernández, A. Díaz y C. Alvarez. 1977. Efecto de la nutrición potásica en la producción del plátano. *Agrochimica* 21(1-2): 28-36.

- García de la Cruz, R., R. García Espinosa, M. Rodríguez Guzmán, H. González Hernández y H. Palma López. 2006. Efecto de la rotación con leguminosas sobre la productividad del cultivo de piña (*Ananas comosus* [L.] Merr.) y cultivos intercalados en Tabasco, México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* 77: 32-37.
- Giller, K. 2001. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. Second Edition. CABI Publishing, New York. 423 p.
- Gliessman, S. 2000. Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture. CRC Press LLC. United States. 347 p.
- Gliessman, S. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 243 p.
- Goenaga, R. and H. Irizarry. 2006. Yield performance of two french-type plantain clones subjected to bunch pruning. *J. Agric. Univ. P.R.* 90(3-4): 173-182.
- Goenaga, R., H. Irizarry, B. Coleman and E. Ortiz. 1995. Drip irrigation recommendations for plantain and banana grown on the semiarid southern coast of Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P.R.* 79(1-2): 13-26.
- Gold, C. y S. Messian. 2000. El picudo negro del banano *Cosmopolites sordidus*. Inibap, Plagas de *Musa*. Hoja divulgada N°4. 4 p.
- Gómez, R. 2005. Efecto del control de malezas con paraquat y glifosato sobre la erosión y pérdida de nutrimentos del suelo en cafeto. *Agronomía Mesoamericana*. 16(1):77-87.
- González-Vélez, A. 2012. Comportamiento del plátano cuerno de Alce (*Musa* AAB) utilizando gallinaza como enmienda al suelo y nematicidas. *J. Agric. Univ. P.R.* 96(3-4): 155-163.
- Gutiérrez, I., G. Pérez, R. Benega y L. Gómez, L. 2002. Coberturas vivas de leguminosas en el plátano (*Musa* spp.) FHIA 03. *Cultivos Tropicales* 23(3):11-17.
- Guzmán, M. 2003. Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nemátodos y otras plagas asociadas al cultivo de musáceas en los trópicos: situación de la Sigatoka negra en banano y plátano en el trópico americano. Guayaquil, Ecuador. 11-12 p.
- Guzmán, O. 2011. El nemátodo barrenador (*Radopholus similis* [COOB] Thorne) del banano y plátano. *Luna Azul*. 33: 137-153.
- Hartwing, N. 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Science* 50: 688-699.
- Hassan, A. and M. Ahmed. 2007. Influence of different weed control methods on growth, yield, fruit quality and minerals content of Maghrabi banana cultivar. *Journal of Applied Sciences Research* 3(7): 574-580.
- Henriques, W., R. Jeffers, T. Lacher and R. Kendall. 1997. Agrochemical use on banana plantations in Latin America: perspectives on ecological risk. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16:91-99.

- Hernández, Y., M. Marín y J. García, J. 2006. Respuesta en el rendimiento del plátano (*Musa* AAB cv. Hartón) en la función de la nutrición mineral y en su ciclo fenológico. Parte I. Crecimiento y producción. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 24: 607-626.
- Hernández-González, M., G. Jiménez-Garcés, F. Jiménez-Albarrán y M. Arceo-Guzmán. 2007. Caracterización de las intoxicaciones agudas por plaguicidas: perfil ocupacional y conductas de uso de agroquímicos en una zona agrícola del estado de México, México. Rev. Int. Contam. Ambient. 23 (4) 159-167.
- Hurtado, L., A. Núñez, A., G. Quintana y Y. Rodríguez. 2006. Actividad de los enemigos naturales de plagas en barreras vivas asociadas con tabaco. Centro Agrícola 33: 45-50.
- Innocent, Y., I. Dzomeku and Y. Drisah. 2007. Time of planting *Mucuna* and *Canavalia* in an intercrop system with maize. Department of Soil Science. Department of Agronomy. Faculty of Agriculture. University of Ghana. Legon, Ghana. Journal of Agronomy 6(4): 534-540.
- INPI (International Plant Nutrition Institute). 2012. Efectos del fósforo en la fijación de nitrógeno. Informaciones Agronómicas. 56: 12-13.
- Irish, B., A. Crespo, R. Goenaga, N. Randall and T. Ayala. 2009. Ploidy level and genomic composition of *Musa* spp. Accessions at the USDA-ARS Tropical Agriculture Research Station. J. Agric. Univ. PR. 93(1-2):1-21.
- Irish, B., R. Goenaga, C. Rios, J. Chavarria and R. Ploetz. 2013. Evaluation of banana hybrids for tolerance to black leaf streak (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) in Puerto Rico. Crop Protection. 54: 229-238.
- Irizarry, H., F. Abruña, J. Rodríguez and N. Díaz. 1981. Nutrient uptake by intensively managed plantains as related to stage of growth at two locations. J.Agric. Univ. PR. 65 (4):331-345.
- Irizarry, H. and R. Goenaga. 1995. Yield and quality of 'Superplátano' (*Musa*, AAB) grown with drip irrigation in the semiarid region of Puerto Rico. J.Agric. Univ. PR. 79(1-2):1-11.
- Irizarry, H. and J. Green. 1977. Pseudostem diameter as an index of relative bunch weight in plantains. J.Agric. Univ. PR. 61(2): 250-252.
- Irizarry, H., R. Goenaga and U. Chardón. 2002. Nitrogen fertilization in banana grown on a highly weathered soil of the humid mountain region of Puerto Rico. J.Agric.Univ.P.R. 86(1-2):15-26.
- Irizarry, H., R. Goenaga and E. González. 2001. Characterization and grouping of plantain clones on the basis of their genomic constitution and morphological traits of economic importance. J.Agric.Univ.P.R. 85 (3-4):105-126.
- Irizarry, H. y R. Montalvo. 1995. Conjunto tecnológico para la producción de plátanos y guineos. Publ. 1997. Esta. Exp. Agric., Universidad de Puerto Rico. 24 p.

- Irizarry, H., J. Rodríguez-García and N. Díaz. 1985. Selection and evaluation of highyielding horn-type plantain clones in Puerto Rico: an explanation for their behavior. *J.Agric.Univ.P.R.* 69(3):407-420.
- Isaac, W., R. Brathwaite, J. Cohen and I. Bekele. 2007. Effects of alternative weed management strategies on *Commelina diffusa* Burm. Infestations in Fairtrade banana (*Musa* spp.) in St. Vincent and the Grenadines. *Crop Protection* 26:1219-1225.
- Jenny, H., S. Gessel and F. Bingham. 1949. Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Science* 68: 419-432.
- Kamara, A. 2001. Nutrición, regulación del crecimiento y desarrollo vegetal. Intrakam, S.A. de C.V. México. 14 p.
- Lardizabal, R. 2007. Manual de producción de plátano de alta densidad. EDA (Entrenamiento y Desarrollo de Agricultores). FHIA. La Lima, Honduras. 38 p.
- Lahav, E. 1995. Banana nutrition. *Bananas and Plantains*. 258-316 p.
- Li, Y., E. Hanlon, W. Klassen, Q. Wang, T. Olczyk and I. Ezenwa. 2012. Cover crops benefits for South Florida commercial vegetable producers. University of Florida IFAS (Institute of Food and Agriculture Sciences) Extension. SL-242. 7 p.
- Liebman, M. 1997. Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable: sistemas de policultivos. Editorial Nordan-Comunidad. Montevideo, Argentina. 191-202 p.
- Liebman, M. and E. Dick. 1993. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications* 3, 92-122.
- Lim, T. 2012. *Musa acuminata* x *balbisiana* (AAB Group) 'Horn Plantain'. Springer Netherlands. v. 3. 535-543 p.
- López, A. y J. Espinosa. 1995. Manual de nutrición y fertilización del banano. International Plant Nutrition Institute. Quito, Ecuador. 86 p.
- Martin, G., R. Rivera y A. Perea. 2013. Efecto de canavalia, inoculación micorrízica y dosis de fertilizante nitrogenado en el cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*. 34 (4): 60-67
- Mau, R. and Martin, K. 2007. *Cosmopolites sordidus* Germar. *Crop Knowledge Master*. Honolulu, Hawaii. 1 p.
- Martínez, G., V. Snyder, M. Vázquez, A. González and J. Guzmán. 2002. Factors affecting magnesium availability to plantains in highly weathered soils. *J. Agric. Univ. P.R.* 86(1-2) 1:13.
- McDonald, G., L. Gettys, J. Ferrell and B. Sellers. 2013. Herbicides for natural area weed management. *Agricultural and Biological Sciences* 10: 5772-56183.
- McIntyre, B., C. Gold, I. Kashaija, H. Ssali, G. Night and D. Bwamiki. 2001. Effects of legume intercrops borne pests, biomass, nutrients and soil water in banana. *Biology and Fertility of Soils*. 34(5): 342-348.
- Meneses, A., L. Pocasangre, E. Somarriba, A. Riveros y F. Rosales. 2003. Diversidad de hongos endofíticos y abundancia de nemátodos en plantaciones de banano y plátano

- de la parte baja de los territorios indígenas de Talamanca. *Agroforestería en las Américas* 10 (37-38): 59-62.
- Molina, M., M. Medina y H. Orozco. 2006. El efecto de la interacción *Frankia*-micorrizas-micronutrientes en el establecimiento de árboles Aliso (*Alnus acuminata*) en sistemas silvopastoriles. *Rev. Col. Cien. Pec.* 19(1): 39-48.
- Morales, R. 2006. Manejo de nemátodos fitoparasíticos utilizando productos naturales y biológicos. Tesis MSc. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Mayagüez, Puerto Rico. 87 p.
- Mortvedt, J. 1996. Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers. *Fertilizer research* 3(1-3): 55-61 p.
- Motisi, N., R. Tournebize y J. Sierra. 2007. Evaluación del método de la abundancia natural ^{15}N en la estimación del efecto de la transferencia de Nitrógeno de la leguminosa *Canavalia ensiformis* (Canavalia) sobre la nutrición nitrogenada de la planta asociada *Musa acuminata* (Plátano). *Cultivos Tropicales* 28(1): 77-83.
- Moya, C. y M. Varela. 1998. Los sistemas de policultivos, una alternativa sostenible para pequeñas unidades de producción. *Cultivos Tropicales* 19(1):56-60.
- Negrete, A. 2013. Organic sweet pepper yield and soil microbial communities as affected by a commercial organic fertilizer and Sunn hemp as a cover crop in Puerto Rico. Tesis MSc. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Mayagüez, Puerto Rico. 71 p.
- Nandula, V., K. Reddy, S. Duke and D. Poston. 2005. Glyphosate-resistant weeds: current status and future outlook. *Outlooks on Pest Management*. 183-187 p.
- Nicholls, C. y M. Altieri. 2006. Manejo de la fertilidad de suelos e insectos plaga: armonizando la salud del suelo y la salud de la plantas en los agroecosistemas. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* 77: 8-16.
- Noguera, D., K. Laossi, P. Lavelle, M. Cruz de Carvalho, N. Asakawa, C. Botero and S. Baroi. 2011. Amplifying the benefits of agroecology by using the right cultivars. *Ecological Society of America*. 21(7): 2349-2356.
- Nyczepir, A. 1991. Nematode management strategies in stone fruits in the United States. *Journal of Nematology* 23(3):334-341.
- Obiefuna, J. 1989. Biological Weed control in plantains (*Musa AAB*) with Egusi Melon (*Colocynthis citrullus* L.). *Biological Agriculture and Horticulture* 6: 221-227.
- Ortiz, L., E. Sánchez, A. Olvera and J. Folch. 2011. Pesticides in the environment: impacts and biodegradation as a strategy for residues treatment. *Pesticides-Formulations, Effects, Fate*, Prof. Margarita Stoytcheva (Ed.). 27: 551-575 p.
- Ozores-Hampton, M. 2012. Developing a vegetable fertility program using organic amendments and inorganic fertilizers. *HortTechnology* 22(6): 743-750.

- Pérez, A. y K. Ruiz. 2010. Evaluación de un sistema de policultivos de maíz dulce, habichuela, lechuga, rábano y yuca en el uso equivalente de terreno, ingresos y control de malezas en Zamorano, Honduras. Tesis Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. 31 p.
- Perkin-Elmer, E. 1994. Analytical methods for atomic absorption spectrometry. The Perkin-Elmer Corporation. Norwalk, Connecticut, USA. 300 p.
- Pico, J. y N. Guadamud. 2004. Manejo de los principales problemas fitosanitarios en el cultivo de plátano. Manabí, Ecuador. Tesis Ing. Agr. Universidad Técnica de Manabí. 146 p.
- Pinilla, C. y J. García. 2002. Manejo integrado de arvenses en plantaciones de banano (*Musa* AAA). Asociación de Bananeros de Colombia. Cartagena de Indias, Colombia. 222-235 p.
- Pino, M., E. Terry y F. Soto. 2003. Genotipos de tomate en policultivo con maíz y su efecto de la orientación de las hileras Norte-Sur y Este-Oeste. Cultivos Tropicales 24: 9-13.
- Pinto de Oliveira, C. y C. Marciano de Souza. 2003. Influência da cobertura morta na umidade, incidência de plantas daninhas e de broca-do-rizoma (*Cosmopolites sordidus*) em um pomar de bananeiras (*Musa* spp.). Rev. Bras. Frutic. 25(2): 345-347.
- Pisani, E. 2006. Some socio-economic consequences of the green revolution. Munich Personal RePEc Archive (MPRA). 24977:1-13.
- Ramanathan, V., R. Cicerone, H. Singh and J. Kiehl. 1985. Trace gas trends and their potential role in climate change. Journal of Geophysical Research 90:0148-0227.
- Ramos-Hernández, E., A. Sol-Sánchez, A. Guerrero-Peña, J. Obrador-Olán y E. Carrillo-Ávila. 2011. Efecto de *Arachis pintoi* sobre las arvenses asociadas al plátano macho (*Musa* AAB), Cárdenas, Tabasco, México. Agronomía Mesoamericana 22(1):51-62.
- Real, D., G. Li, S. Clark, T. Albertsen, R. Hayes, M. Denton, M. D'Antuono and B. Dear. 2011. Evaluation of perennial forage legumes and herbs in six mediterranean environments. Chilean Journal of Agriculture Research 71(3): 357-369.
- Rebuffo, M., M. Bembaja y D. Risso. Uso de leguminosas forrajeras en sistemas silvopastoriles: situación actual de Uruguay. INIA Uruguay. 6 p.
- Robinson, J. and V. Galán. 2010. Bananas and plantains: nutritional requirements. 2nd Edition. Chapter 9. 161-178 p.
- Rodríguez, M. y R. Agüero. 2000. Identificación de malezas trepadoras del banano (*Musa* sp.) en la Zona Caribe de Costa Rica. Agronomía Mesoamericana 11(1): 123-125.
- Rodríguez, J., E. Rivera and F. Abruña. 1985. Crop response to soil acidity factors in Ultisols and Oxisols in Puerto Rico. XIV. Plantains and Bananas. J. Agric. Univ. PR. 69 (3):377-382.

- Rotar, P. and R. Joy. 1983. 'Tropic Sun' Sunn hemp *Crotalaria juncea* L. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii. Research Extension Series 036. 11p.
- SAS. 2009. SAS User Guide. Statistical Analysis Institute Inc. Cary N.C
- Sánchez, C., D. Caballero, R. Cupull, C. González, R. Rivera y S. Urquiaga. 2009. Los abonos verdes y la inoculación micorrízica de plántulas de *Coffea arabica* sobre suelos Cambisoles Gléyicos. Cultivos Tropicales 30: 1-9.
- Santos, A., E. Valencia, E. Román-Paoli 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 noroeste de Puerto Rico. J. Agric. Univ. PR. 95(3-4):179-191.
- Shetty, S. and M. Rao. 1981. Weed management studies in Pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) based intercropping. ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). India. 655-672 p.
- Stierle, R., J. Hershenhorn, G. Strobel and G. Molina. 1991. The phytotoxins of *Mycosphaerella fijiensis*, the causative agent of Black Sigatoka disease of bananas and plantains. Experientia 47(8): 853-859.
- Stover, R. 1980. Sigatoka leaf spots of banana and plantains. Plant Disease. 64(8): 750-756.
- Terry, P. 1996. Manejo de malezas para países en desarrollo: manejo de malezas y frutales (en línea). FAO Producción y Protección Vegetal. Consultado el 26 de octubre del 2013. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t1147s/t1147s0k.htm>
- Torres, D. y T. Capote. 2004. Agroquímicos un problema ambiental global: uso del análisis químico como herramienta para el monitoreo ambiental. Ecosistemas 13(3):2-6.
- Tropical Forajes. 2013. Especies forrajeras multipropósito. (En línea). Consultado el 31 de marzo del 2013. Disponible en: <http://www.tropicalforages.info/>
- Valadares, R., F. Duarte, J. Menezes, L. Fernandes, L. Tuffi, R. Sampaio, T. Mota y R. Almeida. 2012. Fertilidade do solo e produtividade de milho em sistemas de adubação verde no norte de minas gerais. Planta Daninha, Viçosa-MG 30(3): 505-516.
- Vázquez, L. 2007. Desarrollo del manejo agroecológico de plagas en los sistemas agrarios de Cuba. Fitosanidad 11(3): 29-39.
- Vélez, M. y N. Berger, N. 2011. Producción de forrajes en el trópico. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Zamorano Academic Press. Zamorano, Honduras. 250 p.
- Villacrés, E., E. Peralta, L. Cuadrado, J. Revelo, S. Abdo y R. Aldaz. 2009. Propiedades y aplicaciones de los alcaloides del chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet). Estación Experimental Santa Catalina, INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias). Quito, Ecuador. 33: 1-20 p.
- Vuytsteke, D., R. Ortiz and S. Ferris. 1993. Genetic and agronomic improvement for sustainable production of plantain and banana in Sub-Saharan Africa. African Crop Science Journal. 1-8 p.

- Wilson, G. 1986. Status of bananas and plantains in West Africa. Banana and Plantain breeding strategies 29 p.
- Woodruff, R. 2012. *Cosmopolites sordidus* (Germar). University of Florida. DPI Entomology Circular. 88: 1 p.
- Zayas, I., C. Leguizamón y J. López. 2010. Asociación maíz-*Cajanus cajan* en un Alfisol de Paraguari. Manejos y aporte potencial de nitrógeno, fósforo y potasio. Investig. Agrar. 12(1):23-28.

7 APÉNDICES

Apéndice 1. Propiedades químicas del suelo en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, Puerto Rico; a una profundidad de 0-15 cm.

Suelo	pH ¹	CE ² (μs/cm)	MO ³ (%)	Bray 2 P (mg Kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	Na	Al	CIC ⁴
					cmol Kg ⁻¹					
Oxisol	5.05	190	1.96	11.00	0.20	2.69	0.54	0.04	0.08	4.00

¹pH y CE: solución suelo: agua de 1:2; M.O: Walkley-Black; K, Mg, Ca y Na: Acetato de amonio 1N; CIC: sumatoria de los iones K, Ca, Mg y Na; Al: KCl 1N; ²Conductividad eléctrica; ³Materia orgánica; ⁴Capacidad de Intercambio Catiónico.

Apéndice 2. Propiedades químicas de un suelo Oxisol en los sistemas integrados de leguminosas y siembra convencional con el clon Maricongo en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, Puerto Rico a una profundidad de 0-15 cm, a corto periodo (10 meses).

Tratamiento	pH ¹	pH CaCl ₂	CE ² (μs/cm)	MO ³ (%)	Mehlich 3 P (mg Kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	Na	Al	CIC ⁴
					cmol Kg ⁻¹						
Canavalia	5.22	4.65	314	2.68	19.33	0.60	1.44	0.64	1.93	0.14	7.61
Tropic Sun	4.98	4.48	250	2.57	19.08	0.43	1.23	0.61	1.87	0.25	7.14
Lázaro	5.35	4.75	226	2.56	19.12	0.66	1.61	0.71	1.87	0.11	7.68
SC ⁵	5.15	4.58	169	2.53	19.26	0.62	1.32	0.64	1.93	0.21	7.66

¹pH y CE: solución suelo: agua de 1:2; pH CaCl₂: CaCl₂ 0.01M ;M.O: Walkley-Black; K, Mg, Ca y Na: Mehlich 3; CIC: sumatoria de los iones K, Ca, Mg y Na; Al: KCl 1N; ²Conductividad eléctrica; ³Materia orgánica; ⁴Capacidad de Intercambio Catiónico; ⁵Siembra convencional.

Apéndice 3. Propiedades químicas del suelo en la Estación Experimental Agrícola de Corozal, Puerto Rico; a una profundidad de 0-15 cm.

Suelo	pH ¹	CE ² (μs/cm)	MO ³ (%)	Bray 2 P (mg Kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	Na	Al	CIC ⁴
					cmol Kg ⁻¹					
Ultisol	4.54	184	1.84	46.00	0.93	3.29	0.68	0.08	3.89	9.00

¹pH y CE: solución suelo:agua de 1:2; M.O: Walkley-Black; K, Mg, Ca y Na: Acetato de amonio 1N; CIC: sumatoria de los iones K, Ca, Mg y Na; Al: KCl 1N; ²Conductividad eléctrica; ³Materia orgánica; ⁴Capacidad de Intercambio Catiónico.

Apéndice 4. Propiedades químicas de un suelo Ultisol, en un SIL y SC con el clon Maricongo, en la Estación Experimental Agrícola de Corozal, Puerto Rico a una profundidad de 0-15 cm, a corto periodo (10 meses).

Tratamiento	pH ¹	pH CaCl ₂	CE ² (μs/cm)	MO ³ (%)	Mehlich 3 P (mg Kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	Na	Al	CIC ⁴
					cmol Kg ⁻¹						
Canavalia	4.78	3.95	123	2.73	18	1.53	1.73	0.83	2.57	2.72	9.52
Tropic Sun	4.50	3.83	202	2.80	16	1.52	1.25	0.73	2.57	3.44	9.07
Lázaro	4.46	3.83	257	2.75	14	1.76	1.66	0.47	2.58	4.50	9.77
SC ⁵	4.44	3.82	380	2.73	16	1.74	1.59	0.76	2.60	4.70	9.69

¹pH y CE: solución suelo:agua de 1:2; pH CaCl₂: CaCl₂ 0.01M ;M.O: Walkley-Black; K, Mg, Ca y Na: Mehlich 3; CIC: sumatoria de los iones K, Ca, Mg y Na; Al: KCl 1N; ²Conductividad eléctrica; ³Materia orgánica; ⁴Capacidad de Intercambio Catiónico; ⁵Siembra convencional.