

**DESCOMPOSICIÓN DE HOJARASCA DE CROTALARIA
(*Crotalaria juncea*), MILLO PERLA (*Pennisetum glaucum*),
SOLAS Y EN MEZCLA EN UN SISTEMA DE
PRODUCCIÓN DE BERENJENAS**

Por

Luis Andrés Rullán-Vázquez

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

Maestro en Ciencias

En

Agronomía

Universidad de Puerto Rico – Mayagüez
Colegio de Ciencias Agrícolas
Departamento de Ciencias Agroambientales
2018

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

Fecha

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

Fecha

Elide Valencia Chin, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Rosa Chávez Jauregui, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Roberto Vargas, Ph.D.
Director Interino, Departamento de Ciencias Agroambientales

Fecha

Abstract

Two experiments were conducted at the Agricultural Experimental Sub-station of Lajas, University of Puerto Rico. The first one was directed towards evaluating dry matter yields (DMY) and the decomposition dynamics [nitrogen (N), organic matter (O.M.), organic carbon (O.C.) and C:N ratio] of cover crops tissue at two ages (6 and 8 weeks old) when exposed above and under soil surface. The two cover crops evaluated were *Crotalaria juncea* (crotalaria), *Pennisetum glaucum* (pearl millet), and a mix 50:50 (crotalaria:millet). Cover crops were sown on October 2015 with a 'Brillion' seeder at a density of 10-12 kg ha⁻¹ in a randomized complete block design with four repetitions. There was no interaction (cover crops x age), nor significant difference ($p > 0.05$) for crops on DMY between the two ages. N percentage differed ($p < 0.05$) between cover crops where crotalaria obtained 4.84%, higher than pearl millet (3.64%). The N percentage was converted to 52 and 88.4 kg N ha⁻¹ for the crotalaria at 6 and 8 weeks, respectively. For millet, 59.8 and 68 kg N ha⁻¹ and 77.2 and 83.4 kg N ha⁻¹ for the mix 50:50. Regarding litter decomposition, an interaction ($p < 0.05$) was found between cover crops age and plant litterbag position. Higher decomposition constants (k) were found for below ground bags at 6 and 8 weeks old tissue (0.269 and 0.188, respectively). There was also significant difference ($p < 0.05$) in k for crops where millet presented the highest value (0.220). For O.M. and O.C. a triple interaction was found, for both variables, where the lowest values were for 6 weeks old tissue (above ground), collected after 2 weeks of placement. Values fluctuated from 62.7 to 80.4% for O.M. and 31.4 to 40.2% for O.C. Also, significant difference ($p < 0.05$) was found between crops where crotalaria presented the highest values for O.M. and O.C. (74.5 and 37.2%, respectively). The second experiment integrated the results from the first essay

to evaluate the production and yield of a vegetable crop (*Solanum melongena* cv. Rosita) under treatments from both cover crops and the mix 50:50 used as residues. Comparing DMY at 8 weeks from the cover crops between the first and second experiment, significant differences ($p < 0.05$) were observed where in the latter all values were higher as was the N contribution. When analyzing eggplant yields, significant differences ($p < 0.05$) were also found between treatments with cover crops in both fruits per hectare and total weight (kg ha^{-1}). Under crotalaria, the eggplant presented the highest yield with an estimate of 88,543 fruits per hectare and 19,029 kg ha^{-1} between the cover crops used. It was demonstrated that cover crops, especially legumes, can supply part of the nutrients (ex. N) required by vegetable crops. However, it's imperative to try and synchronize cover crops decomposition and nutrient release with the vegetables phase of higher nutrients demand to ensure optimal yields and production. More studies are needed integrating cover crops in vegetables production systems to try and understand decomposition dynamics, nutrients release and mineralization.

Resumen

Se llevaron a cabo dos experimentos en la Sub-estación Experimental Agrícola de Lajas de la Universidad de Puerto Rico. El primero estuvo dirigido en evaluar el rendimiento de materia seca (RMS) y la dinámica de descomposición [nitrógeno (N), materia orgánica (M.O.), carbono orgánico (C.O.) y la relación C:N] de tejidos de cultivos de cobertura a dos edades (6 y 8 semanas) cuando expuestas sobre y debajo de la superficie del suelo. Los dos cultivos de cobertura evaluadas fueron *Crotalaria juncea* (crotalaria), *Pennisetum glaucum* (millo perla) y una mezcla de ellas 50:50 (crotalaria: millo). Los cultivos se establecieron en Octubre 2015 con una sembradora 'Brillion' a una densidad entre 10-12 kg ha⁻¹ en un diseño de bloques completos aleatorizados con cuatro repeticiones. No se encontró interacción (cultivos de cobertura x edad) ni diferencias significativas ($p < 0.05$) para cultivo entre edades en RMS. Para N sí se encontró diferencia ($p < 0.05$) entre cultivos donde la crotalaria presentó 4.84% de N, y mayor al del millo (3.64%). Los porcentajes de N se tradujeron a 52 y 88.4 kg N ha⁻¹ para crotalaria a las 6 y 8 semanas, respectivamente. Para el millo, 59.8 y 68 kg N ha⁻¹ y 77.2 y 83.4 kg N ha⁻¹ para la mezcla. En el caso de la descomposición de tejidos, se encontró interacción ($p < 0.05$) entre la edad de los cultivos de cobertura y la posición en donde se colocaron las bolsas de tejidos. Las constantes (k) mayores fueron para debajo del suelo tanto a las 6 como a las 8 semanas (0.269 y 0.188, respectivamente). También, se encontró una diferencia significativa ($p < 0.05$) para k entre cultivos donde la mayor fue para el millo (0.220). En el caso de la M.O. y el C.O. se encontró una interacción triple ($p < 0.05$), donde los valores menores fueron para los tejidos de 6 semanas de edad (sobre el suelo), recogido a las 2 semanas de haberse colocado. Los valores fluctuaron entre 62.7 y 80.4% para la M.O. y 31.4 y 40.2% para el C.O. También,

se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre cultivos donde se obtuvo 74.5 y 37.2% en la crotalaria siendo los mayores para la M.O. y C.O., respectivamente. El segundo experimento integró los resultados del primer ensayo para determinar el rendimiento de un cultivo hortícola (*Solanum melongena* cv. Rosita) con ambos cultivos de cobertura y la mezcla 50:50 utilizados como residuos. Comparando el RMS en los cultivos de cobertura a las 8 semanas, se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el primer y segundo experimento, siendo mayor para este último por lo que el aporte de N también fue mayor. Al analizar el rendimiento de la berenjena, también se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre tratamientos con cultivos de cobertura sobre la cantidad de frutos por hectárea y peso total (kg ha^{-1}). Con la crotalaria se obtuvo el mayor rendimiento con un estimado de 88,543 frutos por hectárea y 19,029 kg ha^{-1} entre los cultivos de cobertura utilizados. Quedó demostrado que los cultivos de cobertura, en especial las leguminosas, pueden suplir parte de los nutrientes (ej. N) requeridos por los cultivos hortícolas. Aun así, es imperativo sincronizar la descomposición y liberación de nutrientes de estos primeros con las etapas de mayor absorción de las hortalizas para asegurar un rendimiento y producción óptima. Más trabajos deben ser realizados integrando estas prácticas para entender mejor la dinámica de la descomposición de cultivos de cobertura con la liberación y mineralización de nutrientes en sistemas de producción de vegetales.

Agradecimientos

Primeramente, deseo agradecer al Dr. Elide Valencia por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios graduados bajo su programa y mentoría. A los miembros del comité: la Dra. Rebecca Tirado por ofrecer sus consejos y a la Dra. Angela Linares por su apoyo, lecciones y disposición siempre de brindar ayuda tanto en el aspecto académico, como en los trabajos de campo.

A los profesores Dr. David Sotomayor y Dr. Raúl Machiavelli por siempre estar disponibles para aclarar mis dudas sobre temas en suelos y análisis estadísticos, respectivamente.

Al personal del Departamento de Ciencias Agroambientales por siempre estar en la mejor disposición de brindarme ayuda durante este proceso.

A la agrónoma Luisa Flores y a todos los empleados y trabajadores de la Subestación de Lajas que de una forma u otra colaboraron durante los trabajos de campo.

Al Dr. Ricardo Goenaga, Delvis Pérez y a todo el personal de ‘TARS’ por permitirme realizar todos los análisis químicos dentro de sus facilidades.

A mi hermano Luis F. Rullán Vázquez por ayudarme a realizar muestreos de campo y siempre brindarme apoyo. A Clara Cruet por siempre creer en mí, por su paciencia, ayuda y entendimiento. A José J. Vigo por su amistad y por ser mi “partner de maestría” durante todos estos años y a Noelia Torres por ser una de mis más viejas amigas y siempre tener palabras de apoyo y confianza en mí.

A las personas que me quedé por mencionar pero que formaron parte de este proceso de una forma u otra. ¡Mis más sinceras gracias!

Dedicatoria

Este trabajo de investigación se lo dedico a mi familia por siempre apoyarme y estar presentes en todo momento y no dudar de mis capacidades y talentos por un solo instante. En especial quisiera dedicarlo a mi madre y mi hermano que siempre serán mi motivación para seguir hacia adelante y a mi padre que sé siempre estaría orgulloso de mis logros.

Tabla de Contenido

Abstract.....	ii
Resumen.....	iv
Agradecimientos.....	vi
Dedicatoria.....	vii
Tabla de Contenido.....	viii
Lista de Tablas.....	x
Lista de Figuras.....	xi
1 Introducción.....	1
2 Objetivos.....	4
3 Revisión de literatura.....	5
3.1 Importancia de cultivos de cobertura en el trópico.....	5
3.1.1 <i>Uso de plantas de cobertura como abono verde y otras enmiendas en suelos del trópico.....</i>	<i>6</i>
3.2 Relación entre la descomposición de tejidos y el aporte de nutrientes.....	9
3.3 Tasas de descomposición y liberación de N en gramíneas y leguminosas.....	11
3.3.1 <i>Relación C:N en mezclas de gramíneas y leguminosas.....</i>	<i>13</i>
3.3.2 <i>Mineralización de N.....</i>	<i>16</i>
3.4 Materia orgánica en los suelos.....	19
3.4.1 <i>Vertisoles.....</i>	<i>20</i>
3.5 Especies de cultivos de coberturas utilizadas en el experimento.....	21
3.5.1 <i>Crotalaria juncea (crotalaria).....</i>	<i>21</i>
3.5.2 <i>Pennisetum glaucum (millo perla).....</i>	<i>22</i>
3.6 Utilización de cultivos de cobertura en sistemas de producción de vegetales.....	23
4 Experimento 1: Rendimiento y análisis de descomposición de tejidos de los cultivos de coberturas <i>Crotalaria juncea</i> (crotalaria) y <i>Pennisetum glaucum</i> (millo perla).....	26
4.1 Introducción.....	26
4.2 Materiales y métodos.....	27
4.2.1 <i>Localidad del experimento.....</i>	<i>27</i>
4.2.2 <i>Diseño experimental.....</i>	<i>29</i>
4.2.3 <i>Análisis químicos y constante de descomposición (k).....</i>	<i>31</i>
4.2.4 <i>Estadísticos.....</i>	<i>32</i>
4.3 Resultados y discusión.....	32

4.3.1	<i>Rendimiento de biomasa, materia seca (RMS) y concentración de N inicial en tejido</i>	32
4.3.2	<i>Tasas de descomposición, cantidad de materia orgánica (M.O.), carbono orgánico (C.O.) y relación C:N en tejido</i>	36
4.3.2.1	<i>Tasas de descomposición</i>	36
4.3.2.2	<i>Materia orgánica (M.O.) y carbono orgánico (C.O.) en tejidos</i> ...	39
4.3.2.3	<i>Relación C:N</i>	42
4.4	Conclusiones	45
5	Experimento 2: Relación entre la descomposición de cultivos de cobertura, aporte de nutrientes y producción de <i>Solanum melongena</i> cv. Rosita (berenjena)	47
5.1	Introducción	47
5.2	Materiales y métodos	48
5.2.1	<i>Localidad del experimento</i>	48
5.2.2	<i>Diseño experimental</i>	49
5.3	Resultados y discusión	51
5.3.1	<i>Rendimiento de materia seca (RMS) de los cultivos de cobertura</i>	51
5.3.2	<i>Concentración y aporte de N en hojarasca de cultivos de cobertura</i>	52
5.3.3	<i>Rendimiento de <i>Solanum melongena</i> cv. Rosita bajo tratamiento con cultivos de cobertura</i>	54
5.4	Conclusiones	58
6	Literatura citada	60

Lista de Tablas

Tabla	Página
Tabla 1. Análisis de varianza para los efectos de cultivos de cobertura y edad (SDS) sobre el RMS.....	34
Tabla 2. Valores promedios de la concentración de N (%) inicial en hojarasca para ambos cultivos de cobertura individuales y la mezcla entre ellos.....	34
Tabla 3. Efecto entre cultivos de cobertura, edad (SDS) y la posición de las bolsas sobre las tasas de descomposición de los tejidos.....	37
Tabla 4. Interacción edad (SDS) y posición de las bolsas (sobre y debajo de la superficie del suelo).....	37
Tabla 5. Valores promedios de <i>k</i> mediados por el factor cultivos de cobertura.....	37
Tabla 6. Análisis de varianza de los efectos de cultivos de cobertura, edad (SDS), posición y tiempo de colección de las bolsas sobre el % de M.O. y C.O.....	40
Tabla 7. Valores promedios de la interacción triple entre edad (SDS), tiempo de colección y posición (sobre y debajo del suelo) sobre el porcentaje de M.O. y C.O.....	41
Tabla 8. Análisis de varianza de los factores edad (SDS) y cultivos de cobertura sobre la relación C:N.....	43
Tabla 9. Valores promedio de la relación C:N mediados por los efectos principales de cultivos de cobertura y edad (SDS).....	43
Tabla 10. Análisis de varianza y valores promedio para los factores tratamientos (cultivos de cobertura) a 8 SDS y experimento en el RMS.....	51
Tabla 11. Análisis de varianza para los tratamientos (cultivos de cobertura) sobre el número (#) y peso total (kg) de frutos de berenjena ‘Rosita’ por hectarea.....	56
Tabla 12. Número (#) y peso (kg) de frutos de berenjena ‘Rosita’ para cada cosecha cuando tratados con cultivos de cobertura.....	56
Tabla 13. Estimado de valores promedios de peso total (kg ha ⁻¹) y número de frutos (#) de berenjena ‘Rosita’ por hectárea para cada tratamiento con cultivos de cobertura luego de 6 cosechas.....	57

Lista de Figuras

Figura	Página
Figura 1. Temperatura promedio mensual durante los años 2015 y 2016 en la EEA de Lajas, P.R.....	28
Figura 2. Precipitación total mensual durante los años 2015 y 2016 en la EEA de Lajas, P.R.....	29
Figura 3. Diagrama de la posición (sobre y debajo del suelo) de las bolsas de descomposición en cada una de las unidades experimentales (parcelas).....	31
Figura 4. Valores promedios del porcentaje de M.O. y C.O. de los cultivos de cobertura y la mezcla 50:50.....	42
Figura 5. Estimado de la cantidad de N (kg ha^{-1}) en hojarasca de los tres tratamientos (cultivos de cobertura).....	53

1. Introducción

La conservación de suelos es un tema de mucho interés en nuestra región caribeña y su sustentabilidad se ha venido discutiendo con urgencia durante los últimos años. Los suelos son el sustrato de la vida y la producción agrícola, por tanto, el uso de técnicas que mejoren sus condiciones tanto físicas, químicas y biológicas se han venido implementando para alargar el tiempo de vida y la fertilidad de estos. El uso de plantas de cobertura es una manera ecológicamente sustentable para cumplir con estos fines.

Los estudios con cultivos de cobertura como las leguminosas o gramíneas se han venido desarrollando extensivamente para encontrar métodos alternos que ayuden a reducir la dependencia de recursos externos, así como mejorar las condiciones físicas y químicas de los suelos con el menor impacto posible hacia el medio ambiente (Robačer et al., 2016). El uso de estos, al igual que la descomposición de sus residuos ayudan a proveer muchos beneficios desde: aumentar la cantidad de materia orgánica (M.O.) presente en los suelos, aumentar los niveles de nitrógeno (N) que se mineraliza, aumentar la cantidad de microorganismos beneficios, control de malezas invasivas, reducir erosión, etc. (Robačer et al., 2016).

En el caso de la fertilidad de suelos, la descomposición de plantas de cobertura puede aumentar los insumos de nutrientes esenciales en los suelos los cuales pueden ser utilizados por cultivos sembrados después de estos. Se ha demostrado que la cantidad de nutrientes liberados va a estar relacionado a una combinación de factores entre los que se encuentra: el clima, la composición del material y la especie de cultivos utilizados (Thomas y Asakawa, 1993). Al utilizar por ejemplo una mezcla entre gramíneas y leguminosas, la proporción carbono: nitrógeno (C:N) del tejido varía y al descomponerse las pérdidas de

N disminuyen o aumentan dependiendo de la fuente. Al igual que el N, estos tejidos pueden liberar nutrientes como el calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), potasio (K), entre otros que son esenciales para el crecimiento de las plantas y pueden ser utilizados a su vez como enmienda para aumentar la producción de cultivos de interés económico como los hortícolas (Creamer et al., 1997; Cobo et al., 2008; Radicetti et al., 2016).

La supresión de malezas y la reducción de erosión y escorrentía en los suelos son otros dos beneficios que se puede obtener al utilizar cultivos de cobertura. Muchas de estas especies utilizadas como cultivos de cobertura producen gran cantidad de biomasa el cual compiten con muchas de las plantas invasoras (i.e. malezas) limitando su crecimiento, ya sea en la etapa de germinación o en su crecimiento inicial, reduciendo significativamente su presencia (Cordeau et al., 2015). Al igual, el dejar los cultivos en pie o sus residuos sobre el suelo, ayuda a minimizar la pérdida de nutrientes y pesticidas causado por el movimiento de agua sobre la superficie terrestre y/o atrapando los nutrientes que de otra forma se perderían por lixiviación (Hoorman, 2009).

Actualmente en Puerto Rico no existe información sobre la descomposición de tejidos de crotalaria (*Crotalaria juncea*), millo perla (*Pennisetum glaucum*), y una mezcla 50:50 de estas cuando se incorporan o se dejan sobre la superficie del suelo. Sin embargo, otros estudios han identificado diferentes usos de estos cultivos en la isla de los cuales se encuentran: el uso de millo perla para alimentación animal, el uso de crotalaria como cultivo de cobertura en producción de ajíes y el efecto de diferentes épocas de siembra sobre los rendimientos en biomasa de crotalaria (Wilson et al., 2007; Santos, 2010; Negrete, 2013). Es por esto que este estudio estuvo dirigido en analizar la tasa de descomposición del millo perla, crotalaria y una mezcla 50:50 (millo: crotalaria) en un

Vertisol serie Fraternidad de la Subestación Experimental Agrícola de Lajas. Al igual, se analizaron su aporte de nutrientes, en especial el N, y efecto en la producción y rendimiento de un cultivo hortícola.

2. Objetivos

1. Determinar el rendimiento de materia seca (RMS) y las tasas de descomposición de hojarasca de una leguminosa (*Crotalaria juncea*), una gramínea (*Pennisetum glaucum*) y su mezcla 50:50 (gramínea: leguminosa) sobre y debajo de la superficie del suelo.
2. Determinar la concentración de N, M.O., C.O. y la relación C:N en el tejido de los cultivos de cobertura *Crotalaria juncea*, *Pennisetum glaucum* y su mezcla, tanto en la superficie del suelo como incorporadas, a diferentes intervalos de tiempo.
3. Evaluar el aporte de N del material descompuesto en la producción y rendimiento de un cultivo hortícola (berenjena; *Solanum melongena* cv. Rosita).

3. Revisión de literatura

3.1 Importancia de cultivos de cobertura en el trópico

El uso de cultivos de cobertura como remedio ecológico ha sido una práctica que se ha utilizado desde hace ya varios cientos de años. Durante las últimas tres décadas, ésta se ha venido intensificando especialmente en lugares menos desarrollados ubicados principalmente en la zona tropical (Carlo, 2009). El crecimiento acelerado que se ha dado en la población mundial durante los últimos años, especialmente en estos países del trópico, ha propiciado el uso de técnicas alternas que maximicen la producción pero que a su vez no presenten un impacto negativo al medio ambiente. Godfray et al. (2010) reconocen que los productores de alimento cada vez se ven más amenazados hacia el uso de terrenos, agua, energía y que la necesidad de mitigar los efectos negativos para el medio ambiente cada vez son más reales.

Para estas zonas de menor desarrollo económico, los cultivos de cobertura pueden significar beneficios en los cuales se incluye: mejorar las condiciones edáficas (aumento en M.O., nutrientes, agregación y estabilidad de partículas de suelo, retención de humedad, etc.), opciones alternas para el consumo humano, fuente de ingreso aparte de los cultivos tradicionales, forraje para animales, entre otros (Bunch, 2012).

Los cultivos de cobertura son especies de plantas, usualmente leguminosas, utilizadas por agricultores para mejorar la fertilidad de los suelos y el control de malezas, aunque no solo se centran en estas dos funciones (Bunch, 2012). Millones de agricultores pequeños alrededor del mundo están sufriendo una disminución drástica en la capacidad para producir alimentos, esto relacionado a la degradación y disminución en la fertilidad

de los suelos. Pérdidas por erosión e infertilidad de los suelos son la causa principal por los cuáles agricultores pequeños no pueden gozar de una seguridad alimentaria y se ve amenazado su estilo de vida, algo que los cultivos de cobertura podrían ayudar a mitigar (Bunch, 2012).

3.1.1 Uso de plantas de cobertura como abono verde y otras enmiendas en suelos del trópico

La mayoría de los suelos en la zona tropical del planeta se caracterizan por presentar un alto nivel de degradación y baja fertilidad debido al uso intensivo y prolongado de estos. Como consecuencia a este uso intensivo, el sector agrícola y la capacidad para suplir alimento en muchos de los países de esta zona se ve seriamente limitada.

El uso de fertilizantes y enmiendas químicas ha ayudado a mitigar estos problemas, pero su aplicación desmesurada puede presentar efectos negativos al medio ambiente. La contaminación de suelos y cuerpos de agua y la toxicidad causada por altos niveles de algunos elementos, resulta en una reducción drástica en el rendimiento de muchos cultivos. Por otro lado, el alto costo de los fertilizantes dificulta la obtención de estos para pequeños agricultores o de escasos recursos en las zonas menos desarrolladas.

Cultivos de cobertura, abonos verdes, composta, labranza de conservación y no labranza son algunas de las técnicas sustentables más utilizadas durante los últimos años para ayudar a reducir los impactos negativos de las prácticas convencionales. Recientemente mejores usos y nuevos roles se han desarrollado para el uso de cultivos de cobertura ya que estos son un componente importante en las rotaciones de cultivos y prácticas agrícolas sustentables (Lu et al., 2000).

Incorporar cultivos de cobertura a la producción agrícola puede representar un aumento en la sostenibilidad del sistema. Beneficios como el reciclaje de nutrientes, mejora de la estructura del suelo, incremento en la M.O., retención de humedad, control de erosión y lixiviación de nutrientes, supresión de malezas, incremento de la biota del suelo e incremento en la producción y rendimientos de los cultivos son varios de los que se pueden mencionar (Abdul-Baki et al., 1996; Ozores-Hampton, 2012).

La erosión es uno de los principales factores en la pérdida de grandes cantidades de suelo que a su vez representa pérdidas en la fertilidad en estos y contaminación de cuerpos de agua por el acarreo de nutrimentos que se arrastran. El uso de cultivos de cobertura y prácticas sostenibles ayudan a reducir los impactos de erosión por viento y agua al igual que ayudan a restaurar la productividad de suelos degradados (Hargrove, 1991). Cultivos de cobertura pueden proveer grandes cantidades de residuo superficial y un sistema radicular que ayuda a estabilizar las capas del suelo por lo que su uso se ha considerado por mucho tiempo como una herramienta principal para reducir la erosión y aumentar la calidad de los suelos (Lu et al., 2000).

Al reducir la erosión, los cultivos de cobertura pueden aumentar la calidad de los suelos incrementando los niveles de M.O. a través del aporte de biomasa a lo largo del tiempo (Carlo, 2009). La M.O. de los suelos ayuda a mejorar muchas de las propiedades físicas y químicas de los suelos por lo que es pieza clave en la fertilidad y productividad de estos (Kuo et al., 1997). Cultivos de cobertura utilizados como abonos verdes pueden suplir alrededor de 50 toneladas métricas/hectárea ($TM\ ha^{-1}$) de M.O. o más por año a los suelos que esta a su vez puede ayudar a incrementar la retención de agua, el reciclaje de

nutrientes, incrementar la cantidad de organismos beneficiosos, amortiguar el pH del suelo, entre otros (Bunch, 2012).

Los cultivos de cobertura y abonos verdes, en especial las leguminosas, tienen la capacidad de añadir N biológicamente a los suelos por medio de la fijación mediada por bacterias y poseen a su vez grandes cantidades de este elemento en su tejido. Este aporte de N por parte de estos cultivos ayuda a minimizar los insumos de fertilizantes químicos y ayuda a disminuir la contaminación ambiental. Aunque las leguminosas se caracterizan por contener más N en sus tejidos, otros cultivos como las gramíneas también pueden proveer N inorgánico. Por ejemplo, las leguminosas y no leguminosas pueden contener dos y una libra de N inorgánico por cada 100 libras de peso seco, respectivamente (Ozores-Hampton, 2012).

Por otro lado, la adopción del uso de cultivos de cobertura para mejorar las condiciones de los suelos se ve limitada por diferentes factores, en la mayoría de los casos económicos, especialmente en las zonas menos desarrolladas. Los pequeños agricultores prefieren utilizar sus espacios de tierra para cultivos que le generarán ingresos inmediatamente, en vez de otros cultivos que pueden extenderse a varios ciclos sin observar un retorno en el capital invertido por estas. Por lo tanto, la capacidad monetaria del agricultor y las características de manejo son factores significantes en la adopción de técnicas para un sistema de agricultura de conservación (Pratt y Wingenbach, 2016). La educación de muchos de estos agricultores también influye en la toma de decisiones a la hora de cambiar de un sistema de producción convencional a un sistema de conservación (Pratt y Wingenbach, 2016).

Aún con estas últimas limitaciones, los cultivos de cobertura pueden representar diferentes formas de enmendar los suelos para mejorar su calidad y vida. Aunque para poder viabilizar sus usos en las áreas tropicales, se debe tener en cuenta las propiedades agronómicas, así como las condiciones climatológicas y edáficas y asociar estas con los sistemas de manejo para así buscar el mejor aprovechamiento (Rivero et al., 2016).

3.2 Relación entre la descomposición de tejidos y el aporte de nutrientes

Los estudios de descomposición de tejidos se han llevado a cabo a lo largo de los años para poder entender la dinámica entre la pérdida de peso y la liberación de nutrientes por parte de los cultivos como enmiendas en los suelos. Aunque la mayoría de estos se han centrado solo en estudiar la descomposición de las hojas, otras partes de la planta se deben tomar en cuenta para poder entender estas dinámicas y poder hacer recomendaciones prácticas (Cobo et al., 2008).

Investigaciones se han realizado utilizando especies de la misma familia de plantas al igual que especies de diferentes familias para poder entender la relación entre la descomposición de tejidos y el aporte de nutrientes. Cobo et al. (2008) describen como el utilizar diferentes partes de la planta resulta en diferentes tasas de descomposición siguiendo un orden: hojas > mezcla (hojas: tallos) > tallos aplicándose tanto a cultivos de la misma especie o de diferentes especies. Estos autores también explican que el utilizar los resultados provenientes de las hojas solamente pueden sobre estimar la cantidad de nutrientes por lo que las recomendaciones al utilizar materiales orgánicos pueden ser incorrecta.

La aportación de nutrientes por parte de la descomposición de tejidos puede seguir un orden dependiendo muchas veces de la especie utilizada y la calidad del tejido. Un estudio realizado por Moro y Domingo (1996), encontraron que durante la descomposición del tejido de hojarasca los nutrientes que más rápido se liberaron fueron el K seguido del sodio (Na) y el Mg. El N, P y Ca ocuparon los últimos lugares en liberación lo cual ellos atribuyen a una inmovilización neta de estos nutrientes por diferentes factores climáticos y edáficos.

Según diferentes autores, la dinámica y liberación de los nutrientes va a estar medida por diferentes factores. Berg (1986) describe que el N sigue una dinámica de tres etapas: liberación atribuible a lixiviación, una fase de inmovilización y por último una fase de liberación neta. En el caso del P, la dinámica parece estar estrechamente relacionada con índices C:P de los cuales valores críticos han sido calculado y a partir de los cuales comienza a ocurrir la mineralización neta (Moro y Domingo, 1996). Por otro lado, el K y el Mg al ser liberados, tienen alta susceptibilidad a lixiviarse por lo que la pérdida de estos se produce muy rápidamente (Moro y Domingo, 1996). La dinámica del Ca va a estar influenciada por el tipo de hoja y el contenido de este ya que en la mayoría de los casos el contenido en los tejidos excede las demandas de la fauna del suelo durante el proceso de descomposición (Moro y Domingo, 1996).

El uso de diferentes especies de plantas también va a determinar las tasas de descomposición de los tejidos. Un estudio de campo realizado en un suelo ácido Ultisol de Perú por Palm y Sánchez (1990), con tres leguminosas (*Inga edulis*, *Cajanus cajan* y *Erythrina* sp.), demostraron que las tres especies tuvieron una fase de descomposición relativamente alta durante el primer mes de análisis, seguido de una fase en donde la

rapidez de esta disminuyó. Durante la descomposición, datos de este estudio demostraron que *I. edulis* y *Erythrina* liberaron nutrientes más rápido que el *C. cajan* y un análisis de varianza a través del tiempo demostró que *Erythrina* perdió N, Ca, Mg y K significativamente más rápido que las otras especies. También esta especie liberó más P (~45% más) durante las etapas iniciales que el *C. cajan*.

3.3 Tasas de descomposición y liberación de N en gramíneas y leguminosas

La descomposición de tejido vegetal presenta una fuente de insumo de nutrientes orgánicos para los suelos. Diferentes factores ambientales afectan las tasas de descomposición de los tejidos al igual que la liberación de los nutrientes. En el trópico, por ejemplo, la descomposición de los tejidos se ve afectada por el clima especialmente por la precipitación y la humedad ya que la temperatura es relativamente constante. En la mayoría de los casos, altos índices de humedad están asociados a un incremento en las tasas de descomposición ya sea midiéndolas por incubaciones en el laboratorio o por el método de bolsa de tejido en el campo (Lynch et al., 2016).

Al igual que las condiciones climáticas, factores edáficos y especie de planta analizada también afectan las tasas de descomposición. La devolución de nutrientes por parte de los materiales en descomposición y el reciclaje de estos por los cultivos subsiguientes, va a estar mediado por la especie de planta y la cantidad de material devuelto en un grado que se permita la sincronización entre el suministro de nutrientes y la demanda de los cultivos en crecimiento (Thomas y Asakawa, 1993).

Diferentes estudios realizados con gramíneas y leguminosas tropicales han encontrado diferentes tasas de descomposición y liberación de nutrientes entre los

diferentes cultivos. La mayoría concluye en que la composición química del material, así como la especie, serán factores que afectarán la rapidez de descomposición, liberación y mineralización de los nutrientes en especial el N. Esta cantidad de N en el tejido de la planta, así como la relación C:N y la concentración de compuestos solubles en ellos, van a determinar la rapidez con la cual factores biológicos, climáticos y edáficos van a descomponer el material.

Un estudio realizado por Thomas y Asakawa (1993) con diferentes especies de leguminosas y gramíneas tropicales encontraron que las leguminosas, como es de esperarse, contienen un porcentaje de N de dos a cuatro veces mayores que las gramíneas el cual redujo el tiempo de descomposición total de las leguminosas (en algunos casos hasta la mitad) en comparación con las gramíneas. En el mismo estudio, se encontró que leguminosas como *Arachis pintoii* y *Stylosanthes capitata* cv. Capica presentaron unas tasas de descomposición relativamente altas (0.004 y 0.005 k dia^{-1} , respectivamente) en comparación a especies de gramíneas como *Andropogon gayanus* cv. Carimagua 1 y *Briachiaria dictyoneura* CIAT 6133 las cuales obtuvieron valores más bajos (0.003 y 0.002 k dia^{-1} , respectivamente). Por otro lado, en el caso de *S. capitata*, las altas tasas de descomposición significaron una pérdida de más del 50% del N al cabo de solo dos semanas.

También, el lugar donde sean colocados los residuos a descomponer será factor decisivo sobre la velocidad en las tasas de descomposición. Un estudio realizado por Lynch et al. (2016) en Haití demostraron la capacidad de descomposición y liberación de N de dos gramíneas (*Zea mays* y *Sorghum bicolor* var. *Sudanese*) y dos leguminosas (*Crotalaria juncea* y *Phaseolus vulgaris*). En este estudio se concluyó que va a existir diferencia si los

tejidos son colocados ya sea sobre el suelo o enterrado a una profundidad de 10-15 cm, y esto va a afectar la dinámica de descomposición y mineralización. Las leguminosas *C. juncea* y *P. vulgaris* presentaron una liberación inicial rápida de N durante los primeros 60 días luego de una desaceleración curvilínea en el cual un promedio de 43% y de 35-60% del N fue mineralizado para los residuos enterrados y sobre la superficie del suelo, respectivamente.

Utilizando el rol del clima para determinar las condiciones de descomposición en los trópicos, la temperatura no es un factor tan limitante, pero en las zonas templadas las bajas temperaturas representan una disminución en las tasas de descomposición (Gupta y Singh, 1981). Según Zhang et al. (2008), la combinación de factores como: temperatura anual promedio, latitud, relación C:N y nutrientes totales representaron un 87.5% de la variación en las k donde a medida que la latitud aumentaba y la temperatura disminuía, k también disminuía.

3.3.1 Relación C:N en mezclas de gramíneas y leguminosas

La descomposición de tejidos y la liberación de nutrientes está mediada por factores ambientales, aunque también puede estar determinada por la composición química y física del tejido a descomponerse. Compuestos químicos solubles como los polifenoles, la concentración de N en tejido, cantidad de lignina y la relación C:N entre otros, han sido los parámetros principales que se han tomado en consideración para los estudios de descomposición de tejidos.

Cuando se toma en términos globales, las características químicas del tejido van a ser de menor importancia en comparación con las condiciones climáticas en términos del

efecto que tiene sobre la de descomposición de tejidos (Aerts, 1997). Sin embargo, cuando se escoge un área geográfica en específico como el trópico, las características físicas y químicas de los residuos de tejido son tomados como los reguladores clave en la descomposición de estos (Thomas y Asakawa, 1993; Aerts, 1997). Aunque los parámetros descritos arriba han sido mencionados como factores a tener en cuenta en la descomposición de tejidos, llegar a un consenso de cuál es el más que afecta las tasas de descomposición ha sido un problema durante años.

La concentración de N en el tejido (%), la relación C:N y lignina: N, así como la relación N con nutrientes como el P, han sido de los parámetros químicos más utilizados a la hora de estudiar las tasas de descomposición de tejidos en las áreas tropicales. Estas características químicas van a estar influenciadas principalmente por la especie de planta de donde provienen los residuos de tejidos.

Como mencionado anteriormente, diferentes estudios demuestran que la especie de planta van a contener diferentes parámetros químicos por lo que las tasas de descomposición serán diferentes. Según Jiménez et al. (2005), la relación C:N del tejido va a depender de la especie y la edad de esta; ambas son un buen indicador de la susceptibilidad de este material a ser degradado. Estos autores también argumentan que residuos altos en C y bajos en N (relación C:N alta) son considerados de baja calidad y la descomposición de estos será más lenta. En general, las leguminosas contienen más N en el tejido que las gramíneas por lo tanto la relación C:N y lignina: N será menor. Esta alta concentración de N en estos tejidos se dice que mejoran la calidad de estos y por lo tanto se degradaran más rápido en comparación a las gramíneas.

Una gran cantidad de estudios se han basado en el uso de gramíneas, leguminosas y mezclas de estas para encontrar el efecto que tiene la relación C:N sobre la descomposición de tejidos. Uno de estos realizado por Li et al. (2013), encuentran que la soya (*Glycine max*) contiene una relación C:N de 25.4 en comparación con el maíz (*Zea mays*) que tiene un valor de 62.1. Estos se ven reflejados en los valores de k los cuales fueron 0.073 y 0.047 para los residuos de soya y maíz, respectivamente, colocados sobre el suelo, resaltando la influencia de esta relación en la rapidez de descomposición de los residuos. Por otro lado, en este mismo estudio se encuentra un valor de C:N intermedio (35.9) para la mezcla de soya y maíz los cuales pueden resultar en diferentes tasas de descomposición al igual que liberación de nutrientes.

En otro estudio realizado de manera similar por Sakala et al. (2000), se halló la relación C:N de hojas de gandul (*Cajanus cajan*) caídas, tallos y hojas de maíz y una mezcla entre estas. Datos de este experimento muestran que el valor de C:N para el gandul fue de 24, el de maíz 60 y la mezcla un valor intermedio de 33, demostrando la teoría que los tejidos de leguminosas tienen una relación menor entre estos elementos que las gramíneas. Al igual, un estudio realizado en Brasil por de Oliveira et al. (2003) con *Arachis pintoi* y *Hyparrhenia rufa* (leguminosa y gramínea, respectivamente), encontraron que con estos cultivos se siguió la tendencia en que las gramíneas tienen una mayor relación C:N que las leguminosas. Estos encontraron valores de 38.7, 180 y 62.6 para la leguminosa, gramínea y mezcla, respectivamente.

Aunque en la mayoría de los casos para la zona tropical esta relación en contenido de nutrientes en los tejidos concuerda con las tasas de descomposición y liberación de estos,

ciertamente hubo discrepancia con los resultados y hallazgos de los diferentes estudios por lo que no debe ser el único factor que debe ser considerado en este tipo de experimentos.

3.3.2 *Mineralización de N*

Uno de los principales objetivos en los estudios de descomposición de tejidos es observar la dinámica en como los nutrientes se liberan y como estos son incorporados al suelo para aumentar su fertilidad. Uno de estos procesos, el cual es de gran importancia para los ciclos en los ecosistemas, es la mineralización de N.

La mineralización de N se define como el proceso por el cual este elemento pasa de una forma orgánica a una forma inorgánica como resultado de la actividad microbiana (Schepers y Meisinger, 1994). Estos autores mencionan que aparte de la mineralización existe un proceso conocido como inmovilización (N convertido a masa microbiana) por el cual corre el ciclo de mineralización-inmovilización de N en los suelos. Otra definición que se le podría dar a esta sería el proceso por el cual los compuestos amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) aumentan en el suelo (Lopez, 2011).

Como mencionado anteriormente, los procesos de mineralización-inmovilización de N que aumenten o disminuyan la cantidad de estos compuestos en los suelos estarán afectados por diferentes factores. Según Schepers y Meisinger (1994), como este proceso está mediado por microorganismos, factores como la temperatura, el pH, la humedad del suelo, entre otros, determinaran las tasas de mineralización e inmovilización. También mencionan que factores ambientales no son los únicos responsables de esto, sino que las características químicas y físicas del material a descomponerse como la relación C:N influyen de igual manera. Compuestos que contengan una relación C:N con valores de 15

o menor favorecerán la mineralización y compuestos con un valor de 25 o mayor favorecerán la inmovilización (Schepers y Meisinger, 1994).

Otros estudios también han mencionado la relación que existe entre la composición química del material y su capacidad de mineralización. Uno de estos, realizado por Kuo y Sainju (1998), describe las tasas de mineralización utilizando diferentes materiales en descomposición. Estos investigadores utilizaron una leguminosa (*Vicia villosa*) y dos gramíneas (*Secale cereale* y *Lolium multiflorum*) para medir las tasas de mineralización de cada cultivo individual y la mezcla entre ellos. Entre sus conclusiones se destaca que a medida que la cantidad de la leguminosa disminuía en la razón leguminosa: gramínea, la razón C:N aumentaba y las tasas de mineralización disminuían propiciando la inmovilización. Aun así, estos autores notaron que la mineralización de N no ocurría hasta después de 10 semanas de incubación incluso con un valor de C:N de alrededor 15.

Por otro lado, diferentes valores en la concentración de N en tejidos han sido encontrados que pueden acelerar o disminuir las tasas de mineralización, esto dependiendo de la especie de planta utilizada. Según Fox et al. (1990), la tendencia de tasas de mineralización más altas con concentraciones de N más altos en el tejido pudo ser demostrada con diferentes especies de leguminosas. Estos encontraron que las tasas de mineralización de la alfalfa ($46.8 \text{ g kg}^{-1} \text{ N}$) fueron significativamente más altas que la *Cassia* y *Stylosanthes* (18.6 y $17.6 \text{ g kg}^{-1} \text{ N}$, respectivamente). Aun así, concluyeron también que hubo una inmovilización de N durante las primeras 6 semanas con las leguminosas que contenían menos de $20 \text{ g kg}^{-1} \text{ N}$ con una razón C:N de aproximadamente 30:1.

Estudios más recientes siguen encontrando que las composiciones químicas de los tejidos determinan la rapidez de mineralización de tanto el N como el C. Redin et al. (2014) explican en su discusión que el tejido de hojarasca que más rápido se descompuso o sufrieron descomposición casi inmediatamente fueron los vinculados a concentración de N y compuestos solubles más altos. Sin embargo, en otro estudio conducido por Delgado-Baquerizo et al. (2014) recalcan la importancia de las características de los suelos por encima de la composición química del tejido. Estos mencionan que características como mayor masa microbiana y la diversidad funcional de los microorganismos de los suelos pueden incrementar la disponibilidad de C y N en estos durante la descomposición independiente de la calidad de los tejidos.

Por otro lado, la relación C:N no es el único parámetro químico para predecir las tasas de mineralización de N. La concentración de polifenoles también puede dar un indicio de cómo este elemento se puede transferir de los residuos de plantas a los suelos. Palm y Sanchez (1991) explican cómo los polifenoles son compuestos químicos que pueden formar estructuras complejas enlazando elementos de H con N haciendo los materiales resistentes a la descomposición. También indican que sus resultados demuestran que la cantidad de polifenoles en los tejidos de las plantas pueden tener un papel más importante en la mineralización de N que otros parámetro químico o físico y que esta concentración puede controlar la liberación de N a corto plazo por parte de las leguminosas. García-Palacios et al. (2016) también concuerdan con esto ya que menciona que los tejidos de las plantas pueden contener cantidades considerables de polifenoles (ej. taninos) que pueden inhibir procesos microbianos como la descomposición y mineralización de compuestos.

3.4 Materia orgánica en los suelos

La M.O. es uno de los parámetros principales que se utilizan para determinar la fertilidad de los suelos. Esta puede ser definida como cualquier material proveniente de animales o plantas, vivo o muerto, añadida a los suelos (Sopher y Baird, 1982). Este material es una parte activa y una porción importante en los procesos biológicos, físicos y químicos de estos (Donahue et al., 1977). A diferencia de la M.O., el humus es el material ya descompuesto proveniente de esta que no se puede determinar su procedencia.

Al ser un componente biológico y contener residuos tanto de plantas como animales, la M.O. debe contener todos los nutrientes necesarios para el crecimiento de organismos, aunque la cantidad de estos va a estar influenciada por la fuente inicial (Sopher y Baird, 1982). Dentro de los componentes de la M.O. se encuentran los carbohidratos, proteínas, lípidos, ceras y resinas. Conformando todos estos compuestos, se encuentra el C con alrededor de un 58% seguido de hidrógeno (H) y oxígeno (O) en menor cantidad y N, azufre (S), P, entre otros elementos que conforman el restante de la M.O. (Donahue et al., 1977).

La descomposición de la M.O., al igual que los procesos mencionados anteriormente como la mineralización, van a estar mediados por factores ambientales y factores químicos y físicos del residuo. Dentro de los factores ambientales que determinan las tasas de descomposición de la M.O. se encuentran la humedad del suelo, el pH y la temperatura. Todos estos deben estar en un rango óptimo para que los microorganismos del suelo, en especial las bacterias y hongos puedan realizar sus funciones metabólicas de manera eficiente y por lo tanto la descomposición de la M.O. sea efectiva (Donahue et al., 1977). Por otro lado, la relación C:N del material a descomponerse también influyen en

las tasas de descomposición de la M.O. Los microorganismos del suelo, en su mayoría las bacterias, requieren una libra de N por cada cuatro o cinco libras de C (C: N 4:1 ó 5:1). Por lo tanto, una relación C: N alta va a desfavorecer la descomposición por las condiciones limitantes del N (Donahue et al., 1977).

3.4.1 Vertisoles

Cuando se habla de la M.O. como componente en los suelos con fines agrícolas, siempre se mencionan sus beneficios en los cuales se encuentra: la agregación de partículas de suelo, mejor infiltración, aumento en la aireación, aumento en la capacidad de intercambio catiónico (CIC), mayor cantidad de nutrientes para las plantas, entre otros. Diferentes tipos de suelos van a contener diferentes cantidades de M.O., y en la mayoría de los casos esta cantidad ronda entre los 1-5%.

Según la clasificación taxonómica del Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1999) (NRCS y USDA por sus siglas en inglés, respectivamente), los suelos del mundo se clasifican en 12 órdenes diferentes de los cuales la mayoría de estos se pueden encontrar en la zona del trópico. Cada uno de ellos contienen características tanto físicas como químicas que los distinguen entre sí, por lo tanto, su manejo y usos se verá afectado por estas propiedades. La M.O. es una de estas propiedades en la cual algunos órdenes presentan un alto contenido y en otros puede ser carente o casi inexistente.

Uno de los órdenes presentes en el trópico que se caracteriza por sus colores oscuros y puede presentar altas cantidades de M.O. es el perteneciente al orden Vertisol. Estos son descritos por Sopher y Baird (1982) como suelos con un alto contenido de arcilla 2:1

expansibles (forman grietas al secarse) y con los primeros horizontes de color oscuro por el alto contenido de M.O. Buol et al. (1973) mencionan que los Vertisoles pueden ser utilizados para diferentes aspectos agronómicos, especialmente con cultivos que requieran una buena retención de agua. Aun así, aunque los Vertisoles pueden ser considerados suelos que contengan una cantidad alta de M.O., se ha encontrado también valores moderados de 1-3% (Buol et al., 1973). Estudios realizados en Puerto Rico con diferentes series del orden Vertisol han reportado valores de M.O. que van desde los 4.5 a 11% en los primeros 30 centímetros de profundidad, siendo considerados suelos con una cantidad de M.O. relativamente alta para suelos de la zona tropical (Acevedo et al., 1976).

3.5 Especies de cultivos de cobertura utilizadas en el experimento

3.5.1 Crotalaria juncea L. (crotalaria)

La *Crotalaria juncea* conocida comúnmente en español como crotalaria y en inglés conocida como ‘sunn hemp’, es una leguminosa anual utilizada comúnmente como cultivo de cobertura o abono verde para la remediación de suelos. Perteneciente a la familia de las Fabaceae, el género *Crotalaria* contiene alrededor de 600 especies de las cuales 500 aproximadamente son nativas de África (Brunner et al., 2009). Se caracteriza por poseer tallos erectos fibrosos, ramificada, con flores de color amarillo brillante y vainas de una pulgada de largo y 0.5 pulgada de ancho (Rotar y Joy, 1983). Es un cultivo que presenta un crecimiento exorbitante llegando a medir hasta 1.8 m a los 90 días de establecida (Valenzuela y Smith, 2002).

Adaptada principalmente a las zonas tropicales y subtropicales, es un cultivo que puede producir 7 t ha⁻¹ de biomasa y puede añadir 150-165 kg ha⁻¹ de N a los 60 días bajo

condiciones favorables (Rotar y Joy, 1983). Aunque relativamente resistente a la sequía, las semillas necesitan aproximadamente una pulgada de agua para poder germinar al igual que se recomienda una pulgada de agua semanalmente para un crecimiento óptimo (Brunner et al., 2009).

Además de ser utilizada como cultivo de cobertura o abono verde, la crotalaria presenta propiedades para el control de nemátodos parasíticos y de malezas. Valenzuela y Smith (2002) mencionan el uso de crotalaria para el control de nemátodos parasíticos de los géneros *Meloidogyne*, *Rotylenchulus*, *Radophulus*, entre otros. Estos mismos autores mencionan un estudio en el centro de Oahu, Hawai donde se encontró que el ‘sunnhemp’ es el cultivo más prometedor para el control del nemátodo *Rotylenchulus reniformes* en las siembras de piñas como alternativa al uso de nematicidas. Otros posibles usos para *C. juncea*, aunque no probados, son la producción de fibra al igual que biomasa para la producción de combustible (Rotar y Joy, 1983).

3.5.2 *Pennisetum glaucum* (millo perla)

El millo perla (*Pennisetum glaucum*) es una gramínea de crecimiento anual utilizada a través del mundo como forraje, cultivo de cobertura y para alimentación humana en las zonas menos desarrolladas. Nativa del oeste de África, se caracteriza por poseer una inflorescencia en forma de espiga en el ápice del tallo y dependiendo la variedad puede alcanzar una altura de 3 a 6 pies bajo condiciones favorables (Myers, 1999).

Dentro de sus características principales se encuentra la alta tolerancia a las sequías, adaptación a suelos ácidos con pH de 5.5 o menor, alta eficiencia en el uso de N y altas tasas de producción de biomasa (Anand et al., 2009). Estudios en Nigeria en 1986

presentaron que el millo perla obtuvo un rendimiento de biomasa total de 4.07 ton/ha (Garba y Renard, 1991). Aunque nativo de la zona tropical, investigaciones han encontrado que en las zonas templadas también tienen la capacidad de producir un alto rendimiento en biomasa. Amankwa et al. (2012) reportan unos valores de 6 a 12 ton/ha creciendo bajo condiciones templadas en Ontario, Canadá.

Dentro de los otros usos que se le da al millo perla se encuentra la utilización de este como abono verde y la producción de material vegetal. Estas opciones de producción han llevado a productores a mostrar mayor interés en desarrollar estrategias de manejo que les permita a estos maximizar su rendimiento (Amankwa et al., 2012). Por otro lado, Myers (1999) menciona que estudios realizados en Georgia, USA reportaron que el millo contiene de 8 a 60% más proteína y 40% más lisina que el alimento a base de maíz, llevando así a un aumento en el interés de los productores de aves de corral y otras industrias pecuarias a utilizar este como alimento en sus sistemas de producción.

3.6 Utilización de cultivos de cobertura en sistemas de producción de vegetales

Los sistemas de producción de vegetales u hortalizas generalmente conllevan grandes insumos tanto de fertilizantes como de pesticidas para poder obtener rendimientos óptimos. Actualmente, datos de la FAO (2017) muestran que el uso de fertilizantes químicos aumenta notablemente cada año y se proyecta que para el año 2018 el uso de estos pudiera llegar hasta las 201 millones de toneladas métricas en comparación con las 162 que se utilizaban para el 2008. Esto demuestra el uso desmedido de estos químicos en sistemas de producción convencionales y estas grandes cantidades ha levantado preocupaciones por parte de los consumidores, lo que ha llevado a científicos a investigar

sobre otros métodos de producción que reduzcan la dependencia de químicos sintéticos que puedan afectar tanto en el aspecto de la salud como en lo económico.

Además del uso de pesticidas, las técnicas convencionales para la producción de vegetales incluyen la utilización de cubiertas de polietileno negro en los suelos, arado y uso de fertilizantes nitrogenados para maximizar los rendimientos, estas últimas dos siendo grandes influyentes en la degradación de los suelos y la contaminación de las aguas subterráneas. Prácticas como el uso de cubiertas en los suelos, utilizadas principalmente para el control de malezas, conllevan un insumo de capital bastante alto al igual que el uso de arado convencional puede significar grandes pérdidas en los suelos por medio de la erosión, especialmente en suelos inclinados (Abdul-Baki et al., 1996).

El uso de cultivos de cobertura se ha venido estudiando como práctica de conservación para sustituir las técnicas convencionales y así reducir los impactos negativos que estas producen. Un cultivo de cobertura utilizado para la producción sustentable de vegetales debe tener la capacidad de producir una gran cantidad de biomasa para suprimir el crecimiento de las malezas y ser utilizado como fuente de nutrientes esencial para el cultivo subsiguiente (Abdul-Baki et al., 1996).

Diferentes estudios realizados han encontrado la relación entre los cultivos de cobertura y la capacidad de estos de suprimir malezas. Creamer et al. (1997) reportan que el uso de cuatro especies de cultivos cobertores (*Vicia villosa*, *Hordeum vulgare*, *Secale cereale* y *Trifolium incarnatum*) y una mezcla de estas fueron utilizadas en una siembra de tomates para determinar el aporte de N y la habilidad de suprimir malezas. Se encontró que la mezcla entre las cuatro especies produjo grandes cantidades de biomasa (entre 9,567 y 14,287 kg/ha), contenían suficiente N en el tejido (entre 218 y 363 kg/ha) y suprimieron

las malezas igual de eficiente que herbicidas químicos (Creamer et al., 1997). Por otro lado, un presupuesto para la producción de tomates en Florida citado en el artículo de Ozores-Hampton (2012), se utilizó ‘sorghum-sudangrass’ como enmienda orgánica en la cual este aportó 132 kg N/ha cuando se aplicó 8,783 kg/ha de materia seca lo cual ayudó a disminuir la aplicación de fertilizantes químicos.

4. Experimento 1: Rendimiento y análisis de descomposición de tejidos de las plantas de cobertura *Crotalaria juncea* (crotalaria) y *Pennisetum glaucum* (millo perla).

4.1 Introducción

La descomposición de los tejidos de diferentes cultivos puede proveerle cierto beneficios químicos y físicos a los suelos. Las leguminosas son cultivos que biológicamente fijan N atmosférico por lo que sus tejidos van a contener alta concentración de nutriente en especial N. Estos cultivos también se caracterizan por producir buena cantidad de biomasa por lo que son utilizadas para aumentar la cantidad de M.O. de los suelos. La crotalaria es una leguminosa que ha sido utilizada para enmendar suelos por muchos años ya que su rendimiento es relativamente alto. Wang et. al, (2011) concluyó que este cultivo puede producir hasta 7 ton ha⁻¹ en biomasa bajo condiciones favorables. Además del aporte de biomasa, la crotalaria puede proveer 150-165 kg N/ha luego de crecida por 60 días e incorporada al suelo (Rotar y Joy, 1983).

A diferencia de las leguminosas, las gramíneas no pueden fijar N por lo que el aporte de este nutrimento es mínimo, pero sin embargo puede tener un buen rendimiento de biomasa. Se ha encontrado que el millo perla puede producir hasta 15 ton/ha de material verde y de 6-12 ton/ha de M.S. (Amankwa et. al, 2012).

La literatura y estudios realizados en términos de descomposición de tejidos está bien documentado (Palm y Sánchez, 1990; Thomas y Asakawa, 1993; Moro y Domingo, 2000; Teixeira et al., 2009; Pereira et al., 2016). Estos estudios se basan en utilizar bolsas con residuos donde se analizan porciones completas de las plantas, aunque muchos de estos se centran mayormente en la hojarasca. Este método consiste en encerrar material vegetal

de masa y composición química definida en un saco agujerado colocándolos en el campo y luego se analiza el cambio de estos dos factores después de un periodo de tiempo establecido recolectando las bolsas periódicamente.

Este experimento tuvo como fin cuantificar el RMS de ambos cultivos de cobertura y determinar las tasas de descomposición de estos. Luego de esto se analizó químicamente el tejido de los cultivos para determinar la concentración de N foliar y la relación C: N que determinan las tasas de descomposición de este.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Localidad del experimento

El experimento se realizó en la Sub-estación Experimental Agrícola (EEA) de Lajas de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez (18°03'N y 67°07'O). La misma está localizada en la parte suroeste de Puerto Rico, hidrológicamente la zona más seca y árida de la isla. Su elevación promedio es de 13 metros (m) sobre el nivel del mar con una precipitación anual promedio de 25 milímetros (mm). Datos de la EEA en Lajas mostraron que la temperatura fluctuó anualmente entre los 21 y los 32.7 °C siendo estos los promedios para la mínima y máxima, respectivamente. La Figura 1 muestra los promedios entre la temperatura máxima y mínima para los años 2015 y 2016. Por otro lado, la Figura 2 muestra la precipitación total por mes para ambos años.

El área utilizada para la siembra constó del orden de suelo Vertisol serie Fraternidad (fino, esmectítico, isohypertérmico, Típico Hupluterts) (Beinroth et. al, 2003). El análisis de suelo de una muestra compuesta realizado en el Laboratorio Central Analítico de la Universidad de Puerto Rico (UPR), mostró en los primeros 15cm un pH básico de 7.53,

contenido de M.O. de 2.3% y concentraciones de 12.7, 32.4 y 242 ppm para N-NO₃⁻, P y K, respectivamente. La preparación de terreno consistió en prácticas convencionales con pases de arado, rastra y roto cultivador sin fertilización ni control de malezas.

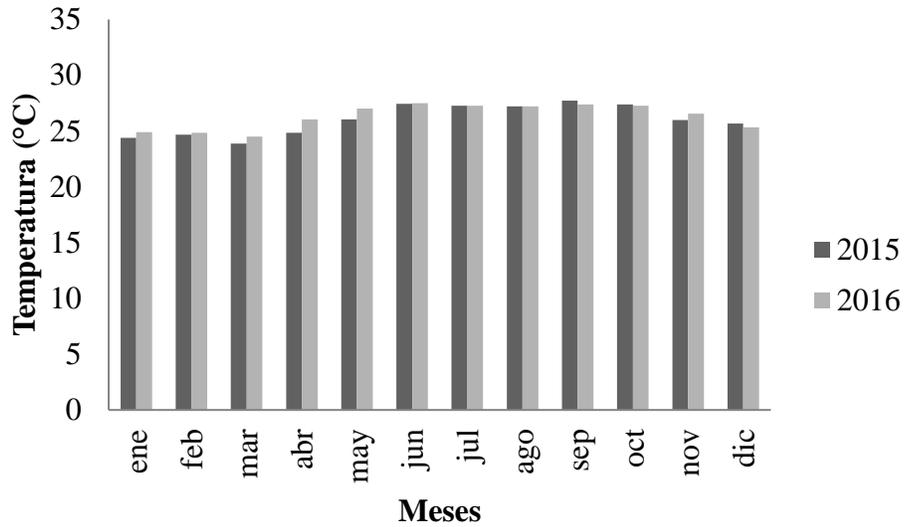


Figura 1. Temperatura promedio mensual durante los años 2015 y 2016 en la EEA de Lajas, P.R.

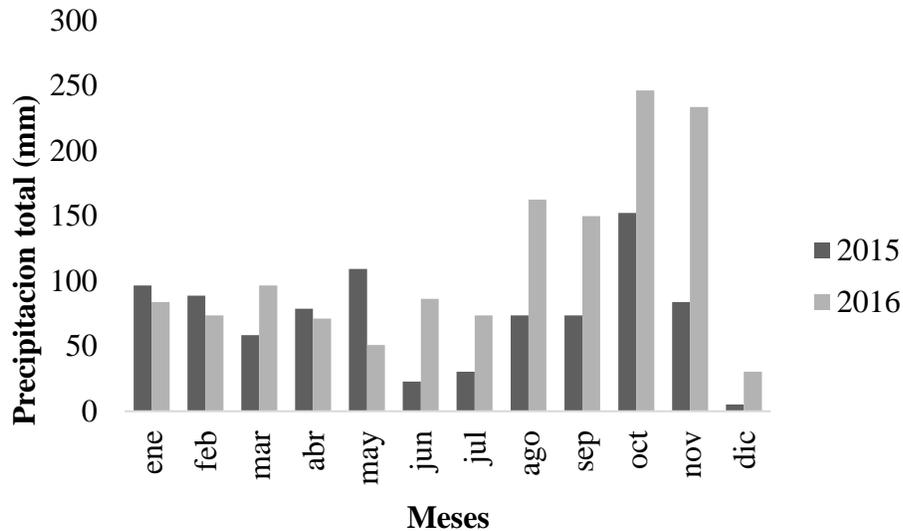


Figura 2. Precipitación total mensual durante los años 2015 y 2016 en la EEA de Lajas, P.R.

4.2.2 *Diseño experimental*

La siembra de los cultivos de cobertura comenzó la primera semana de octubre, 2015. Se utilizó un diseño experimental en bloques completos aleatorizado (DBCA) con tres tratamientos (crotalaria, millo y 50:50 crotalaria: millo) y cuatro repeticiones. El predio se dividió en 12 unidades experimentales (parcelas) cada una de 9 metros de largo por 3 metros de ancho. Los cultivos de crotalaria, millo y la mezcla se establecieron utilizando una sembradora de chorrillo continuo ‘Brillion’ a una densidad de 10-12 kg ha⁻¹.

Para determinar RMS de los cultivos de cobertura, se cosechó material a dos edades, 6 y 8 semanas después de siembra (SDS), de cada parcela utilizando un cuadrado de 0.25 m². Luego de colectado el material, se secaron las muestras en un horno a 65°C durante 48 horas para así poder calcular el rendimiento en kg ha⁻¹.

Luego del muestreo para la determinación de RMS, se estableció el experimento para descomposición de tejidos. Se utilizaron dos intervalos de tiempo (edad de los cultivos

de cobertura): 6 y 8 SDS. Para este estudio se utilizaron bolsas de nylon, similar a una malla con agujeros (32 agujeros por centímetro cuadrado (cm^2)), con un tamaño de 25 centímetros (cm) de largo por 20 cm de ancho. En cada una de las bolsas se colocaron 25g de hojarasca fresca de uno de los tres tratamientos (cultivos de cobertura): crotalaria, millo y 50:50 (crotalaria: millo). Las muestras de los cultivos a 6 SDS se utilizaron a un 82, 87 y 86% de humedad en el tejido de la crotalaria, millo y la mezcla, respectivamente. En el caso de las muestras de 8 SDS, el porcentaje de humedad del tejido rondó en 85% para los tres tratamientos.

Luego de llenadas las bolsas con tejido, estas fueron transferidas al campo. Cada parcela fue dividida en dos, correspondiendo a la edad de los cultivos de cobertura (6 y 8 SDS). En cada una de las parcelas se colocaron 16 bolsas, 8 para el tratamiento de 6 SDS y 8 para el de 8 SDS. Para cada intervalo de tiempo, de las 8 bolsas colocadas, cuatro se colocaron sobre el suelo y cuatro se colocaron a una profundidad de 10 cm debajo del suelo (Figura 3). Estas fueron colectadas periódicamente cada dos semanas donde en cada recolección se tomó una bolsa debajo y una sobre el suelo. Luego de cada recolección se les tomó el peso húmedo a las muestras y se colocaron en el horno para el secado a una temperatura de 65 °C. Al cabo de 48 horas se le tomó el peso seco para poder determinar la constante de descomposición.

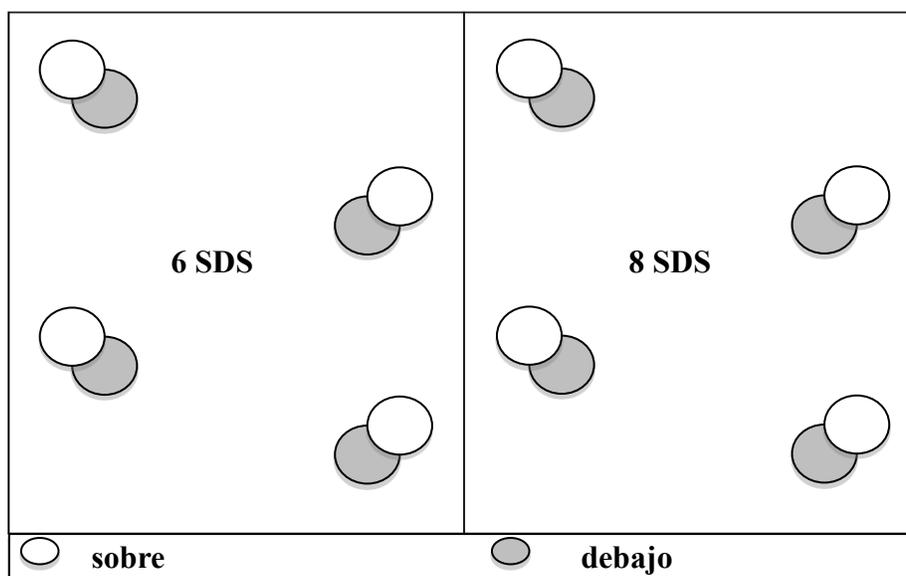


Figura 3. Diagrama de la posición (sobre y debajo del suelo) de las bolsas de descomposición en cada una de las unidades experimentales (parcelas).

4.2.3 Análisis químicos y constante de descomposición (k)

Luego de la recolección de las muestras, el remanente del tejido fue colocado en bolsas de papel y secadas para la determinación de la constante de descomposición. Esta constante (k) fue determinada por la reacción de primer orden de Weider y Lang (1982), citada por López (2011); Pereira et al., (2016):

$$Y=Y_0 \cdot e^{-kt}$$

En la cual: Y es el peso del material remanente a cierto tiempo, Y_0 es el peso inicial del tejido, e el logaritmo natural, k la constante de descomposición y t el tiempo expresado en semanas. Luego de determinadas las constantes de descomposición, análisis químicos para la determinación de N, C y M.O. en tejido se realizaron en la Estación Experimental de Agricultura Tropical (TARS por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) en Mayagüez, P.R. La determinación de N fue basada en el método de digestión y vapor en bloque de Kjeldhal según FOSS (2002).

La M.O. fue determinada por incineración utilizando el método de ‘Standard Test Methods for Moisture, Ash and Organic Matter of Peat and Organic Soils’ (ASTMD 2974) (ASTM, 2000) y el C fue sacado utilizando la ecuación: $\% C = M.O. /2$.

4.2.4 Estadísticos

Las primeras variables analizadas fueron el RMS y el N inicial en los tejidos. Para estas se utilizó el programa estadístico Infostat (2008) versión estudiantil en el cual se realizó un análisis de varianza (ANOVA), incluyendo efectos principales e interacciones, y separación de medias por diferencia mínima significativa (DMS) de Fisher ($p < 0.05$). En el modelo se incluyó cultivos de cobertura, bloque, edad y la interacción cultivos x edad.

Para las variables C y M.O. se utilizó el programa SAS (1999) versión universitaria utilizando un modelo de parcelas subdivididas bajo el procedimiento Glimmix. El modelo de este incluyó cultivos de cobertura, bloque, edad, tiempo de colección y posición de las bolsas de descomposición y las interacciones dobles, triples y cuádruple entre los efectos, sin incluir los bloques.

4.3 Resultados y discusión

4.3.1 Rendimiento de biomasa, materia seca (RMS) y concentración de N inicial en tejido

No se encontró interacción entre los tratamientos (cultivos de cobertura) y la edad de estos (SDS), ni diferencias significativas en los efectos principales al analizar los datos sobre el rendimiento de biomasa. Igualmente, al realizar los análisis sobre la cantidad de materia seca producida por los cultivos de cobertura, no se encontró interacción ni diferencias significativas para los efectos principales (Tabla 1).

Se encontró que la mezcla 50:50 presentó valores de RMS de 7,480 kg ha⁻¹ a las 6 SDS y de 8,077 kg ha⁻¹ a las 8 SDS. En el caso del millo, este presentó rendimientos de 6,580 y 7,477 kg ha⁻¹ para las 6 y 8 SDS, respectivamente. Por último, la crotalaria fue el cultivo con el RMS más bajo donde rindió 4,300 kg ha⁻¹ para las 6 semanas y 7,306 kg ha⁻¹ para las 8 semanas de establecida. Resultados demuestran que dejar los cultivos en crecimiento por más tiempo no causa diferencias significativas en el RMS.

Datos de Costa et al. (2013) indican que estos obtuvieron valores de 14,040 kg ha⁻¹ de RMS para el cultivo de millo perla (*Pennisetum glaucum*) a los 75 días luego de la siembra en un suelo Nitisol (correlacionado al Ultisol) de Brasil. Por otro lado, Calvo et al. (2010) reportan unos rendimientos de solo 6,318 kg ha⁻¹ a los 60 días de sembrado también en esta ciudad. Datos entre estos estudios pudieron haber discrepado por la cantidad de precipitación caída durante la época de análisis.

En el caso de la crotalaria (*Crotalaria juncea*), Barbosa et al. (2011) reportan valores de 2,069 kg ha⁻¹ luego de 76 días de establecidas mientras que Valenzuela y Smith, (2002) mencionan valores de 13,300 kg ha⁻¹ a los 65 días en la temporada tardía de verano en Hawai. También, un estudio realizado en Florida menciona que la crotalaria puede tener rendimientos que pueden rondar los 5,050 a 11,235 kg ha⁻¹ (Newman et al., 2010; Ozores-Hampton, 2012).

Tabla 1. Análisis de varianza para los efectos de cultivos de cobertura y edad (SDS) sobre el RMS.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	p-valor
Cultivos de Cobertura (CC)	2	7954392.04	0.2209
Edad (E)	1	13501500.04	0.1127
CC x E	2	3448712.04	0.5005
Residual	15	4755629.71	

*Diferencia mínima por DMS Fisher (p<0.05).

Resultados de la concentración de N (%) inicial en el tejido no muestran interacción entre los efectos de tratamiento (cultivos de cobertura) y edad (SDS). Sí se encontró diferencia significativa (p<0.05) en el efecto principal de cultivos de cobertura. La crotalaria fue el cultivo que presentó mayor porcentaje de N foliar, seguido de la mezcla 50:50 y por último el millo (Tabla 2). Esto concuerda con la teoría de que fisiológicamente las leguminosas al fijar N biológicamente acumulan más de este nutriente en el tejido por lo tanto su concentración es mayor.

Tabla 2. Valores promedios de la concentración de N (%) inicial en hojarasca para ambos cultivos de cobertura individuales y la mezcla entre ellos.

Cultivos de Cobertura ¹	Medias ²
Crotalaria (Cr)	4.84 a
Millo (M)	3.64 c
Cr + M	4.13 b

¹Se utilizó solamente la hojarasca de cada cultivo para la estimación de N.
²Medias con letras iguales no son diferentes entre sí (DMS Fisher).

En este experimento, al utilizarse solamente la hojarasca de los cultivos de cobertura, pudo afectar la concentración inicial de N en el tejido la cual resultó ser

relativamente alta. Como el peso foliar de gran parte de los cultivos representa ~25%, los resultados obtenidos pueden representar una cantidad de 52 y 88.4 kg N ha⁻¹ para la crotalaria a las 6 y 8 SDS, respectivamente, 59.8 y 68 kg N ha⁻¹ para el millo y 77.2 y 83.4 kg N ha⁻¹ para la mezcla 50:50.

Un estudio realizado por Perin et al. (2006) en la parte sureste de Brasil, se reportan valores de N de 3.27 y 1.39% para los cultivos de crotalaria y millo respectivamente al cosecharse a los 68 días de establecidas (9 semanas) en un Cambisol (suelo poco desarrollado). Por otro lado, Alonso et al. (2012) en un estudio realizado en esta misma zona, en este caso en un suelo Chernozem (correlacionado al Molisol), documentan un valor de 2.01% de N para el millo recolectado a los 70 días luego de sembrado y Pereira et al. (2016) reportan un contenido de N de 2.53% en la crotalaria a los 78 días después de siembra en la parte noreste de Brasil. En estas investigaciones, los análisis de tejidos fueron realizados con partes completas de la planta por lo que el porcentaje de nitrógeno pudo haber resultado menor en la mayoría de los casos.

Factores edáficos, ambientales y biológicos (especie y lugar de almacenamiento en la planta) son algunos de los que se pueden mencionar que tienen un efecto directo en la concentración de N en los tejidos. También así, la concentración de nutrientes en el tejido va a estar influenciada por la fertilidad de los suelos, y en el trópico, esta va a ser mayor para la mayoría de los macronutrientes en suelos de mayor fertilidad (Vertisoles y Molisoles) a diferencia de los suelos más degradados como los Oxisoles y Ultisoles (Vitousek y Sandford, 1986). De la misma manera, nutrientes como el N se van a encontrar en concentraciones variadas dependiendo la parte de la planta y la especie analizada. Las hojas van a obtener la mayor cantidad en comparación con los tallos y raíces, por lo que el

utilizar solamente la hojarasca podría sobreestimar el porcentaje de N obtenido (Cobo et al., 2008). Así mismo, las leguminosas presentarían mayores concentraciones de este nutriente que otras especies como por ejemplo las gramíneas (Pederson et al., 2002).

4.3.2 Tasas de descomposición, cantidad de M.O., carbono orgánico (C.O.) y relación C:N en tejidos.

4.3.2.1 Tasas de descomposición

Se encontró una interacción significativa ($p < 0.05$) entre la edad de los cultivos de cobertura (SDS) y la posición en donde se colocaron las bolsas sobre el tiempo de descomposición de los tejidos (Tabla 3). Bajo las condiciones experimentales de este estudio, se observó que los tejidos colocados en las bolsas debajo del suelo se descompusieron más rápido tanto a las 6 como a las 8 SDS con valores de k de 0.269 y 0.188, respectivamente. En comparación, las bolsas colocadas sobre el suelo tuvieron unas tasas de descomposición menor a las 6 y 8 SDS (0.180 y 0.147, respectivamente) (Tabla 4). También se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) en el efecto principal de cultivo donde la k mayor la obtuvo el cultivo del millo, seguido de la mezcla 50:50 y por último la crotalaria (Tabla 5).

Tabla 3. Efecto entre cultivos de cobertura, edad (SDS) y la posición de las bolsas sobre las tasas de descomposición de los tejidos.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	<i>p</i> -valor
Cultivos de Cobertura (CC)	2	0.0081	<0.0001
Edad (E)	1	0.0389	<0.0001
Posición (Pos)	1	0.0505	<0.0001
CC x E	2	0.0012	0.1150
CC x Pos	2	0.0002	0.6463
E x Pos	1	0.0069	0.0010
CC x E x Pos	2	0.0001	0.7728
Residual	33	0.0005	

Análisis de la varianza muestra efectos principales e interacciones entre factores.

Fuentes de variación no relevantes fueron obviadas.

Tabla 4. Interacción edad (SDS) y posición de las bolsas (sobre y debajo de la superficie del suelo).

Edad ¹	Posición	
	sobre	debajo
6 SDS	0.180 b	0.269 a
8 SDS	0.147 c	0.188 b

¹Edad corresponde a semanas después de siembra (SDS).

Tabla 5. Valores promedios de *k* mediados por el factor cultivos de cobertura.

Cultivos de Cobertura	Medias (<i>k</i>) ¹
Crotalaria (Cr)	0.175 c
Millo (M)	0.220 a
Cr + M	0.193 b

¹Medias con letras iguales no difieren entre si ($p < 0.05$ DMS Fisher).

En general, las tablas de descomposición (Tablas 3-5) muestran reacciones de primer orden mediadas por factores como la humedad y la temperatura principalmente, entre otros (López, 2011). En el caso de este estudio en particular, los tejidos colocados debajo del suelo pudieron tener un valor de *k* mayor ya que las condiciones de descomposición fueron más favorables para acelerar este proceso. Al estar en una zona

tropical, la temperatura no influye mucho, pero la humedad en las capas inferiores del suelo pudo haber sido un factor determinante. Los Vertisoles son suelos que tienen una capacidad relativamente alta de retención de agua y humedad a diferentes niveles de potencial hídrico (Coulombe et al., 1996) y este pudo ser factor determinante en haber facilitado el proceso de descomposición. También, al colocar las bolsas en las capas inferiores del suelo se entiende que entran en contacto más directo con la biota terrestre (bacterias, hongos, etc.) y esto a su vez hace que las tasas de descomposición aumenten (Lynch et al., 2016). En general, en este estudio las tasas de descomposición fueron relativamente alta lo cual puede ser explicado por los factores mencionados anteriormente y la precipitación durante los meses de muestreo en donde cayeron alrededor de 250 mm de agua entre octubre y noviembre. Esto pudo haber mantenido la humedad del suelo alta y aumentar la velocidad de descomposición.

Por otro lado, aunque no se realizaron análisis de lignina ni concentración de polifenoles en los tejidos, estos compuestos pueden explicar la diferencia en las tasas de descomposición encontradas en este experimento dependiendo la edad (semanas) y la especie de cultivo. En el caso de la edad de los cultivos de cobertura, independiente de la ubicación, los tejidos a 6 SDS tuvieron tasas de descomposición más altas lo cual pudo haber estado relacionado al contenido de lignina. A medida que la planta va desarrollándose y madurando, la lignina se va depositando en mayor cantidad en la pared celular y esto puede afectar la digestibilidad del tejido por parte de los microorganismos lo que retarda su descomposición (Jung y Allen, 1995), por lo que utilizar el material luego de la florecida y producción de frutos puede ser contradictorio. Por otro lado, la concentración de polifenoles en los tejidos puede ser otro parámetro para tomar en

consideración también durante las tasas de descomposición, aunque se debe enfatizar que en este estudio no se realizaron análisis para estos compuestos.

Los taninos, por ejemplo, son polifenoles que pueden formar complejos con las proteínas los cuales son difíciles de degradar y también pueden reducir la abundancia de microorganismos descomponedores en los suelos durante las primeras etapas de la descomposición (García-Palacios et al., 2016).

Por lo general las leguminosas contienen una concentración más alta de polifenoles en su tejido que las gramíneas. Palm et al. (2001) reportan valores de ~ 3-4% de polifenoles en las leguminosas y < 1% en las gramíneas. En este mismo estudio se reportan valores de polifenoles de entre 0.18 a 0.95% en dos especies de *Pennisetum*, mientras que para la crotalaria se reporta un valor de 1.57%. Aunque la concentración de polifenoles en la crotalaria no es tan alta, la diferencia pudo haber explicado por qué los tejidos de esta se descompusieron más lentos que los del millo ya que los valores de este último representan <1%. Estudios realizados por de Carvalho et al. (2012) en Brasil presentan valores de 43.4 y 34.0 g kg⁻¹ de lignina para crotalaria y millo, respectivamente lo cual, al igual que los polifenoles, pueden ayudar a explicar la discrepancia en las tasas de descomposición.

4.3.2.2 *Materia orgánica (M.O.) y carbono orgánico (C.O.) en tejidos.*

Análisis estadísticos muestran una interacción triple significativa ($p < 0.05$) entre los factores de edad, tiempo de colección y posición de las bolsas en el porcentaje de M.O. en los tejidos (Tabla 6). También se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) en el efecto principal de cultivos de cobertura para la misma variable (Tabla 6). Así mismo, el C.O. tuvo la misma dinámica y se comportó igual que la M.O. ya que este valor es derivado del porcentaje de esta última en el tejido.

Tabla 6. Análisis de varianza de los efectos de cultivos de cobertura, edad (SDS), posición y tiempo de colección de las bolsas sobre el % de M.O. y C.O.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	p-valor
Cultivos de Cobertura (CC)	2	0.0077
Edad (E)	1	0.7128
Posición (Pos)	1	0.0026
Tiempo de Colección (TC)	3	0.0397
CC x E	2	0.2237
CC x Pos	2	0.6271
CC x TC	6	0.2064
E x Pos	1	0.0003
E x TC	3	0.0107
TC x Pos	3	0.0007
CC x E x Pos	2	0.5766
CC x E x TC	6	0.9170
C x TC x Pos	6	0.2836
E x TC x Pos	3	0.0005

En el caso de la triple interacción, se pudo observar una tendencia para las bolsas colocadas debajo del suelo en donde, para todos los tiempos de colección analizados, los cultivos de 8 SDS presentaron los valores más bajos de M.O. y C.O. en el tejido luego de los análisis (Tabla 7). A juzgar por esto, los cultivos de 8 SDS lograron perder más de ambos compuestos de su composición original los cuales a su vez fueron añadidos al suelo. Esto resulta un poco contradictorio ya que cuando más viejo los tejidos, se esperaría que la descomposición y liberación de nutrientes y/o compuestos orgánicos se retarde más. Aunque, en condiciones de campo, factores externos (ej. humedad) pueden ocasionar que esto varíe. Por otro lado, los tejidos de 6 SDS obtuvieron también los valores más bajos de M.O. y C.O., para la mayoría de los tiempos de colección, cuando se colocaron sobre la superficie del suelo (Tabla 7). Esto pudo haberse debido a que, al ser más joven el tejido, se encuentran menos lignificados y la relación C:N más baja por lo que menos contacto

directo con el suelo y organismos descomponedores es necesario para la mineralización de la M.O. y el C.O.

Tabla 7. Valores promedios de la interacción triple entre edad (SDS), tiempo de colección y posición (sobre y debajo del suelo) sobre el porcentaje de M.O. y C.O.

Edad (SDS)	Tiempo de Colección	Posición	M.O. (%)	C.O. (%)
6	2	d	77.1	38.5
6	2	s	62.7	31.4
6	4	d	74.1	37.1
6	4	s	72.7	36.4
6	6	d	67.3	33.7
6	6	s	74.5	37.2
6	8	d	68.3	34.2
6	8	s	72.8	36.4
8	2	d	71.6	35.8
8	2	s	80.4	40.2
8	4	d	67.8	33.9
8	4	s	76.1	37.9
8	6	d	64.3	32.2
8	6	s	72.1	36.1
8	8	d	65.5	32.8
8	8	s	75.4	37.7

d = debajo del suelo
s = sobre la superficie del suelo

Para el efecto principal de cultivos de cobertura, se pudo observar que la crotalaria obtuvo el valor mayor tanto para la M.O., como para el C.O (Figura 4). Lo siguieron la mezcla 50:50 y por último el cultivo del millo. Se puede argumentar que los valores resultaron de esta manera ya que el cultivo de crotalaria, al ser el más lento en descomponerse, tardó más tiempo en mineralizar ambos compuestos por lo que presentó los rangos más altos luego de los análisis.

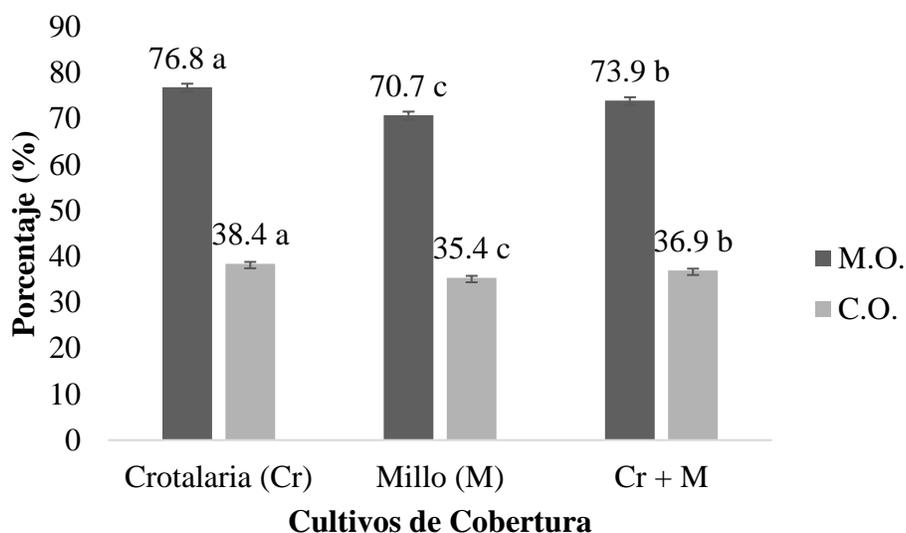


Figura 4. Valores promedios del porcentaje de M.O. y C.O. de los cultivos de cobertura y la mezcla 50:50

Se conoce que, en los sistemas de conservación, los cultivos de cobertura pueden proveer buena cantidad de M.O. ya sea dejándolos como residuos sobre el suelo o incorporándolos con técnicas que no causen tanto disturbio en estos (López, 2011). Un estudio realizado por de Souza et al. (2016) encontraron que utilizar el millo perla como cultivo de cobertura mejoró las fracciones húmicas (fracción orgánica más importante) de la superficie del suelo aumentando las reservas de carbono y aumentando su cantidad de M.O. Por otro lado, está bien documentado que la crotalaria tiene un gran potencial como cultivo de cobertura para mejorar las condiciones de los suelos, incluyendo la M.O., por su habilidad de acumular grandes cantidades de biomasa y su relativamente alta tasa de descomposición (Carlo, 2009).

4.3.2.3 Relación C:N

No se encontró interacción significativa ($p < 0.05$) entre los efectos de edad y cultivos de cobertura sobre la relación C:N en los tejidos lo que nos indica que los factores

actúan independientes uno del otro. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) en los efectos principales semanas y cultivo de cobertura (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis de varianza de los factores edad (SDS) y cultivos de cobertura sobre la relación C:N.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	<i>p</i> -valor
Edad (E)	1	38.49	0.0009
Cultivos de cobertura (CC)	2	21.51	0.0023
E x CC	2	2.45	0.3667
Residual	15	2.29	

Valores promedio de la relación C:N muestra que a medida que la edad de los cultivos de cobertura aumenta de 6 a 8 SDS, el valor de esta relación también aumenta (Tabla 9). Al encontrarse diferencias entre cultivos, se pudo observar que cada uno va a tener un C:N diferente en donde la mayor relación la obtuvo el cultivo del millo, seguido de la mezcla 50:50 y por último el cultivo de crotalaria el cual obtuvo el valor menor (Tabla 9).

Tabla 9. Valores promedio de la relación C:N mediado por los efectos principales de cultivos de cobertura y edad (SDS).

Cultivos de Cobertura ¹	Medias ²
Crotalaria (Cr)	9.88 b
Millo (M)	13.2 a
Cr + M	11.2 b
Edad	Medias
6 SDS	10.2 b
8 SDS	12.7 a

¹Se tomó la relación C:N solamente de la hojarasca de cada cultivo

²Medias con letras iguales no difieren entre si (DMS Fisher).

Diferentes estudios han mostrado diferentes valores de C:N para ambos cultivos utilizados en este experimento. De Carvalho et al. (2012) presentaron los valores más cercanos donde la crotalaria obtuvo una relación C:N de 8.09 mientras que el millo un valor de 15.0, ambos cultivos en la etapa de floración, similar a la etapa analizada en este estudio. Por otro lado, Perin et al. (2006) reportaron valores más altos para ambos cultivos. Estos reportaron valores de los cultivos cosechados a los 68 días donde la crotalaria presento una relación de 13, el millo 30 y la mezcla entre ambos 15. Valores de la relación C:N pudieron haber discrepado por las condiciones donde se realizaron cada uno de los estudios. Interacción de factores como temperatura, radiación solar, cultivar, estado fenológico de la planta y suministro de agua y nutrientes pudieron haber cambiado la concentración de C en los tejidos y por lo tanto aumentar o reducir la relación C:N (Morison y Lawlor, 1999).

Como bien se describe en la mayoría de la literatura, la relación C:N es un buen indicador sobre las tasas de descomposición, quiere decir, la rapidez con la que se descomponen los tejidos. Esta relación en el tejido inicial también va a determinar la facilidad con la cual elementos como el C y el N se mineralizan y la rapidez en la pérdida de peso en los residuos donde, residuos con mayor concentración de N y una relación C:N más baja resultaran en una pérdida de peso más acelerada (Lynch et al., 2016).

En el caso de este estudio en particular, la relación C:N no ayudó a predecir las tasas de descomposición, ya que el cultivo con la relación más alta fue el que se descompuso más rápido y el que presentó la relación menor tuvo un tiempo de descomposición más lento. Sin embargo, sí concordó con la mayoría de los estudios (Sakala, 2000; Oliveira et al., 2003; Jimenez et al., 2005; Li et al., 2013) en que los tejidos de alta calidad como las leguminosas, van a tener una relación menor de C:N en

comparación con tejidos de baja calidad como son consideradas la mayoría de las gramíneas.

4.4 Conclusiones

Resultados de este experimento demuestran que ambos cultivos de cobertura, así como la mezcla 50:50 entre ambas, son alternativas viables para el uso de estos como cubiertas de suelo. No se encontró diferencias significativas entre especie de cultivo ni edad de establecidas, aunque sí se puede recalcar que se obtuvo buen RMS lo que los hace aptos para utilizarlos con este fin.

También, ambos cultivos y su mezcla 50:50 pueden ayudar a minimizar tanto los daños a los suelos y abaratar costos de producción combinando el uso de estos con prácticas convencionales. Buena producción de material y alto RMS ayudan evitando pérdidas por erosión o lixiviación, disminuyendo contaminación atrapando el exceso de químicos, reteniendo humedad, aumentando la aireación, entre otros. Así mismo, estos cultivos minimizarían el uso de plásticos cobertores compitiendo con las malezas, reduciendo la aplicación de herbicidas sintéticos y controlando el uso excesivo de agua.

Se puede argumentar también que estos cultivos y su mezcla 50:50 son aptos para emplearse como abonos verdes y enmiendas para aumentar la fertilidad de los suelos. Se encontró que los tejidos de cultivos de cobertura a 6 SDS, incorporados al suelo, presentaron las tasas de descomposición más altas por lo que el utilizarlos bajo estas condiciones resulta lo más adecuado en cuanto a descomposición y liberación de nutrientes. También, al haber diferencias entre cultivos, el millo obtuvo la tasa más alta de descomposición entre todos por lo que demostró ser el menos resistente a degradación, aún

con la razón C:N más alta. Aun así, estudios futuros deben incluir análisis químicos de compuestos como la lignina y concentración de polifenoles ya que estos también afectan las tasas de descomposición.

Por otro lado, se encontró diferencia significativa en la cantidad de N foliar entre especie de cultivo. Este estudio demuestra que la crotalaria obtuvo el porcentaje de N foliar más alto en comparación con el millo y la mezcla 50:50, por lo tanto, su aportación fue mayor. Es por esto que, aunque su tasa de descomposición haya sido la menor, los tejidos de esta a 6 SDS incorporados al suelo resulta ser la opción más viable como abono verde por su alta capacidad de suplir N. Se demostró que tanto la crotalaria, el millo y la mezcla 50:50 son cultivos que dependiendo las condiciones que se utilicen, disminuirían la aplicación de fertilizantes sintéticos en sistemas de producción, aumentarían la cantidad de M.O. y proveerían nutrientes mejorando las condiciones tanto físicas como químicas de los suelos.

5 Experimento 2: Relación entre la descomposición de cultivos de cobertura, aporte de nutrientes y producción de *Solanum melongena* cv. Rosita (berenjena).

5.1 Introducción

Los cultivos de cobertura pueden proveer diferentes beneficios para otros cultivos subsiguientes siendo uno de estos el aporte de nutrientes. Las leguminosas utilizadas como abonos verdes pueden proveer la mayor parte del N, y en algunos casos hasta todo el requerimiento de este nutriente a otros cultivos, si estas producen la suficiente biomasa y la mineralización del N se sincroniza aproximadamente con la demanda de nutrientes del cultivo de interés (Griffin et al., 2000).

Diferentes cultivos tienen diferentes requisitos nutricionales por lo tanto los insumos y las aplicaciones de fertilizantes y nutrientes van a variar con estas. Las hortalizas son algunos de los cultivos que requieren grandes aplicaciones de fertilizantes y otras enmiendas sintéticas. Por ejemplo, algunos estudios en la zona tropical y sub-tropical demuestran que, para obtener rendimientos óptimos en solanáceas las aplicaciones de N pueden estar entre los 200 y 300 kg ha⁻¹ sin tener en cuenta los otros nutrientes esenciales (Sotomayor-Ramírez y Machiavelli, 2002; Ozores-Hampton, 2012). Por lo tanto, incluir otras opciones orgánicas en los planes de fertilización podrían ayudar a reducir la cantidad y la frecuencia con la que se aplican estas enmiendas.

En Puerto Rico, existen algunos estudios relacionados al uso de cultivos de cobertura como enmiendas para cultivos subsiguientes mucho de estos siendo cultivos agronómicos tradicionales de grandes escalas. Un estudio realizado por Sotomayor-Ramírez et al. (2012) con maíz, describe como el uso de cultivos de cobertura tuvieron un

efecto positivo en los rendimientos aumentándolos luego de incorporar leguminosas como el caupi (*Vigna unguiculata*) y la mucuna (*Mucuna pruriens*).

Por otro lado, uno de los nichos agrícolas más importantes en Puerto Rico son las hortalizas, en especial, las solanáceas. Según cifras preliminares del Ingreso Bruto Agrícola (IBA) de Puerto Rico, en el 2014 se reportaron ingresos de casi 37 millones de dólares entre los cultivos de tomate, pimiento, ajíes dulces y berenjena representando el 72% de la producción total de hortalizas (Departamento de Agricultura, Oficina de Estadísticas Agrícolas, 2015). Este impacto que tienen las hortalizas en el sector agrícola propicia a encontrar diferentes maneras de aumentar los rendimientos de estos cultivos de una manera más sustentable sin poner en riesgo los recursos naturales de la isla. Es por esto que más investigaciones son necesarias en los que incluyan cultivos de cobertura en la producción de vegetales en Puerto Rico para poder estudiar la relación que existe entre el aporte de nutrientes por parte de la descomposición de los residuos de estos cultivos y la producción de hortalizas.

Para aportar a este tema, el propósito de este experimento fue encontrar la relación entre el aporte de nutrientes por el material descompuesto de la crotalaria, el millo y la mezcla 50:50 entre ellas y el rendimiento y cantidad de frutos producidos de *Solanum melongena* cv. Rosita (berenjena).

5.2 Materiales y métodos

5.2.1 Localidad del experimento

El experimento se realizó en la EEA Lajas de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez (18°03'N y 67°07'O). Esta estación está localizada en la parte

suroeste de Puerto Rico, hidrológicamente la zona más seca y árida de la isla. Su elevación promedio es de 13 m sobre el nivel del mar con una precipitación anual promedio de 25 mm. La temperatura puede fluctuar anualmente entre los 21 y los 32.7 °C siendo estos los promedios para la mínima y máxima respectivamente.

El área que se utilizó para la siembra constó de la orden de suelo Vertisol serie Fraternidad (fino, esmectítico, isohypertérmico, Típico Hupluterts) (Beinroth et. al, 2003). Análisis de una muestra compuesta de suelo determinaron 3% de M.O., pH de 7.4 y cantidades de 17.6, 54 y 263 ppm para N-total, P y K, respectivamente. La preparación de terreno fue realizada de manera convencional con pases de arado y rastra y roto cultivador sin fertilización ni control de malezas.

5.2.2 *Diseño experimental*

Se utilizó un área de 139 metros cuadrados (m²) para la siembra. Un diseño en bloques completamente aleatorizado fue utilizado (DBCA) con tres tratamientos (crotalaria, millo y 50 millo perla:50 crotalaria) y cuatro repeticiones. Los cuatro bloques constaron de cuatro bancos de siembra de 22.7 m de largo, 0.91 metro de ancho. Cada tratamiento cubrió 7.57 m² para un total de 12 unidades experimentales (cuatro bloques x tres tratamientos).

La siembra de los cultivos de cobertura se realizó la primera semana del mes de agosto 2016. Se sembró cada parcela manualmente, al voleo, con suficiente cantidad de semilla para que hubiese una cubierta uniforme del terreno (~10-12 kg ha⁻¹). Luego de una semana de establecida la siembra de los cultivos de cobertura, se realizó el semillero de berenjena (*Solanum melongena* cv. Rosita) utilizando bandejas de plástico de 12 x 4 para

un total de 48 agujeros por bandeja. Se utilizaron 5 de estas para tener la cantidad de plántulas suficientes para luego trasplantar al predio. Se colocó riego por goteo en cada banco para asegurar que los cultivos tuviesen la humedad necesaria para la germinación y crecimiento.

Luego de 8 SDS se determinó el RMS cosechando los cultivos de cobertura, de cada parcela, utilizando un cuadrado de 0.25 m². Después de colectado el material, se secaron las muestras en un horno a 65°C durante 48 horas para así poder calcular el rendimiento en kg ha⁻¹. Al cosechar, los cultivos de cobertura fueron dejados sobre el terreno, sin incorporar, para descomposición. Se utilizó el porcentaje de N obtenido en el experimento 1 para estimar el N producido por la hojarasca el cual pudo haber sido aprovechado por la berenjena.

Para la segunda semana de octubre, al mismo tiempo de cosechados los cultivos de cobertura, se trasplantaron las plántulas de berenjena a los bancos. Se realizó la siembra de estas utilizando una hilera con 0.46 m entre plantas para un total de 50 plantas por banco. Luego de dos semanas de trasplantadas, se le aplicó 5oz de fertilizante orgánico (7.5% N) por planta, de forma uniforme, para propiciar un crecimiento más vigoroso. Efectos de los cultivos de cobertura sobre el rendimiento de la berenjena fueron analizados cosechando los frutos listos por cada parcela. Se realizaron 6 pases de cosecha en la berenjena por un periodo de dos meses hasta que mermó la producción. A cada unidad experimental se contó el número de frutos y se les tomó el peso total luego de las 6 cosechas.

Análisis estadísticos fueron realizados para encontrar relación y diferencias entre el rendimiento de frutos con cada uno de los tratamientos de cultivos de cobertura. Se determinaron las variables de RMS de los cultivos de cobertura, número y peso total de

frutos de berenjena por tratamiento (cultivos de cobertura). En el caso de RMS de los cultivos de cobertura, se compararon los valores obtenidos en el experimento 2 con los valores del experimento 1. Para todas las variables se realizó análisis de varianza utilizando el programa estadístico Infostat versión estudiantil (2008). Separación de medias fue realizado por diferencia mínima significativa de Fisher (DMS).

5.3 Resultados y discusión

5.3.1 Rendimiento de materia seca (RMS) de los cultivos de cobertura.

Para este segundo experimento no se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) en el RMS para el efecto principal de cultivos de cobertura. Sí se encontró diferencia en el rendimiento entre los cultivos de cobertura sembrados en el primer experimento y los cultivos sembrados en el segundo experimento (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis de varianza y valores promedio para los factores tratamientos (cultivos de cobertura) a 8 SDS y experimento en el RMS.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	p-valor
Experimento (X)	1	226338842	<0.0001
Cultivos de Cobertura(CC)	2	4258573.04	0.2653
X x CC	2	1150019.04	0.6824
Residual	15	2933548.42	

Experimento	Cultivos de Cobertura	Medias ¹ (kg ha ⁻¹)
1	Crotalaria (Cr)	7,307 a
1	Millo (M)	7,477 a
1	Cr + M	8,077 a
2	Crotalaria (Cr)	12,576 b
2	Millo (M)	13,990 b
2	Cr + M	14,720 b

¹Medias con letras iguales no difieren entre sí.

Diferencias en el RMS de los cultivos de cobertura entre experimentos pudo haber sido causado por la cantidad de precipitación durante los meses de análisis. Para el año 2016, la cantidad de precipitación durante el tiempo de siembra fue mayor (~ 80mm más de agua) que para el 2015, por lo que los cultivos pudieron haber acumulado más biomasa lo que puede ser traducido a mayor acumulación de tejido. También, diferencias en la concentración de nutrientes en el suelo pudo haber propiciado un mayor aprovechamiento de los cultivos por estos por lo que pudo representar un aumento en rendimiento.

5.3.2 *Concentración y aporte de N en hojarasca de cultivos de cobertura*

Basándose en el porcentaje de N obtenido en el primer experimento, se utilizó el RMS (Tabla 10) para estimar la cantidad de N acumulado por la hojarasca (kg ha^{-1}) de los cultivos de cobertura en el Experimento 2. Resultados del Experimento 1 muestran que la crotalaria fue el cultivo con mayor concentración de N en el tejido de hojarasca, seguido de la mezcla 50:50 y por último el millo. Aunque la crotalaria presentó mayor porcentaje de N en el tejido, se pudo calcular que el estimado de tanto la crotalaria y la mezcla 50:50 resultó en la misma cantidad, esto por el RMS de la última (Figura 5).

Datos de Perin et al. (2006) reportan valores de 305, 97 y 218 kg ha^{-1} de N para la crotalaria, millo y mezcla respectivamente utilizando las partes aéreas de la planta luego de 68 días de sembradas. Por otro lado, de Carvalho et al. (2012) encontraron valores de 54.9 y 130 kg ha^{-1} de N en los tejidos sobre la superficie del suelo, incluyendo tallos y hojas, para los cultivos de crotalaria y millo respectivamente. También, cuando cosechadas a los 128 días en Minas Gerais al sureste de Brasil, el millo y la mezcla entre crotalaria y millo lograron acumular 131 y 252 kg ha^{-1} de N respectivamente (Teixeira et al., 2009).

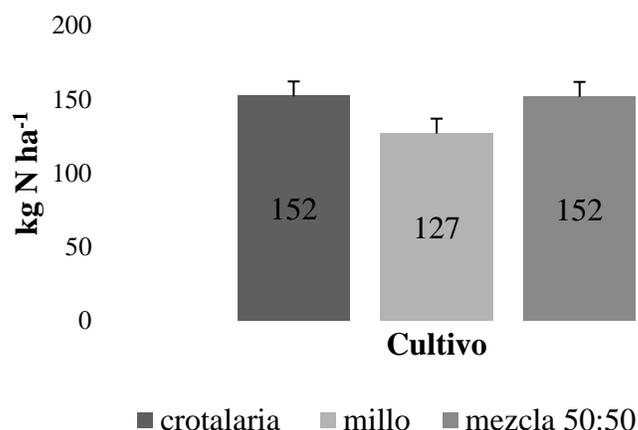


Figura 5. Estimado de la cantidad de N (kg ha⁻¹) en hojarasca de los tres tratamientos (cultivos de cobertura).

El uso de cultivos de cobertura en sistemas de producción de hortalizas es una práctica que se ha venido implementando para reducir los insumos de fertilizantes inorgánicos. Como discutido en el Experimento 1, la cantidad de N acumulado por los cultivos de cobertura va a estar determinado por factores que van desde condiciones ambientales, hasta características físicas y químicas de los suelos. Uno de los objetivos principales al utilizar estas prácticas es coincidir entre la liberación de nutrientes (ej. N) con la etapa óptima de absorción de la berenjena. Mala sincronización puede resultar en una disminución en calidad y rendimiento de frutos debido a escasez de nutrientes en las etapas cruciales (vegetativa, floración y formación de frutos) de desarrollo de las hortalizas (Ozores-Hampton, 2012) por lo que es importante hacer uso de esta práctica de la mejor manera posible para obtener rendimientos óptimos.

5.3.3 Rendimiento de *Solanum melongena* cv. Rosita bajo tratamiento con cultivos de cobertura

Al analizar el rendimiento de la berenjena bajo los diferentes tratamientos, se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) para el efecto principal de cultivos de cobertura sobre el número total de frutos cosechados. También se encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) para este mismo efecto con relación al peso total (kg ha^{-1}) de berenjenas (Tabla 11). Datos demuestran que el tratamiento con crotalaria obtuvo un valor mayor tanto para número de frutos, como para peso total por hectárea. El rendimiento y número de frutos por hectárea bajo los tratamientos de la mezcla 50:50 y millo obtuvieron los valores intermedios y menores, respectivamente (Tabla 13). Cabe recalcar que el cultivo del millo persistió luego de la cosecha por lo que competencia entre este y la berenjena pudo ser posible. Así mismo, datos de número de frutos y rendimiento, con cada tratamiento con cultivos de cobertura, por cosecha, son mostrados en la Tabla 12.

Estudios de uso de cultivos de cobertura en sistemas de producción de hortalizas en Puerto Rico son escasos. Sin embargo, sí se han reportado extensivamente rendimientos del cultivo de berenjena bajo diferentes prácticas convencionales. Un estudio realizado por Mangual (1979) reporta valores en rendimiento de berenjena de $11,792 \text{ kg ha}^{-1}$ cuando no se le aplicó fertilizante nitrogenado con aumentos sustanciales cada vez que se le aumentaba la cantidad de N aplicado. Por otro lado, un experimento realizado por Lugo-Mercado et al. (1988) en la zona suroeste de Puerto Rico, reportan rendimientos de berenjena bajo diferentes sistemas de labranza en un suelo Vertisol. Estos encontraron rendimientos de $5,281$, $8,416$ y $7,950 \text{ kg ha}^{-1}$ bajo no labranza, mínima labranza y labranza convencional, respectivamente con aplicaciones de fertilizantes según recomendaciones

para los cultivos hortícolas bajo esas condiciones. También, estudios más recientes realizados en la EEA de Juana Díaz comparando la procedencia de semillas de berenjena cv. Rosita, reportan rendimientos de 329 y 374 kg en 44 metros lineales para los meses de octubre a diciembre 2013 y de marzo a abril 2014, respectivamente de la semilla proveniente de la EEA de Lajas (Fornaris et al., 2014).

Los cultivos hortícolas u hortalizas absorben la mayor cantidad de nutrientes durante las primeras dos etapas de desarrollo. La absorción de N ocurre especialmente en la etapa vegetativa. En esta la planta está enfocada en producir la mayor cantidad de tejido vegetal para propiciar un crecimiento efectivo y pasar a las etapas de floración y formación de frutos. Por lo tanto, es imperativo suministrar el N durante estas primeras etapas en acorde a los requerimientos de la planta para maximizar los rendimientos obtenidos por los cultivos hortícolas. Como explicado por Ozores-Hampton (2012) mal o bajo suministro de N, al igual que mala sincronización entre la liberación de nutrientes por parte de los cultivos de cobertura con las etapas de mayor absorción de los cultivos hortícolas, se van a ver reflejados en una reducción drástica en el rendimiento en frutos de estos cultivos.

Tabla 11. Análisis de varianza para los tratamientos (cultivos de cobertura) sobre el número (#) y peso total (kg) de frutos de berenjena ‘Rosita’ por hectárea.

Fuentes de Variación	# de frutos			kg ha ⁻¹		
	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	<i>p</i> -valor	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	<i>p</i> -valor
Cultivos de Cobertura	2	275521793.7	0.0005	2	12885876.34	0.0006
Bloque	3	16200300.31	0.2033	3	52051.55	0.9388
Residual	6	7759807.69		6	400419.97	

Tabla 12. Número (#) y peso (kg) de frutos de berenjena ‘Rosita’ para cada cosecha cuando tratados con cultivos de cobertura.

Cosecha ¹	Crotalaria (Cr)		Millo (M)		Cr + M	
	# de frutos ²	peso (kg) ³	# de frutos	peso (kg)	# de frutos	peso (kg)
1	10	3.64	0	0	2	0.45
2	41	9.45	26	5.20	37	8.40
3	31	6.17	32	6.19	33	7.27
4	54	13.5	41	9.70	48	11.1
5	94	19.2	31	7.13	53	13.8
6	74	13.4	37	7.42	53	11.1
Total	304	65.36	167	35.64	226	52.12

¹Fechas de cosecha: 28 de noviembre y 22 y 27 de diciembre de 2016 y 5, 17 y 25 de enero de 2017.

²# de frutos equivale a la suma de unidades experimentales de cada tratamiento.

³kg representa la suma total de peso de las unidades experimentales de cada tratamiento.

Tabla 13. Estimado de valores promedios de peso total (kg ha⁻¹) y número de frutos (#) de berenjena ‘Rosita’ por hectárea para cada tratamiento con cultivos de cobertura luego de 6 cosechas.

Cultivo de Cobertura	# de frutos	kg ha ⁻¹
	Medias	Medias ¹
Crotalaria (Cr)	88,543 a	19,029 a
Millo (M)	46,640 c	10,388 b
Cr + M	65,825 b	15,146 c

¹Medias con letras iguales no difieren entre sí.

5.4 Conclusiones

Los cultivos de cobertura, dependiendo su especie, pueden ser aptos también para utilizarlos como abonos verdes para suplir parte o toda la cantidad de nutrientes necesarios por otros cultivos. Un buen uso de los cultivos de cobertura y abonos verdes en sistemas de producción de hortalizas puede ayudar a reducir sustancialmente los costos de producción. El manejar adecuadamente los residuos de estos minimizan el uso de enmiendas sintéticas (ej. fertilizantes nitrogenados), así como otras prácticas convencionales que requieren gran insumo de capital.

Este estudio muestra diferencias en RMS de los cultivos de cobertura a las 8 SDS entre el primer y segundo experimento. Para este segundo, la cantidad de precipitación caída aumentó los rendimientos para todos los cultivos por lo que el aporte de N también aumentó. Aunque el cultivo de crotalaria presentó el porcentaje mayor de N, el alto RMS de la mezcla 50:50 la ayudó a aportar la misma cantidad de N que la crotalaria.

A su vez, se encontró diferencias entre número de frutos y peso total de berenjenas bajo los diferentes tratamientos con cultivos de cobertura. Pese a que para la segunda parte los cultivos de cobertura no fueron incorporados, el rendimiento de berenjena fue mayor cuando tratadas con crotalaria bajo estas condiciones de estudio. Datos de la primera parte muestran que la crotalaria obtuvo el mayor porcentaje de N recalando a esta leguminosa como la más apta para utilizarla como abono verde por su capacidad de suplir nutrientes (ej. N) en este sistema de producción de berenjenas.

Por otro lado, es importante recalcar que es imperativo tratar de sincronizar la liberación de nutrientes al descomponerse los cultivos de cobertura con la etapa de desarrollo de la berenjena que necesita la mayor cantidad de nutrientes para asegurar un rendimiento óptimo. Análisis de mineralización deben ser realizados para entender la dinámica del N luego de la descomposición del tejido de estos cultivos de cobertura bajo condiciones similares. De no ser así, el uso de estos cultivos de cobertura en sistemas similares sería un gasto adicional a tener en cuenta, por lo que la eficiencia en producción se afectaría grandemente.

6. Literatura citada

- Abdul-Baki, A. A., Teasdale, J. R., R. K., Chitwood, D. J., & Huettel, R. N. (1996). Fresh-market tomato production in a low-input alternative system using cover-crop mulch. *HortScience*, 31(1), 65-69.
- Acevedo, G., Kunze, G. W., & Lugo-Lopez, M. A. (1976). Morphological, mineralogical, and physico-chemical characteristics of some dark clay soils of Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 60(4), 491-507.
- Aerts, R. (1997). Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: A triangular relationship. *Oikos*, 79(3), 439-449.
- Alonso, J., Sampaio, R. A., Colen, F., Santos, L. D. T., Fernandes, L. A., Júnior, V. R. R., ... Rodrigues, M. E. S. (2012). Productividad y composición química del millo perla (*Pennisetum glaucum*) como respuesta a la fertilización con NPK y biofertilizante. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46(4), 441-447.
- Amankwa, G. A., Shearer, A., & Hooren, D. V. (2012). Evaluation of N rates and biomass management on pearl millet yield and N uptake in a rotation. *Journal of Crop Improvement*, 26(2), 151-162.
doi:10.1080/15427528.2011.620685
- Anand, K., Clement, M. F., Belanger, P., Belanger, A., Vanasse, A., Belair, G., . . . Dangi, O. P. (2009, March). *Pearl Millet: Potential renewable energy Crop*. Discurso presentado en 3rd Annual Growing the Margins Energy, Bioproducts and Byproducts from Farm and Food Sectors Conference, London, Ontario, Canada.
- ASTM. (2000). Standard test methods for moisture, ash, and organic matter of peat and other organic soils. Method D 2974-00. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA. Retrieved October 8, 2010 from <http://www.uic.edu/classes/cemm/cemmlab/Experiment%20Organic%20Content.pdf>. Baca,
- Barbosa, C. E. M., Lazarini, E., Picoli, P. R. F., & Ferrari, S. (2011). Determinação da massa seca, teor de nutrientes e cobertura do solo de espécies semeadas no outono-inverno. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 6(2), 265-272.
<http://doi.org/10.5039/agraria.v6i2a1136>
- Beinroth, F., Engel, R., Lugo, J., Santiago, C., Rios, S., & Brannon, G. (2003). *Updated taxonomic classification of the soils of Puerto Rico, 2002*. San Juan, Puerto Rico.

- Berg, B. (1986). Nutrient release from litter and humus in coniferous forest soils: A mini review. *Scand. J. For. Res.* 1, 359-369
- Brunner, B., Martínez, S., Flores, L., y Morales, P. (2009). Hoja informativa cultivo crotalaria. Estación Experimental Agrícola de Lajas. Proyecto Agricultura Orgánica Z-NRCS-007/Z-208. Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales, Universidad de Puerto Rico en Mayaguez.
- Bunch, R. (2012). *Restoring the soil: A guide for using green manure/cover crops to improve the food security for smallholder farmers*. Winnipeg: Canadian Foodgrains Bank.
- Buol, S. W., Hole, F. D., & McCracken, R. J. (1973). *Soil genesis and classification* (1st ed.).
- Calvo, C. L., Simoneti Foloni, J. S., & Brancalio, S. R. (2010). Produtividade de fitomassa e relação C/N de monocultivos e consorcios de guandu-anoa, milho e sorgo em três épocas de corte. *Bragantia*, 69(1), 77–86. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000100011>
- Carlo, S. I. (2009). Promoting the use of tropical legumes as cover crops in Puerto Rico. M.S. Thesis. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. 67 pp.
- De Carvalho, A. M., Coelho, M. C., Dantas, R. A., Fonseca, O. P., Júnior, R. G., & Figueiredo, C. C. (2012). Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. *Crop and Pasture Science*, 63(11–12), 1075–1081. <http://doi.org/10.1071/CP12272>
- Cobo, J. G., Barrios, E., & Delve, R. (2008). Decomposition and nutrient release from intra-specific mixtures of legume plant materials. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39, 616-625. doi:10.1080/00103620701828411
- Cordeau, S., Guillemin, J. P., Reibel, C., & Chauvel, B. (2015). Weed species differ in their ability to emerge in no-till systems that include cover crops. *Annals of Applied Biology*, 166(3), 1–12.
- Costa Crusciol, C. A., Ferrari Neto, J. F., Peres Soratto, R., & Martins da Costa, C. H. (2013). Cycling of nutrients and silicon in pigeonpea and pearl millet monoculture and intercropping. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 37(6), 1628–1640. <http://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600019>

- Coulombe, C. E., Wilding, L. P., & Dixon, J. B. (1996). Overview of Vertisols: Characteristics and impacts on society. *Advances in Agronomy*, 57, 289–375. [http://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60927-X](http://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60927-X)
- Creamer, N. G., Bennett, M. A., & Stinner, B. R. (1997). Evaluation of cover crop mixtures for use in vegetable production systems. *HortScience*, 32(5), 866–870.
- Delgado-Baquerizo, M., García-Palacios, P., Milla, R., Gallardo, A., & Maestre, F. T. (2015). Soil characteristics determine soil carbon and nitrogen availability during leaf litter decomposition regardless of litter quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 81, 134–142. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.11.009>
- Departamento de Agricultura, Oficina de Estadísticas Agrícolas. (2015). Ingreso bruto agrícola (IBA) de Puerto Rico, 2014.
- Donahue, R. L. (1977). *Soils: an introduction to soils and plant growth* (2d ed.).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). FAOSTAT Statistics Database.
- Foss, T. (2002). The determination of nitrogen according to Kjeldahl using block digestion and steam distillation, Application Note, Höganäs, Sweden. 11 pp.
- Fox, R. H., Myers, R. J. K., & Vallis, I. (1990). The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. *Plant and Soil*, 129, 251–259.
- Garba, M., & Renard, C. (1991). Biomass production, yields and water use efficiency in some pearl millet/legume cropping systems at Sadore, Niger. *Soil Water Balance in the Sudano-Sahelian Zone (Proceedings of the Niamey Workshop)*, 199, 431–439.
- García-Palacios, P., Shaw, E. A., Wall, D. H., & Hättenschwiler, S. (2016). Temporal dynamics of biotic and abiotic drivers of litter decomposition. *Ecology Letters*, 19, 554–563. <http://doi.org/10.1111/ele.12590>
- Godfray, H. C., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812–818. doi:10.1126/science.1185383
- Griffin, T., Liebman, M., & Jemison, J. (2000). Cover crops for sweet corn production in a short-season environment. *Agronomy Journal*, 92, 144–151. <http://doi.org/10.2134/agronj2000.921144x>

- Gupta, S. R., & Singh, J. S. (1981). The effect of plant species, weather variables and chemical composition of plant material on decomposition in a tropical grassland. *Plant and Soil*, 59, 99-117.
- Hargrove, W. L. (1991). *Cover crops for clean water: The proceedings of an international conference, West Tennessee Experiment Station, April 9-11, 1991, Jackson, Tennessee*. Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society.
- Hoorman, J. J. (2009). *Using cover crops to improve soil and water quality. Fact Sheet, Agriculture and Natural Resources. The Ohio State University Extension*. Lima, Ohio.
- InfoStat (2008). InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Jiménez Suárez, A. M., Farfán Valencia, F., & Morales Londoño, C. S. (2005). Descomposición y transferencia de nutrientes de *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida* como abonos verdes en cafetales. *Cenicafé*, 56(3), 216–236. Retrieved from [http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/167/1/arc056\(03\)216-236.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/167/1/arc056(03)216-236.pdf)
- Jung, H. G., & Allen, M. S. (1995). Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, 73, 2774–2790. <http://doi.org/10.2527/1995.7392774x>
- Kuo, S., Sainju, U. M., & Jellum, E. J. (1997). Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil. *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 145-152.
- Kuo, S., & Sainju, U. M. (1998). Nitrogen mineralization and availability of mixed leguminous and non-leguminous cover crop residues in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 26, 346–353.
- Li, L. J., Han, X. Z., You, M. Y., Yuan, Y. R., Ding, X. L., & Qiao, Y. F. (2013). Carbon and nitrogen mineralization patterns of two contrasting crop residues in a Mollisol: Effects of residue type and placement in soils. *European Journal of Soil Biology*, 54, 1–6. <http://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.11.002>
- Lopez, L. (2011). Descomposición de leguminosas cobertoras en un Oxisol en Isabela, Puerto Rico. Tesis Msc. Universidad de Puerto Rico, Mayagüez.

- Lu, Y., Watkins, K. B., Teasdale, J. R., & Abdul-Baki, A. A. (2000). Cover crops in sustainable food production. *Food Reviews International*, 16(2), 121-157. doi:10.1081/fri-100100285
- Lugo-Mercado, H. M., Badillo-Feliciano, J., Orengo, E., Ortiz, C., & Beinroth, F. H. (1988). Yield response of vegetables to tillage techniques on a Vertisol of the semiarid region of Puerto Rico. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 72(1), 119–125.
- Lynch, M. J., Mulvaney, M. J., Hodges, S. C., Thompson, T. L., & Thomason, W. E. (2016). Decomposition, nitrogen and carbon mineralization from food and cover crop residues in the central plateau of Haiti. *SpringerPlus*, 5(973). doi:10.1186/s40064-016-2651-1
- Mangual, G. (1981). Response of eggplant, to various N, P, K levels and plant densities on an Oxisol. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 65(3), 250-257. Retrieved from <http://journals.upr.edu/index.php/jaupr/article/view/7599>
- Morison, J. I. L., & Lawlor, D. W. (1999). Interactions between increasing CO₂ concentration and temperature on plant growth. *Plant, Cell and Environment*, 22, 659–682. <http://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1999.00443.x>
- Moro, M. J. y Domingo, F. (1996). Descomposición de hojarasca en la leguminosa *Adenocarpus decorticans*. Pérdida de peso y dinámica de los nutrientes. *Mediterranea*, 13-19 pp.
- Myers, R. (1999). *Pearl Millet: A new grain crop option for sandy soils or other moisture limited conditions* (Tech.). Columbia, MO: Jefferson Institute.
- Newman, Y. C., Wright, D. L., Mackowiak, C., Scholberg, J. M. S., Cherr, C. M., & Chambliss, C. G. (2010). *Cover Crops*.
- Negrete Aveiga, A. M. (2013). Organic sweet pepper yield and soil microbial communities as affected by a commercial organic fertilizaer and sunn hemp as a cover crop in Puerto Rico. Thesis Msc. University of Puerto Rico, Mayaguez Campus.
- de Oliveira, C. A., Scotti Muzzi, M. R., Purcino, H. A., Marriel, I. E., & de Sa, N. M. H. (2003). Decomposition of *Arachis pintoi* and *Hyparrhenia rufa* litters in monoculture and intercropped systems under lowland soil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 38(9), 1089–1095.

- Ozores-Hampton, M. (2012). Developing a vegetable fertility program using organic amendments and inorganic fertilizers. *HortTechnology*, 22(6), 743-750.
- Palm, C. A., & Sanchez, P. A. (1990). Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of three tropical legumes. *Biotropica*, 22(4), 330-338. doi:10.2307/2388550
- Palm, C. A., & Sanchez, P. A. (1991). Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biology and Biochemistry*, 23(1), 83–88. [http://doi.org/10.1016/0038-0717\(91\)90166-H](http://doi.org/10.1016/0038-0717(91)90166-H)
- Palm, C. A., Gachengo, C. N., Delve, R. J., Cadisch, G., & Giller, K. E. (2001). Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: Application of an organic resource database. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83, 27–42. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00267-X](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00267-X)
- Pederson, G. A., Brink, G. E., & Fairbrother, T. E. (2002). Nutrient uptake in plant parts of sixteen forages fertilized with poultry litter: nitrogen, phosphorus, potassium, copper, and zinc. *Agronomy Journal*, 94, 895–904. http://doi.org/10.1007/978-94-017-0776-3_14
- Pereira, N. S., Soares, I., & de Miranda, F. R. (2016). Decomposition and nutrient release of leguminous green manure species in the Jaguaribe-Apodi region, Ceará, Brazil. *Ciencia Rural*, 46(6), 970–975. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140468>
- Perin, A., Santos, R. H. S., Urquiaga, S. S., Cecon, P. R., Guerra, J. G. M., & Freitas, G. B. De. (2006). Sunnhemp and millet as green manure for tropical maize production. *Scientia Agricola*, 63(5), 453–459. <http://doi.org/10.1590/S0103-90162006000500006>
- Pratt, O. J., & Wingenbach, G. (2016). Factors affecting adoption of green manure and cover crop technologies among Paraguayan smallholder farmers. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 40(10), 1043-1057. doi:10.1080/21683565.2016.1230568
- Radicetti, E., Mancinelli, R., Moschetti, R., & Campiglia, E. (2016). Management of winter cover crop residues under different tillage conditions affects nitrogen utilization efficiency and yield of eggplant (*Solanum melanogena* L.) in Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 155, 329–338. <http://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.004>
- Redin, M., Recous, S., Aita, C., Dietrich, G., Skolaude, A. C., Ludke, W. H., ... Giacomini, S. J. (2014). How the chemical composition and heterogeneity

of crop residue mixtures decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, 78, 65–75.
<http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.07.014>

Rivero Herrada, M., Gaibor Fernandez, R. R., Reyes Perez, J. J., Mozena Leandro, W., & Ferreira, E. P. de B. (2016). Abonos verdes y su influencia en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en sistema agroecológico Green manure and its influence on bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in agroecological system. *Centro Agrícola*, 43(2), 42–48.

Robačar, M., Canali, S., Kristensen, H. L., Bavec, F., Mlakar, S. G., Jakop, M., & Bavec, M. (2016). Cover crops in organic field vegetable production. *Scientia Horticulturae*, 208, 104–110.
<http://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.029>

Rotar, P.P. & R.J. Joy. (1983). “Tropic Sun” sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.) Res. Ext. Ser. 36. Hawaii Inst. Trop. Agric. and Human Resour. Univ. of Hawaii, Honolulu.

Sakala, W. D., Cadisch, G., & Giller, K. E. (2000). Interactions between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 679–688.
[http://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00204-7](http://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00204-7)

Santos Vargas, A. D. (2010). *Potencial productivo de Crotalaria Juncea cv. tropic sun en agroecosistemas de Puerto Rico*. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayaguez.

SAS (1999). SAS/STAT User’s Guide. SAS Inst. Inc., Cary, N. C U.S.A.

Schepers, J. S., & Meisinger, J. J. (1994). *Field Indicators of Nitrogen Mineralization*.

Sopher, C., & Baird, J. V. (1982). *Soils and soil management* (2d ed.).

Sotomayor-Ramírez, D., & Macchiavelli, R. E. (2002). Interpretations of field fertility research on Solanaceae in Puerto Rico. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 86(3–4), 95–116.

Sotomayor-Ramírez, D., Huckaba, R., Barnes, R., Dorcinvil, R., & Espinosa, J. (2012). Inbred maize response to cover crops and fertilizer-nitrogen. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 96(1–2), 37–55.

De Souza, G. P., de Figueiredo, C. C., & de Sousa, D. M. G. (2016). Soil organic matter as affected by management systems, phosphate fertilization, and

cover crops. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 51(9), 1668–1676.
<http://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900067>

- Teixeira, C. M., De Carvalho, G. J., De Andrade, M. J. B., Silva, C. A., & Pereira, E. J. M. (2009). Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 31(4), 647–653.
<http://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.1356>
- Thomas, R. J., & Asakawa, N. M. (1993). Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry*, 25(10), 1351-1361. doi:10.1016/0038-0717(93)90050-1
- Valenzuela, H. y J. Smith. 2002. ‘Tropic Sun’ sunnhemp. Cooperative Extension Service/CTAHR, University of Hawaii.
- Vitousek, P. M., & Sanford Jr., R. L. (1986). Nutrient Cycling In Moist Tropical Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 137–167.
- Wang, K.-H., Sipes, B. S., Hooks, C. R., & Leary, J. (2011). Improving the status of sunn hemp as a cover crop for soil health and pest management. *Hawai/ The Food Provider*, 1–3.
- Wider, R. K., & Lang, G. E. (1982). A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, 63(6), 1636–1642.
- Wilson, J. P., Mcaloon, A. J., Yee, W., Mckinney, J., Wang, D., & Bean, S. R. (2007). Biological and economic feasibility of pearl millet as a feedstock for ethanol production. In *Issues in new crops and new uses* (pp. 56–59).
- Yousaf, A., & Khan, A. H. (2014). Characterization of organic matters in Mollisols of Pakistan. *Pakistan Journal of Science*, 66(1), 74–82.
- Zhang, D., Hui, D., Luo, Y., & Zhou, G. (2008). Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: Global patterns and controlling factors. *Journal of Plant Ecology*, 1(2), 85–93.