

**PLANTAS DE COBERTURA, DENSIDAD DE PLANTACION DE
PAPAYA- PLÁTANO INTERCALADO Y SU EFECTO SOBRE EL
RENDIMIENTO DE FRUTOS**

Por

Astrid Judith Racancoj Coyoy

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
2018

Aprobada por:

Angela Linares Ramírez, Ph. D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Rebecca Tirado Corbalá, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Elide Valencia, Ph. D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Victor Siberio, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Roberto Vargas, Ph.D.
Director Interino, Dept. Ciencias Agroambientales

Fecha

RESUMEN

Durante los años 2016 y 2017, en las facilidades de la Subestación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico en Isabela, se establecieron dos estudios. En el primer estudio se evaluaron dos densidades de siembra de papaya (*Carica papaya* L.) y el uso de plantas de cobertura (PC) [rábano (*Raphanus sativus* L.) y sésamo (*Sesamun indicum* L.)] sobre el control de malezas, desarrollo y rendimiento del cv. Red Lady. Las densidades de siembra correspondieron a siembra en hilera simple (3.5×1.25 m) y doble hilera ($4 \times 2 \times 1.25$ m). Una semana después del trasplante de las papayas, se realizó la siembra manual de las PC en densidad de 13 kg ha^{-1} . A las 14 semanas de sembradas las PC, se cortaron y se dejaron en la superficie del suelo (cobertura muerta). Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las PC y su estado fenológico para el control de malezas. El rábano presentó un 94 % y 69 % de control en estado de cobertura viva y cobertura muerta, respectivamente. El sésamo presentó eficiencia únicamente como cobertura viva, controlando un 76 % las malezas. Se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) en los rendimientos de materia seca (MS); el sésamo presentó rendimientos de $1,030 \text{ kg MS ha}^{-1}$. El rábano presentó rendimientos de $1,740 \text{ kg MS ha}^{-1}$. Contrastes ortogonales (hilera simple vs doble hilera) mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en rendimiento y número de frutos. La siembra en doble hilera ($4,000 \text{ plantas ha}^{-1}$) muestra rendimientos de $49,787 \text{ kg ha}^{-1}$ con un total de 46,572 frutos. Mientras que en hilera simple ($2,285 \text{ plantas ha}^{-1}$) la producción fue de 23,789 frutos con un rendimiento de $24,791 \text{ kg ha}^{-1}$. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las dos densidades de siembra en la producción por planta, número y diámetro de frutos. Al momento de realizar la cosecha se confirma que sembrar en doble hilera se incrementa el

rendimiento con relación a la siembra en hilera simple, sin afectar la cantidad y diámetro de los frutos.

En el segundo estudio se evaluaron dos densidades de siembra de papaya y plátano (*Musa acuminata* × *Musa balbissiana*) intercalado sobre el desarrollo y rendimiento del cv. Red Lady. Las dos densidades evaluadas correspondían a siembra en hilera simple (2 × 1.40 m) y doble hilera (4 × 1 × 1.40 m). Los sistemas de siembra evaluados fueron: convencional (monocultivo de papaya) e intercalado (papaya + plátano). Se determinó el índice de uso de terreno (UET) del sistema de siembra. No se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los sistemas de siembra para altura y diámetro de las plantas. Contrastes ortogonales (monocultivo vs siembra intercalada) no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en rendimiento y número de frutos. La cosecha de papayas intercaladas con plátano mostró rendimientos de 55,274 kg ha⁻¹ con un total de 47,674 frutos. Mientras que en ausencia del plátano se pueden cosechar 46,665 frutos con rendimientos de 60,292 kg ha⁻¹. La producción por planta fue de 13 kg y 14 kg en el sistema de cultivo intercalado y monocultivo, respectivamente. El UET parcial del cultivo de papaya fue 0.89 y 0.93 en siembra de doble hilera y en hilera simple, respectivamente. En este estudio se muestra que la siembra intercalada con plátano no afecta el crecimiento ni la producción de la planta de papaya.

ABSTRACT

During 2016 and 2017, at the facilities of the Agricultural Experiment Station (AES) of the University of Puerto Rico in Isabela, two studies were established. The first study evaluated two planting densities of papaya (*Carica papaya* L.) and the use of cover crops [radish (*Raphanus sativus* L.) and sesame (*Sesamun indicum* L.)] on the weed control, development and yield of cv. Red Lady. Planting densities correspond to conventional planting single rows (3.5×1.25 m) and double row ($4 \times 2 \times 1.25$ m). One week after papaya transplant, cover crops (radish and sesame) were planted at 13 kg ha^{-1} . Fourteen weeks after planting, cover crops were harvested and left on the soil surface. There was a significant difference ($p < 0.05$) for the weed control between cover crops and phenological stage. Radish controlled 94% and 69% of the weeds for live and mulch, respectively. Sesame was effective in controlling 76% of weeds in live cover. Likewise, significant differences were found ($p < 0.05$) in dry matter (DM) yields; sesame had $1,030 \text{ kg DM ha}^{-1}$, while radish presented $1,740 \text{ kg DM ha}^{-1}$. Orthogonal contrasts (simple row vs double row) show significant differences ($p < 0.05$) in yield and number of fruits. Planting in double row ($4,000 \text{ plants ha}^{-1}$) had yields of $49,787 \text{ kg ha}^{-1}$ from a total of 46,572 fruits. While simple rows ($2,285 \text{ plants ha}^{-1}$) produced 23,789 fruits, with $24,791 \text{ kg ha}^{-1}$ papaya yield. Net production per plant, and diameter of fruits did not show significant differences ($p > 0.05$) between planting densities. At harvesting, this study confirmed that when planting in double rows yields increased in relation to planting in simple row, without affecting the quantity and diameter of the fruits.

The second study evaluated two planting densities of papaya with plantain (*Musa acuminata* \times *Musa balbissiana*) intercropped on the development and yield of cv. Red Lady. Planting densities correspond to conventional planting single rows (2×1.40 m) and double

row ($4 \times 1 \times 1.40$ m). The planting systems evaluated was: conventional (papaya monoculture) and intercropping (papaya + plantain). The land use index of the intercropping system was determinate. There was no significant difference ($p > 0.05$) between planting systems for plant height and diameter. Orthogonal Contrasts (conventional vs intercropping) did not show significant differences ($p > 0.05$) in yield and fruits numbers. Intercropping plantain yielded of $55,274 \text{ kg ha}^{-1}$ (47,674 papaya fruits). Meanwhile, in the absence of plantain yields was $60,292 \text{ kg ha}^{-1}$ (46,665 fruits). Net production per plant in the intercropping system was 13 kg and did, not differ statistically from monoculture of 14 kg. A partial land equivalent use index of 0.89 and 0.93 for double row and conventional, respectively was calculate. This study concluded, that intercropping papaya with plantain does not affect the development and production of papayas.

©Astrid Judith Racancoj Coyoy

DEDICATORIA

Kinya' nuwuj chi kech: nab'e le Ajaw, malyox waral In ko in. Uxab' pa le keb' nuchu'mil le ko pa le kaj. Le nutat German xuquje' le nuch'ut nan Angelina; le wajtijab' kachakun ruk' le ulew. Urox pa le utz' ranima nunan Robertina, malyox rech le nunan tzij xuquje' pixab' chi wech. Ki'sb'al pa le watz Miriam, Ingrid, Beatriz, xib'al German, taq wachji' Roy, Otto xuquje' le ak'alab' Alfredo, Alberto, Valeria, Roberto malyox rumal b'inem wuk pa le nub'e. Kchajin alaq.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez, casa de estudios que me abrió las puertas para fortalecer mis conocimientos. A Dr. Elide Valencia por ser mi mentor en estos años, por compartir sus conocimientos y darme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría. También a los miembros de mi comité Dra. Rebecca Tirado y Dra. Angela Linares por su tiempo y enseñanzas.

A Finca González por su aporte del material vegetal con el cual pude realizar esta investigación. Al personal de la Subestación Experimental Agrícola de Isabela por su apoyo en los trabajos de campo durante la investigación.

A mis compañeros y amigos que me apoyaron en este camino de aprendizaje y me permitieron compartir esta experiencia; a todas las personas que de una u otra manera aportaron durante el desarrollo de esta investigación. Muchas gracias por todo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT	iv
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
TABLA DE CONTENIDO	ix
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
3 REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1 Cultivo de papaya	5
3.2 Principales problemas en el establecimiento del cultivo de papaya	6
3.2.1 Enfermedades	6
3.2.2. Malezas.....	7
3.3 Manejo de malezas.....	8
3.4 Plantas de cobertura en los sistemas de producción	9
3.4.1 Mecanismos de control de malezas	11
3.4.1.1 Competencia	11
3.4.1.2 Alelopatía	12
3.4.1.3 Alteración del ambiente.....	13
3.5 Selección de plantas de cobertura en los sistemas de producción	14
3.5.1 Rábano cobertor.....	15
3.5.2 Sésamo.....	16
3.6. Sistema de producción de cultivos intercalados.	17
3.6. 1 Plátano	19
4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
4. 1. Localización.....	21
4.2 Preparación y muestreo de suelo	21

4.3 Experimento I: Evaluación de dos densidades de siembra de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) y el uso de plantas de cobertura [rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.) y sésamo (<i>Sesamun indicum</i> L.)] sobre el control de malezas.....	22
4.3.1 Siembra	22
4.3.2 Prácticas culturales	23
4.3.3 Medición de variables de respuesta	24
4.3.4 Diseño experimental y análisis estadístico	25
4.4 Experimento II: Evaluación del sistema de cultivo intercalado de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) y plátano (<i>Musa acuminata</i> × <i>Musa balbissiana</i>).....	26
4.4.1 Siembra	26
4.4.2 Prácticas culturales	26
4.4.3 Medición de variables de respuesta	27
4.4.4 Diseño experimental y análisis estadístico	29
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
5.1 Experimento I: Evaluación de dos densidades de siembra de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) y el uso de plantas de cobertura [rábano (<i>Raphanus sativus</i> L.) y sésamo (<i>Sesamun indicum</i> L.)] sobre el control de malezas.....	31
5.1.1 Control de malezas.....	31
5.1.2 Crecimiento vegetativo	36
5.1.3 Producción de papaya	38
5.2 Experimento II: Evaluación del sistema de cultivo intercalado de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) y plátano (<i>Musa acuminata</i> × <i>Musa balbissiana</i>).....	41
5.2.1 Crecimiento vegetativo	41
5.2.2 Producción de papaya	44
5.2.3 Índice de uso equivalente de terreno (UET)	46
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
7 REFERENCIAS	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros estadísticos de control de malezas según estado fenológico de las plantas de cobertura.	31
Tabla 2. Rendimiento total de materia seca y control de malezas de las plantas de cobertura en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.	32
Tabla 3. Biomasa de malezas y control según el estado fenológico del rábano en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.	35
Tabla 4. Biomasa de malezas y control según el estado fenológico del sésamo en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.	35
Tabla 5. Parámetros estadísticos de crecimiento vegetativo de las plantas de papaya.	36
Tabla 6. Diámetro (cm) de las plantas de papaya según densidad de siembra, en las diferentes semanas del cultivo en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.	37
Tabla 7. Parámetros estadísticos de producción de las plantas de papaya.	38
Tabla 8. Parámetros de producción de las plantas de papaya según densidad de siembra, en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.	39
Tabla 9. Parámetros estadísticos de crecimiento vegetativo de las plantas de papaya.	41
Tabla 10. Diámetro (cm) de las plantas de papaya en las diferentes semanas del cultivo según densidad de siembra, en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.	43
Tabla 11. Altura (m) de las plantas de papaya en las diferentes semanas del cultivo según el sistema de siembra, en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.	43
Tabla 12. Diámetro (cm) de las plantas de papaya en las diferentes semanas del cultivo según el sistema de siembra, en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.	43
Tabla 13. Parámetros estadísticos de producción de las plantas de papaya.	44
Tabla 14. Producción de las plantas de papaya según densidad de siembra, en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.	45
Tabla 15. Producción de las plantas de papaya según sistema de siembra, en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Densidades de siembra de cv. Red Lady en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.....	23
Figura 2. Densidad de siembra del cv Red Lady y plátano intercalado en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.	27
Figura 3. Temperatura y precipitación registrada durante diciembre 2016 a- agosto 2017 en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.	30
Figura 4. Altura (m) de las plantas de papaya en las diferentes semanas del cultivo según densidad de siembra en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.....	37
Figura 5. Altura (m) de las plantas de papaya en las diferentes semanas del cultivo según densidad de siembra en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.....	42

1 INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya* L.), es originaria de las zonas tropicales de México y Centro América. A nivel mundial es considerada una de las frutas más rentables económicamente por su alta producción (Zamora, 2005). La mayor cantidad de papaya consumida en Puerto Rico se importa de otros países como Costa Rica y República Dominicana. En el 2010, la cantidad de frutos importados ascendió a 682,514.5 ton (Commonwealth of Puerto Rico, 2013 and 2014; DAPR, 2012). En Puerto Rico, las condiciones climáticas son adecuadas para la producción de papaya, pero en los últimos años ha disminuido (FAOSTAT, 2013). Las principales limitantes que afectan la producción y calidad del cultivo de papaya incluyen: el aumento de plagas, la presencia y susceptibilidad a enfermedades virales.

El manejo de malezas en el cultivo de papaya es uno de los mayores retos a los que se enfrentan los productores. Las malezas pueden afectar el rendimiento, debido a la competencia por nutrientes, energía solar y espacio con el cultivo principal; pueden ser hospederos de áfidos, además de entorpecer prácticas de fertilización y cosecha. El manejo de malezas en las primeras etapas del cultivo de papaya es crucial para su establecimiento y desarrollo (Nishimoto, 1997; Robles et al., 2007). El manejo tradicional de las malezas se basa en la eliminación total utilizando herbicidas o prácticas mecánicas, a pesar de los efectos negativos sobre los agro-ecosistemas. Las aplicaciones incorrectas de los productos químicos pueden contaminar aguas superficiales y subterráneas. Pueden generar fitotoxicidad en algunos cultivos, además de ser costosos (Pinilla y García, 2002). Las prácticas mecánicas (limpieza manual o con equipo de labranza) son alternativas de control de malezas. No

obstante, pueden ocasionar daños a los suelos y aumentar el riesgo de erosión (Creamer y Baldwin, 2000; Nishimoto, 1997). A nivel de los trópicos, el uso de plantas de cobertura se ha incrementado como alternativa en el control de malezas. Estas plantas tienen mecanismos que les permiten suprimir la germinación, el desarrollo y crecimiento de las malezas, incluyendo: competencia, alelopatía, alteración de las características físicas del suelo y del medio ambiente (Carlo, 2009; Creamer et al., 1997).

Los cultivos de cobertura que pertenecen a la familia Fabácea son ampliamente estudiados debido a su potencial en la supresión de malezas y su aporte de nitrógeno (N) a los suelos. Sin embargo, es importante estudiar otras familias que se puedan incorporar en los sistemas de producción como plantas de cobertura. El sésamo (*Sesamun indicum* L.), es una planta anual que pertenece a la familia Pedaliaceae, y puede cultivarse como planta de cobertura para el control de malezas. Esta planta también puede mejorar la estructura del suelo y la retención de humedad, además presenta una mayor relación de carbono: nitrógeno (C: N) que la mayoría de las leguminosas de cobertura (Myers, 2002; Langham et al., 2008;). El rábano (*Raphanus sativus* L.), es una planta anual de la familia Brassicaceae y al igual que el sésamo, mejora la estructura de los suelos y puede controlar malezas (Lawley et al., 2011; Weil et al., 2006).

En Latinoamérica, como en otros países en vías de desarrollo, mejorar la producción agrícola es una meta inmediata para evitar la escasez de comida y contribuir al mejoramiento de la vida rural. La producción bajo el sistema de cultivos intercalados busca maximizar los rendimientos de los cultivos en las tierras disponibles. Esta técnica hace referencia a que dos o más cultivos crecen de forma simultánea en la misma área de producción (Hauggaard et al., 2003). La siembra en sistemas de cultivos intercalados presenta ventajas con relación a los monocultivos, puesto que se aumenta la interacción interespecífica de crecimiento,

absorción de nutrientes. También, permite disminuir plagas, se mejora el control de malezas y se aumenta la diversificación de los productos. En años recientes, este sistema ha despertado interés entre los investigadores y está ganando más importancia entre los productores, principalmente porque permite aumentar la rentabilidad del sistema de producción (Olubode et al., 2012; Zhang, 2003). A nivel de Puerto Rico, la integración de plantas de cobertura diferentes a la familia Fabaceae; así como la integración del cultivo de plátano en los sistemas de producción de papaya, no ha sido muy documentada por lo que no existe suficiente información sobre estos sistemas de producción.

2 OBJETIVOS

- I. Evaluar el uso de plantas de cobertura [rábano (*Raphanus sativus* L.) y sésamo (*Sesamun indicum* L.)] sobre el control de malezas en el cultivo de papaya (*Carica papaya* L.) cv. Red Lady.
- II. Evaluar dos densidades de siembra de papaya (siembra en hilera simple y doble hilera) sobre el desarrollo y rendimiento del cv. Red Lady.
- III. Evaluar dos densidades de siembra de papaya bajo el sistema de producción de cultivo intercalado con plátano (*Musa acuminata* × *Musa balbissiana*) clon falso cuerno Maricongo, sobre el desarrollo y rendimiento del cv. Red Lady.
- IV. Determinar el índice de uso de terreno del sistema de producción de cultivo intercalado de papaya cv. Red Lady con plátano clon falso cuerno Maricongo.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Cultivo de papaya

La papaya (*Carica papaya* L.) pertenece a la familia Caricaceae, originaria de las zonas tropicales de México y Centro América (Zamora, 2005). Es considerada como una de las frutas de mayor valor nutritivo y digestivo, siendo utilizada ampliamente en dietas alimenticias. El fruto es bajo en calorías, alto en potasio (K) y fuente de vitamina A (Crane, 2005). La planta tiene una tasa de crecimiento rápido catalogada como herbácea a pesar de no tener una estatura de una planta herbácea típica; puede alcanzar 9 m de altura. La producción de flores inicia cuatro meses después de la siembra (MDS) y la producción de frutos inicia de 7 a 11 MDS. Económicamente, es una de las frutas más rentables por su alta producción (Campostrini y Glenn, 2007). Es un cultivo que se establece en las regiones tropicales y subtropicales debido a su fácil adaptación. Las condiciones climáticas de Puerto Rico son adecuadas para su producción. Sin embargo, en los últimos años la producción ha disminuido. Para el 2013 la producción fue de 8,552 ton, 148 ton menos en comparación al año 2012 (FAOSTAT, 2013).

Uno de los elementos que más influye en los rendimientos agrícolas, lo constituye la cantidad de plantas sembradas por hectárea; es decir la densidad de la plantación. Todos los cultivos requieren una densidad óptima, determinada por el área que necesita cada planta para un adecuado desarrollo tanto de raíces como de follaje. El espacio apropiado se deriva de muchos factores incluyendo: el clima de la región, la pendiente, el grado de mecanización, la fertilidad del suelo, la variedad del cultivo, el manejo agronómico, y razones económicas (Kist y Manica, 1995). Si el área asignada es insuficiente se puede generar competencia intraespecífica entre las plantas, reduciendo la tasa de fijación de bióxido de carbono (CO₂)

debido a que la energía solar, agua y los nutrientes disponibles no son suficientes para el abastecimiento del cultivo. La energía solar interceptada depende del área foliar, el ángulo de la hoja, la arquitectura de la planta y la distribución de la planta en el campo (Lawley et al., 2011; Sarrwy et al., 2012). Las distancias de siembra para el cultivo de papaya en diferentes países varían desde 0.6 m a 4 m entre plantas y de 2 a 4 m entre hileras simples. En siembra en doble hilera, los espacios varían de 1.8×1.8×3.5 m a 2.5×2.5×4 m (Kist y Manica, 1995).

La elección de las variedades adoptadas para el consumo de fruta fresca es determinada por los rasgos de calidad de la fruta que incluyen: color, sabor y firmeza. La variedad Maradol de origen cubano es una de las variedades más susceptible a la mancha anular. También existen variedades tipo Hawaianas (Sunrise y Sunset) y tipo Taiwanesas (Tainung y Red Lady) que se caracterizan por tener frutos de pulpa roja y ser precoces (Zamora, 2005). Las plantas de la variedad Red Lady (híbrido F1) son vigorosas y pequeñas. Su altura promedio a primera cosecha oscila entre 1.5 a 2 m, es de tallo grueso y entrenudos cortos con cierto grado de tolerancia al virus del anillado de la papaya. Por sus características de rendimiento, tamaño de fruto y vida anaquel son de alta demanda en el mercado. La variedad Red Lady puede presentar rendimientos más altos (78%) en comparación a las variedades Hawaianas (Mosqueda et al., 1999; Rivas et al., 2003).

3. 2 Principales problemas en el establecimiento del cultivo de papaya

3.2. 1 Enfermedades

La presencia y susceptibilidad a enfermedades virales y el aumento de la presión de plagas, son las principales limitantes que afectan la producción y calidad del cultivo de papaya en Puerto Rico. El virus del anillado de la papaya es de las principales enfermedades

más destructivas de la papaya, transmitida en forma no persistente por medio de áfidos. En países productores de papaya como Puerto Rico, Florida, Hawái, Nigeria y Australia se ha visto afectada su producción y rendimientos, atribuyéndose al virus del anillado (Pantoja et al., 2002; Higa y Namba, 1971). Las plantas enfermas manifiestan síntomas visibles como rayas, se forman anillos en los tallos, el crecimiento se disminuye, se reduce el tamaño de la lámina foliar. Las plantas enfermas son más susceptibles a la defoliación que permite quemaduras del sol en los frutos. Los frutos enfermos presentan manchas, deformaciones y quemaduras perdiendo calidad y aceptación en el mercado (Rivas et al., 2003). El cogollo racimoso o “bunchy top”, la pudrición de la raíz y fruto por Phythophtora, la pudrición interna del fruto y antracnosis son otras enfermedades que afectan al cultivo de papaya (Almodóvar, 2000).

3.2.2. Malezas

Las malezas son plantas que crecen de forma no deseada en los sistemas de producción, causando una pérdida del 43% del rendimiento de los cultivos en todo el mundo. Representan competencia por nutrientes, energía solar y espacio. Además, pueden ser hospederos de plagas y enfermedades que afectan a los cultivos. Cuando las malezas pertenecen a la misma familia que el cultivo principal, los efectos negativos se incrementan (Lemessa y Wakjira, 2015). Las malezas tienen características fisiológicas que las hacen altamente competitivas y persistentes, incluyendo: crecimiento rápido entre la etapa vegetativa a la etapa reproductiva y, sistemas radiculares profundos que les permiten un mejor anclaje y mayor absorción de nutrientes de las capas profundas de los suelos que no son disponibles para cultivos con raíces superficiales. En condiciones de sequía, las malezas pueden producir gran cantidad de semillas con latencia que pueden permanecer viables por

mucho tiempo. Se dispersan fácilmente en los predios de producción y pueden sintetizar compuestos aleloquímicos que pueden inhibir el crecimiento de los cultivos principales (Belz, 2007).

Las malezas pueden interferir con el crecimiento de los cultivos principales, afectando los rendimientos de producción. La reducción de rendimiento depende de las especies de malezas, el cultivo y las condiciones ambientales. En presencia de malezas, el cultivo está en constante lucha por obtener los elementos esenciales para su crecimiento, generalmente las cantidades disponibles en el ambiente no son suficientes para cubrir las necesidades de ambos (Creamer et al., 1997). Las malezas también pueden generar efectos negativos sobre las actividades de producción y cosecha, que pueden reducir la calidad del producto final. El control de malezas continúa siendo uno de los mayores desafíos en la producción de papaya; en la fase de establecimiento las malezas pueden destruir a las plántulas (Nishimoto, 1997; Pinilla y García, 2002).

3.3 Manejo de malezas

Para disminuir los efectos negativos de las malezas sobre el crecimiento, desarrollo, producción y rendimiento económico de los cultivos, se han empleado diversos métodos para su manejo. El uso de herbicidas y prácticas mecánicas son las técnicas más utilizadas (Lawley et al., 2011). Estos métodos son eficaces y en algunos casos se puede manejar un control selectivo de malezas. La aplicación de estas técnicas implica el incurrir en costos para mantener las poblaciones de malezas a un nivel que no interfieran con las prácticas agrícolas y no afecten el rendimiento del cultivo principal. Aunque estos métodos de control son

eficientes, también pueden generar impactos negativos a los agroecosistemas (Robles et al., 2007).

La labranza mecanizada puede reducir las malezas de la superficie del suelo, pero existe el riesgo de deterioro de la estructura del suelo e incremento de erosión. La resistencia de las malezas al control mecánico y regeneración por medio de estructuras vegetativas como rizomas, estolones y tubérculos disminuye la eficiencia de esta técnica. El recurrir a una labranza manual requiere de disponibilidad de mano de obra y mucho tiempo ya que generalmente se debe repetir la práctica durante todo el ciclo del cultivo (Kruidhof et al., 2008). El uso de herbicidas es otra técnica comúnmente utilizada debido a la selectividad y rapidez en el control. Aunque este control no dura mucho tiempo y eventualmente es necesario realizar más aplicaciones. Por otro lado, la dependencia y el uso intensivo de herbicidas sintéticos, representa riesgos ambientales y a la salud de la población, además de incrementar los costos de producción (Creamer y Baldwin, 2000; Lemessa y Wakjira, 2015). Así mismo, el uso indiscriminado y la exposición a dosis constantes de moléculas químicas genera resistencia en las malezas. En Estados Unidos, África del Sur, Argentina, Brasil, China, España, Chile y África del Sur, se han identificado biotipos de malezas resistentes al glifosato, herbicida sistémico no selectivo (Moss, 2003; Nandula et al., 2005).

3.4 Plantas de cobertura en los sistemas de producción

Las plantas cobertoras o cultivos de cobertura son leguminosas, gramíneas u otras especies, que se establecen dentro de los sistemas de producción tanto en cultivos anuales como en perennes (Carlo, 2009; Lemessa y Wakjira, 2015). En los sistemas de producción,

las plantas de cobertura representan un componente holístico al proporcionar varios servicios agroecosistémicos tanto bióticos como abióticos.

Dentro de los principales servicios abióticos que proporcionan se encuentran: la mejora de las propiedades físicas de los agregados del suelo, reducción de erosión y conservación de humedad en el suelo. Se reduce la dependencia de fertilizantes sintéticos mediante el reciclaje de elementos de nutrición vegetal (Magdoff y Van., 2009). Las plantas de cobertura de la familia Fabácea promueven la fijación de N atmosférico, la absorción de N residual del suelo y contribuyen con los requerimientos nutricionales de N de cultivos posteriores. La contribución total de N depende de la cantidad de materia seca (MS) producida por la planta de cobertura. Los cultivos de cobertura también secuestran carbono (Creamer y Baldwin, 2000). Los servicios bióticos que proporcionan las plantas de cobertura en los sistemas de producción incluyen: la contribución en el manejo de plagas y enfermedades, al ser plantas hospederas de insectos polinizadores o de insectos utilizados como control biológico (Hartwig y Ammon, 2002). Las plantas de cobertura inhiben o retardan la germinación, emergencia, crecimiento y desarrollo de las malezas (Kruidhof et al., 2009). Al tener la capacidad de producir grandes cantidades de biomasa, los residuos que se dejan en la superficie del suelo o que se incorporan, aumentan la materia orgánica (M.O) del suelo. Estos residuos proporcionan un hábitat adicional y fuentes de alimento a los macro y microorganismos que viven en el suelo, incrementando así la actividad biológica (Lemessa y Wakjira, 2015; Hartwig y Ammon, 2002).

En los trópicos se ha incrementado el interés de incluir plantas de cobertura en los sistemas de producción agrícolas como método alternativo de control de malezas. Debido a la preocupación de disminuir el impacto ambiental de las prácticas agrícolas por el control de malezas. Los cultivos de cobertura se pueden sembrar antes del cultivo principal para

eliminar las malezas, práctica común en los sistemas de producción de cultivos anuales. También, se pueden sembrar al mismo tiempo que el cultivo principal, para que esté presente en toda o la mayor parte del ciclo de los cultivos y puedan suprimir las malezas por un período prolongado (Creamer y Baldwin, 2000).

3.4.1 Mecanismos de control de malezas

Los cultivos de cobertura interfieren en la germinación y el desarrollo de las poblaciones de malezas a través de algunos mecanismos incluyendo: competencia, alelopatía, alteración del estado físico del suelo y del ambiente. Generan cambios en la disponibilidad de luz, temperatura y humedad del suelo (Creamer et al., 1997; Hoffman y Regnier, 2006; Teasdale et al., 2007). Estos mecanismos no son exclusivos, la combinación de ellos puede contribuir a la supresión más eficiente de las malezas. Los residuos de las plantas de cobertura, también se utilizan como cobertura en la superficie del suelo y permiten suprimir, retrasar la germinación, emergencia y desarrollo de las malezas, debido a los efectos físicos y alelopáticos que generan (Teasdale, 1993). El uso de cultivos de cobertura como herramienta en el control de malezas comparado con el uso de herbicidas, necesita un monitoreo constante durante todo su período de crecimiento para maximizar los servicios agroecosistémicos que proporcionan, y optimizar así su selectividad en la supresión de malezas sin afectar a los cultivos principales (Lawley et al., 2011).

3.4.1.1 Competencia

Todas las plantas requieren de luz solar, agua, CO₂ y nutrientes minerales para su crecimiento y desarrollo. Las plantas de cobertura ocupan el espacio y utilizan los recursos que de otra manera estarían disponibles para las malezas. Constan de varias características

que les permite competir con las malezas, incluyendo: baja latencia, semillas viables, rápida emergencia, crecimiento rápido, arquitectura de la planta con cierre rápido de dosel y alta producción de biomasa. Los cultivos de cobertura que producen grandes cantidades de semilla pueden permanecer más tiempo en el banco de semilla y germinar por varios años (Kruidhof et al., 2008; Lemessa y Wakjira, 2015). También, interceptan la radiación y reducen la calidad de luz disponible a las malezas, limitando así su capacidad de crecimiento. Fundamentalmente se modifica la relación entre la radiación del espectro rojo (670 nm) y del espectro rojo lejano (760 nm) (relación R: FR). La luz solar presenta una relación R: FR de 1.15. Entonces el espectro rojo es absorbido por los pigmentos de las plantas de cobertura, la luz transmitida presenta valores más bajos de relación R: FR entre 0.1 y 0.5. Conforme aumenta la cobertura el cociente R: FR se reduce, afectando el crecimiento de las malezas. Las plantas con mayor cantidad de hojas interceptan más eficientemente la luz y son mejores competidoras (Lawley et al., 2011).

3.4.1.2 Alelopatía

La alelopatía hace referencia a los efectos dañinos de una planta sobre otra, debido a la liberación de productos bioquímicos conocidos como aleloquímicos. Estos productos son derivados de metabolitos secundarios de la planta viva o de sus residuos en descomposición; los cuales interfieren en la germinación, crecimiento y desarrollo de otras plantas (Rathinasabapathi et al., 2005). Las plantas que producen sustancias alelopáticas, también se consideran como una fuente potencial de nuevas moléculas con acción herbicida para la industria química, debido a la aparición de malezas resistentes a la mayoría de las moléculas sintéticas (Kruse et al., 2000). La liberación de los aleloquímicos en el medio ambiente es

diferente según la especie, entre las principales vías se encuentran: la deposición sobre la superficie de la hoja que se puede lavar con la presencia de la lluvia y la exudación de los compuestos volátiles de la estructura o de la raíz de la planta. La degradación fisicoquímica de residuos vegetales también puede producir aleloquímicos adicionales. La concentración de las sustancias aleloquímicas depende de la biomasa, densidad y estado fenológico de la planta (Kruse et al., 2000; Olofsdotter et al., 2002).

La asociación de algunos cultivos alelopáticos dentro de los sistemas de producción se ha sugerido para el manejo de malezas. Así como el incorporar residuos de plantas de cobertura con altos niveles de aleloquímicos, para inhibir o retardar la germinación, emergencia, y crecimiento de malezas. La concentración de aleloquímicos liberados de los residuos que se descomponen en la superficie del suelo, difiere a la concentración de los aleloquímicos liberados de los residuos incorporados (Kruidhof et al., 2009; Lawley et al., 2011).

3.4.1.3 Alteración del ambiente

Las plantas de cobertura pueden generar cambios físicos y biológicos en el ambiente del suelo. Estas alteraciones influyen en el proceso de germinación y establecimiento de las malezas (Lawley et al., 2011). La cantidad y calidad de la luz que llega a la superficie del suelo disminuye, al ser interceptada la radiación solar por las plantas de cobertura. También, disminuyen las fluctuaciones de las temperaturas diurnas, que estimulan la germinación de las semillas de las malezas. Así mismo, los residuos de las plantas de cobertura que quedan en la superficie del suelo influyen en la temperatura del suelo y reducen la penetración de la luz (Kruidhof et al., 2008; Liebman y Mohler, 2001).

3. 5 Selección de plantas de cobertura en los sistemas de producción

Las principales características de las plantas de cobertura que se deben considerar al seleccionarlas para ser incluidas en los sistemas de producción incluyen: la facilidad de establecimiento y crecimiento rápido, para que pueda competir contra las malezas. La cantidad de biomasa que produce, para cubrir rápidamente el suelo. La capacidad de fijar N atmosférico o reciclarlo. La formación de un sistema radicular profundo que ayudará en la extracción-utilización de agua y nutrientes de las capas más profundas del suelo. El crecimiento rápido de las plantas de cobertura y la capacidad competitiva de desarrollarse en poblaciones densas que le permitan cubrir por completo el suelo e inhibir el crecimiento de malezas (Hartwig y Amón, 2002). Las plantas de cobertura que producen aleloquímicos son importantes en la supresión de malezas en los sistemas de producción. También, la selectividad entre la supresión de malezas y los cultivos principales es otro factor por considerar para minimizar el impacto que las plantas de cobertura pudieran ejercer sobre el cultivo principal (Teasdale et al., 2003).

Los cultivos de cobertura que producen grandes cantidades de biomasa generan residuos y, para el manejo de residuos se debe considerar la relación C: N (Lemessa y Wakjira, 2015). Es preferible que la producción de follaje sea succulenta, así se facilitará el proceso de descomposición. El efecto de supresión de malezas depende de la cantidad y calidad de los residuos. Las condiciones del ambiente incluyendo características físicas, químicas y biológicas del suelo, tienen efecto en el tiempo de descomposición de los residuos y la liberación de los aleloquímicos. Los residuos que se quedan en la superficie del suelo tienen una descomposición más lenta y la velocidad de liberación de alelo químicos se reduce en comparación a los residuos incorporados en el suelo (Kruidhof et al., 2009).

3.5.1 Rábano cobertor

El rábano cobertor (*Raphanus sativus* L.) es una planta anual de la familia Brassicaceae. Las variedades de rábano han sido domesticadas desde tiempos antiguos y originalmente fueron cultivadas en China (Navazio, 2007). Tiene hojas que crecen en una roseta basal y pueden alcanzar 1 m de alto, con flores rosadas o blancas. Desarrolla una raíz central blanca y gruesa que puede crecer de 3-5 cm en diámetro y hasta 30 cm en longitud; puede penetrar en las capas compactas del suelo, cuando la raíz se descompone deja agujeros en el suelo que permiten que el agua, el aire y las raíces de los cultivos primarios subsecuentes penetren en los horizontes del suelo (Jacobs, 2012; Magdoff y Van, 2009).

En los sistemas de producción, el rábano puede ser una alternativa biológica de labranza o preparación del suelo, reduciendo la compactación del suelo y puede disminuir los costos del uso de hidrocarburos (Williams y Weil, 2004). El rábano cultivado como planta de cobertura ayuda a mantener la calidad, fertilidad y productividad del suelo. Las raíces del rábano absorben N a mayores profundidades que otros cultivos. Cuando la planta se descompone, el N regresa al suelo y es disponible a los cultivos subsecuentes, debido a que la biomasa se descompone rápido. Al pertenecer a la familia de las Brassicaceae, las raíces exudan productos químicos que ayudan a suprimir las plagas del suelo, como nematodos (Jacobs, 2012).

El rábano como planta de cobertura representa una alternativa para la supresión de malezas anuales y puede ser herramienta útil para controlar los biotipos de malezas resistentes a herbicidas (Jacobs, 2012; Weil et al., 2006). Las semillas de rábano pueden germinar tres días después de la siembra, crece rápido y provee cobertura completa a las malezas de tres a cuatro semanas después de siembra (SDS), también puede reducir las

poblaciones de las malezas mediante la producción de alelo químicos. Esta planta puede suprimir las malezas durante el ciclo de los cultivos o se puede utilizar antes de la siembra del cultivo principal (Ngouajio y Mutch, 2004; Weil et al., 2006).

3.5.2 Sésamo

El sésamo (*Sesamum indicum* L.) es una planta anual que pertenece a la familia Pedaliaceae. Es una planta tropical y subtropical cultivada por sus semillas que producen alrededor del 50% de aceite comestible de alta calidad. El sésamo fue ampliamente adoptado por su capacidad de crecer en áreas donde otros cultivos no podían, sobre todo bajo condiciones de sequía y altas temperaturas (Hansen, 2011). Es una planta de hoja ancha que crece de 1.55-1.85m de altura y, produce una inflorescencia blanca en forma de campana de 2.5-5 cm (Morris, 2002). El rendimiento total de biomasa del sésamo varía de 545 a 1,100 kg ha⁻¹ (Langham et al., 2008; Myers, 2002).

El sésamo se caracteriza por presentar una tasa de crecimiento lento en los primeros 30 días, la raíz crece más rápido que las hojas y tallos. Tiene una raíz profunda, que le permite la extracción de nutrientes a mayor profundidad que otros cultivos. Como planta de cobertura, mejora la estructura del suelo, incrementa la retención de humedad y tiene un efecto positivo en el micro clima del suelo (Sheahan, 2014; Myers, 2002). En temporadas secas, siembras de maíz y algodón subsecuentes al sésamo, no presentaron tanto estrés hídrico (Langham et al., 2008). El sistema radicular produce un nematocida natural que suprime la mayoría de los nematodos. Las investigaciones demuestran que el sésamo puede ser un cultivo de rotación eficaz para controlar el nematodo del maní (*Meloidogyne arenaria*) y (*M. incognita*) (Rodríguez et al., 1988). Los rastrojos del sésamo también disminuyen la erosión de los suelos. Esta planta se puede adaptar según la densidad de siembra. Si la población es

demasiado alta, el crecimiento es más rápido verticalmente; mientras que, en poblaciones bajas se llena el espacio. La siembra de sésamo en altas densidades también reduce el crecimiento de malezas (Langham et al., 2008; Sheahan, 2014). En Carolina del Norte-Estados Unidos, se evaluaron sistemas de producción de hortalizas con la utilización de especies de leguminosas y no leguminosas incluido el sésamo, para determinar la biomasa, aportación de N, y supresión de malezas. Se muestra que el sésamo tiene una relación C: N más alta que la mayoría de las cubiertas de leguminosas, compite con las malezas y debido a su estructura floral puede atraer insectos beneficiosos a los sistemas de producción (Creamer y Baldwin, 2000).

3.6. Sistema de producción de cultivos intercalados.

El crecimiento en la población genera la necesidad cada vez mayor de aumentar la productividad agrícola. En Latinoamérica, como en otros países en vías de desarrollo, mejorar la producción agrícola es una meta inmediata para evitar la escasez de comida y contribuir al mejoramiento de la vida rural. El aumento en la productividad de los cultivos se basa en la mejora de las prácticas agrícolas y en la implementación de nuevos métodos de producción. De tal manera que se puedan obtener incrementos en la calidad y la producción total de los cultivos en las áreas destinadas (Maruchi et al., 2008). La respuesta inmediata a la necesidad de aumentar la producción es mediante el uso intensivo de productos agroquímicos, puesto que las tierras disponibles para la producción disminuyen constantemente. El uso excesivo de estos productos tiene efectos perjudiciales sobre la salud de la población y el medio ambiente (Nnamonu y Onekutu, 2015).

La producción bajo el enfoque de cultivos intercalados busca maximizar los rendimientos de los cultivos en las tierras cultivables disponibles. Esta técnica hace referencia a que dos o más cultivos crecen de forma simultánea en la misma área de producción, durante toda o una parte del ciclo del cultivo. Estos sistemas de producción permiten optimizar los recursos agrícolas, se mejora el flujo de efectivo y se aumenta significativamente los ingresos. Otros beneficios de los intercultivos incluyen: la supresión de malezas y disminuye la susceptibilidad a plagas y enfermedades. Es una práctica comúnmente utilizada por los pequeños agricultores permitiendo una mejor utilización del terreno. Provee estabilidad en la producción, disminuye el riesgo de pérdida total y, se mejora la distribución del trabajo durante el año. Según los índices de uso de terreno se muestra que los recursos se utilizan de 17 a 31% con más eficiencia mediante cultivos intercalados en comparación a los monocultivos (Hauggaard et al., 2003).

Este sistema de producción es utilizado desde miles de años por los pueblos indígenas de las regiones tropicales. En Kenia, por ejemplo, cerca del 80% de la producción de papas, 90% del maíz local y el 80% de los granos se producen bajo el enfoque cultivos intercalados, con resultados positivos para el control de malezas y mejora en el rendimiento total (Maina et al., 1996). En las zonas tropicales de Latinoamérica, gran parte la producción de los cultivos básicos proviene de sistemas de cultivos intercalados; más del 40% de la yuca, 60% del maíz y 80% de los frijoles de estas regiones se cultivan combinados entre sí o con otros cultivos (Leihner, 1983).

La siembra de varios cultivos que difieren en altura, desarrollo radicular y requerimientos de luz, permite un uso más eficiente de la energía solar, agua y nutrientes que se encuentran a diferentes profundidades en el suelo. En algunos casos puede darse competencia por espacio, aunque el requerimiento varía según la arquitectura de la planta.

Algunas características que determinan la capacidad de las plantas de competir por la luz incluyen: el tipo y arreglo de las hojas, la altura de la planta y el sistema de fotosíntesis. La superioridad competitiva por la luz también depende de la habilidad de la planta de colocar sus hojas en dirección a la radiación y evitar la sombra (Olubode et al., 2016).

En los cultivos intercalados se aumenta la interacción interespecífica de crecimiento y productividad por la diversificación de los productos, en comparación a los monocultivos (Olubode et al., 2012). Se puede disminuir la presión de plagas, se mejora el control de malezas y las cosechas obtenidas de los cultivos secundarios también representan ventaja económica. El principio del sistema de cultivos intercalados se basa en el uso de especies de ciclo largo con especies de ciclo corto. Las prácticas de producción incluyendo la selección de especies y variedades compatibles con el cultivo principal, la época de siembra, la densidad de población de los cultivos, así como el tiempo de intercalación con los cultivos secundarios, también son factores importantes que considerar. La mayoría de los estudios sobre producción de cultivos intercalados se han centrado en el cultivo de cereales y leguminosas, en función de la utilización de los recursos (agua, luz, nutrientes) y su efecto sobre la fijación atmosférica de N (Zhang y Li, 2003).

3.6. 1 Plátano

El plátano (*Musa acuminata* × *Musa balbissiana*), es cultivado en más de 120 países alrededor del mundo. Es fuente de alimento para millones de personas en África, Asia, Oceanía, América Latina y el Caribe (FAOSTAT, 2015). Es un cultivo calificado como alimento básico en los países tropicales ya que aporta gran parte de los requerimientos nutricionales de carbohidratos, fibras, vitaminas (A, B6 y C) y minerales como K, fósforo

(P) y calcio (Ca). En Puerto Rico, este farináceo ocupa el tercer lugar en orden de importancia económica, se estima que el área sembrada alcanza las 10 mil hectáreas (Departamento de Agricultura, 2003). En el año 2012, este cultivo generó un ingreso bruto de \$81 millones en un área de 9,080 ha (Census of Agriculture, 2012). Su gran demanda es debido a su fácil adaptabilidad al trópico y la mínima labranza requerida en su producción. El clon falso-cuerno Maricongo, es el clon comercial mayormente utilizado en la producción, caracterizado por ser de altura media, presentar racimos pequeños. Es un híbrido triploide (Musa hybrid AAB) que resulta del cruce entre *Musa acuminata* (AA) y *Musa balbisiana* (BB). Es una planta muy resistente a enfermedades como la Sigatoka spp. (Goenaga y Irizarry, 2006).

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización

Tanto el experimento de evaluación de densidades de siembra de papaya y el uso de plantas de cobertura para el control de malezas, como el experimento de evaluación de sistemas de cultivos intercalados de papaya y plátano; se establecieron en diciembre de 2016 en la Subestación Experimental Agrícola (EEA) de la Universidad de Puerto Rico. La EEA se ubica en Isabela, en la zona noroeste de la Isla a 18°30' latitud norte, 67°00' longitud oeste y 128 msnm. El predio experimental, pertenece al orden Oxisol de la serie Coto (bien fino, caolinítico, isohipertérmico Eustrustox Típico) (Beinroth et al., 2002). Durante el período de los experimentos se registraron datos de temperatura y precipitación, mediante una Subestación meteorológica ubicada en la EEA.

4.2 Preparación y muestreo de suelo

La preparación del suelo para los dos experimentos se realizó bajo el enfoque de labranza convencional, con pase de arado y rastra a una profundidad aproximada de 30 cm. Se realizó un muestreo de suelo previo al establecimiento de los cultivos. Para ello, se recolectó una muestra representativa de los predios siguiendo un diseño de cuadrícula, utilizando un barreno (0-15 cm de profundidad). La muestra recolectada se secó al aire libre, se sometió a un proceso de molienda y se pasó por un tamiz No. 10 de 2 mm. Finalmente se pesaron 500 g. El análisis de suelo se realizó en el Laboratorio Central Analítico de la Universidad de Puerto Rico, en Río Piedras.

4.3 Experimento I: Evaluación de dos densidades de siembra de papaya (*Carica papaya* L.) y el uso de plantas de cobertura [rábano (*Raphanus sativus* L.) y sésamo (*Sesamun indicum* L.)] sobre el control de malezas

4.3.1 Siembra

El área utilizada previo al experimento se encontraba cultivada con plátano (*Musa acuminata* × *Musa balbissiana*) clon tipo falso-cuerno Maricongo y con maleza predominando el pasto Johnson (*Sorghum halepense*). Para el establecimiento del experimento se utilizaron plántulas de papaya no tratadas de la variedad ‘Red Lady’. El 1ro de diciembre de 2016 se realizó el trasplante manual de las plántulas. Las papayas se trasplantaron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) en parcelas divididas y cuatro repeticiones. La parcela completa correspondía a las dos densidades de siembra y las plantas de cobertura se asignaron a las subparcelas. Las densidades de siembra fueron: densidad convencional de hilera simple (3.5 × 1.25 m) y doble hilera (4 × 2 × 1.25 m). La superficie por parcela fue de 288 m² (16 × 18 m), la superficie total del experimento fue de 1,152 m² (32 × 40 m). En cada parcela del experimento se tenía un total de 7 hileras de 18 m de largo cada una, con ocho plantas de papaya (Figura 1). Una semana después de realizado el trasplante (SDT) de las papayas, se realizó la siembra manual de las plantas de cobertura en las hileras de papaya. Tanto el rábano como el sésamo se sembraron al voleo a una densidad de 13 kg ha⁻¹ (Björkman y Shail, 2010; Creamer y Baldwin, 2000). A las 14 semanas de realizada la siembra de las plantas de cobertura, se cortaron y se dejaron en la superficie del suelo (cobertura muerta).

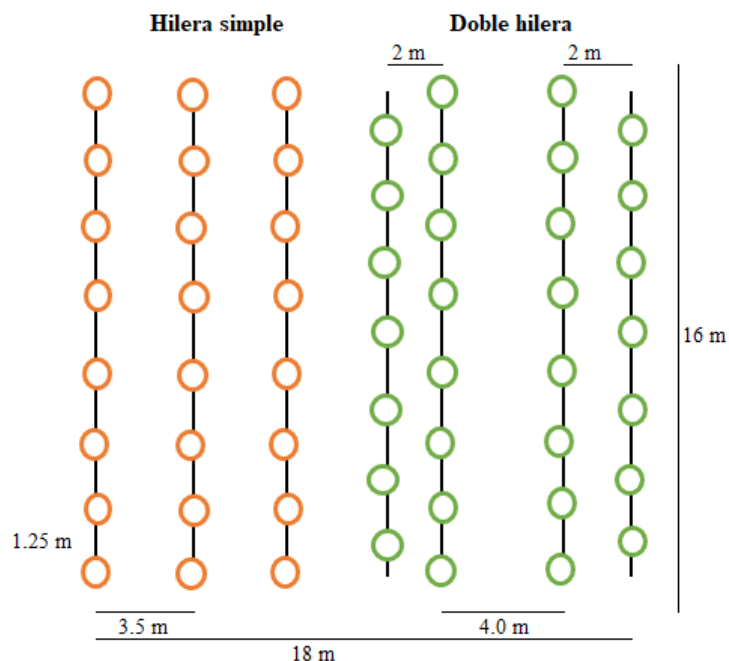


Figura 1. Densidades de siembra de cv. Red Lady en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

4.3.2 Prácticas culturales

Durante el experimento se contaba con un sistema de riego por goteo para asegurar la aplicación uniforme de agua durante todo el ensayo, evitando estrés en las épocas secas. A las ocho SDT, en las calles de todas las unidades experimentales se realizó una aplicación de Fusilade® a 1.5 L ha^{-1} para el control de pasto Johnson (*Sorghum halepense*). Durante el experimento se realizaron cinco controles mecánicos (a las 8, 12, 25, 31 y 40 SDT) entre las calles de cada unidad experimental. Se aplicó 120 kg ha^{-1} de N y 141 kg ha^{-1} de K; utilizando sulfato de amonio (21% de N) y sulfato de potasio (45% de K_2O) como fuentes de N y K, respectivamente. Las aplicaciones se realizaron mensualmente, aplicando los fertilizantes en una circunferencia a 20 cm del tallo de las plantas de papaya.

4.3.3 Medición de variables de respuesta

4. 3.3.1 Biomasa de malezas y plantas de cobertura

Se realizaron dos muestreos de biomasa de malezas: A las 10 semanas después de la siembra (SDS) de las plantas de cobertura se realizó y cuatro semanas después de incorporadas. En el primer muestreo se estimó la biomasa de malezas y de los cultivos de cobertura. El material fresco se recolectó utilizando un cuadrante de 0.25 m². Las muestras se clasificaron en especies de cultivos de cobertura y malezas. Para determinar el porcentaje de materia seca (% MS) las muestras se secaron en un horno por un período de 48 horas a 65°C y se calculó el rendimiento de los cultivos de cobertura (kg ha⁻¹). Las malezas identificadas en cada muestreo se clasificaron en gramíneas y plantas de hoja ancha.

4. 3.3.2 Crecimiento vegetativo de la papaya

Las mediciones de crecimiento vegetativo de las plantas de papaya se tomaron cada seis semanas durante todo el experimento. Para ello, se seleccionaron dos plantas del área efectiva de cada unidad experimental. El área efectiva correspondía a las hileras centrales de cada subparcela, de las cuales se descartó un metro en cada extremo. Las mediciones de altura se evaluaron desde la base de la planta hasta el meristemo apical. El diámetro del tallo se determinó a 10 cm sobre el nivel del suelo en los primeros tres meses, posteriormente a 30 cm.

4. 3.3.3 Producción de papaya

Se realizó un único pase de cosecha de los frutos el 4 de septiembre del 2017 (9 meses después de realizado el trasplante), debido a la presencia del huracán Irma. Para ello, se seleccionaron cuatro plantas del área efectiva de cada unidad experimental. Se tomó como

premisa cosechar todos los frutos que en ese momento tenían un diámetro ≥ 9 mm para frutos femeninos y ≥ 7 mm para frutos de plantas hermafroditas debido a que los frutos todavía están en desarrollo y no presentaban un índice de cosecha comercial. Se determinó la cantidad de frutos producidos por planta, longitud y diámetro de los frutos cosechados. Para estimar la producción por área se tomó el número y peso total de los frutos.

4.3.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Los datos de campo se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), en un Diseño de Bloques Completamente Aleatorizados (DBCA) con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. Los datos se analizaron bajo una prueba de modelos lineales generalizados mixtos bajo el procedimiento Glimmix. Se realizaron las pruebas de análisis de varianza utilizando los residuos y predichos de los datos. Se estableció densidad y plantas de cobertura como efecto fijo y bloques como efecto aleatorio. Las variables evaluadas fueron: control de maleza, biomasa de maleza y de los cultivos de cobertura, altura y diámetro del tallo de las plantas de papaya, rendimiento, número de frutos, diámetro y largo de los frutos. Las medias se separaron según combinaciones factoriales significativas, utilizando un nivel de confianza del 95%. Cuando existieron diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizó una separación de medias utilizando los cuadrados mínimos (LSMEANS) con la opción PDIFF ajustados según Tukey. Se utilizó un análisis binomial para determinar el control de malezas según la planta de cobertura y su estado fenológico. Las variables de altura y diámetro de la planta se analizaron bajo un PROC GLIMMIX con arreglo de medidas repetidas en el tiempo. Los parámetros de producción, se analizaron con contrastes ortogonales (densidad de hilera simple vs doble hilera). Las variables fueron evaluadas usando el programa estadístico “Statistical Analysis System” (SAS versión 9.4[®]).

4.4 Experimento II: Evaluación de sistema de cultivo intercalado de papaya (*Carica papaya* L.) y plátano (*Musa acuminata* × *Musa balbissiana*)

4.4.1 Siembra

El predio utilizado previo al experimento se encontraba cultivada con soya (*Glycine max*). El trasplante manual de las papayas se realizó el 18 de diciembre de 2016. Las papayas se trasplantaron en un DBCA en parcelas divididas y cuatro repeticiones. La parcela completa correspondía a las densidades de siembra, la presencia del plátano se asignó a las subparcelas. Las densidades evaluadas fueron: densidad de hilera simple (2 × 1.40 m) y doble hilera (4 × 1 × 1.40 m). La superficie por parcela fue de 156 m² (12 × 13 m), y la superficie total del experimento fue de 728 m². En cada parcela se tenía un total de 5 hileras de 12 m de largo con 9 plantas de papaya de la variedad “Red Lady” (Figura 2). Un mes después de realizado el trasplante de las papayas, se realizó la siembra de plátano. Se utilizaron cormos no tratados del clon tipo falso-cuerno Maricongo. Los cormos se trasplantaron distanciados a un metro de las hileras de papaya y, 1.25 m entre cormos. En cada parcela se tenía un total de 6 hileras, con cuatro plantas de plátano en cada una.

4.4.2 Prácticas culturales

Durante el experimento se estableció un sistema de riego por goteo para asegurar la aplicación uniforme de agua en todo el ensayo y evitar estrés. A las ocho SDT de las papayas, en las calles se realizó una aplicación de Fusilade[®]DX (Fluazifop-P-butyl(R)-2-4-[[5-trifluoromethyl]-2- yridinyl]oxy]phenoxy] pro-panoate) a 1.5 L ha⁻¹ para el control de pasto Johnson (*Sorghum halepense*) en todas las unidades experimentales. Durante el experimento se realizaron 5 controles mecánicos (a las 8, 12, 25, 31 y 40 SDT) para limpieza de malezas

en las calles de las unidades experimentales. Se aplicó 120 kg ha^{-1} de N y 141 kg ha^{-1} de K. Se utilizó sulfato de amonio (21% de N) y sulfato de potasio (45% de K_2O) como fuentes de N y K, respectivamente. Las aplicaciones se realizaron mensualmente, aplicando los fertilizantes en una circunferencia a 20 cm del tallo de las plantas.

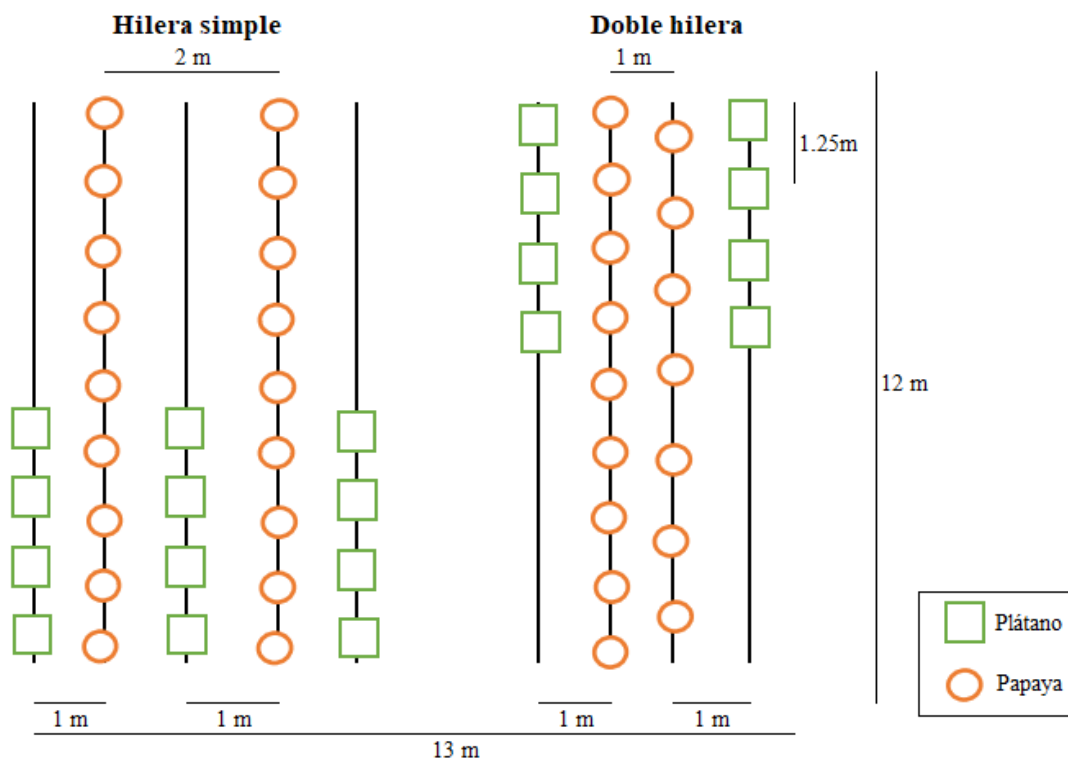


Figura 2. Densidad de siembra del cv Red Lady y plátano intercalado en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

4.4.3 Medición de variables de respuesta

4. 4.3.1 Crecimiento vegetativo de la papaya

Las mediciones de crecimiento vegetativo de las plantas de papaya se tomaron cada seis semanas durante todo el experimento. Se seleccionaron dos plantas del área efectiva de cada unidad experimental. El área efectiva de cada parcela correspondía a las hileras centrales

de cada subparcela, de las cuales se descartó un metro en cada extremo. Las mediciones de altura se tomaron desde la base de la planta hasta el meristemo apical. El diámetro del tallo se determinó 10 cm sobre el nivel del suelo en los primeros tres meses, posteriormente a 30 cm.

4. 4.3.2 Producción de papaya

Debido a la presencia del huracán Irma, se realizó solo un pase de cosecha el 3 de septiembre del 2017 (9 meses después de realizado el trasplante). Para ello, se seleccionaron tres plantas del área efectiva de cada unidad experimental. Debido a que los frutos no estaban para cosecha comercial, de las plantas seleccionadas se cosecharon todos los frutos que en ese momento tenían un diámetro ≥ 9 mm para frutos femeninos y ≥ 7 mm para frutos de plantas hermafroditas. Se determinó la cantidad de frutos producidos por planta, longitud y diámetro de los frutos cosechados.

4. 4.3.3 Índice de uso equivalente de terreno (UET)

Para el cálculo de UET, se dividió el rendimiento (producción en cosecha) del sistema intercalado (papaya + plátano) entre los rendimientos del monocultivo de papaya. Se determinó el UET según la densidad de siembra. Un valor mayor de uno indica que el cultivo en sistema intercalado rinde más producto por unidad sembrada que el monocultivo; valores iguales a uno indica que la unidad por área es igual en ambos sistemas de producción; y un valor menor de uno representa alguna depresión de rendimientos en los sistemas intercalados comparado con sus monocultivos (Gliessman, 1998).

4.4.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Los datos de campo se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), en un Diseño de Bloques Completamente Aleatorizados (DBCA) con arreglo de parcelas divididas y cuatro repeticiones. Los datos se analizaron bajo una prueba de modelos lineales generalizados mixtos bajo el procedimiento Glimmix. Las variables de clasificación fueron: densidad de siembra, sistema de siembra y bloque. Las variables evaluadas fueron: altura y diámetro de las plantas de papaya, rendimiento, número, largo y diámetro de los frutos. Las medias se separaron según combinaciones factoriales significativas, utilizando un nivel de confianza del 95%. Cuando existieron diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizó una separación de medias utilizando los cuadrados mínimos (LSMEANS) con la opción PDIF ajustados según Tukey. Las variables de altura y diámetro de la planta se analizaron bajo un PROC GLIMMIX con arreglo de medidas repetidas en el tiempo. Se realizó una transformación de los datos de rendimiento, utilizando el logaritmo de estos. La producción se analizó según contrastes ortogonales (densidad de hilera simple vs doble hilera doble), y (sistema intercalado vs monocultivo). Las variables fueron evaluadas usando el programa estadístico “Statistical Analysis System” (SAS versión 9.4[®]).

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de suelo del predio del primer experimento reveló un pH de 5.83, una conductividad de 462 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El contenido de M.O era de 1% y concentraciones de 18, 158, 56 mg/kg de P disponible, K y magnesio (Mg), respectivamente. El análisis de suelo del segundo experimento reportó 1% de M.O, y concentraciones de 8, 41 y 84 mg/kg de P disponible, K y Mg, respectivamente. La precipitación total durante la presencia de las plantas de cobertura (75 días) fue de 324 mm con una temperatura promedio diaria de 23°C (Figura 3). Durante el crecimiento del cultivo de papaya (diciembre 2016- agosto 2017) la precipitación total fue de 1,073mm con una temperatura promedio de 24°C.

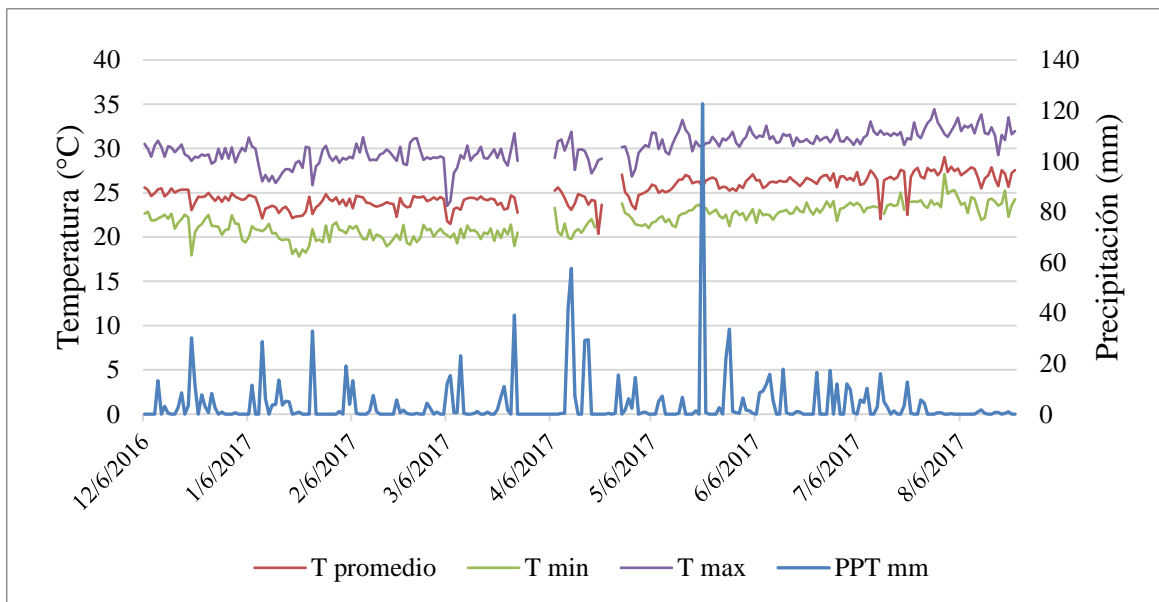


Figura 3. Temperatura y precipitación registrada durante diciembre 2016 a- agosto 2017 en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

5.1 Experimento I: Evaluación de dos densidades de siembra de papaya (*Carica papaya* L.) y el uso de plantas de cobertura [rábano (*Raphanus sativus* L.) y sésamo (*Sesamun indicum* L.)] sobre el control de malezas

5.1.1 Control de malezas

No se encontró interacción ($p>0.05$) para el control de malezas entre densidad de siembra de papaya por los cultivos de cobertura independiente su estado fenológico. No se encontró diferencia significativa ($p>0.05$) entre densidad simple y doble hilera para el control de malezas (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros estadísticos de control de malezas según estado fenológico de las plantas de cobertura.

Factor	Pr >F	
	Viva	Muerta
Cobertura	<0.0001*	0.0005*
Densidad	0.999	0.191
Cobertura × Densidad	0.061	0.730

* Valor significativo

Se encontró diferencias significativas ($p<0.05$) para el control de malezas a las 10 SDS de las plantas de cobertura. Se reporta un 94% y 76% de control de malezas para rábano y sésamo, respectivamente (Tabla 2). Las unidades sin cobertura presentaron las mayores cantidades de maleza ($1,690 \text{ kg MS ha}^{-1}$) predominando malezas de hoja fina, en específico pasto Johnson. El crecimiento rápido de las plantas de cobertura y la capacidad competitiva de desarrollarse en poblaciones densas permite cubrir por completo el suelo e inhibir la germinación de malezas. Las plantas de cobertura pueden ocupar el espacio y utilizar los recursos que de otra manera estarían disponibles para las malezas; interceptan la radiación y

reducen la calidad de luz disponible a las malezas, limitando así su capacidad de crecimiento (Hartwig y Ammon, 2002; Lemessa y Wakjira, 2015).

Se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) en los rendimientos de MS de las plantas de cobertura. Para el sésamo se reportan valores de $1,030 \text{ kg MS ha}^{-1}$, mientras que el rábano presentó el mayor rendimiento siendo de $1,750 \text{ kg MS ha}^{-1}$. Estos rendimientos fueron menores a los reportados por Lawley et al., 2011 que reportaron $3,900 \text{ kg MS ha}^{-1}$ en la costa de Maryland. En el presente experimento se reporta 91 % de humedad en las hojas suculentas del rábano que crecen en una roseta basal. El sésamo que tiene un tallo herbáceo con hojas trifoliadas presentó 87% de humedad.

Tabla 2. Rendimiento total de materia seca y control de malezas de las plantas de cobertura en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

Variables	Rábano		Sésamo		p- valor
	Estado fenológico de cobertura				
	CV ¹	CM ²	CV ¹	CM ²	
Biomasa total de maleza (kg MS ha^{-1})	450d*	310c	690b	870a	<0.001
% Control maleza	94a	69c	76 b	13 d	<0.001
Rendimiento cobertura (kg MS ha^{-1})	1750a	--	1030b	--	0.0016

¹ CV-Cobertura viva; ² CM-Cobertura muerta.

*Valores dentro de la misma fila promedios seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

En Carolina del Norte en Estados Unidos, se evaluaron sistemas de producción de hortalizas con la utilización de especies de leguminosas y no leguminosas, incluido el sésamo. En esa evaluación se demuestra que el sésamo compite con las malezas (Creamer y Baldwin, 2000). En el estudio realizado en la costa de Maryland usando rábano como planta de cobertura para la eliminación de malezas anuales en los cultivos de maíz, se demuestra

que el principal mecanismo del rábano en la supresión de malezas es su rápido crecimiento y la cobertura que proporciona con sus hojas (Lawley et al., 2011). En Michigan, el usar rábano redujo la biomasa de malezas en 4,490 kg ha⁻¹ antes de la siembra de cultivos de hortalizas y se redujo la cantidad de semillas de malezas en el suelo en comparación con un cultivo sin cobertura (Wang et al., 2008). Otro estudio realizado también en Michigan se demuestra que el rábano como planta de cobertura suprimió el crecimiento de amaranto (*Amaranthus blitoides*), verdolaga (*Portulaca oleracea* L.), coyolillo (*Cyperus esculentus* L.) y de hierba gallinera (*Stellaria media* L. Vill.) (Charles et al., 2006). La siembra de rábano cv. Brutus en los Países Bajos como planta de cobertura redujo la biomasa de la maleza de 65% a 95% (Kruidhof et al., 2008). El rábano como cobertura viva representa una alternativa para la supresión de malezas anuales y puede ser una herramienta útil para controlar los biotipos de malezas resistentes a herbicidas (Jacobs, 2012; Weil et al., 2006).

Se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) para el control de malezas según el estado fenológico de las plantas de cobertura. El mejor control de malezas tanto por el rábano como por el sésamo se obtuvo como cobertura viva. El sésamo presenta valores promedio de 76 y 13 % de control de malezas en estado de cobertura viva y cobertura muerta, respectivamente. El rábano registra valores promedio de 94 y 69 % de control de malezas en estado de cobertura viva y cobertura muerta, respectivamente (Tabla 2). En estado de cobertura muerta, el rábano presentó las menores cantidades de MS de malezas (310 kg MS ha⁻¹). Mientras que el sésamo presentó valores de 870 kg MS ha⁻¹ que no difieren del control (sin cobertura).

La degradación fisicoquímica de los residuos vegetales de las plantas de cobertura que se dejan en la superficie del suelo también puede producir aleloquímicos adicionales que permiten suprimir, retrasar o alterar la germinación, emergencia y desarrollo de las malezas,

debido a efectos físicos y alelopáticos. La concentración de las sustancias aleloquímicas depende de la biomasa, densidad y estado fenológico de la planta (Kruse et al., 2000; Teasdale, 1993). Además, los residuos de las plantas de cobertura que se dejan en la superficie del suelo o se incorporan, aumentan la M.O del suelo y favorecen al incremento de la actividad biológica (Hartwig y Ammon, 2002; Lemessa y Wakjira, 2015).

Sembrar el rábano, cortarlo e incorporarlo en los sistemas de producción antes del cultivo principal es una alternativa para el control de malezas ya que permite que en la siembra de los cultivos subsiguientes no sea necesaria la aplicación de herbicidas pre-emergentes. Como se demuestra en el estudio realizado en la costa Maryland, los rendimientos de maíz sembrado después del corte de rábano cobertor no se vieron afectados a pesar de no aplicar herbicidas pre-emergentes (Weil et al., 2006). Los cultivos de cobertura de la familia Brassicaceae contienen grandes cantidades de glucosinolatos, cuando estos se desdoblan forman productos secundarios biotóxicos que pueden inhibir la germinación de las semillas de las malezas (Weil y Kremen, 2007).

A las 10 SDS de las plantas de cobertura, se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) en la proporción de malezas de hoja ancha y de hoja fina según la planta de cobertura. En las áreas experimentales en donde se encontraba el sésamo predominaban las malezas de hoja ancha en comparación a las malezas de hoja fina. En las unidades experimentales donde se encontraba el rábano y el control predominaban las malezas de hoja fina (Tablas 3-4). Así mismo, se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) de la proporción de malezas de hoja ancha y hoja fina que se desarrollaron según el estado fenológico de la planta de cobertura (viva-muerta). Después de incorporadas las plantas de cobertura predominaban malezas de hoja ancha.

Tabla 3. Biomasa de malezas y control según el estado fenológico del rábano en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

Estado fenológico	Biomasa maleza (kg Ms ha ⁻¹)	Malezas (%)	
		Hoja ancha	Hoja fina
Cobertura viva	450a*	25a	75b
Cobertura muerta	310b	72b	28a
Pr >F	<0.0001	<0.0001	<0.0001

*Valores dentro de la misma columna seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Tabla 4. Biomasa de malezas y control según el estado fenológico del sésamo en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

Estado fenológico	Biomasa maleza (kg Ms ha ⁻¹)	Malezas (%)	
		Hoja ancha	Hoja fina
Cobertura viva	690b*	25a	75b
Cobertura muerta	870a	81b	18a
Pr >F	<0.0001	<0.0001	<0.0001

*Valores dentro de la misma columna seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

En la clasificación de malezas de hoja fina se identificaron: coyolillo (*Cyperus rotundus*), arrocillo (*Echinochloa colona*) y pasto Johnson (*Sorghum halepense*). Respecto a las malezas de hoja ancha se identificaron: tripa de pollo (*Commelina diffusa*), verdolaga (*Portulaca oleracea*), clavelito (*Emilia fosbergii*), dormilona (*Mimosa púdica*), bleo (*Amaranthus hybridus*), pata de gallina (*Eleusine indica*) y lechugia (*Sonchus oleraceus*).

5.1.2 Crecimiento vegetativo

Se encontró interacción ($p < 0.05$) entre densidad por semana después del trasplante (SDT) para altura y diámetro del tallo de las plantas de papaya. No se encontró interacción ($p > 0.05$) entre densidad de siembra por cultivos de cobertura (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros estadísticos de crecimiento vegetativo de las plantas de papaya.

Factor	Pr >F	
	Altura	Diámetro
Cobertura	0.854	0.816
Densidad	0.267	0.051*
SDT [‡]	<0.0001*	<0.0001*
Densidad × Cobertura	0.185	0.528
Cobertura × SDT	0.752	0.447
Densidad × SDT	0.006*	0.008
Cobertura × Densidad × SDT	0.140	0.160

[‡]SDT-Semana después de trasplante; * Valor significativo.

Únicamente a las 30 SDT se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre densidad simple y densidad de doble hilera para diámetro del tallo. Se reportan valores de diámetro de 6.46 y 5.31 cm para la densidad de doble hilera y simple hilera, respectivamente (Tabla 6). A las 36 SDT se reportan valores de altura de 1.67 y 1.74 m para densidad de doble hilera y simple hilera, respectivamente (Figura 2). Estos valores de altura difieren de lo reportado en el estudio realizado en el municipio de Guánica, Puerto Rico en un suelo tipo Aridisol de la serie Guayacán. En donde plantas de papaya cv Red Lady sembradas en hileras simples bajo manejo convencional a las 36 semanas presentaron valores de 2.83 m de altura (Figuroa, 2016). En el estudio realizado en Michoacán, México se reporta valores promedio de 1.88 m de altura y 10.5 cm de diámetro de tallo de plantas de papaya de la variedad Red Lady sembradas en tres diferentes densidades 2,200; 2,800 y 3,117 plantas ha⁻¹. En ese estudio se

reporta un efecto negativo de densidad únicamente en el diámetro final de plantas. En donde la mayor densidad presentó valores de 9.6 cm estadísticamente diferentes a los valores de la densidad más baja con una media de 10.5 cm. El diámetro de tallo es una variable indicativa del rendimiento y número de frutos por planta, es decir plantas con tallo más grueso tienden a ser más productivas (Rivas et al., 2003).

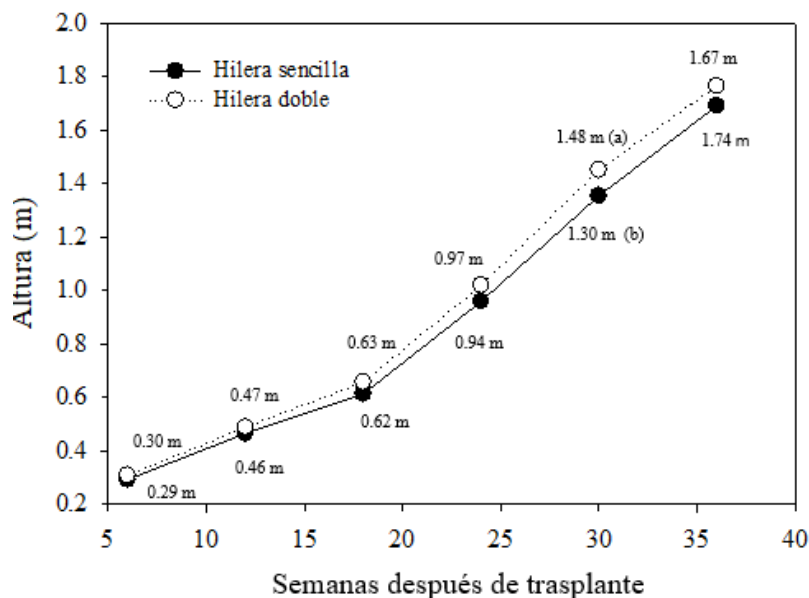


Figura 4. Altura (m) de las plantas de papaya en las diferentes semanas del cultivo según densidad de siembra en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

Tabla 6. Diámetro (cm) de las plantas de papaya según densidad de siembra, en las diferentes semanas del cultivo en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

Densidad	Semana después de trasplante					
	6	12	18	24	30	36
Hilera simple	0.63a*	0.98a	2.03a	2.03a	5.31b	7.00a
Hilera doble	0.70a	1.07a	2.08a	2.08a	6.46a	7.02a
Pr >F	0.779	0.070	0.835	0.857	<0.0001	0.946

*Valores dentro de la misma columna seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

5.1.3 Producción de papaya

No se encontró interacción ($p > 0.05$) entre densidad de siembra por los cultivos de cobertura para rendimiento y número de frutos. Pero si para el efecto simple de densidad de siembra (Tabla 7).

Tabla 7. Parámetros estadísticos de producción de las plantas de papaya.

Factor	Pr >F	
	Rendimiento	Numero de fruto
Cobertura	0.919	0.753
Densidad	<0.0001*	<0.0001*
Cobertura × Densidad	0.720	0.551

* Valor no significativo.

Contrastes ortogonales (densidad hilera simple vs doble hilera) mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en rendimiento y número de frutos. La siembra en doble hilera (4,000 plantas ha^{-1}) muestra rendimientos de 49,787 kg ha^{-1} (63 ton ha^{-1}) con un total de 46,572 frutos. Para hilera simple (2,285 plantas ha^{-1}) se reporta una cosecha de 23,789 frutos, con rendimientos de 24,791 kg ha^{-1} (24 ton ha^{-1}) (Tabla 8). Los valores de producción son menores a los reportados en estudios realizados en diferentes municipios de la Isla. Estudios en los municipios de Isabela (suelo Oxisol) y Corozal (suelo Ultisol), Puerto Rico. La variedad ‘Red Lady’ bajo manejo intensivo muestra rendimientos promedio de 135 ton ha^{-1} y 75 ton ha^{-1} , respectivamente. En el estudio en Guánica, Puerto Rico en siembra convencional de hilera simple reportan un rendimiento promedio de 114 ton ha^{-1} en cuatro períodos de cosecha (Goenaga y Irizarry, 2001; Figueroa, 2016). La diferencia entre los valores de rendimiento recopilados en el presente estudio puede atribuirse a que únicamente se realizó una cosecha, siendo anticipada a la madurez total de los frutos. A consecuencia de las condiciones climáticas y el embate del huracán Irma en Puerto Rico, registrado a los

nueve meses después de establecido el experimento. Después del pase del huracán Irma se perdió aproximadamente el 50% del experimento, posteriormente con el pase del huracán Maria se perdió en su totalidad el experimento.

Tabla 8. Parámetros de producción de las plantas de papaya según densidad de siembra, en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

Densidad	Por hectárea		Por planta			
	Producción (kg ha ⁻¹)	No. fruto	Producción (kg ha ⁻¹)	No. fruto	Largo fruto (cm)	Diámetro fruto (cm)
Simple	24,791b	23,789b	10.79a	10a	18b*	10a
Doble	49,787a	46,572a	11.94a	11a	21a	11a
Pr >F	<0.0001	<0.0001	0.628	0.477	0.021	0.131

* Valores dentro de la misma columna seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

La producción neta por planta en siembra de hilera simple fue de 10.79 kg que no difiere de la producción de doble hilera que fue de 11.94 kg. Se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) en el largo de los frutos. Para el número y diámetro de frutos no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las dos densidades de siembra. Las plantas de papaya sembradas en hilera simple muestran una producción de 10 frutos con diámetro de 10 cm, mientras que en doble hilera la producción fue de 11 frutos con diámetros de 11 cm. (Tabla 8).

En Michoacán, México se realizó la evaluación de cuatro variedades de papaya (Maradol, Red Lady, Sunset Solo y Sunrise Solo) sembradas en tres diferentes densidades siendo de 2,200; 2,800 y 3,117 plantas ha⁻¹. Se reportó que el mayor rendimiento (30 %) se obtuvo con la densidad de 2,800 plantas ha⁻¹ en comparación a la siembra de 2,200 plantas ha⁻¹ para las cuatro variedades. El rendimiento promedio reportado para la variedad Red Lady fue de 128 ton ha⁻¹ para la densidad de 2,800 plantas ha⁻¹ (Rivas et al., 2003).

En Veracruz, México trabajos con papaya tipo Cera, obtuvieron mayores rendimientos a una densidad alta (4,400 plantas ha⁻¹), con respecto a la siembra tradicional (1,111 plantas ha⁻¹) bajo un régimen de temporal (Nieto, 1990). Un estudio realizado en las Islas Canarias con papaya “Baixinho de Santa Amalia” derivado del cv. Sunrise bajo condiciones de invernadero, confirma que al sembrar en densidades altas se obtiene mayor rendimiento y menor porcentaje de fruta no comercial en comparación a las densidades más bajas. Reportan una producción de 182 ton ha⁻¹ de fruto comercial en la siembra de 2,666 plantas ha⁻¹ y 134 ton ha⁻¹ de fruto comercial en la densidad de 1,600-2000 plantas ha⁻¹, respectivamente (Pastor, 2002). En el Noreste de Brasil, se evaluaron siembras de papaya cv. Caliman-01 en hilera simple (3.8 × 2.0 m) y doble hilera (3.8 × 2.0 × 1.8 m). El estudio refleja que las plantas sembradas en doble hilera presentaron rendimientos de fruta mayores en 63% en comparación a las plantas sembradas en hileras simples. La siembra en hilera doble promueve mayor eficiencia en la absorción de la radiación fotosintéticamente activa en comparación a la hilera simple. Es mejor el uso de la luz y se presenta un índice de área foliar casi un 10% más alto que la siembra en hilera simple (Santos et al., 2016).

Las siembras de papaya en densidades altas compensan la pérdida de plantas por la práctica de eliminación temprana por enfermedad (Rivas et al., 2003). El rendimiento potencial del cultivo de papaya puede variar según regiones y las técnicas de manejo empleadas. En este estudio, al momento de realizar la cosecha se confirma que al sembrar en doble hilera se incrementan los rendimientos en casi 50% con relación a la siembra de hilera simple. El sembrar en doble hilera no afecta la cantidad y diámetro de los frutos.

5.2 Experimento II: Evaluación del sistema de cultivo intercalado de papaya (*Carica papaya* L.) y plátano (*Musa acuminata* × *Musa balbissiana*)

5.2.1 Crecimiento vegetativo

No se encontró interacción ($p > 0.05$) entre densidad de siembra por sistema de siembra. No se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los sistemas de siembra convencional (monocultivo de papaya) y siembra intercalada (papaya + plátano) para altura y diámetro de la planta de papaya. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre densidad simple y doble hilera para altura y diámetro del tallo de la planta de papaya (Tabla 9).

Tabla 9. Parámetros estadísticos de crecimiento vegetativo de las plantas de papaya.

Factor	Pr >F	
	Altura	Diámetro
Sistema de siembra	0.319	0.481
Densidad	0.043*	0.004*
SDT [‡]	<0.0001*	<0.0001*
Sistema de siembra × Densidad	0.228	0.061
Sistema de siembra × SDT	0.192	0.277
Densidad × SDT	0.953	0.048*
Sistema de siembra × Densidad × SDT	0.770	0.560

[‡]SDT-Semana después de trasplante; * Valor significativo.

A las 36 SDT (9 meses) se reportan valores de altura de 1.53 m y 1.46 m en siembra de hilera simple y doble hilera, respectivamente (Figura 3). Para los sistemas de siembra, se reporta altura de la planta de 1.40 y 1.59 m en el monocultivo de papaya y el sistema intercalado, respectivamente (Tabla 11). Estos valores difieren de lo reportado en el estudio realizado en el municipio de Guánica - Puerto Rico, en donde se presentan valores de altura para las plantas de papaya cv Red Lady de 2.83 m a los 9 meses de realizada la siembra

(Figueroa., 2016). Respecto a diámetro del tallo a las 36 SDT (9 meses), en siembra de hilera simple se muestran valores de 7.65 mientras que para hilera doble el diámetro del tallo fue de 6.27 cm (Tabla 10).

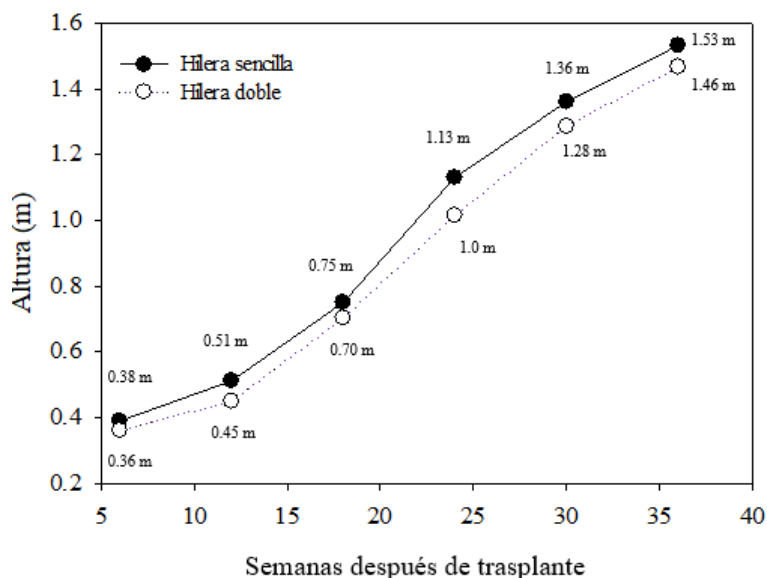


Figura 5. Altura (m) de las plantas de papaya en las diferentes semanas del cultivo según densidad de siembra en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

La papaya se clasifica como una planta con metabolismo y anatomía de hoja C3, tiene un sistema fotosintético que puede adaptarse a los cambios en intensidad y calidad de la luz (Jeyakumar et al., 2007). En el estudio de comparación de plantas de papaya cultivadas en luz solar alta (plena) con plantas cultivadas bajo una reducción de luz del 60% y cultivadas con espectros alterados [reduciendo la relación de radiación rojo a rojo lejano (R: FR = 0.26)]. Demuestran que las hojas de las plantas cultivadas en ambientes modificados tenían un grosor reducido, mayor longitud de pecíolo, mayor peso específico de la hoja. La densidad de estomas y el contenido de clorofila fue mayor en comparación a las plantas cultivadas en luz solar plena (Buisson y Lee, 1993). Esto indica que la adaptación del sistema fotosintético de

la papaya le permite crecer y desarrollarse bajo sistema de siembra intercalado con cultivos de porte alto.

Tabla 10. Diámetro (cm) de las plantas de papaya en las diferentes semanas del cultivo según densidad de siembra, en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

Densidad	Semana después de trasplante					
	6	12	18	24	30	36
Hilera simple	0.84a	1.44a	2.93a	5.23a*	6.67a	7.65a
Hilera doble	0.76a	1.19a	2.64a	4.24b	5.30b	6.27b
Pr >F	0.849	0.550	0.468	0.019	0.002	0.001

* Valores dentro de la misma columna seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Tabla 11. Altura (m) de las plantas de papaya en las diferentes semanas del cultivo según el sistema de siembra, en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

Sistema de siembra	Semana después de trasplante					
	6	12	18	24	30	36
Monocultivo papaya	0.36	0.45	0.70	1.02	1.21	1.40
Papaya + plátano	0.38	0.51	0.74	1.12	1.43	1.59
Pr >F	0.799	0.601	0.757	0.366	0.066	0.101

Tabla 12. Diámetro (cm) de las plantas de papaya en las diferentes semanas del cultivo según el sistema de siembra, en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

Sistema de siembra	Semana después de trasplante					
	6	12	18	24	30	36
Monocultivo papaya	0.80	1.24	2.71	4.36	5.51	6.42
Papaya + plátano	0.81	1.39	2.86	5.10	6.46	7.50
Pr >F	0.991	0.850	0.845	0.348	0.231	0.174

5.2.2 Producción de papaya

No se encontró interacción ($p>0.05$) entre densidad de siembra por sistema de siembra para rendimiento y número de frutos (Tabla 13).

Tabla 13. Parámetros estadísticos de producción de las plantas de papaya.

Factor	Pr >F	
	Rendimiento	Número de fruto
Sistema de siembra	0.935	0.969
Densidad	<0.001*	<0.001*
Sistema siembra × Densidad	0.873	0.94

* Valor significativo.

Contrastes ortogonales (densidad simple vs doble hilera) mostraron diferencias significativas ($p<0.05$) en rendimiento y número de frutos. La siembra en hilera doble (4,761 plantas ha^{-1}) muestra rendimiento de 51,994 kg ha^{-1} (51 ton) con un total de 36,509 frutos. Mientras que en hilera simple (3,571 plantas ha^{-1}) se reporta un rendimiento de 63,545 kg ha^{-1} (63 ton) y 57,820 frutos. En este estudio bajo estas densidades, el sembrar en doble hilera no se incrementaron los rendimientos con relación a la siembra en hilera simple. Se encontraron diferencias significativas ($p<0.05$) en la producción neta y número de frutos por planta según la densidad de siembra. En siembra de doble hilera se reporta una producción de 10 frutos con rendimiento de 10 kg. En hilera simple la producción fue de 16 frutos y rendimientos de 17 kg (Tabla 14).

Contrastes ortogonales [siembra convencional (monocultivo papaya) vs sistema intercalado (papaya + plátano)] no mostraron diferencias significativas ($p>0.05$) para rendimiento y número de frutos. La cosecha del sistema intercalado muestra rendimientos de 55,274 kg ha^{-1} (55 ton) con un total de 47,674 frutos. Mientras que en ausencia del plátano (monocultivo de papaya) se podrían cosechar 46,665 frutos reportando rendimientos de 60,292 kg ha^{-1} (60 ton). La producción neta por planta en el sistema de cultivo intercalado

fue de 13 kg que no difiere estadísticamente de la producción del sistema de monocultivo que fue de 14 kg (Tabla 15). La siembra en cultivo intercalado no afecta el rendimiento, cantidad, diámetro y largo de los frutos.

Tabla 14. Producción de las plantas de papaya según densidad de siembra, en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

Densidad	Por hectárea		Por planta			
	Producción (kg ha ⁻¹)	No. fruto	Producción (kg ha ⁻¹)	No. fruto	Largo fruto (cm)	Diámetro fruto (cm)
Hilera simple	63,545a	57,820a	17a*	16a	19a	11a
Hilera doble	51,994b	36,509b	10b	10b	18a	10a
Pr >F	<0.001	<0.001	0.033	0.035	0.227	0.802

* Valores dentro de la misma columna seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

Tabla 15. Producción de las plantas de papaya según sistema de siembra, en la Subestación Experimental Agrícola, Isabela, Puerto Rico.

Sistema de siembra	Por hectárea		Por planta			
	Producción (kg ha ⁻¹)	No. fruto	Producción (kg)	No. fruto	Largo fruto (cm)	Diámetro fruto (cm)
Monocultivo	60,292a*	46,655a	14.96a	13a	19a	10a
Papaya + plátano	55,247b	47,674a	13.75a	13a	18a	11a
Pr >F	<0.001	<0.001	0.687	0.64	0.367	0.802

* Valores dentro de la misma columna seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

La producción de papaya bajo el sistema de cultivo intercalado debe expresar específicamente su compatibilidad con otros cultivos en términos de competencia favorable para nutrientes, humedad de suelo y luz. En Nigeria, se realizó un estudio para determinar la compatibilidad de hortalizas con el cultivo de papaya, en donde establecieron tres sistemas de producción [papaya, papaya + okra (*Abelmoschus esculentus*) y papaya + pepino (*Cucumis sativus*)]. El estudio se demuestra que el sistema de producción intercalado con

hortalizas disminuyó significativamente la altura de la papaya, la circunferencia del tallo y el número de hojas; mientras que el índice del uso de terreno se mantuvo. La presencia de okra redujo significativamente el rendimiento de fruta de papaya en comparación a la presencia del pepino del cv Sunrise. Se indica que la papaya podría ser intercalada con hortalizas en las primeras etapas vegetativas para sostener la utilización del terreno y la productividad total (Olubode et al., 2012). En Ibadán, en el sudoeste de Nigeria, plantas de papaya fueron intercaladas con okra, sandía (*Citrullus lanatus*) y camote (*Ipomoea batata*). Reportan que el camote causó una marcada reducción en el rendimiento de la papaya (Agboola, 2000). También, en Nigeria la papaya se cultiva en sistemas intercalados con plantas superiores como palma aceitera (*Elaeis guineensis*), plantas intermedias como cítricos y hortalizas de porte pequeño. En este estudio se reporta que el crecimiento y rendimiento de la papaya no se vio afectado en presencia del cultivo de plátano.

5.2.3 Índice de uso equivalente de terreno (UET)

El UET es un indicador de la cantidad de terreno que se necesita para producir dos o más cultivos juntos en comparación con sus monocultivos. En este estudio se reporta un UET parcial del cultivo de papaya de 0.89 para la siembra de hilera doble y de 0.93 hilera simple. Este valor toma en cuenta la producción reportada en la cosecha del sistema intercalado (papaya + plátano) entre los rendimientos del monocultivo de papaya. La diferencia del UET parcial de papaya entre densidad de siembra es similar a la reportada en el estudio realizado en la Universidad de Ghana, en donde se evaluó el crecimiento y rendimiento de pepino y okra cultivados en un sistema intercalado. En donde reportan un UET ligeramente superior para la siembra de hilera simple de 2.4 mientras que para la siembra en hilera doble fue de

2.2, indicando que el cultivo intercalado de una hilera fue mejor que el cultivo intercalado de doble hilera (Ofuso y Limbani, 2007).

En la Subestación Experimental Santa Rosa en Chile, se evaluó la eficiencia de uso de terreno del cultivo de maíz (*Zea mays*) intercalado con frijol (*Phaseolus vulgaris*). Los cultivares de maíz Dulce Team y Jubilee reportaron los mayores valores parciales de UET con un promedio de 0.94 y 0.87, respectivamente. Los valores parciales indicaban que ambos cultivares presentarían un buen comportamiento bajo condiciones de asociación. En efecto, al realizar el cálculo total de UET tomando en cuenta los valores parciales de frijol se demuestra que el maíz Dulce Team en intercultivo reportó un UET de 1.23 y resultó desde el punto de vista numérico ser la más adaptada a condiciones de asociación seguido por la asociación de maíz Jubilee con un valor de 1.20. En ambos casos el valor UET fue mayor que la unidad, lo que significa que para esas asociaciones el sistema de cultivo intercalado resulta ser más eficiente que su monocultivo. Los valores de UET indican que se necesita un 23 y un 20 % más de terreno (en m²), para obtener los mismos rendimientos con un sistema de monocultivo (Jana et al., 2000).

En los intercultivos la productividad absoluta por área es menor que la producción de los monocultivos, debido a que las densidades de las plantas son altas. Pero al realizar una sumatoria de los rendimientos relativos de cada cultivo en los sistemas intercalados, siempre hay ventaja en los intercalados que en los monocultivos. Para calcular el UET se deben sumar los rendimientos parciales de cada cultivo de los sistemas de producción. En este estudio faltó incluir el UET parcial de plátano para determinar el índice completo. Debido a la pérdida total de las plantas de plátano tras el paso del huracán María en Puerto Rico. En Ibadán, en el sudoeste de Nigeria, plantas de papaya fueron intercaladas con okra, sandía y camote. Los índices de uso de terreno para papaya intercalada con okra, sandía y camote fueron de 3.86,

3.13, 2.06, respectivamente indicando que todas las combinaciones fueron más ventajosas que el monocultivo de papaya (Olubode et al., 2012). En este estudio únicamente se reporta el índice parcial del cultivo de papaya (0.89-0.93), el índice parcial del cultivo de plátano no se incluyó por la pérdida de las plantas. Con los índices parciales reportados se demuestra que la papaya es compatible con la siembra intercalada con plátano, lo que indica un uso eficiente del área de producción. Sin embargo, es importante determinar el UET financiero para comprobar la ventaja económica que se puede adquirir al obtener producción y comercialización tanto del cultivo de papaya como de plátano.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La integración de rábano y sésamo como cultivos de cobertura en el cultivo de papaya no había sido documentada anteriormente en la isla. El presente estudio realizado al noroeste de Puerto Rico demuestra que el rábano muestra eficiencia para el control de malezas en 94 % y 69 % en estado de cobertura viva y cobertura muerta, respectivamente. El sésamo presentó eficiencia únicamente al tratarse como cobertura viva, controlando en 76 % las malezas. El incluir estas plantas de cobertura en los sistemas de producción, puede ser alternativa de manejo de malezas, especialmente cuando más especies de malezas desarrollan resistencia con el tiempo a uno o más herbicidas.

Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) para altura y diámetro del tallo de las plantas de papaya a las 30 SDT entre siembra de hilera simple y doble hilera. Reportando valores de 1.30 m de altura y 5.31 cm de diámetro del tallo para hilera simple, mientras que en doble hilera la altura fue de 1.48 m y 6.46 cm de diámetro. Los parámetros de producción del cultivo de papaya se vieron afectados debido al paso del huracán Irma por lo que se realizó un único pase de cosecha siendo anticipado a la madurez total de los frutos. Al realizar la cosecha se confirma que al sembrar en doble hilera se incrementan los rendimientos en casi 50% con relación a la siembra de hilera simple. Así mismo, se ratifica que el sembrar en doble hilera no afecta la cantidad y diámetro de los frutos.

La integración de plátano en los sistemas de producción del cultivo de papaya no ha sido documentada anteriormente. En el segundo experimento se encontró diferencia significativa según la densidad de siembra en la producción y cosecha de frutos. La siembra en hilera simple fue la que presentó la mayor cantidad de frutos. En este experimento no se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los sistemas de siembra (monocultivo de

papaya y siembra intercalada) para altura, diámetro y producción de las plantas de papaya. Al momento de realizar la cosecha de los frutos de papaya, el sistema de cultivo intercalado con plátano muestra rendimientos de 55,274 kg ha⁻¹ con un total de 47,674 frutos. En ausencia del plátano se podrían cosechar 46,665 frutos mostrando rendimientos de 60,292 kg ha⁻¹. Se reporta un UET parcial para el cultivo de papaya de 0.93 y 0.89 en siembra de hilera simple y doble hilera, respectivamente. El UET parcial demuestra que la siembra de papaya intercalada con plátano no afecta la cantidad, diámetro y largo de los frutos. Se recomienda dar seguimiento al experimento de siembra intercalada para determinar el UET total y UET financiero incluyendo la producción del cultivo de plátano, y así los productores puedan tener una idea de la ventaja económica que pueden adquirir al adoptar el sistema de cultivo intercalado.

7 REFERENCIAS

- Agboola, A. 2000. Farming System in Nigeria. In Akoroda, M.O.A. (Eds) Agronomy in Nigeria, published by University of Ibadan, Nigeria, pp. 24- 34.
- Almodóvar, W.I. 2000. Enfermedades más comunes de la papaya. Boletín Clínica al Día, Servicio de Extensión Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas, UPR-RUM.
- 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.
- Belz R.G. 2007. Allelopathy in crop/weed interaction - an update, Pest Manag. Sci. 63, 308–326.
- Björkman, T. and J.W. Shail. 2010. Cornell cover crop guide for forage radish. Cornell University. 2pp. Ver. 1.100716
- Buisson, D and D. Lee. 1993. The development responses of papaya leave to simulated canopy shade. Am. J. Bot. 80:947-952.
- Campostrini, E. and D. Glenn. 2007. Ecophysiology of papaya: a review. Brazilian Journal of Plant Physiology, 19(4), 413-424
- 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.
- Census of Agriculture. 2012. Puerto Rico Island and Municipio data. USDA, National Agricultural Statistics Service. Part 52. 350 p.
- Charles. K., M. Ngouajio, D. Warncke, K. Poff, and M. Hausbeck. 2006. Integration of cover crops and fertilizer rates for weed management in celery. Weed Science 54:326-334
- Commonwealth of Puerto Rico. 2013. External Trade Statistics of Puerto Rico. Office of Gobernador. Planning Board.
- Commonwealth of Puerto Rico. 2014. External Trade Statistics of Puerto Rico. Office of Gobernador. Planning Board.
- Crane, J. 2005. Papaya growing in the Florida Home Landscape. University of Florida. IFAS Extension. 8p.

- Creamer, N.G, M.A. Bennett and B.R. Stinner.1997. Evaluation of cover crop mixtures for use in vegetable production systems. *HortScience* 32:866–870.
- Creamer, N.G., and K.R. Baldwin. 2000. An evaluation of summer cover crops for use in vegetable production systems in North Carolina. *HortScience* 35(4): 600–603.
- Departamento de Agricultura de Puerto Rico. 2003. Ingreso bruto de plátano en Puerto Rico. Oficina de Estadísticas Agrícolas, Departamento de Agricultura, Santurce P.R. 00912
- DAPR. 2012. Departamento de Agricultura de Puerto Rico. Resumen de grupos alimenticios total 2010.
- FAOSTAT. 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division.
- FAOSTAT. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Statistics Division.
- Figuerola, G. 2016. Integración de leguminosas como cultivo de cobertura en papaya (*Carica papaya*) y plátano (*Musa acuminata x balbisiana*) en dos agro ecosistemas de Puerto Rico. Tesis MSc. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Mayagüez, Puerto Rico. 88 p
- Gliessman, S.R., 1998. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Ann Arbor Press, Michigan.
- Goenaga, R. and Irizarry, H. 2001. Yield and fruit quality of papaya cultivars grown at two locations in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P.R.* 85:127-134.
- Goenaga, R and Irizarry, H. 2006. Yield performance of two French-type plantain clones subjected to bunch pruning. *J. Agric. Univ. P.R.* 90(3-4):173-182.
- Hansen, R., 2011. *Sesame*. AgMRC, Iowa State University, USA
- Hartwig, N and H. Ammon. 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Science* 50:688-699
- Hauggaard, N. H. Ambus and P. Jensen. 2003. The comparison of Nitrogen use and leaching in sole cropped versus intercropped pea and barley. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 65: 289-300
- Higa, S. and Namba, R. 1971. Vectors of the papaya mosaic virus in Hawaii. *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society* 21:93-96.

- Hoffman, M. and E. Regnier. 2006. Contributions to weed suppression from cover crops, in: H. P. Singh, et al. Eds., Handbook of sustainable weed management, Food Products Press, Binghamton. pp. 51-75.
- Jacobs, A. 2012. Plant fact sheet for oilseed radish (*Raphanus sativus*. var. oleiformis). USDA-Natural Resources Conservation Service, Booneville Plant Materials Center, Booneville, AR.
- Jana, A., B. Barriga and H. Patricio. 2000. Eficiencia de la asociación maíz (*Zea mays*) y frejol (*Phaseolus vulgaris*). Agro sur. Vol.28, no. 1, p. 71-80
- Jeyakumar, P., M. Kavino and N. Kumar. 2007. Physiological performance of papaya cultivars under abiotic stress conditions. Acta Hort. 740:209-214.
- Kist, H. y I. Manica. 1995. Densidades de plantio, crecimiento e produção do mamoeiro formosa *Carica papaya* L. em Porto Lucena, RS. En: Pesquisa agropecuaria brasileira, Pp: 657-666.
- Kruidhof, H., L. Bastiaans and M. Kropff. 2008. Ecological weed management by cover cropping: effects on weed growth in autumn and weed establishment in spring. Weed Research 48:492-502.
- Kruidhof, H., L. Bastiaans and M. Kropff. 2009. Cover crop residue management for optimizing weed control. Plant Soil 318: 169-184
- Kruse, M., M. Strandberg and B. Strandberg. 2000. Ecological effects of allelopathic plants. A review. Department of Terrestrial Ecology, Silkeborg, Denmark, Rep. No. 315.
- Langham, D., J. Riney., G. Smit and T. Wiemers. 2008. Sesame grower guide. Sesaco Sesame Coordinators, Lubbock, TX.
- Lawley, Y., R. Weil and J., Teasdale. 2011. Forage radish cover crop suppresses winter annual weeds in fall and before corn planting. Agronomy Journal 103: 137–144.
- Leihner, D. 1983. Management and evaluation of intercropping systems with cassava. Colombia, CIAT. 79 pp.
- Lemessa, F. and Wakjira, M. J. 2015. Cover crops as a means of ecological weed management in agroecosystems. Crop Sci. Biotechnol. 18: 123
- Liebman, M. and C. Mohler C. 2001. Weeds and the soil environment in M. Liebman, C.L. Mohler, and C.P. Staver, Ecological Management of Agricultural Weeds. Cambridge University Press, Cambridge, pp 210-268

- Maina, J. M., D.S.H. Drennan, and J. A. Chwya. 1996. Effects of intercropping on weeds and weed management. Proceedings of the 2nd International Weed Control Congress. Slagelse, Denmark: Department of Weed Control and Pesticide Ecology Flakkebjerg. 749–761 p.
- Maruchi, A., T Quintana, R., Ramos, E., Armenteros, M González and D., Rodriguez. 2008. Caracterización y evaluación de dos híbridos de papaya en Cuba. Agricultura técnica en México. 34(3) 333-339
- Magdoff, F and H. Van. 2009. Building soils for better crops, sustainable soil management. Sustainable Agriculture Publications, Waldorf, MD.
- Morris, J.B. 2002. Food, industrial, nutraceutical, and pharmaceutical uses of sesame genetic resources. Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Arlington, VA. P.153–156.
- Moss, SR. 2003. Herbicide resistance in weeds: current status in Europe and guidelines for management. Pestic. Outlook 14: 164-167
- Mosqueda, R., E. Becerra, F. De Los Santos y X. Rosas. 1999. Elección de progenitores para el mejoramiento genético de papayo con tolerancia a potyvirus de la mancha anular del papayo (vma-p). Horticultura mexicana 7:393-402.
- Myers, R. 2002. Alternative crop guide: Sesame. Jefferson Institute, Columbia, MO.
- 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.
- Nieto, D. 1990. Epidemiología del virus de la mancha anular del papayo bajo diferentes fechas de siembra, densidades de plantación y localidades en Veracruz. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. 68 p.
- Nishimoto, R. 1997. Herbicide options for weed control in papaya. Integrated Pest Management Reviews.
- Ngouajio, M. and D.R. Mutch. 2004. Oilseed radish: a new cover crop for Michigan.
- Nnamonu, L. and A. Onekutu. 2015. Green Pesticides in Nigeria: An Overview. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare. 5: 2224-3208.
- Oforu, J. and N. Limbani N. 2007. Effect of intercropping on the growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and okra (*Abelmoschus esculentus* L.) Moench. International Journal of Agriculture & Biology 9(4): 594-597.

- Olofsdotter, M., L. Jensen and B. Courtois. 2002. Improving crop competitive ability using allelopathy- An example from rice, *Plant Breed.*121, 1–9.
- Olubode, O., I. Aiyelaagbe and J. Bodunde. 2012. Responses of ‘Sunrise-solo’ pawpaw, okra and cucumber components of pawpaw-based cropping system to time of intercropping. *Scientia Horticulturae* 139:71–78.
- Olubode, O., O. Motunrayo and I. Olatokunbo. 2016. Influence of environmental factors and production practices on the growth and productivity of pawpaw (*Carica papaya* L.) in south western Nigeria. *Fruits* 71(6):341-361
- Pantoja, A., Follet, P. and J. Villanueva. 2002. Pests of papaya. En Peña, J., Sharp, J. y Wysoki, M. (eds). *Tropical fruit pests and pollinators: Biology, economic importance, natural enemies, and control*. Londres, UK, CAB International. p. 131-156.
- Pastor, M. 2002. Consideraciones sobre la utilización de diferentes densidades en el cultivo de papaya (*Carica papaya*, L.) "Baixinho de Santa Amalia" en islas canarias. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24(3), 707-710.
- 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.
- Rathinasabapathi, B., J. Ferguson and M. Gal. 2005. Evaluation of Allelopathic Potential of Wood Chips for Weed Suppression in Horticultural Production Systems. *HortScience* 40(3):711-713
- Rivas P; G Mora; D Téliz; A Mora. 2003. Influencia de variedades y densidades de plantación de papayo (*Carica papaya* L.) sobre las epidemias de mancha anular. *Revista Mexicana de Fitopatología* 21:109-116.
- Robles W; A Pantoja; E Abreu; J Peña; J Ortiz; M de Lugo; M Cortés; R Macchiavelli. 2007. El efecto de prácticas agronómicas sobre el nivel poblacional y virosis de *Caraca Papaya* L.
- Rodriguez, K., R. King., D. Robertson and C. Weaver. 1988. Potential of crops uncommon to Alabama for management of root-knot and soybean cyst nematodes. *Ann. Appl. Nem.* 2:116–120
- SAS. 2009. SAS User Guide. Statistical Analysis Institute Inc. Cary N.C
- Santos, E., S. Júnior., G. Barbosa., I. Herbert., A. Sousa and F. Albano. 2016. Planting spacing and NK fertilizing on physiological indexes and fruit production of papaya under semiarid climate. *Bragantia*, 75(1), 63-69

- Sarrwy, S; E. Mostafa and H. Hassan. 2012. Growth, yield and fruit quality of Williams banana as affected by different planting distances. *Int J Agric Res*, 7, 266-275.
- Sheahan, C.M. 2014. Plant guide for sesame (*Sesamum orientale*). USDA-Natural Resources Conservation Service, Cape May Plant Materials Center, Cape May, NJ.
- Teasdale, J.R. 1993. Interaction of light, soil-moisture, and temperature with weed suppression by hairy vetch residue. *Weed Sci.* 41:46–51.
- Teasdale J.R., L. Brandsaeter, A. Calegari and F. Neto. 2007. Cover crops and weed management, in: M. K. Upadhyaya and R. E. Blackshaw Eds., *Non Chemical Weed Management Principles. Concepts and Technology*. CABI. Wallingford, UK. pp. 49-64.
- Wang, G., M. Ngouajio and D. Warncke. 2008. Nutrient cycling, weed suppression, and onion yield following brassica and sorghum sudangrass cover crops. *Horttechnology* 18:68–74.
- Weil, R; C. White, and Y. Lawley. 2006. Forage radish: new multi-purpose cover crop for the Mid-Atlantic. Univ. of Maryland Cooperative Extension Fact Sheet 824, College Park.
- Weil, R. and A. Kremen. 2007. Perspective: thinking across and beyond disciplines to make cover crops pay. *J Sci Food Agric* 87:551–557
- Williams, S.M., and R.R. Weil. 2004. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1403-1409.
- Zamora, J.L. 2005. Recomendaciones para la siembra comercial de papayas. Boletín Servicio de Extensión Agrícola, Colegio de Ciencias Agrícolas, UPR-RUM
- Zhang, F. and L. Li. 2003. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Plant Soil* 248: 305–312.