

DESCOMPOSICIÓN DE LEGUMINOSAS COBERTORAS EN UN OXISOL EN ISABELA, PUERTO RICO

por

Litza Y. López Ramos

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

MAESTRO EN CIENCIAS

En

AGRONOMÍA

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2011

Aprobado por:

Stefanie L. Whitmire, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Elvin Román Paoli, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

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

Fecha

Sonia Borges, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Hipólito O'Farrill Nieves, Ph.D.
Director Interino del Departamento de
Cultivos y Ciencias Agroambientales

Fecha

ABSTRACT

Lablab purpureus cv. Rongai and *Mucuna pruriens* (dwarf mucuna) are used as cover crops because of their beneficial contribution to physical and chemical soil properties. Two studies were conducted at the Agricultural Experimental Sub-station of Isabela, University of Puerto Rico. 'Rongai' and dwarf mucuna were seeded on an Oxisol of the Coto series at 10 kg ha⁻¹ of density. The first study evaluated the influence of two planting seasons (dry and wet) on the fresh leaf tissue decomposition and the residual N content. Dry matter yield ranged from 3785 to 5535 kg ha⁻¹, with the highest level found for 'rongai' in the dry season. The decomposition rate was higher for the 'rongai' tissue compared with mucuna, indicating that the 'rongai' decomposition was faster. The N content in the dry matter was higher in the wet season (2.70%) than the dry (2.28%), and higher in mucuna (2.59%) than 'rongai' (2.38%). There was also a season by legume interaction on the N content in the leaf tissue, where the highest value was obtained for mucuna in the dry season (65µg /g). This is not surprising since 'rongai' decomposed faster. There was also an interaction on N content between season and bag position, where the higher mean value was obtained in the bags placed on the ground for the wet season (77µg /g). The same interaction was found with organic matter percent, where the higher average value was obtained for the bags positioned on the ground in the wet season (75%). Both of these suggest that less N is lost during the leaf decomposition on the soil surface during the wet season. This is further supported by the interaction between legume and bag position, where the highest value of organic matter was obtained for mucuna in the bags positioned above-ground (78%).

The second study evaluated the mineralization and nitrification rate of mucuna and 'rongai'. N mineralization rates changed over time in all plots. Negative N mineralization values were found for 22 and 42 days of incubation, indicating N immobilization. However, the

highest N mineralized was found after 90 days of incubation, this means that it will be available for plant use after this time. Net nitrification rates were highest in the 22 day incubation with 'rongai' indicating high content of nitrate in these plots. Negative values after this time indicate slow nitrification because the high content of ammonium.

In summary, both legumes represent an alternative to improve soil fertility, as both showed good yield and acceptable residual concentrations of N, organic C and OM. The use of these legumes as a green manure at least 90 days after planting would allow farmers to take advantage of its mineralization.

RESUMEN

Lablab purpureus cv. Rongai y *Mucuna pruriens* (mucuna enana) son leguminosas que se utilizan como plantas cobertoras por su contribución a las condiciones físicas y químicas del suelo. En este trabajo se llevaron a cabo dos experimentos en la Sub-estación Experimental Agrícola de Isabela, Universidad de Puerto Rico. 'Rongai' y mucuna enana se sembraron en un Oxisol de la serie Coto a una densidad de 10 kg ha⁻¹. El primer estudio evaluó la influencia de dos épocas (seca y húmeda) sobre la descomposición de tejidos de hojas y contenido residual de N. Se encontró una interacción ($p < 0.05$) entre época de siembra y leguminosa sobre el rendimiento en materia seca, donde los valores oscilaron entre 3785 a 5535 kg ha⁻¹, y el valor mayor fue para 'rongai' en la época seca. La tasa de descomposición fue mayor en tejidos de 'rongai' comparado con mucuna, indicando que el 'rongai' se descompone más rápido. El contenido de N materia seca fue mayor para la época húmeda (2.70%) comparado con la época seca (2.28%), y mayor en mucuna (2.59%) comparado con 'rongai' (2.38%). Se encontró interacción entre época y leguminosa sobre el contenido de N en tejido de hojas, donde el valor mayor se obtuvo para mucuna en la época seca (65 µg /g). Esto era lo esperado ya que 'rongai' se descompuso más rápido. También se evidenció interacción entre época y posición de la bolsa sobre el contenido de N, donde el valor promedio mayor se encontró en las bolsas ubicadas sobre el suelo para la época húmeda (77 µg /g). La misma interacción fue encontrada para el porcentaje de materia orgánica, donde el valor promedio mayor se obtuvo para las bolsas ubicadas sobre el suelo para la época húmeda (75%). Esto sugiere que menor cantidad de N se pierde durante la descomposición de las hojas en la superficie del suelo durante la época húmeda. Esto se evidencia con la interacción entre leguminosas y posición de la bolsa, donde el valor más alto de materia orgánica se obtuvo para mucuna en las bolsas colocadas sobre el suelo (78%).

En el segundo estudio se evaluó la tasa de mineralización y nitrificación para mucuna y 'rongai'. La tasa de mineralización de N cambió a través del tiempo en todas las parcelas. Valores negativos fueron encontrados en la mineralización de N para los 22 y 42 días de incubación, indicando inmovilización del N. Sin embargo, se encontró un aumento luego de 90 días de incubación, lo que significa que el N estaba disponible para ser utilizado por las plantas luego de este tiempo. La tasa de nitrificación neta mayor se obtuvo para 'rongai' a los 22 días de incubación, indicando un mayor contenido de nitrato en estas parcelas. Valores negativos luego de este tiempo indican una nitrificación lenta debido a los altos contenidos de amonio.

En resumen, ambas leguminosas representan una alternativa a mejorar la fertilidad del suelo, pues mostraron un buen rendimiento y cantidades de N, MO y C orgánico aceptables. El uso de estas leguminosas como abono verde, al menos 90 días después de siembra, permitiría a los agricultores tomar ventaja del proceso de mineralización.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente gracias a Dios por permitirme terminar mis estudios con salud. A mis padres Priscila Ramos y David López por su ayuda y fortaleza para seguir adelante a pesar de las adversidades. A mis hermanos José L. De Jesús y José Y. Rodríguez por darme su amor y motivarme a ser un ejemplo para ellos.

Al Dr. Elide Valencia Chin por ser el presidente de mi comité y darme toda su ayuda y conocimientos durante todos estos años. A la Dra. Stefanie Whitmire y al Dr. Elvin Román Paoli por ser parte de mi comité, por brindarme su apoyo y conocimientos. A la Dra. Linda Beaver por su disponibilidad para aclarar mis dudas relacionadas a estadística.

A mis compañeros y amigos Ana Santos, Víctor Asencio y David Zavala por su apoyo y ayuda en el trabajo de campo. A don “Cuco”, Luis Almodóvar y todo el personal de la Estación Experimental de Isabela por su ayuda en las tareas de campo.

A todo el personal del Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales: Evelyn Roselló, Gloria Aguilar, Floripe Cancel, Héctor Pino, Jeannette Morales, Luis Almodóvar y el Dr. Miguel A. Muñoz, por siempre estar a la mejor disposición de ayudarme.

A Delvis Pérez y al Dr. Ricardo J. Goenaga de la Estación Experimental de Agricultura Tropical (TRAS) por permitirme llevar a cabo todos los análisis de mi experimento.

A mis amistades, Johana Lugo, Giseiry M. Rosa, Alexandra de León, Karla Abreu, Verónica Acevedo, Héctor Oliveras, Isabelle Giuliani y Alexandro González por ofrecerme su amistad todos estos años. A mi prima hermana Josayra Santos por sus palabras de apoyo y su amor incondicional.

Al personal de trabajo del Natural Resources Conservation Service (NRCS) Kansas por permitirme regresar a Puerto Rico a terminar mis estudios.

A Josué D. Gandía Rivera por su amor, paciencia y ayuda durante estos años.

A todas las personas que de una forma u otra hicieron posible que yo alcanzara mis metas y crearon de esta una experiencia inolvidable. ¡Gracias!

Dedicatoria

Este trabajo de investigación se lo dedico a mi familia por haberme apoyado durante todo este tiempo, a mis padres Priscila Ramos y David López, por darme la fortaleza y ayuda incondicional para alcanzar mis metas y a mis hermanos José L. De Jesús y José Y. Rodríguez por su amor y por ser mi motivación para seguir adelante.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT	II
RESUMEN.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	VI
DEDICATORIA	VII
TABLA DE CONTENIDO	VIII
LISTA DE CUADROS.....	X
LISTA DE FIGURAS.....	XI
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS.....	3
3 REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 CONTRIBUCIÓN DE LAS LEGUMINOSAS A LA CALIDAD DEL SUELO	4
3.2 MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO	5
3.3 RELACIÓN ENTRE LA DESCOMPOSICIÓN, NITRIFICACIÓN Y MINERALIZACIÓN DE NITRÓGENO DE LEGUMINOSAS	6
3.4 DESCOMPOSICIÓN Y LIBERACIÓN DE N, P Y K DE LEGUMINOSAS Y GRAMÍNEAS FORRAJERAS	9
3.5 LEGUMINOSAS Y LA FIJACIÓN BIOLÓGICA DE N.....	11
3.5.1 <i>Potencial de fijación</i>	<i>13</i>
3.5.2 <i>Eficiencia de la fijación biológica de nitrógeno vs. fertilización</i>	<i>13</i>
3.6 BENEFICIOS DE LAS PLANTAS COBERTORAS.....	14
3.7 LEGUMINOSAS TROPICALES (CARACTERÍSTICAS GENERALES)	15
3.8 ESPECIES DE LEGUMINOSAS UTILIZADAS PARA EL EXPERIMENTO	16
3.8.1 <i>Mucuna pruriens (mucuna enana).....</i>	<i>16</i>
3.8.2 <i>Lablab purpureus cv. Rongai (Lablab).....</i>	<i>17</i>
4 EXPERIMENTO 1: PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y DESCOMPOSICIÓN DE TEJIDOS DE LAS LEGUMINOSAS LABLAB PURPUREUS CV. RONGAI (LABLAB) Y MUCUNA PRURIENS (MUCUNA ENANA) EN UN OXISOL.....	19
4.1 INTRODUCCIÓN.....	19
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.2.1 <i>Localización de experimento</i>	<i>20</i>
4.2.2 <i>Establecimiento del experimento y diseño experimental</i>	<i>22</i>
4.2.3 <i>Análisis químicos</i>	<i>24</i>
4.2.4 <i>Análisis estadístico de los datos</i>	<i>25</i>
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.3.1 <i>Composición botánica y contenido de N en materia seca</i>	<i>25</i>
4.3.2 <i>Tasa de descomposición y contenido de N, MO y C orgánico en tejidos de hojas</i>	<i>27</i>
4.3.2.1 <i>Tasa de descomposición.....</i>	<i>27</i>
4.3.2.2 <i>Pérdida de nitrógeno.....</i>	<i>30</i>
4.3.2.3 <i>Porcentaje de materia orgánica y C orgánico</i>	<i>34</i>
4.4 CONCLUSIONES.....	39
5 EXPERIMENTO 2: MINERALIZACIÓN Y NITRIFICACIÓN EN SIEMBRAS DE LABLAB PURPUREUS CV. RONGAI (LABLAB) Y MUCUNA PRURIENS (MUCUNA ENANA) EN UN OXISOL.....	40
5.1 INTRODUCCIÓN.....	40

5.2	MATERIALES Y MÉTODOS	41
5.2.1	<i>Localización del experimento</i>	<i>41</i>
5.2.2	<i>Establecimiento del experimento y diseño experimental</i>	<i>42</i>
5.2.3	<i>Análisis químicos</i>	<i>42</i>
5.2.4	<i>Análisis estadístico de los datos</i>	<i>43</i>
5.3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
5.3.1	<i>Nitrógeno inorgánico.....</i>	<i>44</i>
5.3.2	<i>Mineralización y nitrificación neta.....</i>	<i>46</i>
5.4	CONCLUSIONES.....	49
6	IMPLICACIONES.....	49
7	RECOMENDACIONES.....	50
8	LITERATURA CITADA	51
9	APÉNDICES	56

LISTA DE CUADROS

Cuadro

Página

Cuadro 1. Tasa de descomposición (k) promedio de residuos de 'rongai' y mucuna en época seca y húmeda.....	28
Cuadro 2. Valores promedio de la relación C/N de los residuos de hojas de 'rongai' y mucuna en dos épocas de siembra.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Precipitación promedio de los últimos 20 años y la precipitación promedio mensual durante la duración del experimento en el año 2009 en la Estación Experimental de Isabela, PR.....	21
Figura 2. Temperatura promedio mensual durante experimento en el año 2009 en la Estación Experimental de Isabela, PR.....	22
Figura 3. Valores promedio del efecto de interacción entre época de siembra y leguminosa sobre el rendimiento en materia seca. Líneas verticales sobre columnas indican error estándar.....	27
Figura 4. Valores promedio del efecto de época de siembra sobre la pérdida en peso de residuos de hojas de 'rongai' y mucuna enana durante 12 semanas.....	30
Figura 5. Valores promedio del efecto de interacción entre época de siembra y leguminosa sobre el contenido de N. Líneas verticales sobre columnas indican error estándar.....	32
Figura 6. Valores promedio del efecto de interacción entre época de siembra y posición de la bolsa sobre el contenido de N. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar.....	32
Figura 7. Valores promedio del efecto de interacción entre época de siembra y semanas sobre el contenido de N. Líneas verticales sobre puntos indican el error estándar.....	33
Figura 8. Valores promedio del efecto de interacción entre posición de la bolsa y semana sobre el contenido de N. Líneas verticales sobre puntos indican el error estándar.....	34
Figura 9. Valores promedio del efecto de interacción entre época de siembra y posición de la bolsa sobre el porcentaje de materia orgánica. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar.....	35
Figura 10. Valores promedio del efecto de interacción entre época de siembra y semanas sobre el porcentaje de materia orgánica. Líneas verticales sobre puntos indican el error estándar.....	36
Figura 11. Valores promedio del efecto de interacción entre leguminosa y posición de la bolsa sobre el porcentaje de materia orgánica. Líneas verticales sobre columnas indican error estándar.....	37
Figura 12. Valores promedio del contenido de N en el suelo durante 90 días de incubación. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar.....	45

Figura 13. Valores promedio del efecto de los días de incubación sobre la mineralización de N.
Líneas verticales sobre columnas indican error estándar.....47

Figura 14. Valores promedio del efecto de interacción entre leguminosa y días de incubación
sobre la nitrificación neta. Líneas verticales sobre columnas indican error
estándar.....48

1 INTRODUCCIÓN

El estudio de las leguminosas tropicales como plantas cobertoras ha sido uno de gran importancia por su contribución beneficiosa en la biología y en las condiciones físicas y químicas del suelo. Además de la aportación de nitrógeno (N), otro beneficio muy importante de las leguminosas a la calidad del suelo es aumentar el contenido de materia orgánica en el mismo a través de la descomposición de residuos de plantas. La descomposición efectuada por microorganismos está caracterizada por una compleja comunidad de biota incluyendo la microflora y la fauna del suelo (Osorio, 2004). Entre otras aportaciones, las leguminosas aumentan la estabilidad de los agregados, reducen la erosión, aumentan la diversidad de la flora y fauna del suelo y son de gran utilidad para el control de malezas, insectos y enfermedades. Al contribuir tan grandemente en la fertilidad del suelo aumenta la posibilidad de obtener cultivos de calidad y altos rendimientos.

La descomposición de leguminosas y la liberación de N en el suelo dependen grandemente de la calidad y la cantidad de los residuos, la humedad, la temperatura, la actividad biológica y la presencia de otros nutrientes y factores del suelo como textura, mineralización y acidez (Myers et al., 1994). El suelo contiene una mayor proporción de N orgánico (no disponible), el cual representa el 98% del total de este elemento en el suelo y una pequeña proporción de N inorgánico o mineral (disponible para las plantas) representando solo del 2 al 3% (Osorio, 2004). A su vez, el mismo autor indica que este proceso, denominado mineralización, se presenta a medida que los microorganismos del suelo descomponen la materia orgánica para obtener energía. Cuando los organismos han usado todos los nutrientes que necesitan, el exceso de N se libera al suelo en forma inorgánica para ser utilizado por las plantas.

Robertson et al. (1999) indican que la mineralización de N se refiere al aumento neto en amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) en el suelo. Por otro lado, ellos indican que la nitrificación se refiere específicamente a la conversión de amonio a nitrato por bacterias. El N puede también pasar de una forma inorgánica a una forma orgánica, presentándose el proceso de inmovilización, lo cual puede ocurrir simultáneamente a la mineralización (Osorio, 2004). Por lo tanto, dependiendo de la rapidez con que ocurra la descomposición de los residuos y mineralización, éstas permitirán una mayor o menor cantidad de nutrientes disponibles para la producción de cultivos.

Se desarrollaron dos estudios para entender mejor la tasa de descomposición de dos leguminosas anuales en la época seca y húmeda, y evaluar las tasas de mineralización de N y nitrificación en las mismas leguminosas en un agroecosistema en Noroeste de Puerto Rico.

2 OBJETIVOS

- 1- Determinar la influencia de dos épocas de siembra (seca y húmeda) sobre el rendimiento en materia seca (RMS), tasa de descomposición, nitrógeno (N), materia orgánica (MO) y carbono orgánico (CO) en tejidos de hojas de mucuna enana y 'rongai' en un Oxisol.
- 2- Determinar la tasa de mineralización y nitrificación de las leguminosas 'rongai' y mucuna enana en un Oxisol al noroeste de Puerto Rico.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Contribución de las leguminosas a la calidad del suelo

La calidad del suelo es un tema de gran importancia para todos los agricultores. El uso de plantas cobertoras como abono verde es uno de los métodos que han ganado popularidad cuando se habla de mejorar la productividad de un suelo. Unas de las plantas más utilizadas son las leguminosas por sus efectos beneficiosos en la biología y en las condiciones físicas y químicas del suelo (Bowren et al., 1995). Las leguminosas juegan un papel importante en la fijación de nitrógeno atmosférico. Tanto la planta como las semillas son relativamente altas en proteínas. Es por eso que se le atribuye la habilidad de suplir la mayor parte de su propio N por la asociación simbiótica con la bacteria *Rhizobium* presente en los nódulos de sus raíces. La mayoría de las leguminosas de grano pueden obtener entre 50 y 80% de sus requerimientos de N total a través de fijación biológica, pero algunas podrían fijar más de 90% (Bowren et al., 1995).

Las coberturas vivas, en especial las leguminosas, son utilizadas debido a los diferentes beneficios que aportan al suelo. Entre los principales podemos mencionar: mejorar las condiciones físicas del suelo por medio del sistema radical superficial que éstas poseen, aumentar la biodiversidad (micro y macro fauna), evitar cambios bruscos en la temperatura del suelo, aumentar la materia orgánica, disminuir la incidencia de germinación de malezas, conservar la humedad en el suelo y reducir las escorrentía y erosión (Zwart et al., 2005). Las leguminosas herbáceas poseen raíces agresivas que pueden alcanzar hasta 2.4 m de profundidad y 3.8 cm de diámetro, por lo que juegan un papel importante en la apertura de canales en el suelo. Otras aportaciones de las leguminosas son su habilidad en el reciclaje de nutrientes en el perfil del suelo y el aumento en la estabilidad de los agregados.

3.2 Materia orgánica del suelo

El mayor beneficio obtenido por las leguminosas es su aportación a la materia orgánica del suelo. La materia orgánica mejora la estructura del suelo, aumenta la infiltración y capacidad de retención de agua, aumenta la capacidad de intercambio catiónico y la eficiencia en el almacenamiento de nutrientes (Sarrantonio, 2007). Además, la materia orgánica posee miles de sustancias derivadas de hojas, raíces y microorganismos que contribuyen al mejoramiento del suelo.

Al incorporar residuos de cosecha al suelo ocurre un aumento en la actividad de los microorganismos quienes son los responsables de formar compuestos resistentes a la descomposición como ceras, resinas y polisacáridos. Los polisacáridos son complejos de azúcares que actúan como pega en el suelo para cementar las partículas pequeñas del suelo en gránulos o agregados. En suelos con buenos agregados es más fácil cultivar, habrá mejor aireación y alta infiltración de agua. Además, estos suelos están menos propensos a tener problemas de compactación, lo cual reduce el rendimiento de vegetales como repollo, habichuelas tiernas y pepinillo hasta un 50% o más (Sullivan, 2003).

El desarrollo de materia orgánica es un proceso muy lento. Un suelo con 3% de materia orgánica pudiera aumentar a 4% luego de una década. Algunos beneficios como el aumento en la agregación, infiltración de agua y liberación de nutrientes pueden ocurrir casi inmediatamente, pero en algunos suelos puede tomar varios años en hacerlo. Por lo tanto, es importante tener en consideración los métodos de labranzas a emplearse ya que pueden afectar la acumulación de materia orgánica. La labranza acelera la descomposición de la materia orgánica al romper los agregados, exponerla al oxígeno y a las altas temperaturas de la atmósfera.

La materia orgánica juega un papel importante en la fertilidad del suelo. Las leguminosas, contribuyen a la materia orgánica del suelo al suplir N y C. Por otro lado, al utilizarlas como plantas cobertoras ayudan a la acumulación de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), nitrógeno (N) y otros nutrientes. Además, cuando los residuos de estas plantas se incorporan al suelo, dichos nutrientes se hacen disponibles durante la descomposición. De esta forma se reduce la utilización de fertilizantes inorgánicos para el desarrollo de cultivos.

3.3 Relación entre la descomposición, nitrificación y mineralización de nitrógeno de leguminosas

Las leguminosas son de gran importancia como abonos verdes en el rendimiento económico y hasta en el control de malezas en sistemas de cultivos intercalados por su habilidad de fijar N atmosférico y aumentar la disponibilidad de N durante la descomposición (Thippayarugs et al., 2008). Entender los patrones de descomposición y liberación de nutrientes de las plantas, es importante para mejorar el manejo de los insumos orgánicos. La capacidad del suelo de transformar nitrógeno orgánico en la materia orgánica del suelo a nitrógeno inorgánico (potencial de mineralización de nitrógeno) se utiliza a menudo como índice del nitrógeno disponible para las plantas en el ecosistema terrestre. La mineralización de N se refiere al aumento neto en amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) en el suelo, ya que cualquier forma de nitrato debe haber sido primero amonio. Por otro lado, la nitrificación se refiere específicamente a la conversión de amonio a nitrato por bacterias que oxidan amonio a nitrito y luego a nitrato (Robertson et al., 1999). Tanto las tasas de mineralización de N en el suelo como la nitrificación regulan la disponibilidad de N mineral para el crecimiento de las plantas, así como también se puede utilizar para indicar la capacidad del suelo para retener N (Shankar y Kumar, 2007).

Existen factores ambientales y de suelo que limitan la nitrificación y mineralización de

N. Entre ellos se encuentran la temperatura, aireación, humedad del suelo, pH, materia orgánica, y la cantidad, calidad y tipo de suelo. Una alteración en dichos factores puede afectar la mineralización y nitrificación ya que se puede alterar el tamaño de la población microbiana. En un experimento realizado en India, de mayo de 1996 a junio de 1997, en seis sitios de la región Vindhyan (cuatro sitios de bosque y dos de sabana) se encontró que tanto la tasa de mineralización de N como de nitrificación en todos los sitios, fue mayor durante la época de lluvia y menor en la época seca (Shankar y Kumar, 2007). Estas tasas estuvieron correlacionadas significativamente con los contenidos de humedad en el suelo y de N mineral. El resultado sugiere que las variaciones en las tasas de mineralización de N y de nitrificación en los sistemas tropicales secos estudiados están relacionadas con las diferencias en el contenido de humedad en el suelo, el estatus de los nutrientes y la cobertura vegetal, en combinación con otros factores del ambiente.

La tasa de mineralización de N también difiere entre especies de plantas por sus diferencias químicas en la hoja (Palm et al., 2001 citado por Thippayarugs et al., 2008) y puede variar entre diferentes partes de la planta, como por ejemplo hojas, tallos y raíces (Frankenberger y Abdelmagid, 1985). Variaciones en la calidad de los componentes de las plantas dependen en parte de la variedad, edad y el manejo de éstas, lo cual puede producir cambios dramáticos en la tasa de descomposición y liberación de N (Oglesby y Fownes, 1992).

La descomposición de los residuos de cosechas o abonos verdes como las leguminosas y la liberación de N, dependen grandemente de la calidad y cantidad de residuo, humedad del suelo, temperatura del suelo, y de factores específicos del suelo como la textura, mineralogía, actividad biológica y la presencia de otros nutrientes (Myers et al., 1994). La descomposición depende de la localización de los residuos: si están sobre la superficie del suelo “mulch” o si

están incorporados en éste. Un experimento realizado en Taiwan y en las Philipinas en época seca y lluviosa utilizando soja (*Glycine max* (L.) Merr.) e indigofera (*Indigofera tinctoria* L.) como abono verde incorporado en el suelo y como “mulch” en el cultivo de tomate, demostró que la tasa de descomposición de abonos verdes incorporados difiere menos entre épocas y localidad que el “mulch” (Thönnissen et al., 2000). Chapman et al. (1988 citado por Thippayarugs et al., 2008) sugieren que la rápida descomposición del tejido foliar produce un ambiente alto en N disponible. El incorporar estos residuos generalmente favorece el ambiente para la descomposición microbiana. Para obtener una alta eficiencia en la liberación de N de las leguminosas es importante que haya una buena sincronización entre el N liberado por la leguminosa y la demanda de N por el cultivo receptor. Esa sincronía implica que hay menos exceso de nutrientes minerales en el suelo y por lo tanto se reduce la posibilidad de pérdidas (Nymbati, 2002).

La fracción de N total que es recuperado por un cultivo se conoce como el valor de recuperación de N (NVI). Los valores reportados de NVI para la mayoría de los residuos orgánicos se encuentran en la escala de 10 a 30% en la primera cosecha (Giller y Cadisch, 1995; Palm, 1995; Mafongoya y Nair, 1997 citado por Nymbati, 2002) y entre 2 a 10% en la segunda cosecha (Mafongoya y Nair, 1997 citado por Nymbati, 2002). Giller y Cadisch (1995) informaron que aproximadamente el 20% del N de los residuos de abono verde de alta calidad es recuperado por la primera cosecha.

Entre los factores que influyen en la sincronización y, por lo tanto, el NVI de abonos orgánicos anualmente incluyen el tipo de especie de leguminosa, la calidad de la biomasa, y el método y el tiempo de aplicación (Tian et al., 1992 y Mafongoya et al., 1997b ambos citados por Nymbati, 2002). La incorporación de los residuos mejora la recuperación de N en comparación

con la colocación en la superficie (Mafongoya y Nair, 1997 citado por Nymbati, 2002), esto se debe a que se reducen las pérdidas de N por la volatilización de amoníaco (Glasener y Palm, 1995).

En un experimento de incubación en laboratorio, Frankenberger y Abdelmajid (1985) compararon la liberación de N de los residuos de cuatro especies de leguminosas (alfalfa, trébol de Alejandría, caupí y soja). Los diferentes componentes de las plantas liberaban N en el siguiente orden de mayor a menor: follaje, raíces, tallos. Cuando estas partes se combinaron, el patrón de mineralización de N fue intermedio entre hojas y tallos. Varios estudios indican que los residuos de la planta que inicialmente se inmovilizaban el N y posteriormente lo liberaban lentamente, podrían mejorar la absorción de N por las plantas (Frankenberger y Abdelmajid, 1985).

3.4 Descomposición y liberación de N, P y K de leguminosas y gramíneas forrajeras

La descomposición y la liberación de nutrientes de diferentes especies de leguminosas tropicales están bien documentados, pero los estudios se han centrado principalmente en las hojas (Palm et al., 2001 citado por Thippayagrugs et al., 2008). Sin embargo, los agricultores suelen utilizar una mezcla de hojas y tallos como insumos orgánicos para la restauración de la fertilidad del suelo de sus predios, por lo que es importante entender la descomposición de toda la planta y la liberación de nutrientes (Cobo et al., 2002).

En un estudio realizado con la leguminosa *Adenocarpus decorticans* el K es el elemento más fácilmente liberado, seguido por el Na y Mg. La mayor parte de autores describen inmovilizaciones netas para los elementos Ca, N, P y N (Moro y Domingo, 1996). El comportamiento del P presenta un patrón muy variable durante el proceso de descomposición. En especies esclerófilas (Moro et al., 1995 citado por Moro y Domingo, 1996) se han encontrado

inmovilizaciones netas para este elemento durante dos años en especies de pino o liberaciones netas desde el comienzo de la incubación en *C. laurifolius*. Por otro lado, *A. decorticans* posee un patrón con una primera fase de inmovilización seguida de una mineralización neta (Moro y Domingo, 1996). En otro estudio realizado con tejidos de gandúl las concentraciones de P variaron de 0.20 a 0.34% al principio y de 0.14 a 0.17% al final del proceso de descomposición (Jiménez et al., 2005). Sin embargo, Traoré et al. (1999 citado por Jiménez et al., (2005) encontraron que la concentración de P aumenta entre el primer minuto y hasta los tres meses de descomposición de la materia seca y le atribuye estos cambios a la solubilidad de P en agua, que conlleva a la formación de fosfatos de Ca, Mg y Fe durante el compostaje de las plantas de gandúl.

En un estudio realizado en Colombia para determinar las diferencias en descomposición y liberación de nutrientes de hojas, tallos y mezcla de tallos y hojas para dos leguminosas tropicales, *Indigofera constricta* y *Mucuna pruriens*, se indicó que la pérdida de materia seca y liberación de N obtenidos siguieron el siguiente orden de mayor a menor: hojas, mezcla, tallo, mientras que la liberación de P inicial para ambas leguminosas evaluadas siguieron el orden inverso. Estos resultados están en acuerdo con estudios anteriores que mostraron mayores tasas de descomposición y liberación de N en hojas que en tallos, mientras que las mezclas ocuparon una posición intermedia (Cobo et al., 2008).

En un estudio realizado por Alves y asociados (2011) con tejidos de gramínea *Panicum maximum* cv. Colonião y tejidos de la leguminosa *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão, la leguminosa se descompuso más rápido que la gramínea. Alrededor de los 40 días después de la incubación, más del 50% de la hojarasca de leguminosa desapareció del sistema. La gramínea alcanzó el mismo nivel de descomposición a los 120 días de incubación. El patrón de

descomposición observado para *S. guianensis* podría dar crédito a que esta leguminosa tiene valor potencial para formar pastos mixtos con gramíneas, debido a su fácil liberación de nutrientes. De todas formas, la mezcla de tejidos de la leguminosa con tejidos de gramínea no provoca una aceleración relevante en la descomposición de la gramínea. En este estudio, la liberación de K fue en general más rápido en comparación con el N y P. Alrededor de 50% del K total de todos los residuos se libera al suelo luego de los 10 días de incubación.

3.5 Leguminosas y la fijación biológica de N

La fijación biológica de N (FBN) consiste en la reducción de N_2 a NH_4^+ por la enzima nitrogenasa y es, después de la fotosíntesis, la ruta metabólica más importante para el mantenimiento de la vida en la biosfera. Las leguminosas juegan un papel muy importante en la fijación de nitrógeno atmosférico por sus efectos beneficiosos en la biología y en las condiciones físicas y químicas del suelo (Bowren et al., 1995). Tanto la planta como los tejidos de las semillas son relativamente altos en proteínas. Es por esto que se le atribuye la habilidad de suplir la mayor parte de su propio N por la asociación simbiótica con la bacteria *Rhizobium* presente en los nódulos de sus raíces.

La simbiosis *Rhizobium*-leguminosa es el resultado de una interacción muy específica entre la bacteria y la planta. La organogénesis del nódulo es un proceso inducido por un “intercambio de señales” entre el micro simbiote (bacteria) y el macro simbiote (planta). Poco después que la semilla de leguminosa germina en presencia de *Rhizobium*, la bacteria penetra los pelos radiculares y se mueve dentro de la raíz. La bacteria se multiplica, causando una hinchazón de la raíz para formar nódulos de color rosa pálido. Seguido de esto, la bacteria va a producir amoníaco (NH_3) a partir del hidrógeno adquirido de los carbohidratos de la planta y el nitrógeno

del aire. El amoníaco entonces proporciona una fuente de nitrógeno para el crecimiento de la planta.

Esta relación simbiótica favorece tanto la florecida como la producción de semillas con alta proteína y forrajes de alta calidad. Además de que las leguminosas pueden fijar nitrógeno de la atmósfera, también pueden tomar grandes cantidades de nitrógeno en el suelo si está presente. En términos generales, cuanto mayor sea el contenido de proteínas de una planta más nitrógeno devolverá al suelo.

El nitrógeno es un elemento importante para la formación de materia orgánica del suelo. La liberación de nitrógeno de un cultivo de leguminosas ocurre por la descomposición de los residuos de plantas, raíces y nódulos. Los microorganismos del suelo descomponen la materia orgánica rica en N y éste es liberado al suelo cuando mueren. Generalmente, cerca de dos tercios del nitrógeno fijado por leguminosas estará disponible para la próxima temporada en un sistema de rotación de cultivos.

La cantidad de nitrógeno fijado varía según la variedad y especie de leguminosa. La mayoría de las leguminosas de grano puede obtener entre el 50 y el 80% de sus necesidades totales de nitrógeno a través de la fijación biológica, pero algunas pueden fijar hasta el 90% (Bowren et al., 1995). Se estima que actualmente, la FBN es de 200 millones de toneladas por año, es decir, dos veces la producción de fertilizantes nitrogenados producidos por síntesis industrial. Una de las simbiosis más conocidas es la que se establece entre *Bradyrhizobium japonicum*-soja, donde un 70% de FBN por la bacteria es asimilada por la planta (Baca et al., 2000).

3.5.1 *Potencial de fijación*

El potencial para la fijación de nitrógeno está directamente relacionado con la supervivencia de *Rhizobium*, en la medida de la nodulación efectiva y los factores de crecimiento de la planta. Cualquier estado adverso en los suelos o estrés ambiental que afecte el crecimiento de las plantas es probable que limite el proceso de FBN. Este proceso también puede verse afectado por el nivel de N disponible en el suelo. Un alto nivel de N en el suelo puede reducir la FN ya que las leguminosas van a preferir utilizar la mayor cantidad de N disponible en el suelo antes de empezar a fijar N atmosférico. Esto causará la inhibición de la formación de nódulos. Por otro lado, cuando los niveles de N en el suelo son demasiado bajos también se puede reducir el crecimiento de las plantas. Esto puede causar que se tarde aproximadamente un mes desde el momento de la emergencia para la formación de nódulos y comienzo de la fijación de nitrógeno. Durante este período la leguminosa requiere alrededor de 15 kg/ha de N, dependiendo de las condiciones de crecimiento (Bowren et al., 1995).

3.5.2 *Eficiencia de la fijación biológica de nitrógeno vs. fertilización*

La fijación de nitrógeno es muy eficiente en el cumplimiento de los requisitos de nitrógeno de las leguminosas debido a la conversión de N_2 gaseoso a NH_3 que toma lugar dentro de la planta. Todo el nitrógeno fijado está rápidamente disponible y es la forma requerida para la combinación con carbohidratos para producir los aminoácidos utilizados en la fabricación de proteínas. Además, la FN en los nódulos de las raíces es directamente dependiente de la translocación de carbohidratos de las hojas por lo que la tasa de fijación es completamente "sincronizada" con el ritmo de crecimiento de la planta. Esta relación entre la oferta y demanda de N es otra razón para la alta eficiencia de la FBN.

La fertilización puede ser una manera menos eficaz de proporcionar N a las leguminosas ya que algunos de los fertilizantes se pueden perder temporal o permanentemente. Para poder utilizarlo, la planta debe gastar mucha energía para mover el nitrógeno a través de las membranas celulares en las raíces. Una vez que el nitrógeno se encuentra dentro de la planta, se necesita más energía para convertirlo en una forma que puede ser metabolizado por la planta. Dependiendo de las condiciones edafológicas y climáticas, la eficiencia de uso del fertilizante nitrogenado para las leguminosas generalmente oscila de 20 a 50% (Bowren et al., 1995).

3.6 Beneficios de las plantas cobertoras

El mayor beneficio obtenido por las plantas cobertoras es la adición de materia orgánica al suelo, como mencionado anteriormente. Estas plantas permiten disminuir los costos de fertilizantes por la contribución de N. Cultivos en el campo pueden tomar como mínimo un 30 a 60% del N producido por las leguminosas (Sarrantonio, 2007). También reducen la necesidad de uso de herbicidas ya que pueden suprimir malezas. Esta supresión puede ser causada por los residuos o el crecimiento de las hojas del dosel de las plantas que impiden el paso de la luz, alteran la frecuencia de las ondas de luz y cambian la temperatura de la superficie del suelo. Además, existen exudados de raíz o compuestos, como aleloquímicos, que proveen efecto de herbicidas naturales. Se ha visto que usando rotación de cultivos, estas plantas pueden reducir enfermedades, poblaciones de insectos y controlar infestación por nematodos.

Entre otros beneficios de las cobertoras se encuentran el mejoramiento en la salud del suelo como el aumento en la velocidad de infiltración de agua, la reducción de la compactación, el mejoramiento de la estructura y el añadir materia orgánica que beneficia la vida de los microorganismos del suelo y mejora el ciclo de nutrientes. Un rápido crecimiento de las plantas cobertoras ayuda a mantener el suelo en su sitio protegiéndolo de la erosión por la lluvia o el

viento. Residuos de plantas aumentan la infiltración de agua y reducen la evaporación, lo que permite menor estrés de humedad durante periodos de sequía.

También, las plantas cobertoras tienen la capacidad de proteger la calidad del agua. Estas plantas pueden tomar exceso de N en el suelo y evitar la lixiviación de éste a los cuerpos de agua. Otra ventaja es que proveen hábitat para la vida silvestre. Al unir todos estos beneficios se protege la salud de las familias. Se puede seguir incrementando las ventajas si se aumenta la diversidad de plantas cobertoras, si se continúa su uso en la rotación de cultivos para aprovechar los nutrientes incorporados al suelo y si se aumenta el tiempo en que se deja la planta cobertora en el campo.

3.7 Leguminosas tropicales (características generales)

Las leguminosas son una de las más extensas familias del reino vegetal que se encuentran distribuidas en el mundo. Ríos y Pitman (2001) señalan que constituyen el tercer grupo más grande de angiospermas, con más de 19,000 especies distribuidas en 750 géneros. Estas plantas se distinguen porque tienen la capacidad de asociarse con bacterias del género *Rhizobium* y llevar a cabo la fijación de nitrógeno atmosférico. Esto, a su vez, les permite producir semillas altas en proteínas y forraje de alta calidad nutricional. Las leguminosas, junto con los cereales, constituyen los primeros alimentos de consumo humano. Además, estas plantas son utilizadas como plantas cobertoras, abono verde y forraje. En los trópicos, las especies forrajeras leguminosas, por su contenido de proteína (15-30% en base seca) representan el recurso forrajero con mayor potencial para aumentar la producción animal (Skerman et al., 1991; Smith y Van Houter, 1987 citado por Centeno 2007). La solubilidad y la digestibilidad de su proteína las hacen atractivas como fuente de alimento suplementario (Humphreys 1991; Minson, 1991, citado por Centeno, 2007). Sin embargo, existen limitantes en su uso entre los que se encuentran

factores ecológicos, lento establecimiento en algunas especies y presencia de factores antinutricionales o metabolitos tóxicos (Centeno, 2007). Es por esto que en muchos casos no se utiliza como único alimento o en alto porcentaje en la dieta.

3.8 Especies de leguminosas utilizadas para el experimento

3.8.1 Mucuna pruriens (mucuna enana)

Mucuna pruriens es conocida alrededor del mundo por su utilización como planta cobertora o como abono verde. El Género *Mucuna* pertenece a la Familia Fabaceae originaria del sur de China, Malasia o India e introducida a Estados Unidos a finales del siglo 19. Abarca alrededor de 150 especies de leguminosas anuales y perennes (Eilitä et al., 2000 citado por Centeno 2007). La mucuna tropical es una planta de ciclo anual trepadora que puede alcanzar hasta 10 metros de longitud. Las plantas presentan flores de color púrpura que cuelgan en racimos largos. Esta planta también produce racimos de vainas que contienen semillas que se conocen como habichuelas de mucuna. Las vainas de semillas están cubiertas por pelos negros que pueden desprenderse y causar irritación en la piel (Carlo, 2009). Esta planta requiere días cortos para florecer y producir semilla.

Esta planta es utilizada para mantener la fertilidad del suelo, suprimir malezas, reducir la erosión del suelo y para el control de nematodos. También se puede utilizar como forraje, para la producción de heno y ensilaje. Algunos cultivares de mucuna pueden producir casi 30 ton/ha de biomasa al año y cerca de 90-100 kg de N/ha al año (Flores, 1989). Se ha utilizado para propósitos medicinales en tratamientos de enfermedades de Parkinson y en menor cantidad para el consumo humano. La mucuna ha sido reportada como capaz de fijar más de 150 kg N/ha como también puede producir 35 toneladas de materia orgánica por año y cuando es intercalada con maíz (*Zea mays* L.) puede aumentar el rendimiento de sus semillas a más de 2500 kg/ha (Bunch,

1990 citado por Carlo, 2009). Además, esta planta ha sido reportada como capaz de controlar la formación de nódulos en las raíces por el nematodo *Meloidogyne incognita* (McSorley et al., 1992 citado por Carlo, 2009). En Honduras es usada como barbecho en rotación con maíz donde puede aumentar el rendimiento cerca de 3,000 kg/ha, más del doble de su promedio nacional (Carlo, 2009).

3.8.2 *Lablab purpureus* cv. Rongai (lablab)

Lablab purpureus es una planta capaz de crecer en una amplia gama de condiciones climáticas y tipos de suelo. Aunque no tolera periodos prolongados de sequía, ha sido cultivada con éxito en regiones de 200-2500 mm de precipitación anual. Es una planta herbácea trepadora o erecta perenne y a menudo se cultiva como anual. Puede crecer hasta 1 metro de altura con tallos largos que pueden extenderse mucho más de 6 metros de la base de la planta. Posee hojas trifoliadas con flores color blanco o púrpura. También produce vainas anchas con semillas color marrón claro que cuando inmaduras pueden ser consumidas.

Esta planta también es conocida por llevar a cabo fijación de N atmosférico y por contribuir grandemente a la calidad del suelo. Al igual que la mucuna, es utilizada para mejorar la fertilidad del suelo, para la supresión de malezas, forraje y para el consumo humano en el sur y sureste de Asia y este de África. El lablab produce cerca de 2.5 toneladas de materia seca por acre y cerca de 23 kg de N por tonelada de materia seca (Valenzuela y Smith, 2002). En el noroeste de Kenia, mucuna y lablab son capaces de producir 2 t/ha de materia seca, contribuyendo 38 y 36 kg N/ha⁻¹, respectivamente (Valenzuela y Smith, 2002). El uso de estas plantas como abono verde aporta una ventaja en el rendimiento del maíz de 0.85 a 1.75 ton/ha⁻¹, comparado con la hierba natural en barbecho (Nymbati, 2002). Incorporar estos dos cultivos puede ser atractivo para la producción de forrajes. Lablab puede ser preferido más que la mucuna

ya que puede ofrecer el grano antes de su incorporación o parte de su biomasa puede ser utilizado como alimento para el ganado (Nymbati, 2002).

4 Experimento 1: Producción de biomasa y descomposición de tejidos de las leguminosas *Lablab purpureus* cv. Rongai (lablab) y *Mucuna pruriens* (mucuna enana) en un Oxisol.

4.1 Introducción

Las leguminosas son unas de las plantas más extensas y productivas del reino vegetal que se encuentran distribuidas en el mundo. La mucuna produce anualmente de 11 a 46 ton/ha de materia verde, de 6 a 7 ton/ha de materia seca (MS) y 3.8 ton/ha de semillas (Skerman et al., 1991 citado por Centeno, 2007). Algunos cultivares de mucuna pueden producir hasta 30 ton/ha de biomasa por año o cerca de 90-100 kg N/ha por año (Flores, 1989). Por otro lado, el lablab produce cerca de 2.5 ton/ac de materia seca y cerca de 50 lb N/ton de materia seca (Valenzuela y Smith, 2002).

La descomposición y la liberación de nutrientes de diferentes especies de leguminosas tropicales están bien documentados, pero los estudios se han centrado principalmente en las hojas (Palm et al., 2001 citado por Thippayarugs et al., 2008). Sin embargo, los agricultores suelen utilizar una mezcla de hojas y tallos como insumos orgánicos para la restauración de la fertilidad del suelo de sus predios, por lo que es importante entender la descomposición de toda la planta y la liberación de nutrientes (Cobo et al., 2002).

Estudios de descomposición regularmente implican el uso de bolsas pequeñas de nilón donde se coloca una cantidad conocida de residuos de plantas y se entierran o se dejan sobre el suelo. Posteriormente, estas bolsas se colectan periódicamente y se examina la pérdida de peso

de los residuos para determinar el índice de descomposición (Carsky, 1989 citado por Fosu et al., 2007).

El objetivo de este experimento fue determinar el RMS y la concentración de N de las leguminosas 'rongai' y mucuna, en dos épocas de siembra: seca y húmeda. Después de este muestreo se determinará la: tasa de descomposición, el porcentaje de MO, el porcentaje de CO y el contenido de N en tejido foliar de ambas cobertoras.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Localización de experimento

El estudio se llevó a cabo en las facilidades de la Sub-estación Experimental Agrícola de Isabela de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez (18° 30' Latitud norte y 67° 00' Longitud oeste). Esta estación está localizada en la región sub-húmeda al noroeste de Puerto Rico a una elevación de 128 m, con precipitación pluvial anual promedio de 1675 mm y temperatura anual media de 25°C, con fluctuaciones de 19° a 29°C (Junta de Planificación, 2006). Se detallan datos mensuales de precipitación y temperatura durante el experimento en la Figura 1 y 2, respectivamente.

La siembra se llevó a cabo en un suelo Oxisol de la serie Coto (Very-fine, kaolinitic, isohyperthermic Typic Eustrustox) (Beinroth et al., 2003). El análisis químico de una muestra compuesta del horizonte superficial (15-cm) mostró un pH básico de 7.15, materia orgánica de 2.38% y contenidos totales de N y P de 88 y 32 mg/kg, respectivamente. La preparación del área de siembra fue mecanizada (labranza convencional) con un pase de arado y rastra. No se

llevó a cabo fertilización ni control de malezas durante el estudio. Se aplicó riego los primeros 3 días luego de la siembra para promover la germinación de las semillas.

Figura 1. Precipitación promedio mensual de los últimos 20 años y la precipitación promedio mensual durante experimento en el año 2009 en la Estación Experimental de Isabela, PR.

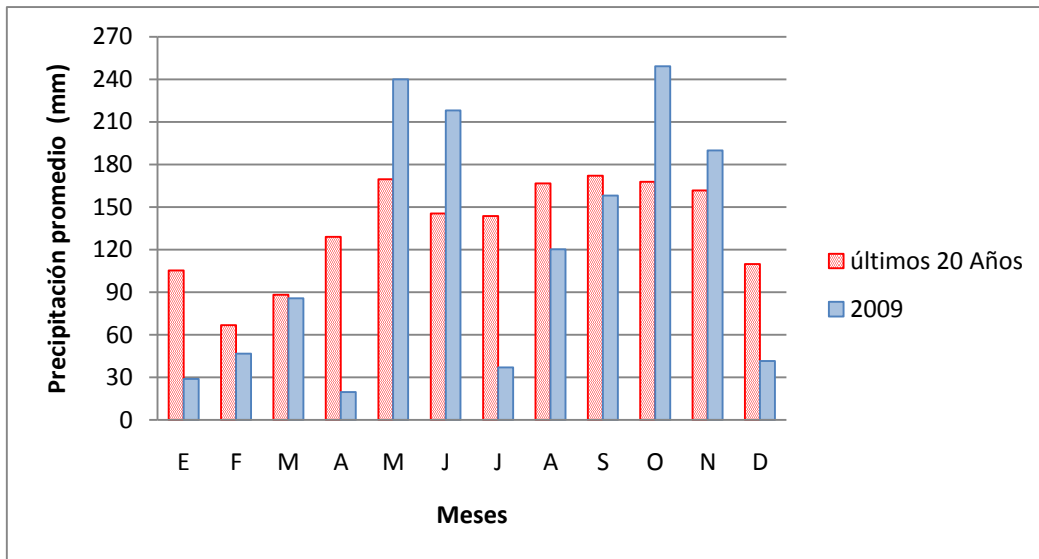
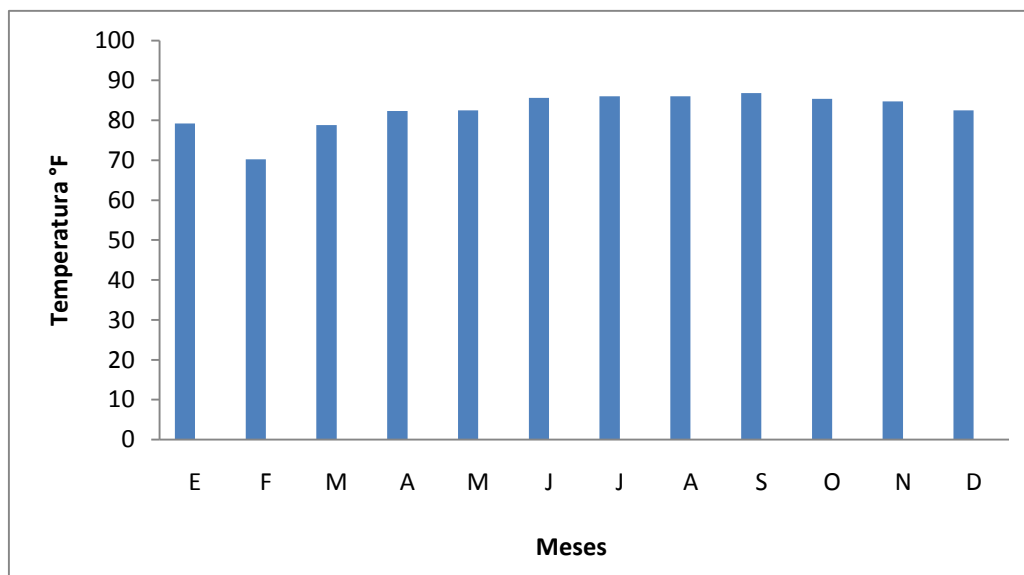


Figura 2. Temperatura promedio mensual durante el experimento en el año 2009 en la Estación Experimental de Isabela, PR.



4.2.2 Establecimiento del experimento y diseño experimental

La siembra se llevó a cabo en dos épocas, una comenzando el 23 de diciembre de 2008 (seca) y la otra el 19 de junio de 2009 (húmeda). El experimento fue de un diseño de bloques completamente aleatorizados (DBCA) con dos tratamientos, mucuna y 'rongai', y cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron 8 parcelas de 75 m de largo y 7 m de ancho cada una. Se utilizaron semillas de mucuna y 'rongai' las cuales se sembraron a una profundidad de 2.4 cm y a una distancia de 15 cm entre plantas y 60-cm entre hileras. Cada parcela consistía de 12 hileras, con una densidad de siembra de 10 kg ha⁻¹.

Para ambas épocas, a los 90-días de establecido del experimento, se tomaron 3 muestras de la hilera central de 2 m lineares, cada 24 m, en cada parcela. Estas muestras fueron secadas al horno a 60°C por 48 horas y usadas para determinar la biomasa en rendimiento de materia seca (RMS; kg ha⁻¹). Se prepararon sub-muestras en un molino Willey y se utilizaron para determinar N total por el método microkjeldhal (Foss, 2002).

Después del muestreo se inició el estudio de descomposición de tejidos. Para este experimento se utilizaron bolsas de nilón 25 cm largo x 22 cm de ancho que poseían agujeros para permitir la oxigenación y la actividad de microorganismos del suelo. Estas bolsas se emplearon con el objetivo de tener un peso conocido de tejido para determinar su descomposición a través del tiempo. En cada parcela se colocaron 12 bolsas de nilón, cada una a 6 m de distancia aproximadamente. Las bolsas se llenaron con 15 g de hojas para la época seca y 25 g para la época húmeda. Se decidió aumentar la cantidad de hojas para la época húmeda ya que al cabo de los últimos días de muestreo de la primera época había muy poca cantidad de hojas. Se colocaron 6 bolsas sobre el suelo y 6 fueron enterradas bajo suelo a 10 cm de profundidad. Las bolsas colocadas sobre el suelo fueron amaradas a tubos pvc para evitar que fueran removidas por roedores u otros animales. Todas las bolsas fueron colocadas el mismo día en forma de serpentina a una distancia aproximada de 15 cm de la hilera central. Cada dos semanas se tomaron de 2 bolsas (una sobre y otra debajo del suelo) de cada parcela luego de establecido el experimento. A cada muestra se le tomó el peso húmedo y luego fueron secadas al horno por 48 a 72 horas para obtener el peso seco y así poder determinar la tasa de descomposición utilizando la constante de descomposición k.

La constante de descomposición k fue estimada utilizando la ecuación exponencial de primer orden de Weider and Lang (1982):

$$L_R/L_1 = e^{-kt}$$

Dónde: L_R = peso remanente del tejido a cierto tiempo
 L_1 = peso inicial del tejido en tiempo cero
 t = intervalo de tiempo de muestreo L_R expresado en semanas
 k = constante de descomposición
 e = base del logaritmo natural

La fracción de material remanente (L_R/L_1) disminuye con el tiempo. El valor k fue estimado usando la ecuación de la recta obtenida utilizando el programa estadístico Infostat (2008).

4.2.3 *Análisis químicos*

Al momento de coleccionar las bolsas, las hojas fueron pasadas a una bolsa de papel y se le tomó el peso húmedo. Luego fueron secadas al horno a 60°C por 48 horas para luego determinar la tasa de descomposición. Las muestras fueron molidas y luego fueron analizadas en USDA-TARS (Tropical Agriculture Research Station, Departamento de Agricultura de EE. UU.) en Mayagüez, Puerto Rico. Se determinaron las variables N, MO y C orgánico. El N fue determinado por el método microkjeldhal. La MO fue determinada por el método ASTM D 2974 (Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Organic Soils), (ASTM, 2000) y el C orgánico calculado por la formula siguiente: % C orgánico= MO/2.

También, se tomaron muestras de suelo de cada parcela y se determinaron los siguientes: el contenido de MO por el método de digestión húmeda Walkley-Black, el pH utilizando los métodos Olsen y Bray II, el P total por el método molibdato-vanadato, el P disponible por el

método de extracción con concentración diluida de ácidos fuertes y el nitrato-nitrito por el método de extracción intercambiable de amonio, nitrato y nitrito (Sparks, 2007).

4.2.4 *Análisis estadístico de los datos*

Los datos recopilados fueron tabulados utilizando el programa Microsoft Excel. Se acondicionaron al modelo DBCA con 4 repeticiones, para posteriormente realizar los análisis. Para el análisis de RMS y contenido de N en materia seca se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el Modelo Lineal General (GLM) del programa estadístico SAS (1999). Se realizó separación de medias utilizando la prueba de Fisher LSD. En el modelo se incluyó época, tratamiento, y la interacción época y tratamiento.

El análisis estadístico del contenido de N, MO y C orgánico en tejido de hojas de mucuna y 'rongai' se llevó a cabo utilizando el modelo Proc Mixed del programa estadístico SAS (1999). En el modelo se incluyó época, tratamiento, posición de la bolsa y semanas. Se añadió al modelo el efecto de las interacciones época y tratamiento, época y posición de la bolsa, época y semanas, tratamiento y posición de la bolsa y posición de la bolsa y semanas.

4.3 Resultados y discusión

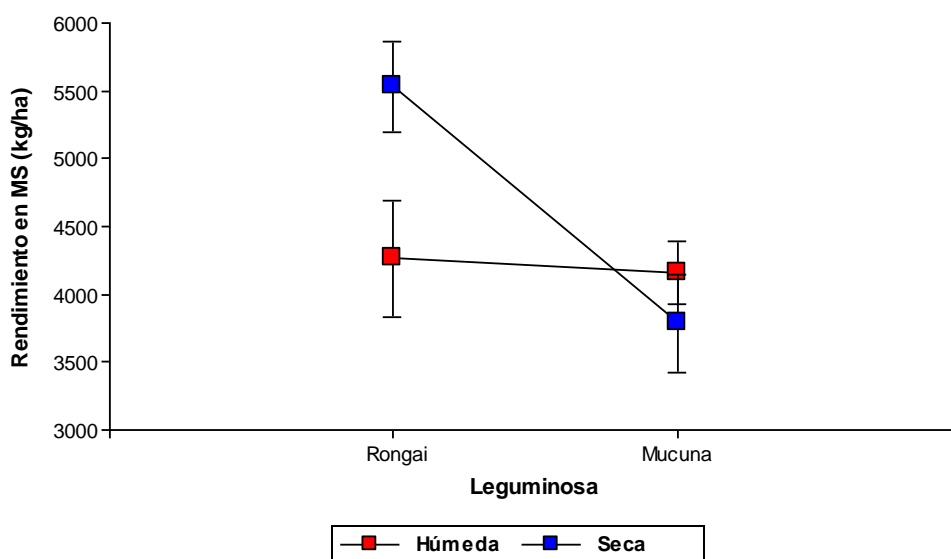
4.3.1 *Composición botánica y contenido de N en materia seca*

Se encontró una interacción ($p < 0.05$) entre época de siembra y leguminosa sobre el RMS. Esto indica que ambos factores actúan de manera dependiente uno del otro sobre el RMS y no es necesaria la interpretación de los efectos principales. La interacción se presenta en la Figura 3, donde los valores oscilaron entre 3785 a 5535 kg ha⁻¹ y el valor mayor se obtuvo en 'rongai' para la época seca. Se esperaba obtener mayor RMS por parte del 'rongai' para la época húmeda pues

esta planta, al ser trepadora, dificultó grandemente el acceso al predio durante el experimento y estaba dispersa por todo el predio. Esto pudo haber sido porque para la época húmeda hubo mayor precipitación y eso ocasionó un mayor crecimiento de los tallos, pero no de área foliar. Shehu et al. (1999) reportaron un RMS mayor de lablab en monocultivo que cuando se siembra intercalado con sorgo en época seca y húmeda en Sudan Savannah en Nigeria. Colbert (2009) reportó un valor de 6,200 kg ha⁻¹ en RMS. Por otro lado, Anthofer y Kroschel (2005) reportaron valores en RMS de mucuna cercanos a los nuestros de 4003 kg ha⁻¹.

Al evaluar la concentración de N en MS no se encontró interacción ($p > 0.05$) entre la época de siembra y leguminosa. Por lo tanto, se puede concluir que estos factores actúan de manera independiente. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre épocas sobre la concentración de N en MS. Para la época húmeda la concentración de N fue mayor (2.70%) en comparación con la época de seca (2.28%). También se encontraron diferencias entre leguminosas ($P < 0.05$), siendo la concentración de N en mucuna mayor (2.59%) comparado con 'rongai' (2.38%). Estos resultados concuerdan con los datos obtenidos por Anthofer y Kroschel (2005) quienes encontraron 2.5% de N en biomasa de mucuna.

Figura 3. Valores promedio del efecto de interacción entre época de siembra y leguminosas sobre el rendimiento en materia seca. Líneas verticales sobre puntos indican error estandar.



4.3.2 Tasa de descomposición y contenido de N, MO y C orgánico en tejidos de hojas

4.3.2.1 Tasa de descomposición

Al realizar una gráfica para obtener la constante de descomposición (k) para ambas leguminosas se obtuvo una reacción de primer orden, lo que demuestra que esta constante depende de algunos factores, ya sea temperatura, humedad, etc. En general la descomposición de mucuna y 'rongai' fue más rápida para la época húmeda (Cuadro 1). El valor k para 'rongai' fue mayor (0.2618) en comparación con mucuna (0.1745). Este factor k es afectado principalmente por el clima y la calidad del tejido. Los dos factores climáticos primarios que contribuyen en el proceso de descomposición son la temperatura y la humedad. En climas calientes y húmedos el valor k aumenta, mientras en áreas frías y secas el valor es menor. Esto podría explicar los

resultados obtenidos ya que la descomposición fue mayor para la época húmeda donde las temperaturas fueron más altas, 85°F en promedio, y la precipitación fue mayor con 153 mm en promedio.

Cuadro 1. Tasa de descomposición (k) promedio de residuos de)rongai) y mucuna en época seca y húmeda.

Época	Residuos	
)Rongai)	Mucuna
	k	
Seca	0.0785	0.0743
Húmeda	0.2618	0.1745

Las leguminosas están generalmente caracterizadas como residuos de alta calidad por sus altos contenidos de N, bajos contenidos de lignina y/o polifenol (Frankenberg y Abdelmagid, 1985; Fox et al., 1990; Ibewiro et al., 1998 citado por Ibewiro et al., 2000). La lignina es una de las moléculas más resistentes a la descomposición ya que forma enlaces químicos con otros polímeros, permitiendo la formación de células de madera y que los tallos se tornen más fuertes. Como forman estos compuestos tan complejos, es muy difícil de descomponer por los microorganismos del suelo, por tanto, la descomposición es más lenta. También, la relación C/N y la relación lignina/celulosa de los residuos vegetales tiene mucha influencia en la velocidad de descomposición del material vegetal (Swift et al., 1979, Wild, 1972). A su vez, Swift et al.

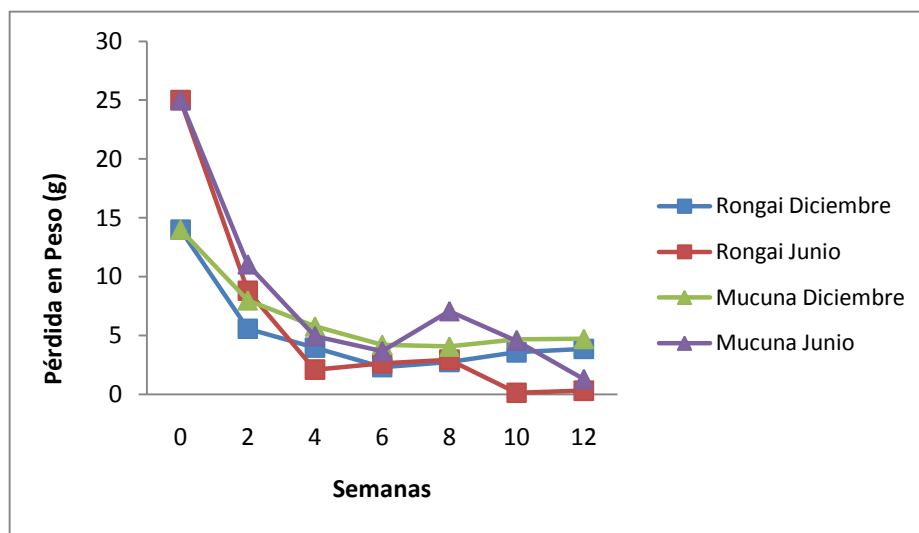
(1979), determinaron que la etapa rápida de descomposición se cumple dentro de los tres primeros meses y que a partir del segundo trimestre comienza la segunda fase de descomposición que es mucho más lenta.

Aunque en este experimento no se hicieron análisis para determinar el contenido de lignina, según Ibewiro et al. (2000), en una mezcla de residuos de tallos y hojas de mucuna y tallos y hojas de lablab hay 5.3 y 4.9% de lignina, respectivamente. Mientras, Cobo et al. (2008), reportaron un 6.1% de lignina en hojas de mucuna. Si utilizamos esos datos como referencia, se pueden explicar los resultados obtenidos en este experimento cuando según el valor k , para ambas épocas, la descomposición de 'rongai' fue más rápida comparada con la de mucuna. Esto pudo haber sido porque el contenido de lignina se presume es menor en el 'rongai'.

La pérdida en peso de los residuos de 'rongai' en ambas épocas fue rápida (Figura 4). En la época seca a las 2 semanas hubo una pérdida en peso de alrededor de 8 g (57%), aumentado a 10 g (72%) a las 12 semanas. Mientras en la época húmeda al cabo de las 2 semanas la pérdida en peso fue mayor (16 g o 65%), al cabo de las 12 semanas la pérdida en peso aumentó a un 99%. En el caso de la mucuna, la pérdida en peso se mantuvo similar y constante para ambas épocas. A las 12 semanas en la época seca un 66% del peso de los tejidos se había perdido. Por otro lado, para la época húmeda las pérdidas fueron de 14 g (56%) a las 2 semanas y a las 12 semanas las pérdidas aumentaron a un 99%. Estos resultados fueron superiores a los encontrados por Ibewiro et al. (2000), donde en una mezcla de residuos de hojas y tallos de lablab y tallos y hojas mucuna encontraron pérdidas en materia seca de 63 y 60% a los 28 días. Cobo et al. (2008), reportaron valores aún más bajos, donde en hojas de mucuna encontraron 35 y 34% de

pérdida en peso al cabo de las 8 y 12 semanas, respectivamente. Sin embargo, los resultados encontrados por Ibewiro et al. (2000), concuerdan con los nuestros si comparamos las pérdidas en peso de ambas leguminosas, pues en ambas épocas el 'rongai' siempre mostró una pérdida mayor en peso que la mucuna.

Figura 4. Valores promedio del efecto de época de siembra sobre la pérdida en peso de residuos de hojas de 'rongai' y mucuna enana durante 12 semanas.



4.3.2.2 Pérdida de nitrógeno

Al evaluar el contenido de N ($\mu\text{g/g}$) en los tejidos de hojas de 'rongai' y mucuna, la combinación de factores época y leguminosa mostró un efecto significativo ($p < 0.05$), donde los valores se encontraron en la gama de 40 a 65 $\mu\text{g N/g}$ (2 a 3.3%) y el valor mayor se obtuvo en mucuna para la época seca (Figura 5). También se encontró interacción ($p < 0.05$) entre época y posición de las bolsas, donde los valores promedio mayores se obtuvieron en las bolsas ubicadas

sobre el suelo para la época húmeda ($77\mu\text{g N/g}$ o 4%). Las cantidades más bajas fueron obtenidas en las bolsas ubicadas bajo el suelo (Figura 6). La combinación de los factores época y semana mostró un efecto significativo ($p<0.05$) sobre el contenido de N, donde los valores se encontraron entre 38 a $70\mu\text{g N/g}$ (2 a 4%), y el valor mayor se obtuvo en la época seca a las 6 semanas (Figura 6). En esta figura se pudo observar cómo para la época seca el contenido de N se mantuvo constante hasta la sexta semana cuando comienza a disminuir rápidamente. Esto pudo haber ocurrido como resultado de un aumento en la rapidez de la descomposición, debido a una mayor precipitación en el mes de mayo (Figura 1), correspondiente al muestreo de las 8 semanas (170 mm), y no por la temperatura, ya que ésta se mantuvo constante para esa fecha (Figura 2).

También se encontró interacción ($p<0.05$) entre posición de la bolsa y semana sobre el contenido de N, donde el valor promedio mayor se encontró en las bolsas ubicadas sobre el suelo a las 6 semanas (Figura 7). En ésta figura se observa el mismo patrón que en la Figura 6, por lo que nuevamente se evidencia el efecto de la temperatura y la precipitación sobre la descomposición. No se encontró interacción entre leguminosas y posición ni leguminosa y semanas.

Figura 5. Valores promedio del efecto de interacción entre época de siembra y leguminosa sobre el contenido de N. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar.

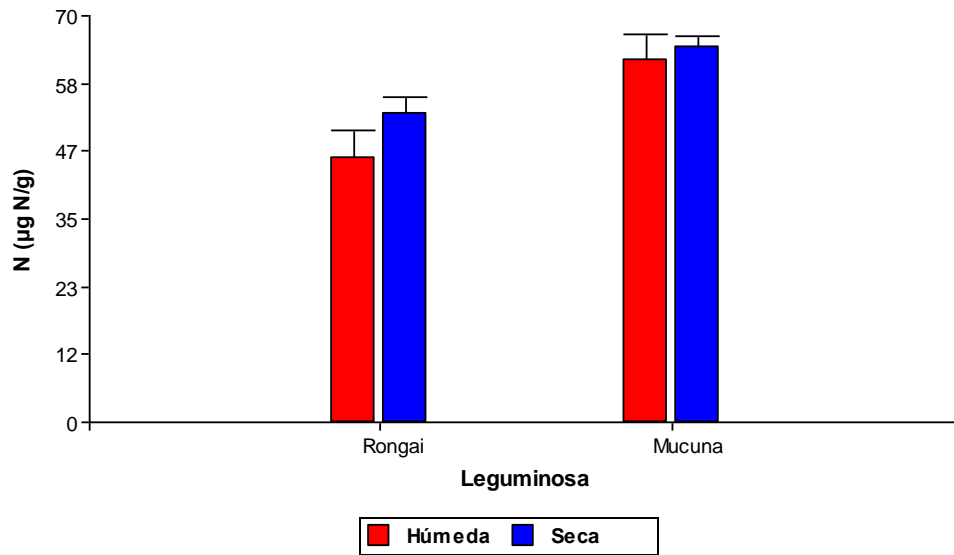
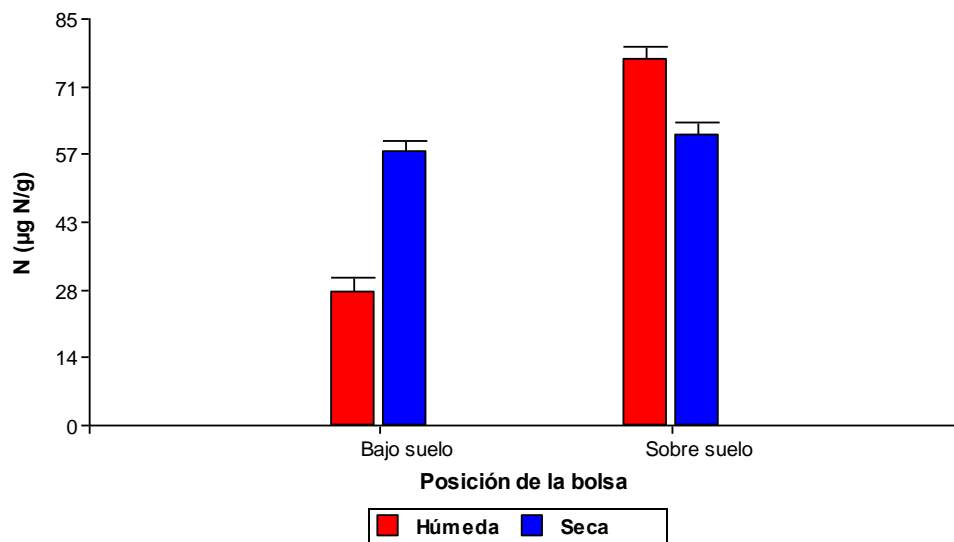


Figura 6. Valores promedio del efecto de interacción entre época de siembra y posición de la bolsa sobre el contenido de N. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar.



Las leguminosas son utilizadas a menudo en sistemas de cobertura para suplir N a cultivos como por ejemplo maíz y sorgo, entre otros, durante el proceso de descomposición. Estudios realizados por Ibewiro et al. (2000) encontraron que a los 84 días de cosecha de maíz, esta planta utilizó 13 a 63 kg N ha⁻¹, lo que representa un 13 a 36% del N liberado por residuos de mucuna, mientras que el 16 a 25% de N liberado por mucuna fue recuperado a los 168 días de cosecha. Por otro lado, reportaron valores donde a los 84 días de cosecha de maíz se recuperaron de 9 a 62 kg N ha⁻¹ o 28 a 35 % de N liberado por residuos de lablab.

Figura 7. Valores promedio del efecto de interacción entre época de siembra y semanas sobre el contenido de N. Líneas verticales sobre puntos indican el error estándar.

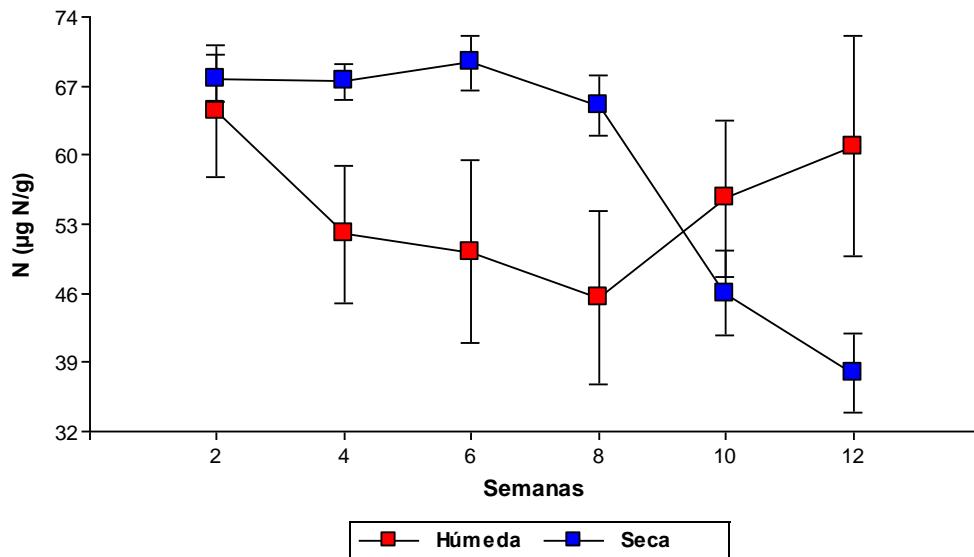
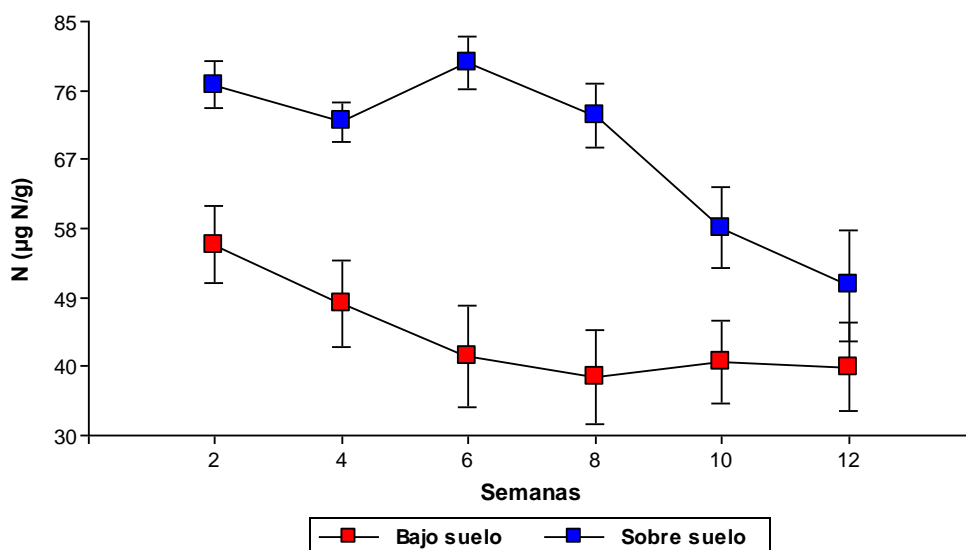


Figura 8. Valores promedio del efecto de interacción entre posición de la bolsa y semana sobre el contenido de N. Líneas verticales sobre puntos indican el error estándar.

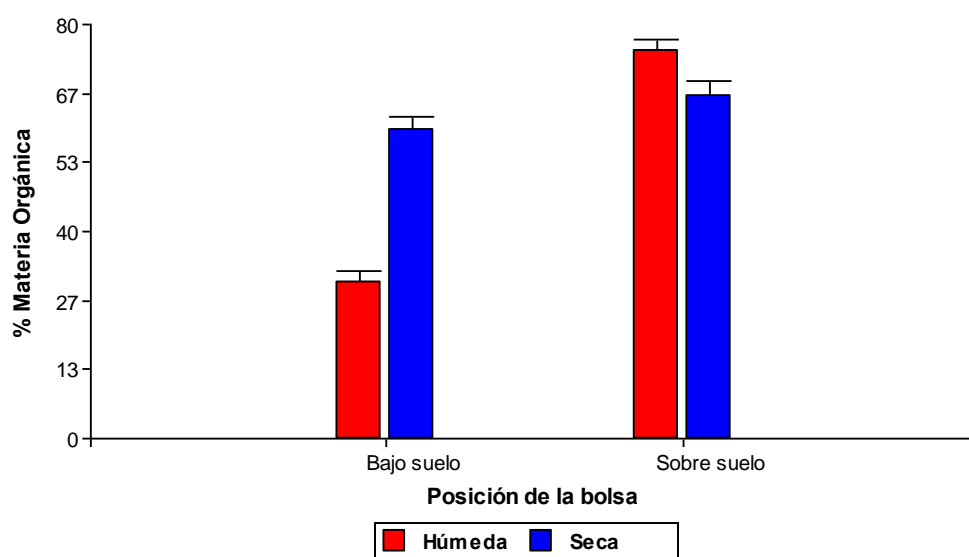


4.3.2.3 Porcentaje de materia orgánica y C orgánico

La combinación de factores época y posición de la bolsa sobre el porcentaje de MO mostró un efecto significativo ($p < 0.05$), donde el valor promedio mayor se obtuvo para las bolsas ubicadas sobre el suelo en la época seca (66%) y húmeda (75%). Los resultados más bajos fueron obtenidos en las bolsas ubicadas bajo el suelo (Figura 8). También se encontró interacción entre época y semanas, donde los valores se encontraron entre 43 y 76% (Figura 9). En el gráfico mencionado anteriormente se observa un aumento en el porcentaje de MO a las 12 semanas del estudio. Cabe señalar que esto ocurrió debido a que los tejidos estaban contaminados con suelo, por lo que el porcentaje de MO aumentó. Se encontró interacción entre leguminosa y posición de la bolsa, donde los valores se encontraron en una gama de 34 a 76% y

el valor mayor se obtuvo en mucuna en las bolsas ubicadas sobre el suelo (Figura 10). No se encontró interacción ($p < 0.05$) entre la época de siembra y leguminosa, leguminosa y semanas ni en posición y semanas.

Figura 9. Valores promedio del efecto de interacción entre época de siembra y posición de la bolsa sobre el porcentaje en materia orgánica. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar.

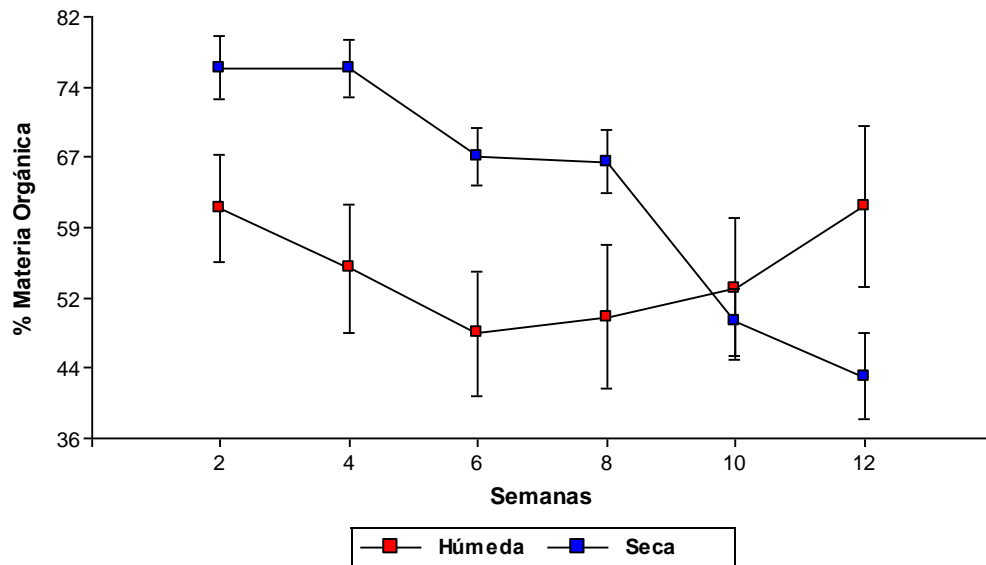


El estudio de la materia orgánica en el tejido de hojas de leguminosas es muy limitado, pero está claramente documentado que en sistemas de cobertura muerta son capaces de agregar altas cantidades de materia orgánica al suelo. Macharia et al. (2011), encontraron que la soja perenne (*Neonotonia wightii*), sirato (*Macroptilium atropurpureum*) y estilosantes (*Stylosanthes scabra* var. Seca), contribuyeron mayores cantidades de hojarasca que 'rongai' y mucuna.

Además, reportaron que los análisis del suelo mostraron un incremento significativo en el pH

(4.92 a 5.36), carbono orgánico (1.17 a 2.57%), nitrógeno (0.17 a 0.22%) y potasio (1.23 a 1.68%) probablemente debido a la gran cantidad de residuos orgánicos particularmente por soja, sirato y estilo que son perennes. Estos resultados concuerdan con Njunie et al. (1996) quienes encontraron que *Macroptilum lathyroides*, *Lablab purpureus* y *Macroptilum atropurpureum* fueron capaces de mejorar la fertilidad del suelo, proporcionando abono foliar *in situ* y por lo tanto, mejorar el contenido de materia orgánica del suelo.

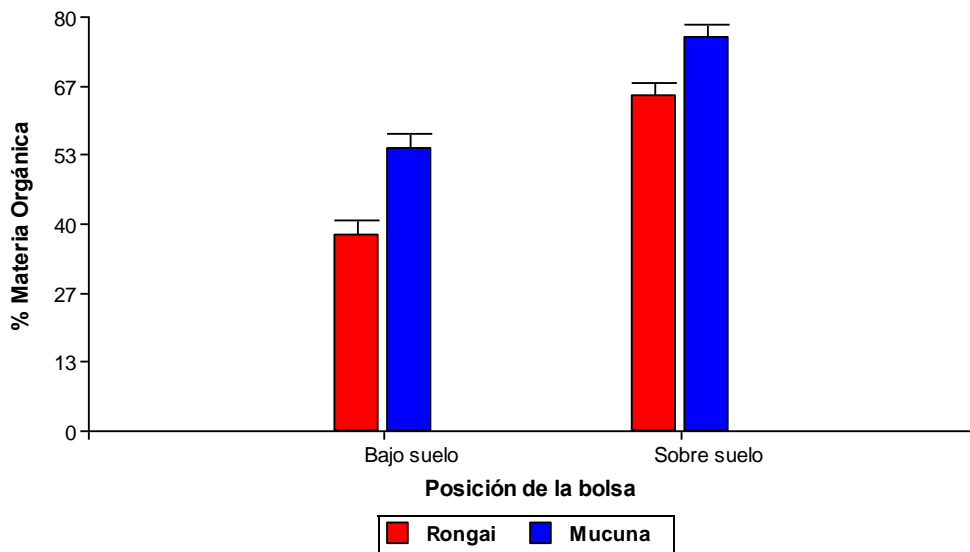
Figura 10. Valores promedio del efecto de interacción entre época de siembra y semanas sobre el porcentaje de materia orgánica. Líneas verticales sobre puntos indican el error estándar.



El porcentaje de CO, mostró el mismo comportamiento que el porcentaje de MO ya que se calculó dividiendo el porcentaje de MO entre dos. Cobo et al. (2008), han reportado valores de 45 % de C en hojas de mucuna. Mientras, Ibewiro et al. (2000), informaron valores en una

mezcla de hojas y tallos de mucuna, y mezcla de hojas y tallos de lablab de 40 y 41%, respectivamente. También es muy importante tomar en consideración la relación carbono:nitrógeno (C/N). En este experimento, la relación C/N estuvo en una escala de 10.2 a 13.2, donde el valor mayor se obtuvo en 'rongai' para la época húmeda (Cuadro 2). Ibewiro et al. (2000), reportaron valores de C/N de 9.1 en mezcla de hojas y tallos de mucuna y 10.8 en mezcla de hojas y tallos de lablab.

Figura 11. Valores promedio del efecto de interacción entre leguminosa y posición de la bolsa sobre el porcentaje en materia orgánica. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar.



Cuadro 2. Valores promedio de la relación C/N de los residuos de hojas de (rongai) y mucuna en dos épocas de siembra.

Época	Residuos	
	(Rongai)	Mucuna
	C/N	
Seca	10.9	11.1
Húmeda	13.2	10.2

Según Jiménez et al. (2005), la relación C/N varía con las especies y la edad de las mismas y es un buen indicador de la susceptibilidad de la hojarasca a ser degradada. También indican que la gama óptima en los residuos orgánicos de leguminosas se encuentra entre 25:1 y 30:1. Además, apuntan que si el residuo inicial es rico en C y pobre en N la descomposición será lenta; en el caso contrario el N se transforma en amoníaco impidiendo la actividad biológica. Si utilizamos esta información y comparamos nuestra relación C/N con la tasa de descomposición k (Cuadro 1), vemos una relación, pues la tasa de descomposición mayor se obtuvo en 'rongai' para la época húmeda (0.2618) y la relación C/N mayor la obtuvo 'rongai' para la misma época. Además 'rongai' contiene más C que N en sus hojas por lo que la relación C/N será mayor comparado con mucuna que además de producir mayor cantidad de hojas, contiene más N que C.

4.4 Conclusiones

Ambos, 'rongai' y mucuna pudieran ser una alternativa para mejorar la fertilidad de suelos ya que ambas leguminosas mostraron un buen rendimiento y cantidades de N, MO y CO aceptables. Se encontró que la época de siembra puede tener efecto sobre el RMS. Durante la época húmeda ambas leguminosas son capaces de producir una mayor cantidad de N en MS. Mediante el proceso de descomposición de tejidos de hojas, el 'rongai' pudiera suplir nutrientes al suelo más rápido que la mucuna independientemente de la época ya que esta planta se descompone más rápido debido a los bajos contenidos de lignina en sus tejidos. Por lo tanto, se recomienda ésta leguminosa como abono verde para mejorar la fertilidad del suelo. Sin embargo, no es posible establecer una relación entre los contenidos de los elementos nutricionales en el suelo antes y después de la descomposición ya que se carece de un análisis inicial al momento de la siembra de las leguminosas. Sin dicho análisis, no podemos definir la contribución o la evolución de los nutrientes en el suelo durante el tiempo de descomposición.

5 Experimento 2: Mineralización y nitrificación en siembras de *Lablab purpureus* cv. Rongai (lablab) y *Mucuna pruriens* (mucuna enana) en un Oxisol.

5.1 Introducción

El suelo contiene una mayor proporción de N orgánico (no disponible para las plantas), el cual representa el 98% del total de N en el suelo y una pequeña proporción de N inorgánico o mineral (disponible para las plantas) representando solo del 2 al 3% (Osorio, 2004). El proceso de transformación de N orgánico a N mineral es denominado mineralización y se presenta a medida que los microorganismos del suelo descomponen la materia orgánica para obtener energía. Cuando los organismos han usado todos los nutrientes que necesitan, el exceso es liberado al suelo en forma inorgánica para ser utilizado por las plantas.

La capacidad del suelo de transformar nitrógeno orgánico en la materia orgánica del suelo a nitrógeno inorgánico (potencial de mineralización de nitrógeno) se utiliza a menudo como índice del nitrógeno disponible para las plantas en el ecosistema terrestre (Robertson et al., 1999). La mineralización de N se refiere al aumento neto en amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) en el suelo, ya que cualquier forma de nitrato debe haber sido primero amonio. Por otro lado, la nitrificación se refiere específicamente a la conversión de amonio a nitrato por bacterias que oxidan amonio a nitrito y luego a nitrato (Robertson et al., 1999).

La temperatura, aireación, humedad del suelo, pH, materia orgánica (cantidad y calidad) y tipo de suelo limitan la nitrificación y mineralización de N. Una alteración en dichos factores puede afectar la mineralización y nitrificación, ya que se altera la población microbiana.

El N puede también pasar de una forma inorgánica a una forma orgánica, presentándose el proceso de inmovilización (Osorio, 2004). Esta inmovilización ocurre cuando se incorporan al suelo residuos de cultivos con contenido alto de C y bajo de N. Además, la mineralización y la inmovilización ocurren simultáneamente en el suelo. El cambio de un suelo a dominancia de formas orgánicas o inorgánicas de N depende principalmente de la relación C/N de la materia orgánica que se está descomponiendo. En forma general, una relación C/N baja tiende a favorecer la mineralización, en tanto que relaciones mayores de 25 conducen a una lenta mineralización o bien a la inmovilización del N (Bertsch, 1995, citado por Osorio, 2004).

Los objetivos de este experimento fueron determinar la tasa de mineralización y nitrificación en siembras de 'rongai' y mucuna enana en un Oxisol.

5.2 Materiales y métodos

5.2.1 Localización del experimento

El estudio se llevó a cabo en las facilidades de la Sub-estación Experimental Agrícola de Isabela de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez (18° 30' Latitud norte y 67° 00' Longitud oeste). Esta estación está localizada en la región sub-húmeda al noroeste de Puerto Rico a una elevación de 128 m, con precipitación pluvial anual promedio de 1675 mm y temperatura media de 25°C, con fluctuaciones de 19° a 29°C (Junta de Planificación, 2006). La siembra se llevó a cabo en un suelo Oxisol de la serie Coto (Very-fine, kaolinitic, isohyperthermic Typic Eustrtox), (Beinroth et al., 2003).

5.2.2 *Establecimiento del experimento y diseño experimental*

La siembra se llevó a cabo el 2 de febrero de 2010 y el experimento finalizó el 11 de mayo de 2010. El experimento fue de un diseño de bloques completamente aleatorizados (DBCA) con dos tratamientos, mucuna y 'rongai', y cuatro repeticiones. Las unidades experimentales fueron 8 parcelas de 18 m de largo y 4 m de ancho. Se utilizaron semillas de mucuna y 'rongai' las cuales se sembraron a una profundidad de 2.4 cm, 15 cm entre plantas y 60cm entre hileras, a una densidad de siembra de 10 kg ha⁻¹.

Al cabo de una semana después de la siembra se enterraron 6 tubos pvc de 25.4 cm de largo y 5.1 cm de diámetro en cada parcela, debidamente identificados, dejando aproximadamente 5 cm fuera del suelo. También se tomaron dos muestras de suelo por parcela aproximadamente a 25cm de profundidad con un barreno. Para realizar el muestreo se removieron dos tubos por parcela a los 22, 42, y 90 días de incubación. Una vez se removía el tubo, el suelo que estaba dentro de él se depositaba en una bolsa plástica que se colocaba en una nevera con hielo. Las muestras fueron llevadas inmediatamente al laboratorio donde se depositaron en una nevera para mantenerlas frías hasta que se analizaran al día siguiente.

5.2.3 *Análisis químicos*

Las muestras fueron llevadas a USDA-TARS en Mayagüez, Puerto Rico donde se analizaron para amonio (NH₄⁺) y nitrato (NO₃⁻). Se llevó a cabo el análisis de nitrato-nitrito mediante el método de extracción intercambiable de amonio, nitrato y nitrito (Sparks, 2007). Luego se calculó la mineralización y nitrificación neta utilizando las fórmulas descritas por Robertson et al. (1999):

Mineralización neta

$$N_{\text{mineralizado}} = [(\text{Nitrato}_f + \text{Amonio}_f) - (\text{Nitrato}_0 + \text{Amonio}_0)] / T_{\text{días}}$$

dónde:

$N_{\text{mineralizado}}$ = tasa de mineralización neta, expresada en $\text{mg N.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$

Nitrato_f = concentración final de nitrato, expresado en $\text{mg NO}_3^- \text{ - N/g suelo}$

Amonio_f = concentración final de amonio, expresado en $\text{mg NH}_4^+ \text{ - N/g suelo}$

Nitrato_0 = concentración inicial de nitrato, expresado en $\text{mg NO}_3^- \text{ - N/g suelo}$

Amonio_0 = concentración inicial de amonio, expresado en $\text{mg NH}_4^+ \text{ - N/g suelo}$

$T_{\text{días}}$ = tiempo de incubación, en días

Nitrificación neta

$$N_{\text{nitrificado}} = (\text{Nitrato}_f - \text{Nitrato}_0) / T_{\text{días}}$$

dónde:

$N_{\text{nitrificado}}$ = tasa de nitrificación neta, expresado en $\text{mg NO}_3^- \text{ - N.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$

También se calculó el N inorgánico para cada muestra utilizando la siguiente fórmula:

$$N_{\text{inorgánico}} = \text{Amonio (NH}_4^+ \text{ - N)} + \text{Nitrato (NO}_3^- \text{ - N)}$$

5.2.4 *Análisis estadístico de los datos*

Previo al análisis, los datos recopilados fueron tabulados utilizando el programa Microsoft Excel y se acondicionaron al modelo DBCA con 4 repeticiones, para posteriormente realizar los análisis estadísticos. En este experimento, las variables a analizar fueron el N inorgánico, mineralización y nitrificación de N. Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA)

utilizando el Modelo Lineal General (GLM) del programa estadístico SAS (1999). Se realizó separación de medias utilizando la prueba de Fisher LSD. En el modelo se incluyó tratamiento, días de incubación y la interacción tratamiento y días.

5.3 Resultados y Discusión

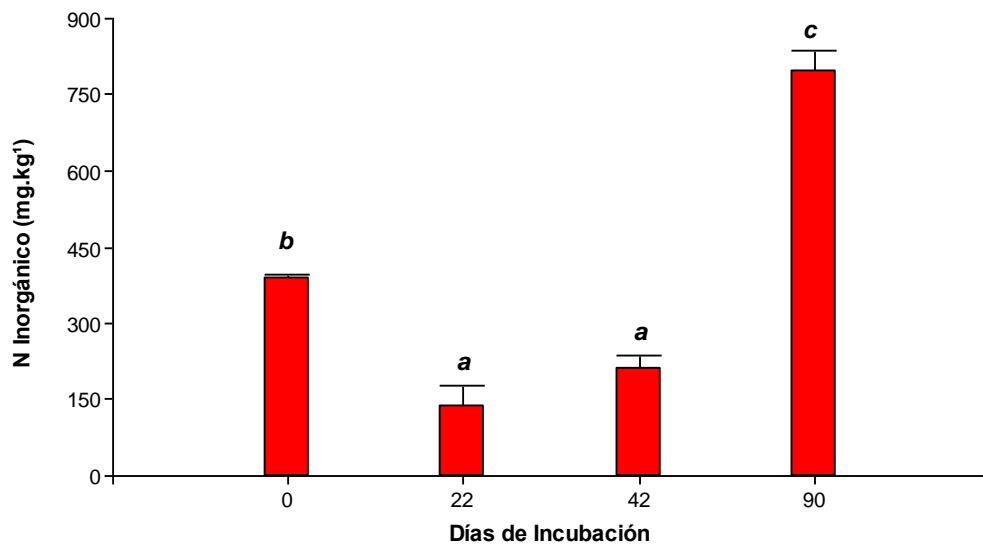
5.3.1 Nitrógeno inorgánico

Se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los días de incubación sobre el contenido de N inorgánico en el suelo, cuyos valores se encontraron en la escala de 138 a 795 mg N kg⁻¹, y el valor promedio mayor se obtuvo a los 90 días (Figura 12). No se evidenció diferencia significativa ($P < 0.05$) entre leguminosas ni interacción leguminosa y días de incubación. Estos resultados son muy altos comparados con el estudio realizado por Odhiambo (2009) donde encontraron cantidades de N mineral de 121 a 170, 96 a 134 y 92 a 108 mg N kg⁻¹ en suelos sembrados con sunhemp, lablab y mucuna, respectivamente. Cabe señalar que el predio donde se realizó el experimento en Isabela estuvo durante muchos años bajo pastoreo y sembrado con yerba guinea. Aunque no se hicieron análisis de suelo previo al experimento, se presumió que este suelo era fértil y con alto contenido de MO, por esta razón los valores de N inorgánico son tan altos.

En general, la mayor parte del N inorgánico estaba en forma de NH₄⁺ - N (82%). La concentración más relativa de NO₃⁻ -N fue un 50% del total del N inorgánico específicamente para 'rongai' a los 22 días de incubación y volvió a disminuir al final, representando en promedio solamente, un 7% durante los 90 días de incubación. Fosu et al. (2007), realizaron un

experimento con varias leguminosas donde residuos de éstas fueron enterrados bajo suelo en bolsas y tomaron muestras de suelo en el mismo lugar para determinar el N mineral. Ellos encontraron que el N mineral en el suelo al final de la incubación (66-días) fue mayor para sunhemp (*Crotalaria juncea*) con 71.8 mg N.kg⁻¹ y menor para crotalaria o “devil bean” (*Crotalaria retusa*) con 46.6 mg N kg⁻¹. También reportaron valores de N mineral cercanos a 55 mg N.kg⁻¹ para mucuna. Sin embargo, a diferencia de nuestro experimento ellos encontraron que para todos los tratamientos la mayor parte del N inorgánico estaba en forma de NO₃⁻-N y la concentración más relativa de NH₄⁺-N fue un 6% del total del N inorgánico al principio de la incubación y disminuyó a 0.6% en promedio al final. Ellos mencionan que los bajo niveles de NH₄⁺-N implica inmovilización de N durante los primeros 24 días del periodo de incubación.

Figura 12. Valores promedio del contenido de N inorgánico (mg N kg⁻¹) en el suelo durante 90 días de incubación. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar.



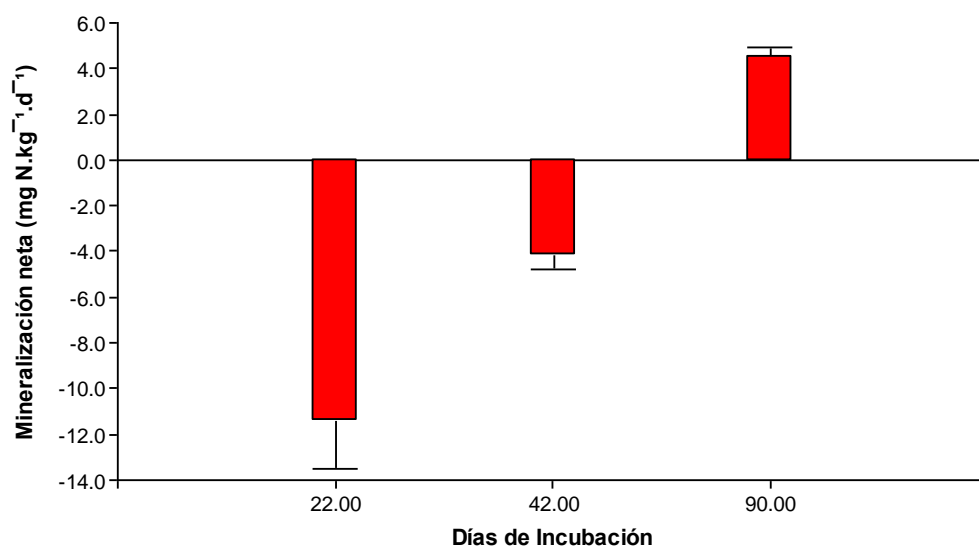
Sanclemente, (2009) llevó a cabo un experimento para determinar los cambios de algunas propiedades químicas del suelo durante el establecimiento de mucuna como abono verde y cobertura muerta en un cultivo de maíz. La incorporación de mucuna con un machete, a una profundidad de 5 cm incrementó el aporte de nitrógeno inorgánico en un 170% ($57 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) con respecto al tratamiento testigo, pero no fue significativo estadísticamente. A su vez el mismo autor, utilizando la mucuna como cobertura muerta, la cual se obtuvo después de aplicar herbicida glifosato (N-fosfometilglicina) en dosis comercial, tuvo un aporte adicional de nitrógeno inorgánico al suelo cultivado con maíz de $199 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, el cual fue significativo con respecto al testigo. Por otro lado, Ibewiro et al. (2000), encontraron que residuos de mucuna y lablab aumentaron las concentraciones de N inorgánico ($\text{mg NO}_3^- \cdot \text{N kg}^{-1}$ suelo) de 10 a 15 mg N kg^{-1} suelo en sistemas de “mulch” *in situ* en los primeros 56 días y de 11 a 16 mg N kg^{-1} en sistemas de “mulch” vivo. En conclusión, la utilización de leguminosas como cobertura y en cultivo intercalado con gramíneas como el maíz y otros cereales podría ser una alternativa en la producción de cultivos por la capacidad de las leguminosas de suplir N y de esta forma aumentar el rendimiento de estos.

5.3.2 Mineralización y nitrificación neta

Se evidenció diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los días de incubación sobre la mineralización de N, donde los valores se encontraron en la gama de -11 a 5 mg N kg^{-1} (Figura 13). Los valores negativos a los 22 y 42 días de incubación indican que hubo inmovilización. Si comparamos estos datos con los obtenidos para N inorgánico (Figura 12), se observa una relación, ya que se demuestra que la liberación de N entre los 22 y 42 días de incubación fue

lenta, aumentando después de los 42 días. Entonces se podría decir que el N no estaba disponible hasta luego de los 42 días de incubación. No se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) entre leguminosas ni interacción leguminosa y días de incubación.

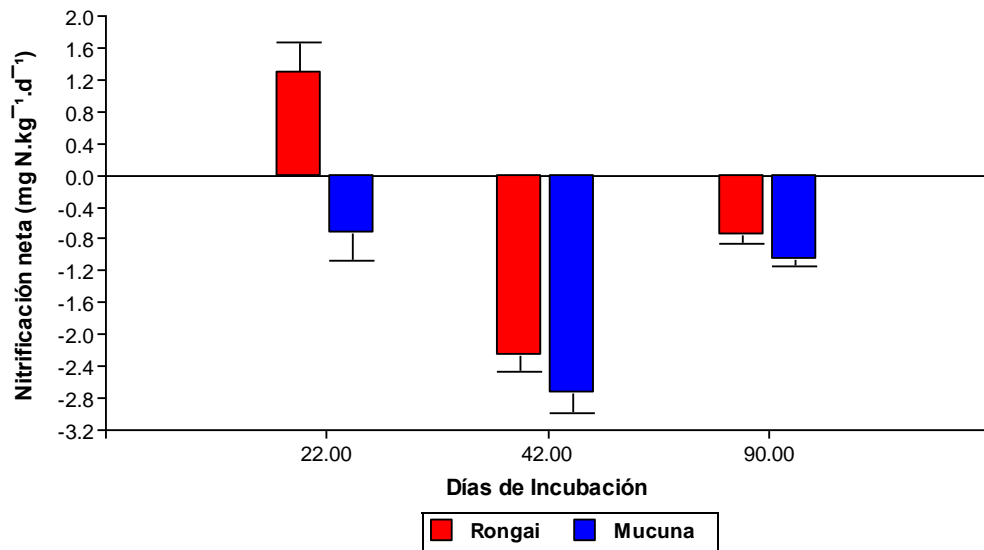
Figura 13. Valores promedio del efecto de los días de incubación sobre la mineralización neta de N. Líneas verticales en columnas indican el error estándar.



Sanclémente (2009) reportó que en parcelas donde se usó mucuna como abono verde, se presentó una reducción del nitrógeno mineralizable de 103 mg kg^{-1} de suelo. A la misma vez, encontró que cuando se utiliza la mucuna como cobertura muerta presenta inicialmente una tasa de mineralización del nitrógeno del 54% (30 mg kg^{-1}) mayor que el testigo. También se ha encontrado que suelos con alto contenido de arcillas pueden reducir la mineralización de N. Por lo tanto, esto podría ser una razón por la cual la mineralización no ocurrió hasta luego de los 90 días de incubación, pues los oxisoles, en este caso de la serie Coto, se consideran arcillosos.

Se encontró interacción ($p < 0.05$) leguminosa y días sobre la nitrificación neta, indicando que ambos factores actúan de manera dependiente uno del otro (Figura 13). La mayor nitrificación se obtuvo para 'rongai' a los 22 días de incubación. La nitrificación más baja se observó a los 42 y 90 días de incubación tanto para 'rongai' como para mucuna. El análisis de N mineral muestra que la mayor parte del N inorgánico estaba en forma de NH_4^+ - N (80%). Esto puede ser la causa de los valores negativos para los 42 y 90 días de incubación, ya que el proceso de nitrificación se ve influenciado por las altas concentraciones de NH_4^+ - N durante el proceso de mineralización.

Figura 14. Valores promedio del efecto de interacción entre leguminosa y días de incubación sobre la nitrificación neta. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar.



5.4 Conclusiones

Las leguminosas 'rongai' y mucuna pudieran ser una alternativa para la utilización como abono verde luego de los 90 días de la siembra. En zonas tropicales como Puerto Rico estas plantas podrían emplearse en suelos donde luego se van a sembrar cereales como maíz y sorgo pues los procesos de mineralización que ocurren durante esos 90 días podrían suplir las cantidades de N necesarias para aumentar los rendimientos de estos cultivos. Además, los datos sugieren que en suelos donde anteriormente hubo sistemas de pastoreo las cantidades de N son altas lo que sería un beneficio adicional para los cultivos sembrados en estos suelos.

Según estos estudios realizados se demuestra que mediante el proceso de descomposición de tejidos de estas leguminosas se podría mejorar la fertilidad del suelo. A través de la descomposición se están añadiendo nutrientes al suelo ya que siembras con estas leguminosas son capaces de suplir altas cantidades de N inorgánico. Además, tanto el 'rongai' como la mucuna pueden proveer altas cantidades de N mediante el proceso de mineralización.

6 Implicaciones

El presente estudio provee información útil acerca de los beneficios de las leguminosas en la fertilidad del suelo. Queda demostrado que tanto el 'rongai' como la mucuna pueden ser utilizadas como “mulch” ya que la descomposición de sus tejidos provee nutrientes al suelo. Esto podría causar una reducción en la utilización de fertilizantes sintéticos y por lo tanto la contaminación ambiental. Este estudio puede ser utilizado como herramienta para la agricultura sustentable donde se buscan prácticas para proteger el medio ambiente.

7 Recomendaciones

La información obtenida bajo este estudio comprueba que tanto 'rongai' como mucuna son leguminosas que se podrían utilizar en sistemas agrícolas para mejorar la calidad de suelos de la serie Oxisol.

Sin embargo, se recomienda:

- Determinar el contenido de nitrógeno, carbono, materia orgánica y lignina en tejidos de hojas de las leguminosas antes de llevar a cabo el estudio de descomposición para determinar las aportaciones de estas plantas al suelo luego de la descomposición.
- Realizar análisis de suelos antes y después de realizar experimentos de descomposición, de esta forma se podría evidenciar las aportaciones de estos tejidos durante el proceso de descomposición.
- Realizar experimentos de descomposición y mineralización en el mismo predio y de esta forma determinar la mineralización de N durante la descomposición de tejidos de leguminosas.
- Evaluar el potencial productivo de ambas leguminosas en otros agroecosistemas y suelos de Puerto Rico como por ejemplo el área sur, donde la precipitación anual es menor y las temperaturas son más calientes.

8 LITERATURA CITADA

Alves, B., J.R., Zotarelli, L., Ferreira, E., Oliveira, O.C., Boddey, R.M., and Urquiaga, S. Decomposition and release of N, P, and K of litter from grass and legume forage species either alone or mixed. Poster # 2210. Retrieved February 15, 2011 from: <http://natres.psu.ac.th/Link/SoilCongress/bdd/symp14/2210-t.pdf>.

Anthofer, J. and Kroschel, J. (2005). Above ground biomass, nutrients, and persistence of an early and a late maturing *Mucuna* variety in the Forest– Savannah Transitional Zone of Ghana. *Journal Agriculture Ecosystems and Environment*, 110: 59-77.

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%202-Organic%20Content.pdf>.

Baca, B.E., Soto, L., Pardo, P.A. y Ruiz P. (2000). Fijación Biológica de Nitrógeno. *Elementos: Ciencia y Cultura*, 7(38): 43-49.

Beinroth, F.H., Engel, R.J., Lugo, J.L., Santiago, C.L., Ríos, S., and Brannon, G.R. (2003). Updated Taxonomic Classification of the Soils of Puerto Rico. University of Puerto Rico, Mayaguez Campus, Agricultural Experiment Station San Juan, P.R. Bulletin 303. 20 pp.

Bowren, K.E., Biederbeck, V.O., Bjorge, H.A., Brandt, S.A., Goplen, B.P., Henry, J.L., Ukrainetz, H., Wright, T., and McLean, L.A. (1995). Soil Improvement with Legumes. Saskatchewan Agriculture and Food. 24 pp. Retrieved November 12, 2009 from www.agriculture.gov.sk.ca/Default.aspx?DN=4b50acd7-fb26-49a9-a31c-829f38598d7e

Carlo, A. S. (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.

Centeno, B.S. (2007). Características agronómicas y nutricionales de asociaciones de gramíneas y leguminosas tropicales. Tesis M.S., Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. 90 pp.

Cobo, J.G., Barrios, E., and 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.

Cobo, J.G., Barrios, E., Kass, D.C.L., and Thomas, R. (2002). Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. *Plant Soil*, 240: 331–342.

- Colbert, R.W. (2009). Composición Botánica y Química de Asociaciones de Sorgo Forrajero y Leguminosas Anuales. Tesis M.S. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. 76 pp.
- Flores, M. (1989). Velvetbeans: an alternative to improve small farmers' agriculture. ILEIA Newsletter 5: 8-9.
- Foss, T. (2002). The determination of nitrogen according to Kjeldahl using block digestion and steam distillation, Application Note, Höganäs, Sweden. 11 pp.
- Fosu, M., Kühne, R.F., and Vlek, P.L. (2007). Mineralization and microbial biomass dynamics during decomposition of four leguminous residues. *Journal of Biological Sciences*, 7(4): 632-637.
- Fox, R.H., Myers, R.J.K., and Vallis, I. (1990). The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen contents. *Plant Soil*, 129: 251-259.
- Frankenberger, W.T. and Abdelmagid, H.M. (1985). Kinetic parameters of nitrogen mineralization of leguminous crops incorporated into soils. *Plant Soil*, 87: 257-271.
- Giller, K.E., and Cadisch, G. (1995). Future benefits from biological nitrogen fixation: An ecological approach to agriculture. *Plant Soil*, 174: 255-277.
- Glasener, K.M. and Palm, C.A. (1995). Ammonia volatilization from tropical legume mulches and green manures and unlimed and limed soil. *Plant Soil*, 177: 33-44.
- Humphreys, L. R. (1991). Tropical pasture utilization. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 172 pp.
- Ibewiro, B., Sanginga, N., Vanlauwe, B., and Merckx, R. (2000). Nitrogen contribution from decomposing cover crop residues to maize in tropical derived savanna. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 57(2): 131-140.
- InfoStat (2008). InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Jiménez S., A. M., Farfán V., F.y Morales L., 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.

Junta de Planificación. (2006). Plan de uso de terrenos de Puerto Rico, perfil regional Región Oeste. Oficina del plan de uso de terrenos. Disponible en:http://www.jp.gobierno.pr/Portal_JP/Portals/0/PUTPR/Documentos/Regi%c3%b3n%20Oeste%20FINAL.pdf. [26 de julio, 2009].

Macharia, P.N., Gachene, C.K.K., Mureithi, J.G., and Kinyamario, J.I. (2011). The Effect of Introduced Forage Legumes on Improvement of Soil Fertility in Natural Pastures of Semi-Arid Rangelands of Kajiado District, Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14: 221- 227.

Mafongoya, P.L. and Nair P., K.R coteja estas iniciales. (1997). Multipurpose tree prunings as a source of nitrogen to maize under semiarid conditions in Zimbabwe. 1. Nitrogen recovery in relation to pruning quality and method of application. *Agroforestry Systems*, 35: 31-46.

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.J.K., Palm, C.A., Cuevas, E., Gunatilleke, I.U.N., and Brossard, M. (1994). The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: Wooster, P.L. and Swift, M.J. (Eds.) The biological management of tropical soil fertility. pp. 81-116, John Wiley and Sons.

Njunie, M.N., Reynolds, L., Mureithi, J.G., and Thorpe, W. (1996). Evaluation of herbaceous legume germplasm for coastal lowland East Africa. In: Ndikumana, J. and de Leeuw, P. (Eds.) Sustainable feed production and utilization for smallholder livestock enterprises in sub-Saharan Africa. Proceedings of the Second African Feed Resources Network (AFRNET). Harare, Zimbabwe. pp. 11-18.

Nymbati, E.M. (2002). Management and nutritive evaluation of *Mucuna pruriens* and *Lablab purpureus*-Maize intercrops in the sub-humid highlands of northwestern Kenya. Ph.D. Thesis, University of Florida, FL, USA. 219 pp.

Odhiambo, J.J.O. (2009). Nitrogen mineralization of green manure legume residues in different soil types. UC Davis: The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI. Retrieved January 23, 2011 from <http://escholarship.org/uc/item/1jr2m2h2>.

Oglesby, K.A. and Fownes, J.H. (1992). Effects of chemical composition on nitrogen mineralization from green manures of seven tropical leguminous trees. *Plant Soil*, 143: 127-132.

Osorio, V.E. (2004). Descomposición y liberación de nitrógeno de material foliar y radicular de siete especies de sombra en un sistema agroforestal con café. Tesis Ph.D., Universidad de Turrialba, Costa Rica. 89 pp.

- Palm, C.A. (1995). Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems*, 30: 105-124.
- Palm, C.A., Gachengo, C.N., Delve, R.J., Cadisch, G., and Giller, K.E. (2001) Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: Application of an organic resource database. *Agricultural Ecosystems and Environment*, 83: 27–42.
- Ríos, A.S. and Pitman, W.D. (2001). Tropical Forage Plants Development and Use. CRC press. LLC, Boca Ratón, Florida. pp. 219-251.
- Robertson, P.G., Wedin, D., Groffman, P.M., Blair, J.M., Holland, E.A., Nadelhoffer, K.J., and Harris, D. (1999). Soil Carbon and Nitrogen Availability. In: Robertson, P.G. (Ed.), *Standard Soil Methods for Long-Term Ecological Research*, pp. 259-271. Oxford University Press, NY, .
- Sarrantonio, M. 2007. Building soil fertility and tilth with cover crops. In: Clark, A. (Ed.), *Managing Cover Crops Profitably*, Sustainable Agriculture Network, pp. 16-24. Bestsville, MD, .
- Sancllemente, O.E. (2009). Efecto del cultivo de cobertura: *Mucuna pruriens*, en algunas propiedades físicas, químicas y biológicas en un suelo *Typic Haplustalfs*, cultivado con maíz (*Zea mays* L.) en zona de ladera del municipio de Palmira, Valle. Tesis Ph. D., Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 67 pp.
- SAS (1999). SAS/STAT User's Guide. (v. 8). SAS Inst. Inc., Cary, N. C U.S.A.
- Shankar, S.J. and Kumar, K.A. (2007). Variations in soil N-mineralization and nitrification in seasonally dry tropical forest and savanna ecosystems in Vindhyan region, India. *Tropical Ecology*, 48(1): 27-35.
- Shehu, Y., Alhassan, W.S., Pal, U.R., and Phillips C., C.J. (1999). The effects of intercropping *Lablab purpureus* L. with sorghum on yield and chemical composition of fodder. *Agronomy & Crop Science*, 183: 73-79.
- Skerman, P.J. (1991). Gramíneas tropicales. Colección FAO: *Producción y protección vegetal* 23: 1-730.
- Sparks, D.L. (Ed.) (2007). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical methods*, SSSA Book Ser. 5. ASA and SSA, Madison, WI. 1309 pp.
- Sullivan, P. (2003). Overview of cover crops and green manures. Retrieved September 7, 2009 from <http://attra.ncat.org/attra-pub/PDF/covercrop.pdf>.

Swift, M.J., Heal, W.O., and Anderson, J.M. (1979). *Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Studies in Ecology, Vol 5.* University of California Press, Berkeley, California, USA. 372 pp.

Thippayarugs, S., Toomsan, B., Vityakon, P., Limpinuntana, V., Patanothai, A., and Cadish, G. (2008). Interactions in decomposition and N mineralization between tropical legume residue components. *Agronomy Systems*, 72: 137-148.

Thönnissen, C., Midmore, D.J., Ladha, J.K., Olk, D.C., and Schmidhalter, U.(2000). Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agronomy Journal*, 92: 253-260.

Valenzuela, H. and Smith, J. (2002). Lablab. Sustainable Agriculture Green Manure Crops. Cooperative Extension Service, University of Hawaii, Manoa. 3 pp.

Wieder, R.K. and Lang, G.E. (1982). A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, 63: 1636-1642.

Wild, A. (1972). Mineralization of soil nitrogen at a savanna site in Nigeria. *Experimental Agronomy*, 8: 91-97.

Zwart, M.A., Rojo, J.M., de la Cruz, R. y Yeomans, J. (2005). Coberturas y la salud del suelo. *Tierra Tropical*, 1(1): 9-20.

9 APÉNDICES

Apéndice 1. Análisis de varianza efecto de época de siembra y leguminosas sobre el rendimiento en materia seca.

<i>Fuente de Variación</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>P- valor</i>
Época	2435479.59	1	2.28	0.1396
Tratamiento	10352265.48	1	9.86	0.0035
Época*Tratamiento	8085709.05	1	7.56	0.0091
Total		3		

Apéndice 2. Análisis de varianza efecto de época de siembra y leguminosas sobre la concentración de nitrógeno en materia seca.

<i>Fuente de Variación</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>P- valor</i>
Época	2.11260208	1	22.10	<0.0001
Tratamiento	0.51875208	1	5.34	0.0252
Época*Tratamiento	0.31201875	1	3.26	ns
Total		3		

Apéndice 3. Análisis de varianza efecto de entre época de siembra y leguminosas sobre el contenido de nitrógeno en tejido foliar

<i>Fuente de Variación</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>P- valor</i>
Época	1	8.67	0.0088
Tratamiento	1	39.60	<0.0001
Posición	1	153.86	<0.0001
Semana	5	9.53	<0.0001
Época *Tratamiento	1	4.68	0.0445
Época*Posición	1	113.40	<0.0001
Época*Semana	5	4.39	0.0010
Tratamiento*Posición	1	1.07	ns
Tratamiento*Semana	5	0.60	ns
Posición*Semana	5	2.39	0.0417
Total	26		

Apéndice 4. Análisis de varianza efecto de época de siembra y leguminosas sobre el porcentaje de materia orgánica en tejido foliar

<i>Fuente de Variación</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>P- valor</i>
Época	1	28.68	<0.0001
Tratamiento	1	50.28	<0.0001
Posición	1	182.87	<0.0001
Semana	5	13.70	<0.0001
Época *Tratamiento	1	0.22	ns
Época*Posición	1	105.24	<0.0001
Época*Semana	5	3.60	0.0049
Tratamiento*Posición	1	5.31	0.0229
Tratamiento*Semana	5	0.04	ns
Posición*Semana	5	1.42	ns
Total	26		

Apéndice 5. Análisis de varianza efecto de época de siembra y leguminosas sobre el porcentaje de carbono orgánico en tejido foliar

<i>Fuente de Variación</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>P- valor</i>
Época	1	28.67	<0.0001
Tratamiento	1	50.27	<0.0001
Posición	1	182.83	<0.0001
Semana	5	13.70	<0.0001
Época *Tratamiento	1	0.22	ns
Época*Posición	1	105.20	<0.0001
Época*Semana	5	3.63	0.0042
Tratamiento*Posición	1	5.30	0.0230
Tratamiento*Semana	5	0.04	ns
Posición*Semana	5	1.42	ns
Total	26		

Apéndice 6. Análisis de varianza efecto leguminosas y días de incubación sobre el contenido de nitrógeno inorgánico en el suelo

<i>Fuente de Variación</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>P- valor</i>
Tratamiento	8344.82	1	0.51	0.4762
Días	1383439.74	3	85.30	<0.0001
Tratamiento*Días	27976.92	3	1.73	ns
Total		7		

Apéndice 7. Análisis de varianza efecto leguminosas y días de incubación sobre la mineralización de nitrógeno.

<i>Fuente de Variación</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>P- valor</i>
Tratamiento	24.62	1	1.04	0.3139
Días	1020.82	2	43.08	<0.0001
Tratamiento*Días	62.96	2	2.66	ns
Total		5		

Apéndice 8. Análisis de varianza efecto leguminosas y días de incubación sobre la nitrificación.

<i>Fuente de Variación</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>P- valor</i>
Tratamiento	10.48	1	21.39	<0.0001
Días	31.17	2	63.61	<0.0001
Tratamiento*Días	3.60	2	7.34	0.0018
Total		5		