

**POTENCIAL PRODUCTIVO DE *CROTALARIA*
JUNCEA CV. TROPIC SUN EN AGROECOSISTEMAS
DE PUERTO RICO**

Por

Ana Diane Santos Vargas

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

MAESTRO EN CIENCIAS
en
Agronomía

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO DE MAYAGÜEZ
2010

Aprobado por:

Rafael Ramos Santana, M.S.
Miembro, Comité graduado

Fecha

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

Fecha

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

Fecha

Mónica Alfaro Lozano, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Hipolito O’Farrill, Ph.D.
Director de Departamento

Fecha

ABSTRACT

Sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) is a multipurpose legume of fast growth and high N₂ fixation ability, thus justifying its use on degraded soils in the tropic to improve their fertility. However, there is limited information about the time of planting as well as the date of harvest to maximize biomass production and nitrogen (N) accumulation in Puerto Rico. The objective of this study was to assess two planting dates of cv. Tropic Sun and three harvest dates effects on biomass and nitrogen accumulation in two agroecosystems of Puerto Rico. In the first experiment, Tropic Sun was seeded at 7 kg ha⁻¹ on a Mollisol (San Antón series) at the Agricultural Experimental Sub-station of Lajas, University of Puerto Rico. At 84, 121 and 177 days after planting (DAP), biomass was estimated for May and October planting dates. Although there was no significant harvest date effect, there was planting date effect on biomass production ($p < 0.05$). Sunn hemp produced 5,384 to 9,111 kg ha⁻¹ dry matter in a 84 to 121 days period when planted on May, surpassing the biomass produced when planting on October. Mean values for N accumulation were 123 to 127 kg N ha⁻¹ from 84 to 121 DAP for the first planting season. Significant differences were found ($p < 0.05$) in N concentration when upper and lower plant canopy was compared. Mean values were 2.12% and 1.00% for upper and lower canopy, respectively. Nitrogen content in upper and lower canopy was also expressed as crude protein (CP) percentage. Maximum values were obtained when harvesting the upper plant canopy (16.05% CP) when planting in May.

For the second experiment, Tropic Sun was seeded (10 kg ha⁻¹) on an Oxisol (Cotito series) at the Agricultural Sub-station of Isabela, University of Puerto Rico. At 71, 92 and 121 DAP, biomass was estimated for June and November planting dates. There was time of planting and harvest date effects ($p < 0.05$) on biomass production. Maximum biomass was

produced at the June planting at the 121-DAP harvest ($20,734 \text{ kg ha}^{-1}$) and was three times higher than the November planting ($6,062 \text{ kg ha}^{-1}$). When comparing date of harvest, biomass at 71-DAP in June exceeded the 71-DAP in the November harvest by $6,363 \text{ kg ha}^{-1}$. Because of the higher yield for the June planting, maximum N accumulation (471 kg ha^{-1}) was obtained at 121 DAP and was significantly different ($p < 0.05$) when compared to the 121 DAP harvest for the November planting (134 kg ha^{-1}). N concentration differed ($p < 0.05$) when canopy position was compared. Mean values were 2.67% and 0.64% for upper and lower canopy, respectively. There was a significant effect ($p < 0.05$) of canopy position, planting and harvest date on CP content. Maximum values were obtained when harvesting the upper plant canopy at 92 DAP for the November planting (19.00% CP), and was significantly higher when compared to lower canopy content during the same period (4.72%). In summary, Sunn hemp was more productive when planted in June. Although Sunn hemp has good protein content, further research on nutritional value can be helpful to determine its potential as a forage crop. Depending on the date of planting and harvest, various benefits can be obtained from this legume when included in short rotation sustainable production systems because of its good biomass production and N accumulation. The data suggested that when planted on summer, Sunn hemp has good potential as a cover crop and green manure in two agroecosystems of Puerto Rico.

RESUMEN

Sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) es una leguminosa multiusos de rápido crecimiento y buena habilidad para la fijación de N_2 , lo cual justifica su uso en suelos degradados del trópico para mejorar su fertilidad. Sin embargo, información sobre épocas de siembra y fechas de corte para maximizar la producción de biomasa y acumulación de nitrógeno (N) es muy limitada en Puerto Rico. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de dos épocas de siembra y tres fechas de corte en la producción de biomasa y acumulación de nitrógeno (N) del cv. Tropic Sun en dos agroecosistemas de Puerto Rico. El primer experimento se realizó en la Sub-estación Experimental Agrícola de Lajas de la Universidad de Puerto Rico. Sunn hemp se sembró en un Molisol (serie San Antón) a una densidad de 7 kg ha^{-1} . Se estimó la biomasa producida a los 84, 121 y 177 días después de la siembra (DDS) para las siembras realizadas en mayo y octubre. A diferencia de la fecha de corte, la época de siembra tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la producción de biomasa y la acumulación de N. Sunn hemp produjo de 5,384 a 9,111 kg ha^{-1} de biomasa en un periodo de 84 a 121 DDS cuando se sembró en mayo, sobrepasando a la producción de la siembra en octubre. Los promedios para acumulación de N fueron 123-127 kg N ha^{-1} en un periodo de 84 a 121 DDS en la primera época de siembra. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la concentración de N al comparar el dosel superior e inferior de la planta. Los promedios fueron 2.12% y 1.00% para el dosel superior e inferior, respectivamente. Al expresar el contenido de N como porcentaje de proteína bruta (PB), el valor máximo fue obtenido al cosechar el dosel superior (16.05% PB).

El segundo experimento se realizó en la Sub-estación Experimental Agrícola de Isabela, Universidad de Puerto Rico, donde Tropic Sun se sembró en un Oxisol (serie Cotito) a una

densidad de 10 kg ha⁻¹. Se estimó la biomasa producida a los 71, 92 y 121 DDS para siembras en junio y noviembre. Se encontraron efectos significativos ($p < 0.05$) de época de siembra y fecha de corte sobre la producción de biomasa. Al sembrar en junio y cosechar a los 121 DDS se obtuvo la producción máxima de biomasa (20,734 kg ha⁻¹) y fue tres veces mayor que la obtenida en la siembra de noviembre (6,062 kg ha⁻¹). Cuando se compararon las fechas de cosecha, la biomasa producida a los 71 DDS en la siembra de junio, excedió la de noviembre por 6,363 kg ha⁻¹. Debido a mayores rendimientos en la siembra de junio, la acumulación máxima de N (471 kg ha⁻¹) se obtuvo en la cosecha a los 121 DDS, siendo significativamente diferente ($p < 0.05$) en comparación con la de los 121 DDS en noviembre (134 kg ha⁻¹). Se encontraron diferencias ($p < 0.05$) entre las concentraciones de N al comparar la posición del dosel, con valores promedio de 2.67% y 0.64% para el dosel superior e inferior, respectivamente. Al expresar el contenido de N en PB, los valores máximos fueron obtenidos al cosechar el dosel superior de las plantas a los 92 DDS para la siembra de noviembre (19.00% PB), siendo diferente ($p < 0.05$) en comparación con el contenido del dosel inferior durante este mismo periodo (4.72%). En resumen, Sunn hemp fue más productiva al sembrar en junio. Aunque tiene buen contenido de proteína, investigaciones futuras sobre su valor nutritivo son necesarias para determinar su potencial como forraje. Dependiendo de la época de siembra y cosecha, esta leguminosa puede ofrecer múltiples beneficios al incluirse en rotaciones cortas dentro de sistemas de producción sustentables debido a su buena producción de biomasa y acumulación de N. Los datos sugieren que Sunn hemp, sembrado en verano, tiene buen potencial como cultivo de cobertura y abono verde en dos agroecosistemas de Puerto Rico.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por la salud y la fortaleza para completar estos años de estudio. Gracias a mis padres William Santos y Sonia Vargas por enseñarme el valor del esfuerzo y del trabajo. A mi hermano Jerson Santos y su esposa Glorimar Nuñez por su ayuda incondicional y por ser mi ejemplo de dedicación a la familia y de superación que se logra con trabajo honrado.

Al Dr. Elide Valencia Chin, por ser el presidente de mi comité y darme tantas oportunidades de aprendizaje durante el periodo de investigación. Al Profesor Rafael Ramos Santana y al Dr. Elvin Román Paoli por formar parte del comité y por sus aportaciones, críticas constructivas y palabras de apoyo. A la Dra. Linda Beaver y Dr. Raúl Macchiavelli, por su disponibilidad para aclarar mis dudas relacionadas a estadística. Al Dr. Ramón Torres, por sus palabras de apoyo y buenos consejos.

A mis compañeros de trabajo Jorge Olivares y Raphael Colbert, a los cuales siempre recuerdo aunque estén lejos. También a Víctor Asencio y Litza López por su esfuerzo y ayuda durante el arduo trabajo en el campo. A Luis Almodóvar, Don “Cuco” y todo el personal de la Estación Experimental de Isabela. Al Sr. Juan Pardo y el personal de la estación Experimental de Lajas por siempre estar en la mejor disposición para ayudar en las tareas del campo.

Al personal del Departamento de Cultivos y Ciencias Agroambientales: Evelyn Roselló, Gloria Aguilar, Floripe Cancel, Héctor Pino, Rocío Suárez, Jeannette y el Dr. Miguel A. Muñoz, quienes amablemente siempre estuvieron en la mejor disposición de ayudarme.

A la Sra. Norma Corchado y Priscila Casanova del Laboratorio Central en Rio Piedras, por ayudarme a realizar los análisis de suelo.

Al Sr. Pedro Márquez por su disposición y amabilidad al facilitarme los datos climatológicos de la Estación Experimental de Isabela.

A Jackeline Vega, Jéssica Torres, Jessica Chappel e Isabelle Giuliani por ofrecerme su amistad sincera y apoyo en todo momento durante estos años de estudio. A los compañeros de la Fraternidad de Honor Alpha Zeta: Abner, Luis y Sara, por siempre tomarme en consideración para sus actividades de servicio.

A Delvin Pérez (TARS) y Hector Sánchez (Laboratorio de Nutrición Animal UPRM) por ofrecerme su ayuda en el proceso Kjeldahl para el análisis de nitrógeno de las muestras.

A Walliot Joel Pietri, por su amor y ayuda incondicional, llenando estos años de motivación para seguir adelante.

A todos los que de una manera u otra pasaron por mi vida e hicieron de esta intensa jornada una experiencia que siempre llevaré en mi corazón. ¡Gracias!

Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado a mi familia, especialmente a mis padres Sonia Vargas y William Santos, quienes siempre me demostraron su amor y dedicación a pesar de la distancia. También a mi querido hermano Jerson Santos y su esposa Glorimar Nuñez por su apoyo incondicional durante mis años de estudio.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT	II
RESUMEN	IV
AGRADECIMIENTOS	VI
TABLA DE CONTENIDO	VIII
LISTA DE CUADROS.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS	4
3 REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1 IMPORTANCIA DE CULTIVOS DE COBERTURA	5
3.2 BENEFICIOS DE LEGUMINOSAS COMO CULTIVOS DE COBERTURA Y ABONOS VERDES	6
3.2.1 Aportaciones de materia orgánica al suelo	6
3.2.2 Aportaciones de nitrógeno de los cultivos de cobertura	8
3.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA, IMPORTANCIA Y USOS DE SUNN HEMP	12
3.3.1 Establecimiento y manejo de Sunn hemp.....	13
3.3.2 Aportaciones de nitrógeno de Sunn hemp	15
3.3.3 Sunn Hemp como supresora de malezas.....	17
3.3.4 Sunn Hemp como supresora de nemátodos	18
3.4 COMPONENTES TÓXICOS EN CROTALARIA JUNCEA.....	19
3.5 CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVAR “TROPIC SUN”	21
4 EXPERIMENTO 1.....	23
4.1 MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
4.1.1 Localización del experimento	23
4.1.2 Diseño experimental y establecimiento de Sunn hemp	24
4.1.3 Recolección de muestras.....	25
4.1.4 Análisis estadístico de los datos	26
4.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.3 CONCLUSIONES.....	41
5 EXPERIMENTO 2	43
5.1 MATERIALES Y MÉTODOS	43
5.1.1 Localización del experimento	43
5.1.2 Establecimiento del cultivo y diseño experimental.....	43
5.1.3 Recolección de muestras.....	44
5.1.4 Análisis estadístico de los datos	46
5.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
5.3 CONCLUSIONES	63
6 RECOMENDACIONES	65
7 LITERATURA CITADA.....	66
8 APÉNDICE	72

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1. Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre la concentración de N (%) en el tejido de Sunn hemp, Lajas, P.R, 2008-2009.....	35
Cuadro 2. Efecto de interacción de época de siembra y posición del dosel sobre el contenido de proteína bruta de Sunn hemp, Lajas, P.R., 2008-2009.....	40
Cuadro 3. Efecto de interacción de fecha de corte y posición del dosel sobre el contenido de proteína bruta de Sunn hemp, Lajas, P.R., 2008-2009.....	41
Cuadro 4. Temperatura promedio mensual (°C) de los últimos 20 años y la temperatura promedio mensual durante la duración del experimento en los años 2009 y 2010, Estación Experimental de Isabela.....	49
Cuadro 5. Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre el porcentaje de nitrógeno en el tejido de Sunn hemp, Isabela, P.R., 2009-2010.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Precipitación promedio mensual (mm) de los últimos 10 años y la precipitación promedio mensual durante la duración del experimento en el año 2008 y 2009, Estación Experimental de Lajas.....	31
Figura 2. Efecto de época de siembra y fecha de corte en el rendimiento de materia seca de Sunn hemp, Lajas, P.R, 2008-2009.....	32
Figura 3. Efecto de época de siembra sobre el crecimiento de Sunn hemp en función de las semana en la región de Lajas, P.R, 2008-2009.....	33
Figura 4. Efecto de época de siembra y fecha de corte en la acumulación de nitrógeno de Sunn hemp, Lajas, P.R, 2008-2009.	36
Figura 5. Efecto de interacción entre época de siembra y posición del dosel sobre el porcentaje de N en tejido de Sun hemp, Lajas, P.R., 2008-2009.....	38
Figura 6. Efecto de interacción entre fecha de corte y posición del dosel sobre el porcentaje de N en tejido de Sun hemp, Lajas, P.R., 2008-2009.....	39
Figura 7. Precipitación promedio mensual (mm) de los últimos 20 años y la precipitación promedio mensual durante la duración del experimento en los años 2009 y 2010, Estación Experimental de Isabela.....	50
Figura 8. Efecto de época de siembra y fecha de corte en el rendimiento de materia seca de Sunn hemp, Isabela, P.R, 2009-2010.....	52
Figura 9. Efecto de época de siembra sobre el crecimiento de Sunn hemp en función de las semanas, Isabela, P.R, 2009-2010.....	52
Figura 10. Efecto de fecha de corte y época de siembra sobre la acumulación de nitrógeno de Sunn hemp, Isabela, P.R 2009-2010.....	57
Figura 11. Efecto de interacción entre fecha de corte y posición del dosel sobre el porcentaje de N de Sunn hemp para la época de siembra en junio, Isabela, 2009-2010.....	60
Figura 12. Efecto de interacción entre fecha de corte y posición del dosel sobre el porcentaje de N de Sunn hemp para la época de siembra en noviembre, Isabela, 2009-2010.....	60

Figura 13. Efecto de interacción entre fecha de corte y posición del dosel sobre el porcentaje de proteína bruta de Sunn hemp para la época de siembra en noviembre, Isabela, P.R., 2009-2010.....	61
Figura 14. Efecto de interacción entre fecha de corte y posición del dosel sobre el porcentaje de proteína bruta de Sunn hemp para la época de siembra en noviembre, Isabela,P.R., 2009-2010.....	62

1 INTRODUCCIÓN

En Puerto Rico, al igual que en otras regiones tropicales del mundo, los agricultores se enfrentan a problemas que afectan adversamente las metas de producción dentro de los diversos sectores agrícolas. La industria ganadera enfrenta los elevados costos del alimento importado para suplir los requerimientos nutricionales de los rumiantes, mientras que los productores de forraje luchan por subsistir ante el aumento en el precio de los fertilizantes necesarios para lograr rendimientos óptimos. Estas realidades a las cuales se enfrenta el sector agrícola, incluyendo también la problemática de la contaminación ambiental, han justificado la búsqueda de nuevas alternativas de prácticas de manejo que también disminuyan problemas de erosión, degradación del suelo, malezas y plagas que limitan la producción de cultivos de calidad.

En años recientes, la importancia de la investigación relacionada al uso de cultivos de cobertura ha aumentando debido a los esfuerzos por mejorar la estructura del suelo y disminuir el constante uso de productos químicos. Las consideraciones económicas y ambientales han revivido el interés en estas prácticas de mejorar la productividad de cultivos y la salud del suelo manteniendo la sustentabilidad de los agroecosistemas (Fageria et al., 2005). Los cultivos de cobertura pueden proveer numerosos beneficios relacionados con mejoras a la fertilidad del suelo, estructura, retención de agua, calidad de las aguas subterráneas, reducción de erosión y mejoras al manejo de plagas (Fageria et al., 2005). También tienen la habilidad para suprimir de malezas y proveen un hábitat para insectos beneficiosos (Schomberg et al., 2007). Además de mejorar los niveles de materia orgánica en el suelo, los cultivos de cobertura de leguminosas son especialmente beneficiosos pues tienen

habilidad natural para establecer relaciones simbióticas con bacterias que permiten la fijación del nitrógeno atmosférico haciéndolo disponible para la utilización de las plantas. Esto permite mejorar el suelo cuando los insumos de N inorgánico son limitados (Schomberg et al., 2007).

En el trópico, la leguminosa *Crotalaria juncea* L. (“Sunn hemp”), ha sido utilizada extensivamente para el mejoramiento de suelos o como abono verde (Mansoor y Reeves, 1997). Además de sus aportaciones de N y biomasa, se caracteriza por ser supresora de nemátodos y malezas. Según Cook y White (1996), la mayoría de la producción de Sunn hemp está localizada en India, Bangladesh y Brasil donde se cultiva para forraje, abono verde y la fibra es utilizada para la manufactura de papel. En América del Norte, su producción se limita a Hawaii y a estados del Sur como Texas, Florida y Arkansas (Treadwell y Alligood, 2008). Contrario a otras especies dentro del género *Crotalaria*, el cultivar Tropic Sun, liberado en 1983, no representa peligro de toxicidad para los animales. Según Robert Joy (2003), Tropic Sun figura como uno de los cultivos prometedores de cobertura y abono verde. A pesar de los numerosos beneficios que pudieran obtenerse de esta leguminosa, el elevado costo y la dificultad para la producción semilla a gran escala, ha impedido su popularidad en regiones del occidente y disminuido su incorporación en sistemas de manejo.

Es necesaria la identificación de los cultivares apropiados de Sunn hemp para servir como cultivos de cobertura que sean capaces de producir la cantidad de biomasa suficiente para cubrir la superficie del suelo y a la vez provean beneficios adicionales que ayuden a mejorar el rendimiento de los cultivos posteriores (Baligar y Fageria, 2007). La producción de biomasa, composición química y acumulación de N varían grandemente dependiendo de

la especie o cultivar, etapa de crecimiento, manejo del cultivo, al igual que condiciones edáficas y ambientales (Mansoer y Reeves, 1997).

En Puerto Rico, los estudios que demuestren el potencial productivo y valor nutritivo del cv. Tropic Sun son limitados y por tal razón es importante la investigación de su desempeño en distintos ecosistemas. Su utilización sería también de beneficio a suelos deteriorados (Ej. Oxisoles), con probabilidad de aumentar el rendimiento de los cultivos posteriores y así reducir el uso de fertilizantes inorgánicos. Las estrategias efectivas de manejo pudieran facilitar su incorporación como cultivo de cobertura en sistemas agrícolas sustentables. Se necesita información sobre fechas óptimas de siembra y corte al igual que datos sobre la acumulación de nitrógeno, pues esta es relativamente desconocida en Puerto Rico.

Se realizaron estudios en el 2008 y 2009 en dos tipos de suelo (Molisol y Oxisol) de Puerto Rico para evaluar el efecto de épocas de siembra y fechas de corte de Tropic Sun sobre producción de biomasa, acumulación de nitrógeno y PB.

2 OBJETIVOS

- 1- Determinar la influencia de dos épocas de siembra (mayo y octubre de 2008) y tres fechas de corte (84, 121 y 177 días después de siembra) de Tropic Sun sobre su acumulación de biomasa y nitrógeno en un Molisol de la región de Lajas, P.R.

- 2- Determinar los efectos de dos épocas de siembra (junio y noviembre de 2009) y tres fechas de corte (71, 92 y 121 días después de siembra) de Tropic Sun sobre la acumulación de biomasa y nitrógeno en un Oxisol de la región de Isabela, P.R.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Importancia de cultivos de cobertura

Los cultivos de cobertura son leguminosas, gramíneas o una mezcla apropiada de éstas las cuales se utilizan específicamente para proteger el suelo contra la erosión; mejoran la estructura del suelo; favorecen la fertilidad y suprimen plagas, incluyendo malezas, insectos y patógenos. Regularmente, los cultivos de cobertura no se cosechan, sino que se utilizan para cubrir intervalos de tiempo o espacio en los que los cultivos destinados para la venta o “cash crops” dejan el suelo al descubierto (Altieri, 1995). Los cultivos de cobertura no se siembran con propósitos comerciales, pero cuando se cortan y se incorporan al suelo se les conoce como abonos verdes (Fageria et al., 2005). Las principales características deseadas de un cultivo de cobertura son: bajo costo de las semillas, sistemas radiculares profundos que mejoren la estructura del suelo, hábitos de crecimiento agresivo que supriman malezas, ciclos de crecimiento corto con buen rendimiento de materia seca y resistencia a plagas (Baligar y Fageria, 2007). Adicional a las anteriores, estos autores también manifiestan que un buen cultivo de cobertura debe tener una alta capacidad de fijación de nitrógeno y no liberar aleloquímicos que afecten al cultivo principal.

Estudios realizados por el USDA (2007) han demostrado que entre los beneficios que ofrecen los cultivos de cobertura se encuentran significantes aportaciones de nitrógeno (lo que pudiera reducir el uso de fertilizantes inorgánicos), mejoras al rendimiento de cultivos posteriores a través de mejoras a la salud del suelo y disminución de la necesidad del uso constante de herbicidas y otros pesticidas. Entre otros beneficios mencionados se incluyen la

conservación de la humedad del suelo y protección de la calidad del agua a la misma vez que la disminución de los riesgos de contaminación al ambiente. Los cultivos de cobertura también previenen la erosión del suelo pues esparcen y retrasan el movimiento del agua en la superficie, reduciendo la escorrentía mientras que se mantiene el suelo en su lugar a través del sistema de raíces (Altieri, 1995).

Una vez que se decide incorporar cultivos de cobertura a un sistema agrícola, es necesario tener claro el propósito para su uso, es decir, el beneficio que mayormente se desea obtener del cultivo como por ejemplo: añadir materia orgánica al suelo, aportar nitrógeno, prevenir o reducir erosión, manejo de plagas, mejorar la disponibilidad de nutrientes o la estructura del suelo. Para seleccionar el cultivo de cobertura correcto, también es necesario analizar los factores que pudieran afectar su desempeño tales como época de siembra, condiciones climáticas y condiciones del suelo, pues no solamente los factores genéticos son los que determinarán las respuestas productivas del cultivo.

El uso de cultivos de cobertura como abonos verdes podría ser una alternativa económica viable que promueva el uso eficiente de los recursos disponibles en o cerca de una finca a la misma vez que disminuye la dependencia a recursos externos que no son renovables como productos químicos y combustibles cuyo uso prolongado pudiera ser dañino para el ambiente.

3.2 Beneficios de las leguminosas como cultivos de cobertura y abonos verdes

3.2.1 Aportaciones de materia orgánica al suelo

La descomposición de los residuos de los cultivos de cobertura aporta materia orgánica, la cual indiscutiblemente juega un papel importante para mejorar la fertilidad y estructura del

suelo. La utilización de leguminosas como cultivos de cobertura y abonos verdes pudiera ser el componente de sustentabilidad en ambientes de altas temperaturas y precipitación abundante donde hay suelos con poca materia orgánica y pobre capacidad de retención de agua y nutrientes (Cherr et al., 2006).

Según información del USDA NRCS (1996) donde se presenta a la materia orgánica como indicador de la calidad del suelo, las plantas producen compuestos orgánicos utilizando la energía solar para combinar dióxido de carbono de la atmósfera con el agua del suelo. La materia orgánica es producto de los ciclos de estos compuestos orgánicos en plantas, animales y microorganismos en el suelo. Además de favorecer el crecimiento de cultivos mejorando la habilidad del suelo para retener y transmitir agua y aire, la materia orgánica almacena y suple nutrientes como nitrógeno, fósforo y azufre (necesarios para el crecimiento de las plantas y los organismos del suelo).

También se ha demostrado que añadir materia orgánica al suelo utilizando cultivos de cobertura favorece la vida microbiana, siendo un componente esencial del suelo pues provee fuente de carbono y energía para los microorganismos. A medida que los residuos de los cultivos de cobertura son utilizados por los organismos del suelo, liberan compuestos que funcionan como agentes cementantes y mantienen las pequeñas partículas del suelo unidas. Éstas se conocen como agregados, los cuales facilitan la infiltración y retención de agua evitando la compactación, la cual afecta el crecimiento de las plantas (USDA NRCS, 1996).

Las adiciones de biomasa también tienen influencia sobre las propiedades químicas del suelo como el pH y la capacidad de intercambio catiónico. La materia orgánica tiene influencia en el ciclo y disponibilidad de nutrientes debido a que cuando se descompone,

libera nutrientes disponibles para las plantas. Adicional a las anteriores, la materia orgánica puede adherirse y detoxificar cationes tóxicos como aluminio y manganeso (Fageria et al., 2005). Estudios en regiones tropicales han documentado los múltiples beneficios del uso de los residuos de cultivos de cobertura de leguminosas, ya sea conservándolos en la superficie o incorporándolos al suelo. En la región de la costa este de Kenya en África, la poca fertilidad del suelo es limitante para una buena producción de alimentos, y con la ayuda de las recomendaciones de estudios relacionados, los agricultores de esta región han optado por alternativas a los costosos fertilizantes, como el uso de cultivos de cobertura como abonos verdes. Un estudio realizado por Njunie et al. (2004), muestra cómo la descomposición y liberación de nutrientes del follaje de las leguminosas clitoria (*Clitoria ternatea* L.) y dolichos (*Lablab purpureus* L.) son factores por los cuales estas se presentan como fuentes potenciales de nutrientes como N, P, K y Mg al intercalarse con cultivos como el maíz (*Zea mays* L.) y yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Entre los resultados, se encontró que K es el nutriente que primeramente está disponible, siendo N el que tarda más en liberarse, sin embargo, se encontraron variaciones entre la tasa de liberación de P y Mg. Las comparaciones anteriores fueron realizadas en función al momento de corte de ambas leguminosas y cuatro sistemas de cultivo diferentes.

3.2.2 Aportaciones de nitrógeno de los cultivos de cobertura

El nitrógeno es el elemento más limitante para el crecimiento de las plantas, y su aplicación representa el mayor costo en muchos de los cultivos. De acuerdo con información de la EPA, en el año 1996, el total de fertilizantes nitrogenados consumido en Estados Unidos (incluyendo a Puerto Rico) fue de aproximadamente 23.4 Mt y se ha observado una

tendencia al aumento de 1-2% en el consumo anual (Frink et al., 1999). Debido a que el proceso que sintetiza los fertilizantes nitrogenados utiliza combustibles fósiles como fuente de energía, el aumento en el precio de petróleo a la misma vez ha ocasionado que aumenten los costos de los fertilizantes nitrogenados a precio récord (Triplett et al., 2007). Además, el uso excesivo de fertilizantes sintéticos tiene impactos negativos en la calidad ambiental pues está relacionado con la emisión de gases de invernadero, contaminación de aguas subterráneas, zonas de eutroficación en cuerpos de agua y disminución en la producción agrícola (USDA NAL, 1999).

Históricamente, el uso de leguminosas como cultivos para conservación y mejoramiento de suelos ha sido parte integral de las estrategias de rotación de cultivos. La importancia de las leguminosas es reconocida mundialmente no solamente por ser esenciales para la alimentación humana, también por sus múltiples beneficios al incorporarse como cultivos que aporten al manejo de nutrientes en sistemas agrícolas. El beneficio principal que ofrecen los cultivos de cobertura de leguminosas al utilizarse como abonos verdes, es la contribución de N al suelo a través de la fijación de N_2 .

El nitrógeno que se encuentra en la atmósfera no puede ser utilizado directamente por los sistemas biológicos y sin embargo es necesario para la síntesis de los componentes químicos necesarios para el crecimiento como lo son las proteínas y los ácidos nucleicos, que son la base para la vida (Hubbell y Kidder, 1978). Este es el elemento más limitante para el crecimiento de las plantas. Antes de que el nitrógeno sea incorporado para su uso, la molécula N_2 debe ser combinada con hidrógeno y este proceso de reducción de N_2 es conocido como fijación de nitrógeno (Hubbell y Kidder, 1978). La contribución mayor del

nitrógeno fijado biológicamente proviene de la asociación simbiótica de ciertos microorganismos a raíces de plantas que mayormente son leguminosas con un alto grado de especificidad de huésped (Hubbell y Kidder, 1978). Las leguminosas tienen la habilidad de convertir el nitrógeno atmosférico en nitrógeno que en el suelo, puede ser utilizado por las plantas. Un ejemplo de fijación es la formación de pequeños nódulos en las raíces infectadas por la bacteria *Rhizobium spp.*, que fija cantidades significantes de N. El nitrógeno fijado es inmediatamente translocado hacia los tallos y las hojas para la producción de proteínas, clorofila y otros compuestos que contengan N, por lo tanto, el N fijado no estará disponible para el cultivo posterior hasta la descomposición de la leguminosa (USDA, 2007). La descomposición y liberación subsecuente de N dependerá mayormente de la calidad y cantidad de los residuos, humedad y temperatura del suelo y factores específicos como textura, mineralogía, acidez, actividad biológica y la presencia de otros nutrientes (Thönnissen et al., 2000).

El beneficio económico que ofrecen las aportaciones de N de las leguminosas sería una de las principales razones para justificar su uso como cultivos de cobertura ya que las leguminosas típicamente contienen altas cantidades de N y usualmente pueden proveer la cantidad requerida que normalmente es aplicada como fertilizantes químicos para la producción de cultivos (Thiessen-Martens et al., 2005). A diferencia de los fertilizantes nitrogenados sintéticos, las leguminosas utilizadas como abonos verdes representan un potencial recurso renovable interno de N fijado biológicamente, y también pudieran fijar y añadir grandes cantidades de C a los sistemas de cultivos (Cherr et al., 2006). Para que los abonos verdes sean considerados efectivos como fuente de N, estos deben suplir suficiente N

y su liberación debe estar sincronizada con las demandas del cultivo posterior. La tasa de descomposición de los residuos y la liberación de nutrientes, específicamente de N, dependerá de parámetros de calidad como la proporción C:N de los residuos orgánicos, contenido y calidad de polifenoles, contenido de lignina, proporción (lignina + polifenol)/N o una fracción activa de los polifenoles (Urquiaga et al., 1998). Generalmente la descomposición ocurrirá más rápidamente en residuos con bajas proporciones C:N y lignina:N y bajas concentraciones de polifenoles, comunes mayormente en hojas y flores de leguminosas (Cherr et al., 2006).

Los cultivos que crecen en terrenos que anteriormente estaban ocupados por leguminosas, pueden utilizar por lo menos de 30 a 60% del N que la leguminosa produjo, y por lo tanto, pudieran reducirse las aplicaciones de fertilizantes (USDA, 2007). Esta fuente también aclara que para que ocurra una fijación efectiva, se debe escoger el inoculante correcto para la leguminosa que se utiliza. Esta unión resultará en un alto potencial de fijación, el cual también dependerá del contenido de elementos en el suelo como el molibdeno, hierro, potasio, azufre y zinc al igual que de una buena aireación y pH adecuado (no por debajo de 5).

La implementación de buenas técnicas de manipulación entre las asociaciones de leguminosas y bacterias fijadoras de N, y la coordinación entre el momento de máxima liberación de N por la leguminosa y el momento de mayor demanda del cultivo posterior, podrán obtenerse beneficios para lograr el propósito final de mejorar el rendimiento de un cultivo y la reducción de las aplicaciones de fertilizantes químicos.

3.3 Descripción botánica, importancia y usos de Sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.)

Sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) es oriunda de la India y Pakistán (Valenzuela y Smith, 2002) y pertenece a la familia de las leguminosas (Fabaceae). Es la especie de mayor importancia económica dentro del género *Crotalaria*, que consiste de aproximadamente 550 especies (Morris y Kays, 2005). Su cultivo es popular en África, Suramérica, China, India e Indonesia (Treadwell y Alligood, 2008). Es una planta sensitiva al fotoperiodo y debido a irregularidades en el comienzo de la etapa de floración, la producción de semillas ha sido un reto en América del Norte, por tanto, las fuentes principales de semillas para Estados Unidos provienen de Hawaii y América del Sur (Cook y White 1996). Entre sus usos principales se encuentra proveer nitrógeno fijado biológicamente para cultivos posteriores, suprimir nemátodos y malezas al igual que añadir materia orgánica al suelo. En el trópico, Sunn hemp ha sido utilizada extensamente como mejoradora del suelo y abono verde por su habilidad para producir grandes cantidades de biomasa en tan poco como en un periodo de 60 a 90 días (Joy y Peterson, 2005). Actualmente se utiliza extensivamente como abono verde en China, Indonesia, Zimbabwe, Taiwan, Tailandia y Malasia (Wang et al., 2002). En algunas partes del mundo también es utilizada como forraje, recomendándose el heno como excelente suplemento alimenticio para ganado en comparación con el follaje fresco, que se ha caracterizado por ser poco palatable (Chaudrey et al., 1978). Además, es el cultivo para fibra más importante en India (Wang et al., 2002) y es ampliamente conocido por su uso en la manufactura de textiles, sogas, sacos, redes de pescar y papel (Cook y White, 1996), también se distingue por su resistencia a la humedad, salinidad y hongos (Chan, 2010).

Sunn hemp es una planta tropical/subtropical erecta de crecimiento rápido, ramificada, con hojas alargadas de color verde intenso y mayormente de días cortos. Esta leguminosa posee un sistema radicular grueso, fuerte y bien desarrollado. Tiene racimos (hasta 25 cm de largo) de flores amarillas regularmente perteneciente al suborden Faboideae (Papilionaceae). Las vainas son pequeñas (aproximadamente 2.5 cm de largo y 0.5 de ancho), velludas e infladas que contienen de 10 a 15 semillas pequeñas y planas de color grisáceo a negro (Treadwell y Alligood, 2008), (Morris y Kays, 2005). De acuerdo con la región donde se siembre, los días de inflorescencia pueden variar de entre 30-35 días hasta 60-70 días. Dependiendo del clima, las semillas emergen alrededor de 3 a 7 días luego de la siembra y crecen rápidamente, la germinación es favorecida por suelos húmedos, pero no en condiciones donde el suelo esté saturado (Treadwell y Alligood, 2008). Sunn hemp crece a temperaturas anuales que pudieran variar entre 10 y 30 °C y durante la época de crecimiento requiere un mínimo de 400 mm de lluvia distribuidos en no menos 50 días lluviosos (Baligar et al., 2007). Esta leguminosa se adapta a una amplia variedad de ambientes y tipos de suelo, puede tolerar sequías y hasta crecer en suelos de baja fertilidad (Mosjidis, 2007). Aunque puede cultivarse en una amplia variedad de suelos, esta especie preferiblemente crece en suelos franco-arenosos o con textura limosa y puede crecer a pH de 5.0 hasta 8.4 (Baligar y Fageria, 2007). Bajo condiciones favorables, esta planta puede crecer hasta llegar a una altura de 6 pies en 90 días (Rotar y Joy, 1983).

3.3.1 Establecimiento y manejo de Sunn hemp

En Puerto Rico se recomienda el establecimiento de Sunn hemp en bancos sin malezas a densidades de 45-67 kg ha⁻¹ ó 34-56 kg ha⁻¹ a una profundidad de 1.25 a 2.5 cm, en hileras

(Brunner et al., 2009). Si el propósito es incorporar el cultivo entre 30 a 45 días después de siembra o se espera competencia severa por malezas, se recomienda utilizar densidades de siembra mayores. Sin embargo, las densidades recomendadas varían de 3-5 kg ha⁻¹ en Hawaii (Rotar y Joy, 1983) a 17-22 kg ha⁻¹ en Sur África (Cook y White, 1996). Las fechas típicas de siembra regularmente son entre junio y julio. Sunn hemp no se establece correctamente si hay fuertes lluvias en las primeras semanas luego de la siembra. Es necesario tener en cuenta que los días largos favorecen el crecimiento vegetativo que es deseado para cultivos de cobertura y los días cortos favorecerán la producción de semillas (Tradwell y Alligood, 2008). Se recomienda cortar el cultivo durante la etapa de floración (aproximadamente 60 días después de siembra) (Valenzuela y Smith 2002) (Brunner et al., 2009). Luego de los 90 días después de la siembra, los tallos se tornan muy leñosos y se requiere una podadora rotativa para cortarlos y luego una máquina de discos para incorporar el material al suelo y favorecer la descomposición. Por ejemplo, para la rotación de Sunn hemp con hortalizas y obtener ventaja del nitrógeno presente en la biomasa, la plantas deben ser incorporadas al suelo a los 60 días luego de la plantación del cultivo de hortalizas para asegurar suficiente descomposición que supla nitrógeno al cultivo siguiente (Li et al., 2000). En caso de la producción de semillas como propósito, éstas estarán listas para la cosecha una vez las vainas estén secas y cambien de color verde a marrón. Si se almacenan adecuadamente a temperaturas bajas, pudieran mantenerse viables por años (Li et al., 2000). Según Joy y Peterson, (2005), dependiendo de las prácticas de manejo y las condiciones ambientales, el rendimiento de las semillas puede variar de 561 a 2,470 kg ha⁻¹. En un artículo sobre producción sustentable, Goldstein et al. (2010), recomiendan equipo especial modificado

para hacer más eficiente la cosecha de semillas de Sunn hemp utilizando una cosechadora mecánica. Aunque el *Rhizobium* que nodula a Sunn hemp está presente en la mayoría de los suelos (Wangs et al., 2002), también se indica que en suelos donde nunca se ha sembrado es recomendable tratar las semillas con un inoculante de *Rhizobium* para hacer posible la simbiosis de la planta y evitar tener que inocular las semillas por varios años (Joy y Peterson, 2005).

3.3.2 Aportaciones de nitrógeno de Sunn hemp

Debido a su habilidad para la fijación de altas cantidades de N, estudios revelan un alto potencial de Sunn hemp como cultivo de cobertura y abono verde. El contenido de N en el tejido es mayor (aproximadamente 4%) en la iniciación hasta mediados de la florecida, y decrece a medida que las reservas de nitrógeno se destinan a la producción de semillas. Las hojas y flores componen el 50% del N total durante la temporada de producción y 50-60% de la biomasa durante las primeras 4 a 6 semanas (Treadwell y Alligood, 2008). En un estudio realizado en el sur de Florida, Sunn hemp sobrepasó a otras especies de cobertura de leguminosas en la acumulación de N. Cuando se cortó a los 120 días después de siembra y se incorporó al suelo, Sunn hemp tuvo un contenido total de N de 277-357 kg ha⁻¹ comparado con los otros cultivos de cobertura como *Mucuna deeringiana* o “velvetbean” (173-286 kg ha⁻¹) y *Vigna unguiculata* o “cowpea” (75-244 kg ha⁻¹) (Treadwell y Alligood, 2008). También, además de su buena contribución de N, Sunn hemp mejora la capacidad de retención de agua del suelo, y reduce la erosión en comparación con los campos dejados sin cobertura de plantas.

Otros estudios realizado por Balkom y Reeves (2005) en Alabama, mostraron similitudes entre rendimiento de granos de maíz en siembras posteriores a parcelas anteriormente ocupadas por Sunn hemp y el contenido de N en granos de parcelas donde se aplicaron diferentes dosis de N. El rendimiento de granos de maíz fue 85% mayor en siembras posteriores a Sunn hemp que en parcelas dejadas inactivas durante el invierno. Se estimó que sembrado en agosto, esta leguminosa produjo el N equivalente a 58 kg ha^{-1} de fertilizante nitrogenado en un periodo de 3 años, esto basado en el rendimiento de maíz y la respuesta de N. Estos resultados sustentan los beneficios del uso de Sunn hemp, concluyendo que puede ser utilizada como alternativa a las leguminosas de invierno pues tiene potencial para ofrecer cobertura al suelo y aportar N para cultivos posteriores de cereales.

En la República de Zambia localizada en África, encuestas diagnósticas y discusiones con agricultores de pequeña escala realizadas por instituciones dedicadas a la investigación (Farming Systems Research Team, 2001) en la Provincia de Luapula, revelaron que el principal problema para la subsistencia de estos agricultores era la carencia de disponibilidad de los fertilizantes nitrogenados y variedades de maíz a precios accesibles para su producción. A partir de estos problemas comenzaron las investigaciones con relación al mejoramiento de la producción de maíz. Se evaluaron opciones para incorporar leguminosas como abono verde con la intención de suplir el nitrógeno necesario y desarrollar alternativas para que los mismos agricultores pudieran multiplicar las variedades de calidad y evitar los gastos anuales para la compra de éstas. Estas intenciones fueron la base para un estudio realizado por Steinmaier y Ngoliya (2001), donde se compararon dos cultivares de Sunn hemp (cv. Marejea y NIRS 3) con otras leguminosas anuales y perennes. Estas leguminosas se

evaluaron en términos de biomasa producida, interacciones con niveles de fertilizante mineral, sus concentraciones de N, P, K y C para determinar su potencial como abono verde para cultivos de maíz. Entre los resultados se encontró que de las leguminosas anuales, Sunn hemp (*Crotalaria juncea* cv. NIRS 3) junto con mucuna (*Mucuna pruriens* cv. NIRS 16) mostraron un mayor potencial como abono verde al nivel 0 de fertilización mineral y que junto al cultivar Marejea, Sunn hemp NIRS 3 tuvo mayor contenido de N, P y K en su biomasa en comparación con el resto de las leguminosas.

3.3.3 Sunn hemp como supresora de malezas

El manejo correcto de las poblaciones de Sunn hemp es clave debido a que puede tornarse invasiva en ciertas regiones hasta el punto de amenazar el hábitat del resto de la vegetación. Sin embargo, los compuestos alelopáticos presentes en esta leguminosa también pudieran ser efectivos para el control de malezas. Un estudio realizado por Adler y Chase en el 2007, indica que los cultivos de cobertura pueden suprimir las malezas en el sistema de cultivo pues compiten con éstas por los recursos disponibles y promueven condiciones que no son favorables para la germinación y establecimiento de las malezas. En este estudio, se realizó una comparación entre extractos foliares acuosos y residuos secos de tres cultivos de leguminosas para evaluar su potencial efecto como supresores en la germinación, altura de plantas y peso seco de diferentes tipos de malezas a diferentes días luego de la siembra. Entre los resultados, se encontró que los residuos de Sunn hemp, afectaron la germinación del “bledo liso” (*Amaranthus hybridus* L.) en comparación con el control y con los residuos de los otros cultivos de cobertura como “cowpea” (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. cv. Iron Clay) y “velvetbean” (*Mucuna deeringiana* (Bort) Merr.). A consecuencia de la poca germinación

y corta estatura de las plantas de *Amaranthus*, las plantas con los residuos de Sunn hemp mostraron pesos secos más bajos en comparación con el control y con los residuos de las otras leguminosas.

3.3.4 *Sunn hemp* como supresora de nemátodos

Los nemátodos son lombrices redondas con comportamiento parasítico que atacan a las raíces de las plantas causando nudos que pueden afectar su producción, rendimiento y calidad pues se alimentan de los nutrientes y la energía de la planta (Hooks et al., 2006). Según Wang y McSorley (2009), la mayoría de los nemátodos parasíticos suprimidos por Sunn hemp se clasifican como nemátodos endoparasíticos sedentarios, los cuales se mantienen y se alimentan en un solo lugar dentro del sistema radicular. Por los pasados 50 años, el control de los nemátodos en las raíces ha sido posible a través de la fumigación del suelo y nematicidas aplicados antes de sembrar el cultivo. Adicional a su elevado costo, tienen poca efectividad cuando se enfrentan a grandes poblaciones de nemátodos infestando las raíces, su disponibilidad es limitada para los países de escasos recursos y son conocidos sus efectos negativos hacia la salud y el ambiente. Por estas razones es necesaria la búsqueda de alternativas para reemplazarlos, y Sunn hemp pudiera ser una enmienda orgánica útil para disminuir el uso de estos costosos nematicidas pues por naturaleza cuenta con la habilidad para la producción de sustancias químicas que son tóxicas para los nemátodos que tanto afectan a las raíces de las plantas. Entre las otras características descritas por Hooks et al. (2006), se encuentra la poca habilidad de Sunn hemp para servir como huésped y el efecto negativo de sus componentes químicos en el ambiente de los nemátodos. Los exudados de las hojas y raíces de Sunn hemp contienen compuestos alelopáticos como monocrotalina y

alcaloides pirrolizidinicos que son tóxicos para estos parásitos (Wang y McSorley, 2009). Estudios también indican su poca habilidad para servir como huésped para la mayoría de los nemátodos parasíticos más importantes como *Meloidogyne incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria*, *Rotylenchulus reniformis* y *Pratylenchus brachyurus* (Wang et al., 2004). Además, Sunn hemp pudiera aumentar las poblaciones de organismos enemigos como hongos que atrapan a los nemátodos o que se alimentan de sus huevos. Según Wang et al. (2004), también favorece a la densidad poblacional de nemátodos de vida libre, los cuales son importantes para el ciclo de nutrientes en el suelo debido a su abundancia, ciclo de vida acelerado y fuerte interacción con otros microorganismos del suelo. Una de las razones por las cuales esta leguminosa pudiera ser una alternativa superior a los productos químicos es que tiene la habilidad de suprimir el crecimiento de nemátodos por semanas luego de que sus residuos son incorporados al suelo, mientras que los productos químicos actúan al momento de aplicación.

3.4 Componentes tóxicos en *Crotalaria juncea*

En el caso de que Sunn hemp se considere para alimentación animal, es importante evaluar la presencia de componentes tóxicos particulares que podrían acumularse en las plantas en cantidades suficientes que cuando se ingieren, afectan adversamente las respuestas del animal, posiblemente influenciando su consumo, digestibilidad, estado fisiológico y por lo tanto alterando la producción de leche, carne o lana (Burns, 1978). Su presencia pudiera afectar adversamente varios aspectos de la reproducción de los animales que la consumen causando abortos, interfiriendo con el libido, el apareamiento normal y causando defectos de nacimiento, entre otras, causando grandes pérdidas económicas (James et al., 1992).

Una de las razones por las cuales las leguminosas son muy afectadas por depredación de animales e insectos es su acumulación natural de nitrógeno y para combatir esto, han desarrollado un amplio repertorio de defensas químicas basadas en metabolitos secundarios (Lewis et al., 2005). Asres et al. (2004), indican que además de servir para atraer animales polinizadores, ciertos metabolitos secundarios han evolucionado como protección contra plantas competidoras, bacterias, virus, hongos y más importante, contra herbívoros. Entre los metabolitos secundarios que se han identificado dentro de género *Crotalaria* se encuentran diversos tipos de alcaloides, aminos, coumarinas, flavonoides y lectinas (Peñaloza y Peláez, 2008).

Las especies de *Crotalaria*, incluyendo *C. juncea*, son consideradas como fuente principal de alcaloides de tipo pirrolizidínicos, los cuales se han reportado como tóxicos para mamíferos (incluyendo a los humanos). Los alcaloides son componentes nitrogenados que forman sales con los ácidos, tienen un sabor amargo y son encontrados en menos de 10% de todas las especies de plantas, pero son comunes en algunas familias como la Fabaceae y cuando están presentes en las plantas, estos se distribuyen entre sus estructuras (Kingsbury, 1958).

Aunque *C. juncea* contiene bajos niveles de alcaloides pirrolizidínicos (junceína y trichodesina), algunos estudios han demostrado que la cantidad de alcaloides es suficientemente baja como para que esta leguminosa pueda ser utilizada para alimentación animal. Sin embargo, fuentes del Instituto de Calidad de Suelos del NRCS (1999), indican que en cepas antiguas de *Crotalaria*, trichodesmina fue identificada como el principal alcaloide tóxico y varios estudios han mostrado resultados de envenenamiento en caballos y

cerdos. Por otro lado, Damron y Jacob (2001), indican que la monocrotalina también es una de las toxinas principales encontrada a través de la planta con la mayor concentración en la semilla. Knight y Walter (2003) aseguran que en caballos, ganado, cerdos y monos, el consumo de otras especies como *C. spectabilis*, causa enfermedad severa en los pulmones y el hígado. Se ha reportado que el consumo de *C. spectabilis* en ponedoras es causante de una rápida disminución de la producción de huevos al igual que aumento en mortalidad. La misma fuente indica que en estudios con pollos adultos los efectos adversos comienzan cuando el nivel de *C. spectabilis* se mantiene entre 0.01% y 0.1% de la dieta (Damron y Jacob, 2001). Estos datos sugieren la importancia de más investigación para identificar las probabilidades de la presencia de componentes tóxicos en especies de *Crotalaria* para evitar pérdidas económicas y problemas potenciales al incluirla en la dieta de animales para producción.

3.5 Características del cultivar “Tropic Sun”

El cultivar Tropic Sun fue liberado por el USDA NRCS y el Instituto de Agricultura Tropical y Recursos Humanos de la Universidad de Hawaii en 1983 (Treadwell y Alligood, 2008), y no representa peligro de toxicidad para el ganado ni las aves según pruebas de laboratorio y experimentos de alimentación (USDA NRCS, 1999). Desde su liberación, esta leguminosa ha tenido varios usos y beneficios que la presentan como una buena alternativa para utilizarse principalmente como cultivo de cobertura y abono verde para mejoramiento de suelos. Es considerada como un excelente abono verde de crecimiento rápido que pudiera incluirse en rotación con hortalizas, ornamentales y otras plantas para añadir nitrógeno y materia orgánica, suprimir malezas y reducir poblaciones de nematodos (Rotar y Joy, 1983).

Valenzuela y Smith (2002) informan que los suelos infértiles no son un impedimento para el crecimiento de Tropic Sun, pero su producción mejoraría con la fertilidad o con aplicaciones de los fertilizantes necesarios. Crece mejor en pH de suelo entre 5 y 7, tolera pH alcalinos hasta 8.4, se adapta a suelos con texturas finas o gruesas y su producción óptima se logra en suelos con buen drenaje. En adición, esta planta tolera temperaturas anuales entre 47 y 80 °F (8 y 27.5 °C). Tropic Sun debe recibir un mínimo de 1 pulgada (25 mm) de humedad a la semana para óptimo crecimiento, sin embargo es tolerante a sequía (Rotar y Joy, 1983).

Por su alto valor de N, Tropic Sun podría ayudar a disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados y por ende reducir las inversiones en fertilización inorgánica. Esta leguminosa produce aproximadamente 5,614 kg ha⁻¹ de materia seca y aproximadamente 23 kg de nitrógeno por tonelada de materia seca. En Florida, un cultivo de 3 meses produjo aproximadamente 8,982 kg ha⁻¹ de biomasa seca y fijó 202 kg ha⁻¹ de nitrógeno (Valenzuela y Smith, 2002). El contenido de nitrógeno en el tejido de Tropic Sun es aproximadamente 2.8%, con un rango de 2.0-3.12%. La variabilidad en el contenido de N de diferentes estudios realizados pudiera ser relacionada con las condiciones de crecimiento y la disponibilidad de N en el suelo. Gran parte del N acumulado por Tropic Sun pudiera provenir de la fijación de N₂ en el suelo, para regiones donde los suelos son bajos en materia orgánica y tienen poco potencial de mineralización de N (Schomberg et al., 2007). También se asume que el 50% del N en los residuos estará disponible para un cultivo siguiente dependiendo del momento en que se siembre, de acuerdo con el coeficiente de disponibilidad recomendado por el FLDACS (2005). Ya en el 1983, Rotar y Joy visualizaban a Tropic Sun como un posible

recurso anual de fibra para la elaboración de papel, cordón y fuente de biomasa para producción de combustible.

4 Experimento 1: Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre el potencial productivo de Sunn hemp (*Crotalaria juncea*) cv. Tropic Sun en Lajas, Puerto Rico

4.1 Materiales y Métodos

4.1.1 Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo entre el 28 de mayo del 2008 al 27 de febrero del 2009 en las facilidades de la Estación Experimental Agrícola, Subestación de Lajas, Universidad de Puerto Rico. La subestación se encuentra ubicada en el Valle de Lajas, parte de la zona ecológica de los llanos costaneros áridos del suroeste de Puerto Rico y tiene un tamaño de 573 acres. Cuenta con una elevación de 30.3 metros sobre el nivel del mar y está localizada a una latitud 18° Norte y longitud 67° Oeste. La precipitación anual promedio es aproximadamente 1,067 mm. La época lluviosa es de agosto a noviembre con temperatura máxima promedio de 31 °C y la mínima de 18 °C.

Los suelos predominantes pertenecen al orden Vertisol de las series Santa Isabel, Fraternidad, Cartagena y Guánica. El área de siembra corresponde a un Molisol de la serie San Antón (Fine-loamy, mixed, superactive, isohypertermic Cumulic Haplustolls), con pH de 6.97, M.O de 2.37%, 0.162% Nitrógeno total Kjehdahl y P disponible de 73.25 ppm, respectivamente.

4.1.2 Diseño experimental y establecimiento de *Sunn hemp*:

En este experimento se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo de parcelas divididas. Este experimento contiene dos factores; primero se aleatorizaron los dos niveles del primer factor (época de siembra) a las parcelas completas y luego se aleatorizaron los tres niveles del segundo factor a las subparcelas (fecha de corte). Por último, dentro de cada subparcela se tomó al azar una planta y se dividió entre dosel superior e inferior, que para efectos de análisis se consideró como la sub-subparcela (tercer factor). La superficie total midió 25.5 m de ancho x 76 m de largo divididos en 6 parcelas completas (unidades experimentales) de 3 m con un espacio de 1.5 m entre parcelas, para un área total de 228 m² por parcela completa. Las parcelas completas fueron divididas en 3 subparcelas de 25.3 m de largo.

La preparación del área de siembra fue mecanizada (labranza convencional), comenzando con un pase de arado de discos, seguido por un pase de rastra y luego un pase de rotocultivadora con el fin de establecer un banco que favoreciera el desarrollo de las semillas. La siembra se realizó con una sembradora mecánica “Brillion” calibrada a una densidad de siembra de 7 kg ha⁻¹. Las semillas de Tropic Sun no se inocularon con *Rhizobium*. Tampoco se realizaron procedimientos de fertilización, control de malezas o aplicación de plaguicidas durante el periodo de experimentación.

La primera época de siembra comenzó el 28 de mayo de 2008 (verano), y la recolección de datos fue hasta el 21 de noviembre de 2008. La siembra de la segunda época de siembra se realizó el 29 de octubre de 2008 (otoño), terminando el estudio el 27 de febrero de 2009. Finalmente se recopilaron los datos de precipitación mensual de los últimos 10 años para

compararlos con la precipitación mensual durante el periodo de experimentación en el 2008 y 2009 (Figura 1).

4.1.3 Recolección de muestras

Se recolectaron muestras de suelo representativas para el área de experimentación utilizando una barrena a 15 cm de profundidad. Las muestras se analizaron para pH, porcentaje de materia orgánica, contenido de N total siguiendo el método QuickChem y P disponible según la prueba de Bray II.

El método de colección de muestras para la medición de las variables fue el mismo para ambas épocas de siembra. Las variables evaluadas fueron: crecimiento, rendimiento de materia seca (RMS), y contenido de N de la planta completa. También se evaluó el porcentaje de N al dividir las plantas entre dosel superior e inferior. Se determinaron los sitios de muestreo al azar en un área de 1 m² por cada subparcela, dejando 1 m de borde a cada lado. A las 6 semanas después de siembra, se contó la cantidad de plantas que germinaron en cada sitio de muestreo. Luego comenzó la evaluación del crecimiento, escogiendo al azar 2 plantas dentro de cada sitio de muestreo y tomando las medidas de altura (cm) a las 6, 7, 8, y 9 semanas después de siembra.

Para cada fecha de corte en cada época [84, 121, y 177 días después de siembra (DDS)], se cosechó manualmente un área de 1 m² en el centro de cada subparcela, dejando 1 m de borde a cada lado. El mismo procedimiento se realizó para los muestreos durante la segunda época. Para la segunda época, el tercer muestreo (177 DDS) no pudo realizarse debido a que ya las plantas habían completado su ciclo de vida y se habían secado completamente. Las plantas fueron cortadas a una altura aproximada de 15 cm de la superficie del suelo y se les

tomó el peso fresco (kg). De cada sitio de muestreo se separó al azar una planta que fue identificada y dividida entre dosel superior e inferior (midiendo y cortándola por la mitad). Para determinar el porcentaje de materia seca, se separó una submuestra con peso de 500 a 800 g y se secó en un horno a temperatura constante de 60 °C por 72 horas. Luego se pesaron las muestras para realizar los cálculos necesarios para rendimiento de materia seca.

Para el análisis de las muestras en el laboratorio, las submuestras que se utilizaron para materia seca, al igual que las muestras identificadas como dosel superior e inferior, fueron molidas en un molino “Wiley” con cedazo de 1mm y se procedió con la determinación del contenido de N siguiendo los procedimientos descritos por el método micro-Kjeldahl (AOAC, 1990) en las facilidades del Laboratorio de Nutrición Animal del Departamento de Industrias Pecuarias del Recinto Universitario de Mayagüez. La acumulación de N se calculó multiplicando la cantidad de biomasa por el contenido de N. Finalmente se expresó el porcentaje de nitrógeno en concentración de proteína bruta.

4.1.4 Análisis estadístico de los datos

Previo al análisis estadístico, los datos fueron organizados en forma tabular utilizando el programa Microsoft Excel para posteriormente realizar un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el Modelo Lineal General (GLM) del programa estadístico SAS (1999). Las variables a evaluar fueron: rendimiento de materia seca (RMS), porcentaje y acumulación de N. De existir diferencias significativas, se realizó una separación de medias mediante la prueba Tukey ($p=0.05$). Para las cuatro semanas de medición de altura, se realizó un análisis de regresión lineal con el propósito de comparar los cambios en la altura de las plantas entre épocas. Es importante aclarar que para la comparación de los datos entre las dos épocas de

siembra, no se consideraron los datos recolectados en el tercer muestreo (177 DDS) de la primera época debido a que no fue posible su recolección para la segunda época.

Para el análisis del RMS, porcentaje y acumulación de N, los datos se adaptaron al modelo de parcelas divididas donde el factor asignado a las parcelas completas (época de siembra) fue arreglado en un diseño completamente aleatorizado con 3 repeticiones. En el modelo se tomaron en consideración los efectos de interacción entre la fecha de corte y época de siembra.

Los datos se analizaron mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_{k(i)} + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Es el valor observado para la repetición k de la época de siembra i y la fecha de corte j . Es decir, estos son los valores de las variables dependientes (RMS, porcentaje o acumulación de N)

μ = media general de los tratamientos

α_i = Efecto de la época de siembra i , donde $i=1$ (mayo), 2 (octubre)

$\delta_{k(i)}$ = Efecto (aleatorio) de la repetición k en la época de siembra i (Error parcela principal)

β_j = Efecto de la fecha de corte j , donde $j= 1$ (84 DDS), 2 (121 DDS)

$\alpha\beta_{ij}$ = Efecto de la interacción entre la época de siembra i con la fecha de corte j

ϵ_{ijk} = Error aleatorio correspondiente asociado con la unidad Y_{ijk} de la subparcela (error residual)

Para el análisis estadístico del contenido de N y PB al dividir las plantas entre dosel superior e inferior, los datos se adaptaron a un DCA con arreglo en parcelas subdivididas. Al momento de comparar los efectos del tercer factor (posición del dosel), este se consideró como un sub-tratamiento (sub-sub-parcela), y se añadió a las especificaciones del modelo el efecto de interacciones (fecha de corte x época de siembra x dosel), (época x dosel) y (corte x dosel). Debido a que se dividieron las sub-parcelas en sub-sub-parcelas y se añadió un tercer factor a evaluar (posición del dosel), fue necesaria la extensión de la fórmula y se analizaron los datos mediante el modelo siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + (\alpha\beta\delta)_{ijk} + P_{il} + SP_{jil} + SSP_{kjil} + \epsilon_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = Valor de la variable dependiente (Porcentaje de N o PB)

μ = Es el promedio general

α_i = Efecto de época de siembra i , donde $i=1$ (mayo), 2 (octubre)

β_j = Efecto de fecha de corte j , donde $j= 1$ (84 DDS), 2 (121 DDS)

δ_k = Efecto de la posición del dosel k donde $k= 1$ (superior), 2 (inferior)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto aleatorio de la interacción entre época de siembra i y fecha de corte j

$(\alpha\delta)_{ik}$ = Efecto aleatorio de la interacción entre la época i y la posición de dosel k

$(\beta\delta)_{jk}$ = Efecto aleatorio de la interacción entre la fecha de corte j y la posición de dosel k

$(\alpha\beta\delta)_{ijk}$ = Efecto de interacción entre época i , fecha de corte j y posición de dosel k

P_{il} = Efectos (aleatorios) de parcela principal

SP_{jil} = Efectos (aleatorios) de subparcelas

SSP_{kjl} = Efectos (aleatorios) de sub-subparcelas

ϵ_{ijkl} = Error experimental

Los datos de altura en función de las semanas después de siembra fueron sometidos a un análisis de regresión. El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Altura en la semana i y la época j

x = Semana después de siembra

β_0 = Intercepto (valor de la altura cuando $x=0$)

β_1 = Pendiente (cambio en la altura a medida que pasa una semana después de siembra)

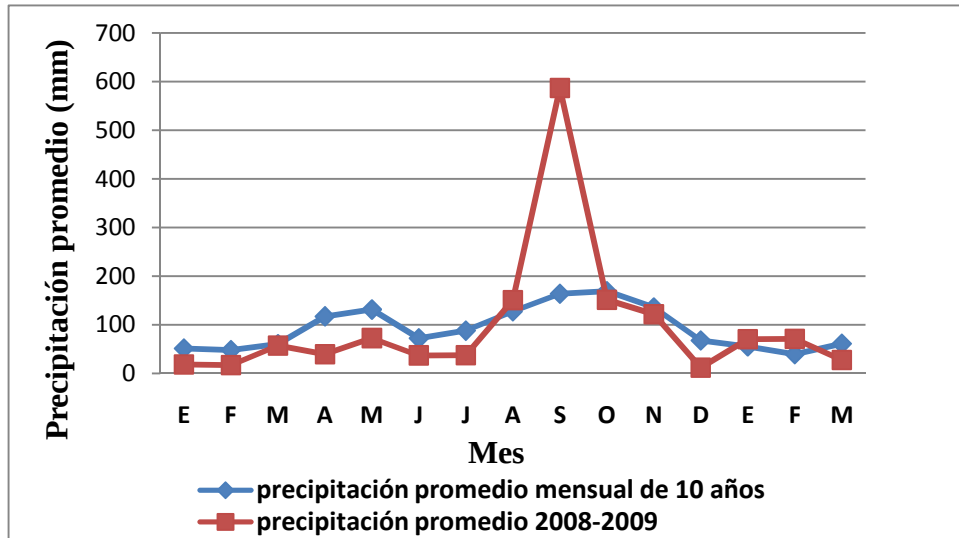
ϵ_{ij} = Error aleatorio (diferencia entre cada valor observado y el poblacional)

4.2 Resultados y Discusión

Efecto de la precipitación pluvial durante el periodo de evaluación

La precipitación pluvial en la primera época de siembra fue de 73, 37, 37, 152, 587, 151 y 122 mm en mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre, respectivamente, con un promedio de 1159 mm. Esta precipitación fue 267 mm mayor que el promedio de los últimos 10 años durante ese mismo periodo de experimentación (Figura 1). En los meses restantes luego de la segunda siembra (octubre), se recibió 12, 70, 71, y 28 mm de lluvia en diciembre, enero, febrero y marzo de 2009, respectivamente, para un total de 454 mm (incluyendo el mes de octubre y noviembre). La precipitación durante este periodo fue 76 mm menor que la de los últimos 10 años durante ese mismo periodo de experimentación. El área de siembra se regó por goteo a capacidad de campo un día en semana durante las primeras 3 semanas de establecimiento. La precipitación no fue un factor limitante pues las plántulas iniciaron su emergencia y desarrollo entre los 5 a 8 días después de la siembra. Sin embargo, la lluvia provocada por el paso de una onda tropical durante el mes de septiembre ocasionó inundaciones en el área, pérdida de plantas y dificultad en el proceso de los muestreos siguientes.

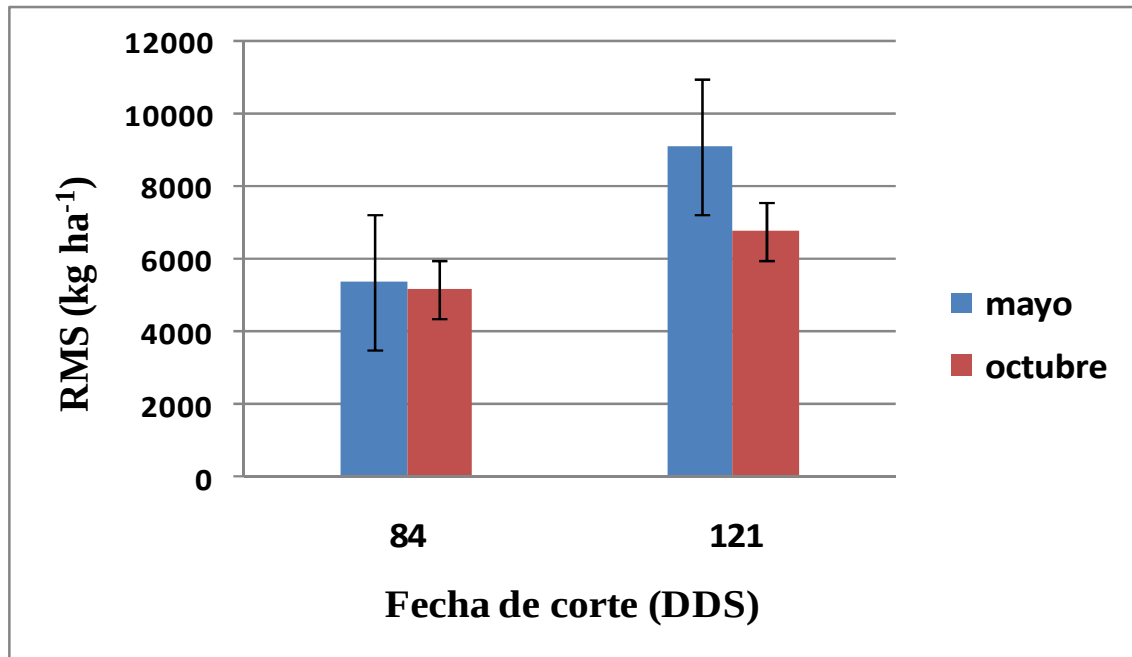
Figura 1. Precipitación promedio mensual (mm) de los últimos 10 años y la precipitación promedio mensual durante la duración del experimento en el año 2008 y 2009, Estación Experimental de Lajas.



Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre el rendimiento de materia seca de Sunn hemp cv. Tropic Sun en Lajas, 2008-2009.

No se encontró interacción ($p \geq 0.05$) entre la época de siembra y fecha de corte sobre el RMS de Sunn hemp. Esto quiere decir que el efecto de la época de siembra sobre el RMS fue similar independientemente de la fecha en que se cosecharon las plantas en Lajas. Para la siembra en mayo, el RMS promedio fue de 5,384 y 9,111 kg ha⁻¹ para cosechas a los 84 y 121 DDS, respectivamente (Figura 2). Para la época de siembra en octubre, el RMS promedio fue de 5,170 y 6,780 kg ha⁻¹ para cosechas a los 84 y 121 DDS (Figura 2). Sembrando Sunn hemp en mayo, y cosechando a los 121 DDS, pudiera obtenerse un RMS aproximadamente 34.3% mayor que al cosechar las plantas en esa misma fecha al sembrar en octubre.

Figura 2. Efecto de época de siembra y fecha de corte en el rendimiento de materia seca (RMS) de Sunn hemp, Lajas, P.R, 2008-2009. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar. DMS Tukey=7,632.179.



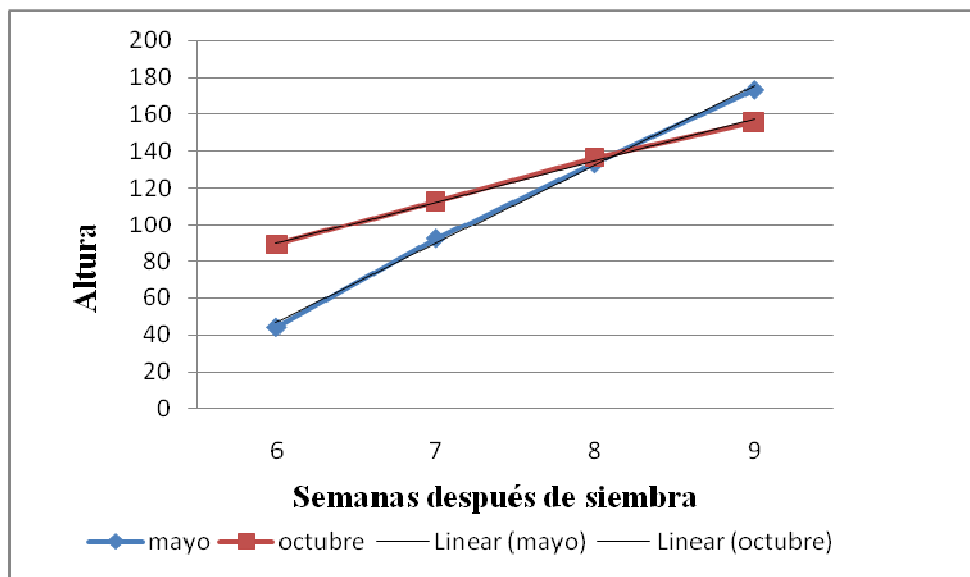
Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el RMS para ambas épocas de siembra. El RMS promedio general para la primera época fue $7,248 \text{ kg ha}^{-1}$, superando en un aproximado 21.3% ($1,273 \text{ kg ha}^{-1}$) al RMS obtenido en la segunda época ($5,975 \text{ kg ha}^{-1}$). Estos datos sugieren el Sunn hemp es una planta que responde al fotoperiodo (efecto de horas de luz). Los días largos de verano favorecieron el crecimiento vegetativo y esa es la principal razón por la cual se obtuvo mayor producción de biomasa cuando se sembró en mayo.

En cuanto a la fecha de corte, los resultados mostraron que ésta no ejerce un efecto significativo ($p \geq 0.05$) en el RMS, con valores promedio de $5,277$ y $7,946 \text{ kg ha}^{-1}$ para cosechas a los 84 y 121 DDS, respectivamente. Esto quiere decir que en este experimento, el rendimiento general de Sunn hemp fue independiente de la fecha en que se cortaron las

plantas y que en cualquiera de estas dos fechas de corte se obtienen rendimientos estadísticamente similares, a pesar de que el rendimiento en la segunda cosecha sobrepasó por 2,669 kg ha⁻¹ al de la primera.

La gráfica que se presenta a continuación (Figura 3) permite comparar los cambios en altura de las plantas entre épocas de siembra. Utilizando como referencia a las pendientes en el análisis de regresión de la altura en función de las semanas después de siembra, se puede observar el crecimiento acelerado de las plantas en ambas épocas. A partir de las 8 semanas después de siembra, la disminución de la tasa de crecimiento de las plantas sembradas en octubre coincidió con el comienzo de la etapa de floración. Al momento del corte a los 121 DDS en la siembra de mayo, las plantas alcanzaron una altura aproximada de 183 cm mientras que las sembradas en octubre, ya a las 9 semanas habían alcanzado una altura máxima de aproximadamente 156 cm.

Figura 3. Efecto de época de siembra sobre el crecimiento de Sunn hemp en función de las semanas en la región de Lajas, P.R, 2008-2009. Época de siembra en mayo $y=42.92x-211.08$; $R^2=0.69$, época en noviembre $y=22.34x-43.94$; $R^2=0.79$.



Los resultados de este estudio son comparables a los obtenidos por Mansoer et al. (1997), donde se evaluó el potencial de Sunn hemp como cultivo de cobertura en verano para dos localidades de Alabama. Sembrado en agosto a una densidad de 56 kg ha^{-1} , se reportaron rendimientos de 4.8 a 7.3 Mg ha^{-1} ($4,800$ a $7,300 \text{ kg ha}^{-1}$) al cosechar a los 84 días después de siembra, y un promedio de 5.9 Mg ha^{-1} ($5,900 \text{ kg ha}^{-1}$) entre las dos localidades. Este estudio infiere que probablemente la temperatura y la precipitación fueron factores que afectaron el crecimiento en las diferentes etapas del ciclo del cultivo. A la misma vez, al comparar la producción de Sunn hemp con la de cultivos de cobertura comunes en el sureste de los Estados Unidos, los autores concluyeron que dicha leguminosa se presenta como una buena alternativa a otros cultivos de cobertura, pues produce gran cantidad de materia seca durante la temporada de otoño y cubre la superficie del suelo rápidamente, protegiéndolo contra la erosión. Según Balkom y Reeves (2005), también en Alabama y sembrado en agosto a una densidad de 56 kg ha^{-1} , Sunn hemp produjo aproximadamente 7.6 Mg ha^{-1} ($7,600 \text{ kg ha}^{-1}$) a las 14 semanas después de siembra (aprox. 98 DDS). Esta se consideró como una excelente cantidad de biomasa y se reconoció el potencial de esta leguminosa para servir como cultivo de cobertura para la producción de maíz. Además, referencias del USDA NRCS (1999) indican que bajo condiciones adecuadas, Sunn hemp pudiera producir más de $5,614 \text{ kg ha}^{-1}$ en un periodo de 8 a 12 semanas, rendimiento que se asimila a los obtenidos en este estudio.

Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre la concentración y acumulación de N en el tejido de Sunn hemp cv. Tropic Sun.

No se encontró interacción ($p \geq 0.05$) entre la época de siembra y la fecha de corte sobre la concentración de N en el tejido y acumulación de N de Sunn hemp cv. Tropic Sun. Se

puede concluir que estos factores actúan de manera independiente sobre ambas variables. La comparación entre porcentajes se presenta en el Cuadro 1. Es necesario considerar que las plantas sembradas en mayo comenzaron a florecer aproximadamente a los 84 DDS, mientras que las de octubre mostraron sus primeras flores a los 56 DDS. Aunque aproximadamente 30 días marcaron la diferencia en el comienzo de la florecida entre épocas, se esperaba que en ambas, los porcentajes de N disminuyeran a medida que avanzaba la etapa de floración.

Cuadro 1. Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre la concentración de N (%) en el tejido de Sunn hemp, Lajas, P.R, 2008-2009.

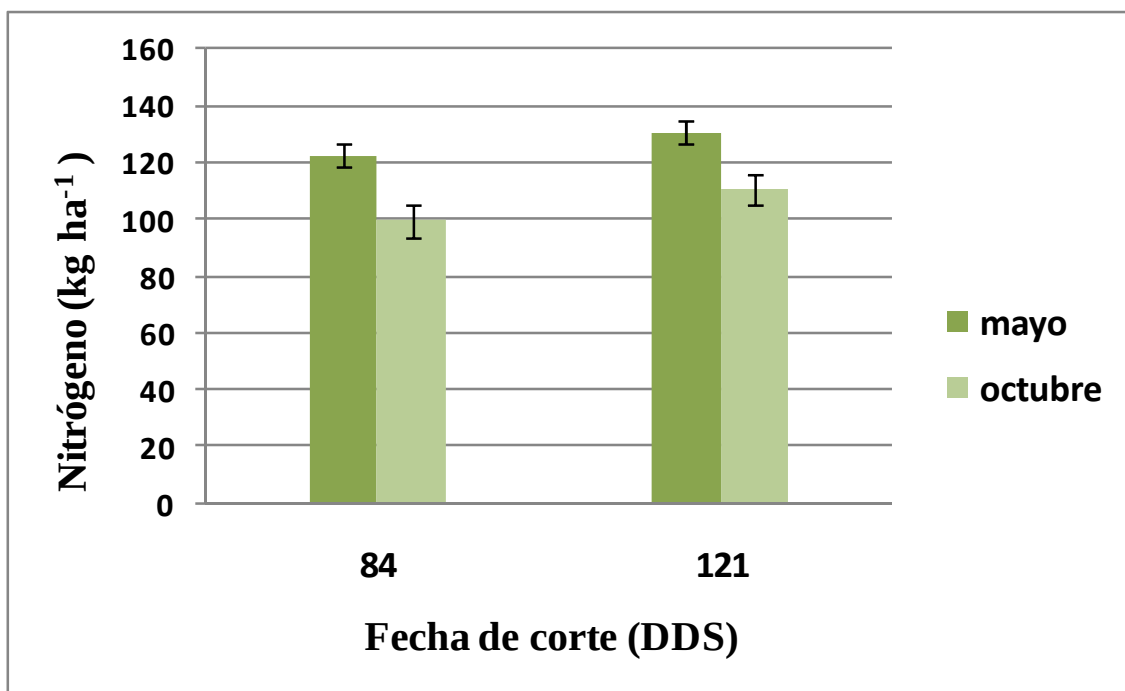
	Fecha de corte (DDS)	
	84	121
Época	%N	
mayo	2.19	1.48
octubre	1.95	1.62
cv = 21.31%		

Al evaluar los efectos principales, no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en los promedios del porcentaje de N entre épocas de siembra. Los promedios generales fueron 1.83% y 1.78% para las siembras realizadas en mayo y octubre, respectivamente. En cuanto al momento de corte, aunque a los 84 DDS se obtuvo un porcentaje mayor de nitrógeno, estadísticamente no se evidenció algún efecto significativo de la fechas de corte. Los promedios generales fueron 2.06% y 1.55% para las cosechas a los 84 y 121 DDS, respectivamente. Estos resultados se acercan al rango de valores indicados por Valenzuela y

Smith, 2002, donde se indica que el porcentaje de N aproximado en el tejido de Sunn hemp puede estar en el rango de 2.0 a 3.12%.

En cuanto a la acumulación de N se refiere, no se encontró efecto de interacción ($p \geq 0.05$) entre la época de siembra y la fecha de corte, y podemos concluir que el efecto de la época de siembra sobre la acumulación de N en la planta es similar en las dos fechas de corte (Figura 4). La acumulación de N mayor fue obtenida en la siembra de mayo, con valores de 122.50 y 130.60 kg ha^{-1} para cosechas a los 84 y 121 DDS, respectivamente. Debido al mayor contenido de biomasa producida en la siembra de mayo, estos valores superan a los rendimientos de N obtenidos al sembrar en octubre y cosechar en estas mismas fechas (99.00 y 110.69 kg ha^{-1}).

Figura 4. Efecto de época de siembra y fecha de corte en la acumulación de nitrógeno en el tejido de Sunn hemp, Lajas, P.R, 2008-2009. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar. DMS Tukey=149.468



El análisis estadístico evidencia que ambos factores actúan de manera independiente sobre la acumulación de N en Sunn hemp, lo que conlleva a evaluar los efectos principales de cada factor. Sin embargo, las siembras de mayo y octubre no se diferenciaron entre sí ($p \geq 0.05$) en términos de acumulación total de N. No se observó mucha variación en dichas cantidades, con promedios generales de 126.55 y 105.09 kg ha⁻¹ para las siembras realizadas en mayo y octubre, respectivamente. Tampoco se encontró efecto significativo ($p \geq 0.05$) de las fechas de corte. Los promedios fueron 110.99 y 120.65 kg ha⁻¹ para cosechas a los 84 y 121 DDS, respectivamente. Es importante señalar que a medida que esta leguminosa avanzó en su ciclo de vida, los tallos se tornaron fibrosos y difíciles de manejar. Si el propósito fuera utilizar a Sunn hemp como abono verde, Joy y Peterson (2005), recomiendan el corte antes de la florecida para evitar problemas en el manejo.

Los resultados de este experimento son comparables con los obtenidos en el estudio mencionado anteriormente realizado por Mansoer et al. en 1997. Cosechando a las 12 semanas (aprox. 84 DDS), la acumulación total de N se encontró en el rango de 123 y 136 kg ha⁻¹ para las dos localidades en Alabama. La acumulación de N en el presente estudio también coincide con literatura del USDA NRCS (1999), donde se indica que Sunn hemp puede llegar a producir sobre aproximadamente 112 kg N ha⁻¹ en un periodo de 8 a 12 semanas después de siembra. Según Altieri (1995), varios de los cultivos de cobertura comunes como alfalfa (*Medicago sativa*) y mucuna (*Mucuna pruriens*), los cuales pueden llegar a acumular entre 76 a 367 kg N ha⁻¹, cantidad suficiente para cumplir con la mayoría de los requerimientos de N de cultivos agronómicos y hortícolas.

Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre el contenido de nitrógeno de Sunn hemp al dividir las plantas entre dosel superior e inferior

La combinación de factores época de siembra x posición del dosel mostró un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el contenido de N, donde los valores se encontraron en el rango de 0.86 a 2.57%, y el valor mayor se obtuvo al cosechar el dosel superior en la siembra realizada en mayo (Figura 5). También se encontró interacción ($p < 0.05$) entre la fecha de corte y posición del dosel sobre el porcentaje de N, donde el valor promedio mayor se obtuvo al cortar el dosel superior de las plantas a los 84 (2.45%) y 121 DDS (1.79%). Los porcentajes más bajos fueron obtenidos al cortar el dosel inferior (Figura 6).

Figura 5. Efecto de interacción entre época de siembra y posición del dosel sobre el porcentaje de N en el tejido de Sunn hemp, Lajas, P.R, 2008-2009. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar. DMS Tukey=0.50297.

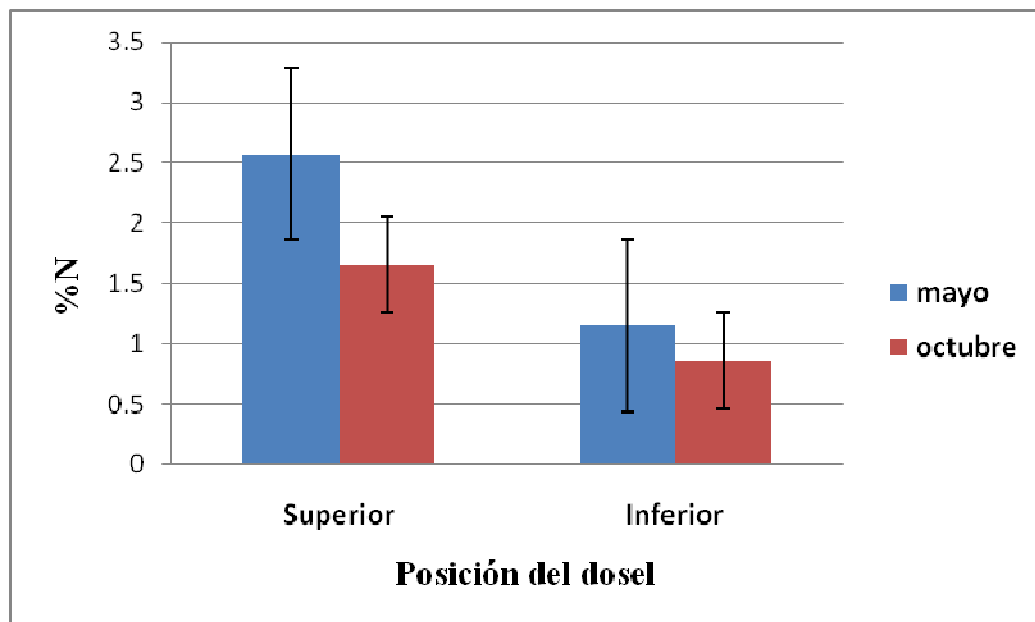
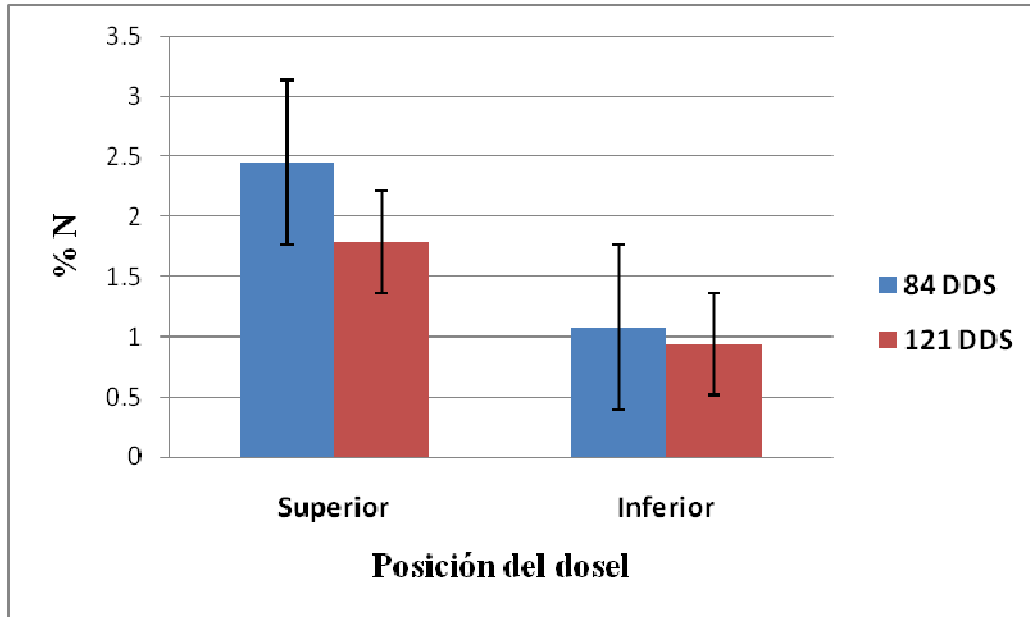


Figura 6. Efecto de interacción entre fecha de corte y posición del dosel sobre el porcentaje de N en el tejido de Sunn hemp, Lajas, P.R, 2008-2009. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar. DMS Tukey=0.50297.



Se esperaba que el dosel superior mostrara el mayor contenido de nitrógeno pues en éste se concentran tanto hojas jóvenes como las hojas completamente maduras de las ramas primarias y secundarias, las cuales se consideran más activas fotosintéticamente en comparación con las de las del tallo principal, posiblemente provean a las vainas con fotosintatos mientras se van formando las vainas nuevas (Baki et. al, 2001).

Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre contenido de proteína bruta en el tejido de Sunn hemp al dividir la planta entre dosel superior e inferior

Aunque el porcentaje mayor de proteína bruta (PB) se obtuvo al sembrar en mayo y cosechar el dosel superior de las plantas a los 84 DDS (18.42%), no se encontró efecto de interacción triple ($p \geq 0.05$) entre los factores época x fecha de corte x dosel sobre el contenido de PB. Esto significa que cualquier combinación del factor época de siembra y fecha de corte induce a obtener valores similares de proteína, independientemente de que se coseche el dosel superior o inferior. Sin embargo, se encontró interacción ($p < 0.05$) época x dosel (Cuadro 2) y fecha de corte x dosel (Cuadro 3) sobre el contenido de PB. Si se decidiera incluir el follaje de Sunn hemp en dietas para ganado, sería ideal seleccionar las combinaciones de factores que favorezcan los altos porcentajes. En este caso se obtendrían valores superiores al sembrar en mayo y cortar el dosel superior a los 84 DDS.

Cuadro 2. Efecto de interacción de época de siembra y posición del dosel sobre el contenido de proteína bruta de Sunn hemp, Lajas, P.R., 2008-2009.

Época	Posición del dosel	
	superior	inferior
	PB (%)	
mayo	16.05a*	7.21c
octubre	10.40b	5.38c
cv = 17.38%		

*Promedios seguidos por letras distintas difieren al $p < 0.05$ según la prueba de Tukey.

Cuadro 3. Efecto de interacción entre fecha de corte y posición del dosel sobre el contenido de proteína bruta de Sunn hemp, Lajas, P.R., 2008-2009.

	Posición del tapiz	
	superior	inferior
Fecha de corte (DDS)	PB (%)	
84	15.28a*	6.73c
121	11.17b	5.85c
cv = 17.38%		

*Promedios seguidos por letras distintas difieren al $p < 0.05$ según la prueba de Tukey.

Los valores en el presente estudio son comparables con los obtenidos en un estudio realizado en la isla de St. Croix, donde encontraron que al sembrar Sunn hemp en agosto y cosechar a los 86 DDS, se obtuvieron valores de PB entre 11.5 y 12.9% para heno almacenado y material fresco, respectivamente (Weiss y Godfrey, 2009).

4.3 Conclusiones

Sembrado en Lajas, el cultivar Tropic Sun pudiera ser una alternativa viable para uso como cultivo de cobertura y abono verde pues mostró un crecimiento vigoroso, buen rendimiento de materia seca y acumulación de nitrógeno en el tejido. Los resultados de este experimento revelaron:

- El rendimiento general de materia seca varió significativamente ($p < 0.05$) entre las épocas de siembra. Al sembrar en mayo, Tropic Sun pudiera producir 7,248 kg ha⁻¹ de materia seca en comparación con 5,795 kg ha⁻¹ para la siembra en octubre.

- Las fechas en que se cosechó Sunn hemp no ejercieron efecto significativo ($p \geq 0.05$) en términos de rendimiento de materia seca, aunque el promedio general de la cosecha a los 121 DDS sobrepasó por $2,669 \text{ kg ha}^{-1}$ al rendimiento de la cosecha a los 84 DDS.
- Aunque estadísticamente no se evidenció un efecto significativo ($p \geq 0.05$) de la combinación de los factores época de siembra y fecha de corte en el rendimiento de materia seca, la cosecha a los 121 DDS de la siembra en mayo superó por $2,331 \text{ kg ha}^{-1}$ a la cosecha en la siembra de octubre.
- La acumulación de nitrógeno en el tejido no varió significativamente ($p \geq 0.05$) en función de las épocas de siembra, aunque los promedios generales fueron 126.55 y $105.09 \text{ kg ha}^{-1}$, los cuales según referencias, son suficientes para cumplir con la mayoría de los requerimientos de N de cultivos agronómicos y hortícolas.
- Las fechas de corte no se diferenciaron ($p \geq 0.05$) en términos de acumulación de nitrógeno. Los valores generales fueron 110.99 y $120.65 \text{ kg ha}^{-1}$ para cosechas a los 84 y 121 DDS, respectivamente.
- Al cosechar el dosel superior de las plantas, se obtuvieron porcentajes mayores ($p < 0.05$) de nitrógeno y por consecuencia, de proteína bruta.
- La combinación de la época de siembra y posición del dosel tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el contenido de proteína bruta. El valor máximo se obtuvo al cosechar el dosel superior en la siembra de mayo ($16.05 \% \text{ PB}$).

5 Experimento 2: Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre el potencial productivo de Sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) cv. Tropic Sun en Isabela, P.R, 2009-2010.

5.1 Materiales y Métodos

5.1.1 Localización del experimento

El experimento se realizó entre el 3 de junio del año 2009 al 4 de marzo de 2010 en la Sub-estación Experimental de Isabela (18° 30' Latitud norte y 67° 00' Longitud oeste) a una altura de 128 metros sobre el nivel del mar, con precipitación pluvial anual de 1675 mm y temperatura media de 25 °C, con fluctuaciones de 19° a 29 °C. La siembra se llevó a cabo en un suelo Oxisol de la serie Cotito (Clayey, kaolinitic, isohypertemic Lithic Kandistox), con pH de 6.65, MO de 2.03%, 0.184% Nitrógeno total Kjeldahl y 29.36 ppm de P disponible.

5.1.1 Establecimiento del cultivo y diseño experimental:

La preparación del área fue mecanizada con pase de arado de discos y pase de rastra dos semanas antes de siembra. La siembra se realizó con una sembradora mecánica de dos hileras (60-cm entre hileras) calibrada a una densidad de 10 kg ha⁻¹. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones en un arreglo de parcelas divididas. Este experimento tiene 2 factores, el primer factor es la época de siembra con 2 niveles (cada nivel asignado a las parcelas completas) y el segundo factor es la fecha de corte con 3 niveles (cada nivel asignado a las sub-parcelas). Luego se añade un tercer factor con 2 niveles (posición del dosel) y para efectos del análisis estadístico, se consideró como un diseño en parcelas subdivididas, cada nivel del tercer factor asignado a las sub-sub-parcelas.

La superficie total midió 10 m de ancho x 84.15 m de largo divididos en 3 parcelas completas (unidades experimentales) de 2 m de ancho con un espacio de 67 cm entre hileras y 2 m entre parcelas para un área total de 168.3 m² por parcela. Las parcelas completas se dividieron en 3 sub-parcelas de aproximadamente 28.05 m de largo. Para la segunda época, las mismas medidas se tomaron para el área adyacente al predio y se sembró bajo las mismas especificaciones anteriores. Las semillas de Tropic Sun no se inocularon y tampoco se realizaron procedimientos de fertilización, control de malezas o aplicación de plaguicidas durante el periodo de experimentación.

La comparación de la precipitación promedio mensual de la Estación en los últimos 20 años y la precipitación promedio mensual durante la duración del experimento se muestra en la Figura 6. También se recopilieron los datos de temperatura mensual con el fin de comparar temperaturas promedio de los pasados 20 años con las correspondientes a los meses de duración de experimento (Cuadro 4).

5.1.2 Recolección de muestras:

El método de recolección de muestras para la medición de las variables fue similar para las dos épocas de siembra. Las variables de interés fueron: vigor, RMS, concentración de N, acumulación de N de plantas completas y PB al dividir las plantas en dosel superior e inferior.

La primera época comenzó con la siembra el 3 de junio de 2009, terminando la recolección de muestras para materia seca y N el 2 de octubre de 2009 (121 DDS). La segunda época de siembra fue el 3 de noviembre de 2009, y la última recolección de muestras se realizó el 4 de marzo de 2010.

Para la medición de las variables, se eligió aleatoriamente un área de 1 m² dentro de cada subparcela, dejando un borde de 0.5 m en cada lado, la cual se consideró como sitio de muestreo. A las 3 semanas luego de la siembra, comenzó la evaluación del vigor de crecimiento, y se escogieron aleatoriamente 2 plantas dentro de cada sitio de muestreo, se identificaron con una bandera y se tomaron medidas de altura en cm a las 4, 5, y 6 semanas siguientes. También se contó la cantidad de plantas que germinaron en cada área elegida para el muestreo. En cada fecha de corte (71, 92, y 121 DDS), en cada bloque se eligió una subparcela al azar para luego cosechar manualmente un área de 1 m² en el centro de esta. La altura de corte fue aproximadamente a 15 cm del suelo. Se tomó el peso fresco en kg del área de 1 m². De cada área de muestreo se separó una planta que fue dividida entre dosel superior e inferior. Para la determinación del porcentaje de materia seca, de cada subparcela correspondiente al muestreo, se separó una sub-muestra con peso de 500 a 800 g y se secó en un horno a una temperatura de 60 °C por 48 horas. Luego se pesaron las muestras secas para determinar el rendimiento de materia seca (RMS).

Para los análisis de laboratorio, las mismas sub-muestras que se utilizaron para materia seca, al igual que las plantas individuales separadas entre dosel superior e inferior, fueron molidas en un molino Wiley con cedazo de 2 mm. Se utilizaron las facilidades del laboratorio del “Tropical Agricultural Research Station” ubicado en Mayagüez para proceder con la determinación de la concentración de N, siguiendo el procedimiento del método micro-Kjeldahl (AOAC, 1990). La acumulación de N de cada muestra se calculó multiplicando el RMS por el contenido de N. También se calculó el contenido de proteína bruta multiplicando el porcentaje de N por la constante 6.25.

A medida que transcurrió el periodo de experimentación, se tomaron observaciones referentes a los daños por insectos que pudieran ser relevantes y afectaron directamente la producción.

5.1.3 Análisis estadístico de los datos

Se realizó un ANOVA utilizando el Modelo Lineal General (GLM) del programa estadístico SAS (1999). Las variables a evaluar fueron: rendimiento de materia seca, concentración y rendimiento de N. Para la separación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($p=0.05$). Para las cuatro semanas de medición de altura, se realizó un análisis de regresión lineal con el propósito de comparar los cambios en altura de las plantas entre épocas.

Para el análisis del RMS, concentración y acumulación de N, los datos se adaptaron al modelo de Parcelas Divididas donde el factor asignado a las parcelas completas (época de siembra) fue arreglado en un DCA con 3 repeticiones. En el modelo se especificó añadir los efectos de interacción entre la fecha de corte y época de siembra.

Para el análisis estadístico de las variables relacionadas al N del dosel superior e inferior de las plantas, los datos se adaptaron al modelo en parcelas Subdivididas en un DCA, donde la parcela principal (época de siembra), funciona como bloque para las sub-parcelas (fecha de corte). Al momento de comparar los efectos del tercer factor añadido (posición del dosel), este se consideró como un sub-tratamiento (sub-sub-parcela), y se añadió a las especificaciones del modelo el efecto de interacciones (fecha de corte x época de siembra x dosel), (época x dosel) y (corte x dosel).

Los datos se analizaron mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_{k(i)} + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valores de las variables dependientes (RMS, porcentaje o acumulación de N)

μ = Media general

α_i = Efecto de la época de siembra i , donde $i = 1$ (junio), 2 (noviembre)

$\delta_{k(i)}$ = Efecto (aleatorio) de la repetición k en la época de siembra i (Error parcela principal)

β_j = Efecto de la fecha de corte j , donde $j = 1$ (71 DDS), 2 (92 DDS), 3 (121 DDS)

$\alpha\beta_{ij}$ = Efecto de la interacción entre la época de siembra i con la fecha de corte j

ϵ_{ijk} = Error aleatorio correspondiente asociado con la unidad Y_{ijk} de la subparcela (error residual)

Al dividir las sub-parcelas en sub-sub-parcelas, se añaden los efectos del tercer factor y extiende la fórmula. Se analizaron los datos mediante el modelo siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + (\alpha\beta\delta)_{ijk} + P_{il} + SP_{jil} + SSP_{kjil} + \epsilon_{ijkl}$$

Y_{ijkl} = Valor de la variable dependiente

μ = Promedio general

α_i = Efecto de época de siembra i

β_j = Efecto de fecha de corte j

δ_k = Efecto de la posición de dosel k donde $k = 1$ (superior), 2 (inferior)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto aleatorio de la interacción entre época de siembra i y fecha de corte j

$(\alpha\delta)_{ik}$ = Efecto aleatorio de la interacción entre la época de siembra i y posición de dosel k

$(\beta\delta)_{jk}$ = Efecto aleatorio de la interacción entre la fecha de corte j y la posición de dosel k

$(\alpha\beta\delta)_{ijk}$ = Efecto de interacción entre época i , fecha de corte j y posición de dosel k

P_{il} = Efectos (aleatorios) de parcela principal

SP_{jil} = Efectos (aleatorios) de subparcelas

SSP_{kjil} = Efectos (aleatorios) de sub-subparcelas

ϵ_{ijkl} = Error experimental

Los datos de altura en función de las semanas después de siembra fueron sometidos a un análisis de regresión. El modelo utilizado fue el siguiente: $Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon_{ij}$

Donde:

Y_{ij} = Altura en la semana i y la época j

x = Semana después de siembra

β_0 = Intercepto (valor de la altura cuando $x=0$)

β_1 = Pendiente (cambio en la altura a medida que pasa una semana después de siembra)

ϵ_{ij} = Error aleatorio (diferencia entre cada valor observado y el poblacional)

5.2 Resultados y Discusión

Efecto de temperatura y precipitación pluvial durante el periodo de experimentación

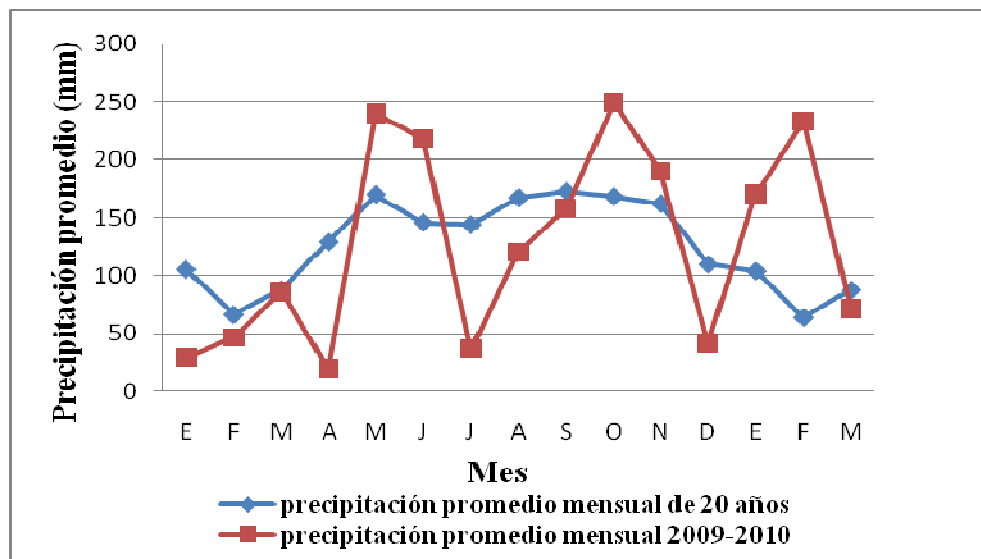
Durante el verano de 2009, las temperaturas promedio fueron similares a las de los últimos 20 años, con la excepción del mes de julio, donde la temperatura promedio fue de 1.8 °C sobre lo normal (Cuadro 4). Temperaturas relativamente mayores fueron observadas para el periodo de 90 a 120 días siguientes a la siembra en junio, con temperaturas aproximadas de 26.8 °C. Promedios de temperatura relativamente bajos fueron observados durante el periodo de 60 a 90 días luego de la siembra de noviembre, donde comenzó a observarse disminución desde el mes de septiembre, con temperaturas promedio de 24.4 °C en el mes de febrero.

Cuadro 4. Temperatura promedio mensual (°C) de los últimos 20 años y la temperatura promedio mensual durante la duración del experimento en los años 2009 y 2010, Estación Experimental de Isabela.

Mes	Temp. prom. 2009-2010 (°C)	Temp. prom. 20 años (°C)
Enero	23.5	23.39
Febrero	20.47	23.59
Marzo	23.44	23.88
Abril	24.50	24.59
Mayo	24.89	25.55
Junio	26.25	26.23
Julio	26.86	25.05
Agosto	26.80	26.76
Septiembre	26.64	26.63
Octubre	26.03	26.26
Noviembre	25.67	25.26
Diciembre	24.72	24.19
Enero	24.61	23.40
Febrero	24.42	23.48
Marzo	24.97	23.89

La precipitación durante el periodo de experimentación en la primera época de siembra fue distribuida de la siguiente manera: en mayo 240 mm, en junio 218 mm, en julio 37 mm, en agosto 120 mm y en septiembre 158 mm, para un total de 773 mm (Figura 7). Esta precipitación fue 26 mm menor que la de los últimos 20 años durante ese mismo periodo de experimentación en la Estación de Isabela. Durante la segunda época de siembra, la precipitación fue distribuida de la siguiente manera: en noviembre 190 mm, en diciembre 42 mm, en enero 170 mm, en febrero 233 mm y en marzo 72 mm, para un total de 707 mm. Estos valores sobrepasaron por 179 mm a la precipitación de los últimos 20 años durante ese mismo periodo de experimentación. La precipitación y temperatura no fueron factores limitantes para el desarrollo de Sunn hemp, las plántulas comenzaron su emergencia entre los 4 a los 7 días luego de la siembra y no se necesitó riego en ninguna de las dos épocas.

Figura 7. Precipitación promedio mensual (mm) de los últimos 20 años y la precipitación promedio mensual durante la duración del experimento en los años 2009 y 2010, Estación Experimental de Isabela.



Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre el rendimiento de materia seca de Sunn hemp cv Tropic Sun en Isabela, 2009-2010.

No se encontró interacción ($p \geq 0.05$) entre época de siembra y fecha de corte sobre el rendimiento de materia seca (RMS), es decir, en este experimento, la combinación de estos dos factores no ejerce un efecto estadísticamente significativo en la producción de biomasa de Sunn hemp. Para la siembra de junio, el RMS promedio fue de 10,886 y 15,873 kg ha⁻¹ para cosechas a los 71 y 92 DDS, respectivamente, duplicando los rendimientos obtenidos en la siembra de noviembre para estas mismas fechas de cosecha (4,522 y 6,409 kg ha⁻¹). La cantidad máxima de biomasa fue producida en la siembra de junio a los 121 DDS (20,734 kg ha⁻¹) y triplicó la cantidad obtenida en la siembra de noviembre para esta misma fecha de cosecha (6,062 kg ha⁻¹) (Figura 8).

En el análisis de los efectos principales de cada uno de los factores, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el RMS para ambas épocas de siembra, donde el RMS promedio general para la primera fue de 15,831 kg ha⁻¹, superando por 10,166 kg ha⁻¹ al RMS obtenido en la segunda época de siembra (5,665 kg ha⁻¹). Por ser un cultivo altamente fotoperiódico, en base a las pendientes del análisis de regresión de altura en función a la edad de Sunn hemp, se puede observar que las plantas de la siembra de junio crecieron con mayor rapidez que las sembradas en noviembre (Figura 9).

Figura 8. Efecto de época de siembra y fecha de corte en el rendimiento de materia seca de Sunn hemp, Isabela, P.R, 2009-2010. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar. DMS Tukey= 9,866.954.

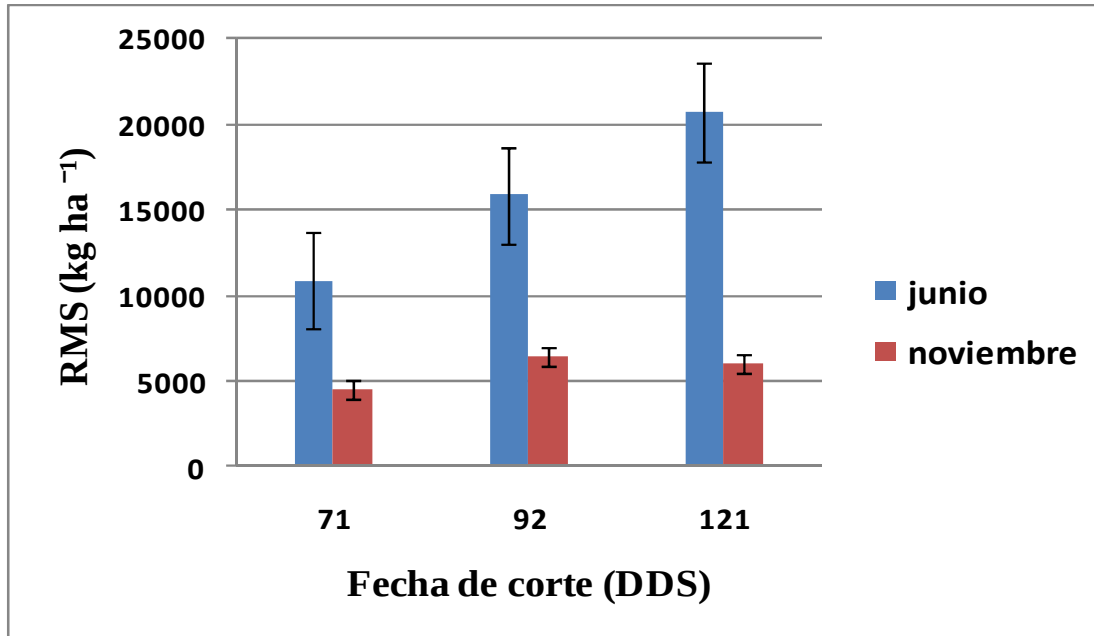
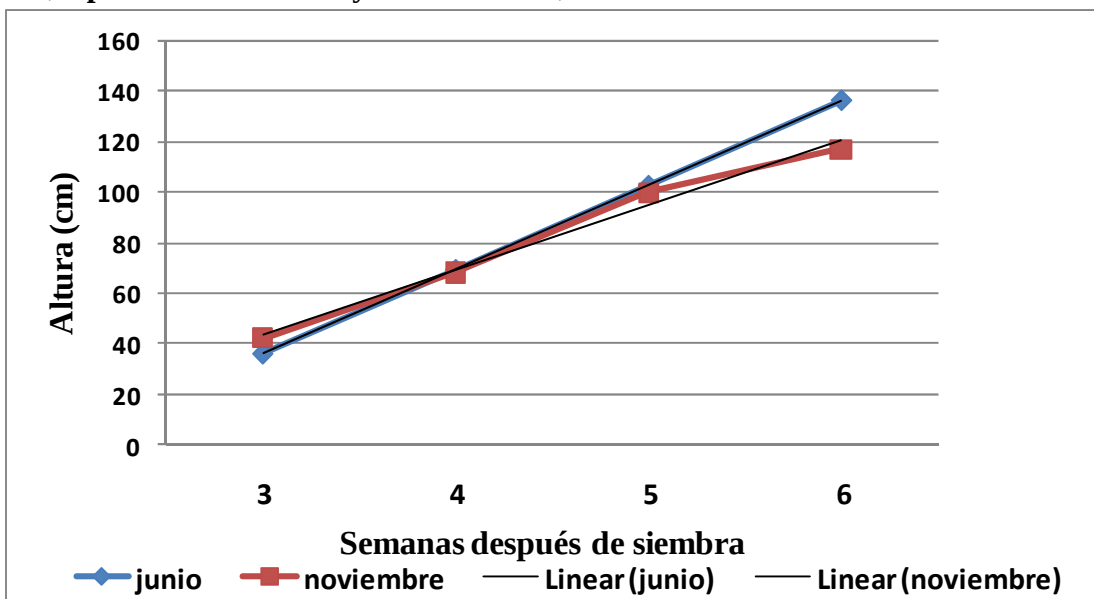


Figura 9. Efecto de época de siembra sobre el crecimiento de Sunn hemp en función de las semanas, Isabela, P.R, 2009-2010. Época de siembra en junio $y=33.21x-63.42$; $R^2=0.95$, época en noviembre $y=25.58x-33.35$; $R^2=0.91$.



Las plantas sembradas en noviembre alcanzaron una altura máxima aproximada de 117 cm a las 6 semanas mientras que el crecimiento de las sembradas en junio continuó hasta llegar a una altura aproximada de 232 cm al momento del tercer corte. Estos datos sustentan que el fotoperiodo tiene un efecto en la producción de biomasa de esta leguminosa.

También se encontró que la fecha de corte ejerce un efecto significativo ($p < 0.05$) en el RMS, con valores promedio de 7,704, 11,141 y 13,398 kg ha⁻¹ para cosechas a los 71, 92 y 121 DDS, respectivamente. En este experimento, la producción máxima de biomasa se obtuvo al sembrar las plantas en junio y cosechar a los 121 DDS. Es necesaria la evaluación de métodos de cosecha efectivos pues a esta fecha de corte, la altura de las plantas y la fibrosidad de los tallos pudieran ser obstáculos para el manejo.

Los resultados de este estudio son superiores a los obtenidos por Schomberg et al., 2007, donde Sunn hemp se sembró con varios propósitos, uno de estos el de comparar el RMS entre varias fechas de siembra y localidades en el estado de Georgia. Sembrado a una densidad de 13 kg ha⁻¹, se obtuvieron rendimientos promedio de 8,800 y 11,000 kg ha⁻¹ para cosechas a los 90 y 120 DDS, respectivamente, inferiores en comparación con los rendimientos obtenidos en el presente estudio para estas mismas fechas (11,141 y 13,398 kg ha⁻¹). Las diferencias en la temperatura y precipitación pluvial de cada región pudieron ser causantes de la variabilidad de los resultados entre ambos experimentos. Sin embargo, los autores manifiestan que desde los 60 días después de siembra se obtuvieron cantidades significantes ($> 4,500$ kg ha⁻¹). Por otro lado, Wang et al. (2003), compararon el efecto de varios cultivos de cobertura de verano sobre el crecimiento y producción de frutos de un

cultivo de tomate sembrado en invierno en Homestead, Florida. En el corte a los 120 DDS, las parcelas sembradas con Sunn hemp produjeron la cantidad superior de biomasa (19.7 kg ha^{-1}) en comparación con mucuna (9.95 kg ha^{-1}), cowpea (5.0 kg ha^{-1}) y sorgo-sudán (3.3 kg ha^{-1}). Además, este experimento comprobó que en las parcelas donde Sunn hemp fue incorporado, la biomasa de tomate en la florecida y el rendimiento de los frutos aumentaron significativamente en comparación con parcelas donde no se sembraron cultivos de cobertura.

Sunn hemp se puede identificar como una excelente proveedora de la materia orgánica que tantos beneficios ofrece al añadirse al suelo. También pudiera ser una excelente alternativa al utilizarse en sistemas de rotación con hortalizas pues en el estudio mencionado anteriormente, se destacó por mejorar el rendimiento del tomate en Florida, donde la temperatura media anual para la región es de 23.9°C en comparación con 25°C para la región del presente experimento. No cabe duda que esta leguminosa tiene potencial para utilizarse como cultivo de cobertura en la región de Isabela pues aunque la cantidad máxima de biomasa se obtuvo al dejar crecer hasta los 121 DDS, desde los 72 días se obtuvieron cantidades significantes para proveer buena cobertura al suelo.

Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre la concentración en el tejido y acumulación de N de Sunn hemp cv Tropic Sun.

No se evidenció interacción ($p \geq 0.05$) entre la época de siembra y fecha de corte, entonces, podemos decir que estos factores actúan de manera independiente sobre la concentración de N en el tejido de Sunn hemp. Las plantas sembradas en junio comenzaron a florecer desde los 91 días y se esperaba que el porcentaje de N disminuyera a partir de mediados de la etapa

de floración. Los valores máximos fueron obtenidos en las primeras dos fechas de corte en noviembre, disminuyendo para el corte a los 121 DDS (Cuadro 5). Debido a que las plantas sembradas en noviembre comenzaron a florecer desde la sexta semana (aprox. 42 DDS), los cambios en estos porcentajes son sustentados por la literatura de Treadwell y Alligood (2008), la cual señala que el contenido de N es mayor de la iniciación a mediados de la florecida y disminuye a medida que las reservas de N son destinadas a la producción de semillas.

Al evaluar los efectos principales, no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en los porcentajes de N en el tejido entre épocas de siembra. Los promedios generales fueron 2.22 y 2.61% para las siembras realizadas en junio y noviembre, respectivamente. Aunque a los 71 DDS se obtuvo un porcentaje mayor de nitrógeno en ambas épocas, estadísticamente no se evidenció algún efecto significativo ($p \geq 0.05$) de la fechas de corte. Los promedios generales fueron 2.60, 2.39 y 2.26% para las cosechas a los 71, 92 y 121 DDS, respectivamente.

Cuadro 5. Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre el porcentaje de nitrógeno en el tejido de Sunn hemp, Isabela, P.R., 2009-2010.

	Fecha de corte (DDS)		
	71	92	121
Época	%N		
junio	2.29	2.08	2.30
noviembre	2.91	2.70	2.22
cv = 14.73%			

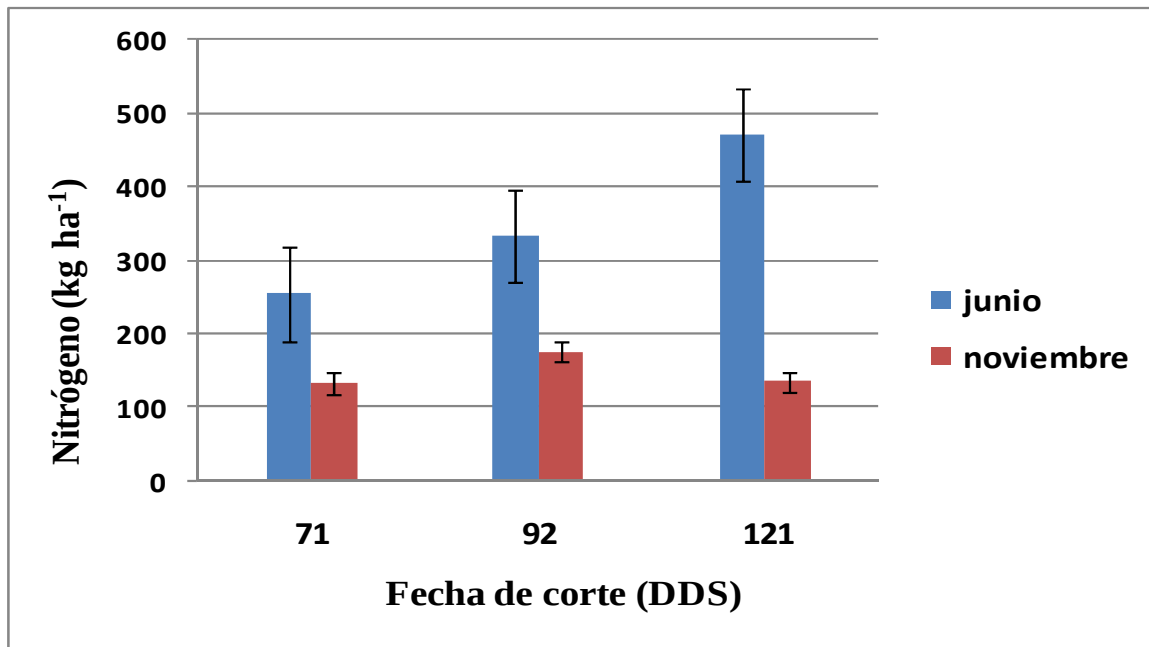
Estos resultados se acercan al rango de valores indicados por Valenzuela y Smith, 2002, donde se indica que la concentración de N aproximada en el tejido de Sunn hemp regularmente se encuentra en el rango de 2.0 a 3.12%. También los porcentajes de este experimento son comparables a los encontrados en el estudio realizado por Wang et. al., 2003, donde en el corte a los 120 DDS, la concentración de N de Sunn hemp tuvo un valor de 2.85%, superando significativamente las concentraciones de mucuna (2.58%), cowpea (2.08%) y sorgo-sudán (0.92%).

En cuanto a la acumulación de N se refiere, no se encontró evidencia estadística ($p \geq 0.05$) de que la combinación de los factores época de siembra y fecha de corte tuvo efecto significativo sobre la acumulación de N. Estos valores fueron calculados en base a la cantidad de biomasa acumulada y los porcentajes obtenidos en cada época. Los rendimientos mayores fueron obtenidos en la siembra de junio, con valores de 254 y 332 kg ha⁻¹ para cosechas a los 71 y 92 DDS, respectivamente. Estas cantidades superan en 122 y 157 kg ha⁻¹ a los rendimientos obtenidos al sembrar en noviembre para estas mismas fechas (132 y 175 kg ha⁻¹). A los 121 DDS, el rendimiento de la siembra de junio (471 kg ha⁻¹) triplicó el rendimiento obtenido en esta misma fecha de muestreo durante la siembra de noviembre (134 kg ha⁻¹) (Figura 10).

Debido a que la época de siembra y fecha de corte actúan de manera independiente sobre la acumulación de N en Sunn hemp, se evaluaron los efectos principales de cada uno de estos factores. Se encontró que la época de siembra ejerció un efecto significativo ($p < 0.05$)

en la acumulación total de N. Los promedios generales fueron 352 y 147 kg ha⁻¹ para las siembras realizadas en junio y noviembre, respectivamente, donde la diferencia en la cantidad de biomasa producida fue determinante.

Figura 10. Efecto de fecha de corte y época de siembra sobre la acumulación de nitrógeno de Sunn hemp, Isabela, P.R 2009-2010. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar. DMS Tukey=279.779.



Aunque en el tercer corte la acumulación de N sobrepasó la del primero por 110 kg ha⁻¹, no se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre las fechas de corte. Los promedios fueron 193, 254 y 303 kg ha⁻¹ para cosechas a los 71, 92 y 121 DDS, respectivamente.

Rotar y Joy (1983) especifican que ‘Tropic Sun’ puede añadir de 150 a 165 kg ha⁻¹ al incorporarse al suelo en tan corto tiempo como a los 60 días después de siembra. Al incorporarse al suelo a las 17 semanas después de siembra en Florida, Wang et al. (2003),

calcularon rendimientos de 561 kg ha^{-1} para Sunn hemp, superando significativamente el rendimiento de otros cultivos de cobertura como mucuna (257 kg ha^{-1}), cowpea (104 kg ha^{-1}) y sorgo-sudán (30 kg ha^{-1}). Por otro lado, Schomberg et al. (2007), también consideraron épocas de siembra tempranas como las más productivas, calculando valores promedio de 128, 207 y $194 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, donde factores como la disminución de la temperatura al comienzo del otoño pudieron influir en la disminución del crecimiento y del contenido de N.

Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre el porcentaje de nitrógeno de Sunn hemp al dividir las plantas entre dosel superior e inferior

Se encontró efecto triple interactivo ($p < 0.05$) de los factores época de siembra, fecha de corte y posición del dosel sobre el porcentaje de N, lo cual nos indica que estas fuentes de variación evaluados conjuntamente ejercen efectos significativos sobre la concentración de N de Tropic Sun. Como ejemplo, esta interacción triple podría interpretarse como que la interacción doble entre fecha de corte y posición del dosel no es la misma en la primera que en la segunda época. Esta evaluación proporciona evidencia de que en este estudio, los factores no actúan de forma independiente, por lo tanto no fue necesario evaluar el efecto de estos factores por separado. En este caso, se compararon las medias de las combinaciones de los niveles del factor fecha de corte y posición del dosel dentro de los 2 niveles de época de siembra por separado. Para este experimento, los valores del porcentaje de N en el tejido de Tropic Sun fueron influenciados por las diferentes combinaciones de los factores evaluados. Es decir, cualquier combinación de los niveles del factor fecha de corte con cualquier nivel

del factor posición del dosel dentro de los distintos niveles de época, induce a obtener distintos porcentajes de N.

Las figuras 11 y 12 muestran la interacción fecha de corte x posición del dosel, separando los 2 niveles de la época de siembra. Al cosechar el dosel superior de las plantas sembradas en junio, se obtuvieron valores de 2.76, 2.71 y 2.60% para cortes a los 71, 92 y 121 DDS, respectivamente (Figura 11). Estos porcentajes fueron superados al sembrar en noviembre, con valores de 2.94, 3.04 y 1.96%N para cortes a los 71, 92 y 121 DDS, respectivamente (Figura 12). Las diferencias en el momento del comienzo de las etapas de floración (50% o más de las plantas con al menos una flor) pudieron influir en las variaciones de los porcentajes en cada fecha de corte. En la primera época las plantas comenzaron a florecer aproximadamente a los 91 DDS, sin embargo, por su sensibilidad al fotoperiodo, para la segunda época de siembra, ya a los 42 DDS había comenzado la etapa de floración. Aunque aproximadamente 50 días marcaron la diferencia entre el comienzo de esta etapa entre épocas, se esperaba que los porcentajes de N disminuyeran a medida que las plantas avancen en su etapa de floración.

Figura 11. Efecto de interacción entre fecha de corte y posición del dosel sobre el porcentaje de N de Sunn hemp para la época de siembra en junio, Isabela, 2009-2010. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar. DMS Tukey= 0.426.

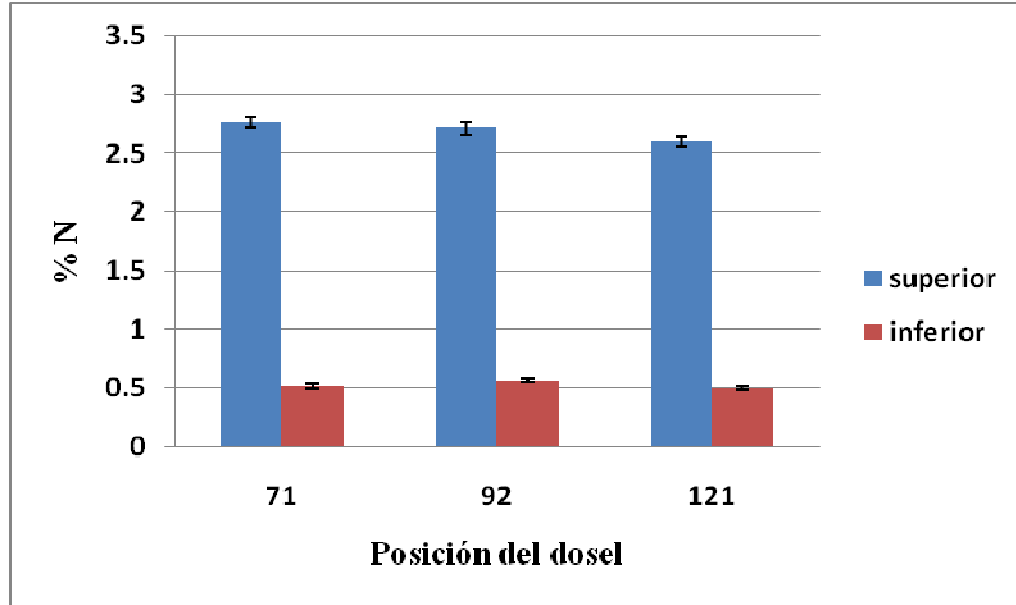
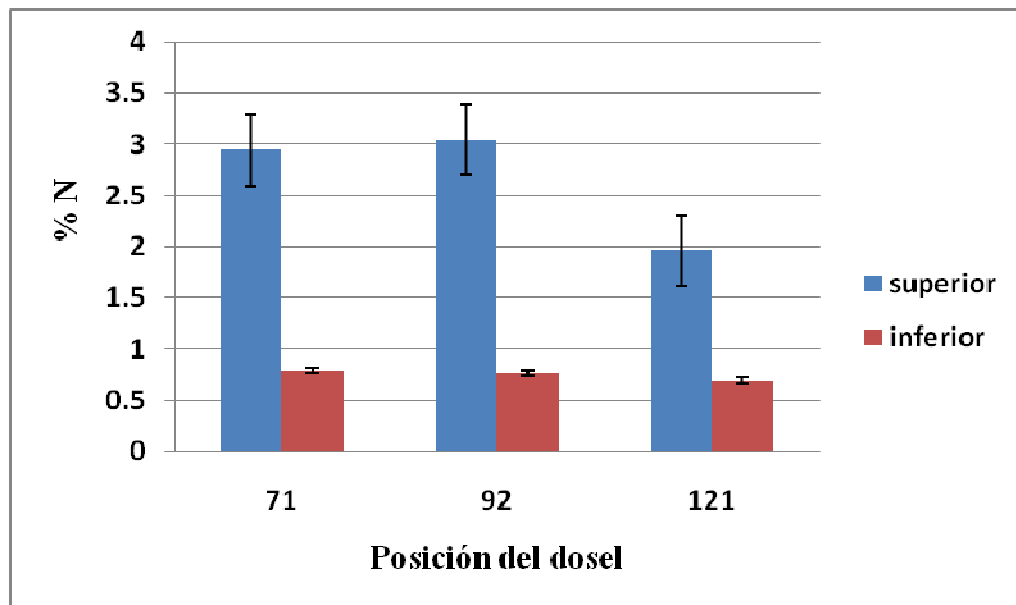


Figura 12. Efecto de interacción entre fecha de corte y posición del dosel sobre el porcentaje de N de Sunn hemp para la época de siembra en noviembre, Isabela, 2009-2010. Líneas verticales en columnas indican el error estándar. DMS Tukey= 0.426.



Efecto de época de siembra y fecha de corte sobre contenido de proteína bruta en el tejido de Sunn hemp al dividir la planta entre dosel superior e inferior

Las distintas combinaciones de los factores fecha de corte x posición del dosel x época de siembra ejercieron efectos significativos ($p < 0.05$) sobre el porcentaje de proteína bruta (PB) en el tejido de Sunn hemp. Debido a que estas fuentes de variación no actúan independientemente, se evaluaron los efectos de sus combinaciones para cada época de siembra en particular (Figuras 13 y 14).

El dosel superior mostró el mayor contenido para las todas las combinaciones de los niveles del factor época y fecha de corte, con valores promedio de 12.27 a 19.00%. En caso de que Sunn hemp sea sembrado en junio, el contenido mayor de PB (17.25%) será obtenido al cortar el dosel superior a los 71 DDS. Por otro lado, al sembrar Sunn hemp en noviembre, se obtuvo un 19.00% de PB al cosechar el dosel superior a los 92 DDS.

Figura 13. Efecto de interacción entre fecha de corte y posición del dosel sobre el porcentaje de proteína bruta para la época de siembra en junio, Isabela, P.R, 2009-2010. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar. DMS Tukey=2.662.

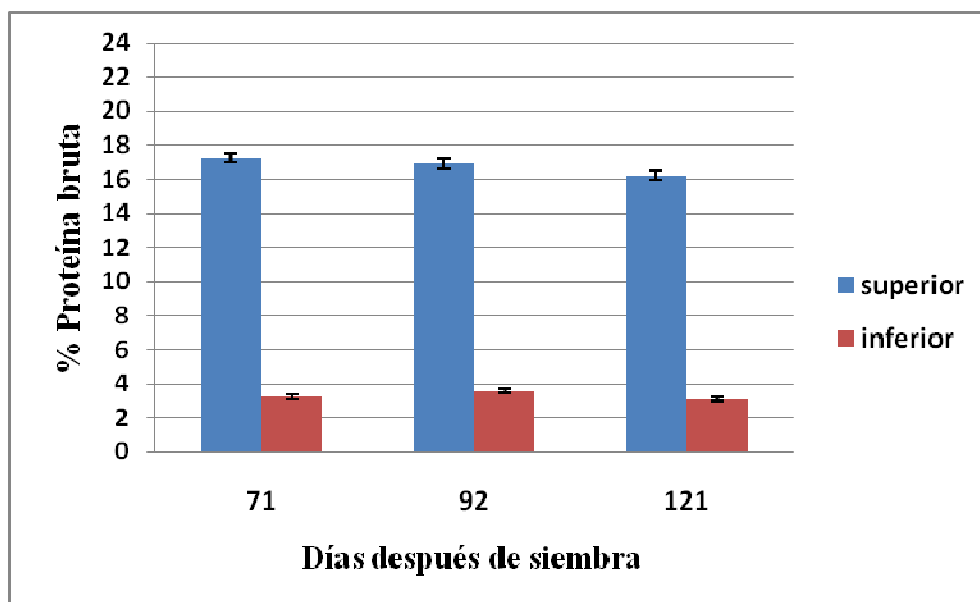
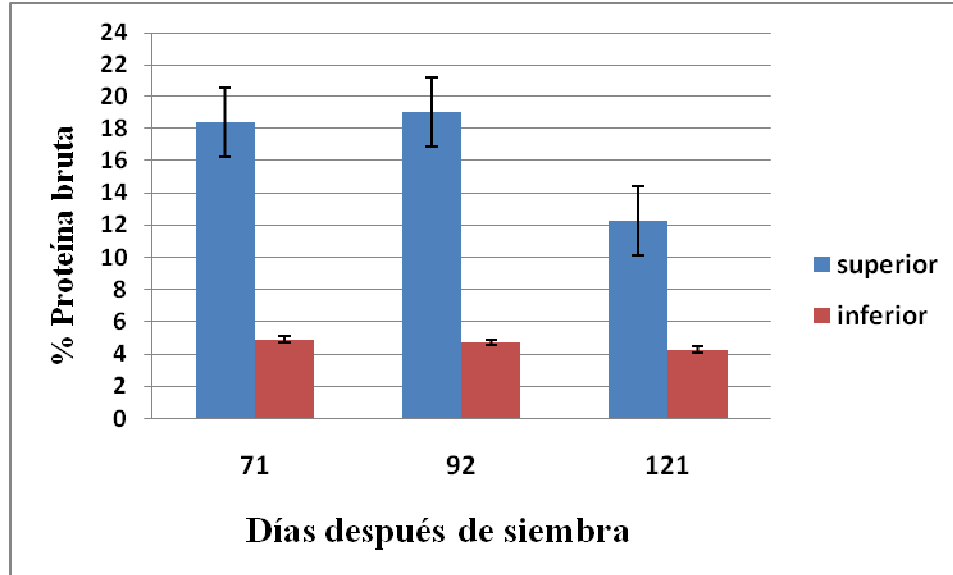


Figura 14. Efecto de interacción entre fecha de corte y posición del dosel sober el porcentaje de proteína bruta para la época de siembra en noviembre, Isabela, P.R. Líneas verticales sobre columnas indican el error estándar. DMS Tukey=2.662.



Estos valores fueron superiores a los encontrados por Weiss y Godfrey en el 2009, donde se calcularon porcentajes de 11.50 y 12.90% para heno almacenado y material fresco del Sunn hemp cosechado a los 84 DDS. Tomando como referencia los resultados de este estudio, podemos llegar a la conclusión de que las características de la calidad del tejido de Sunn hemp lo hacen una opción viable como alternativa de forraje para ganado.

5.3 Conclusiones

Al sembrar en Isabela, Tropic Sun mostró un buen potencial para uso como cultivo de cobertura pues mostró un crecimiento rápido, excelente producción de biomasa y acumulación de nitrógeno. Sunn hemp pudiera ser una buena alternativa para incorporar en sistemas de rotación para control de erosión, supresión de malezas y para aportación de nitrógeno. Los valores de proteína bruta pudieran hacer de Tropic Sun una excelente alternativa para alimentación animal.

Los resultados de este experimento mostraron:

- Sunn hemp fue más productiva al sembrarse en junio. La biomasa se duplicó a los 121 días después de siembra en comparación con la cosecha a los 71 días, mientras que estas diferencias no fueron tan marcadas en la siembra de noviembre.
- El rendimiento de materia seca mostró diferencias significantes ($p < 0.05$) entre las épocas de siembra. Los rendimientos generales en las siembras de junio y noviembre fueron 15,381 y 5,665 kg ha⁻¹, respectivamente.
- Las fechas de corte ejercieron un efecto significativo ($p < 0.05$) en términos de producción de materia seca, con valores de 7,704, 11,141 y 13,398 kg ha⁻¹ para cosechas a los 71, 92 y 121 días después de siembra, respectivamente.
- Aunque el rendimiento de materia seca de la cosecha a los 121 DDS de la siembra en junio (20,734 kg ha⁻¹) triplicó la producción en la cosecha de esta misma fecha para la siembra de noviembre, estadísticamente no se evidenció un efecto significativo ($p \geq 0.05$) de la combinación de los factores época de siembra y fecha de corte.

- Aunque estadísticamente no se evidenció un efecto significativo ($p \geq 0.05$) de la combinación de los factores época de siembra y fecha de corte en cuanto a la acumulación de nitrógeno, los rendimientos mayores fueron obtenidos al sembrar en junio (254 y 332 kg ha^{-1}) para cosechas a los 71 y 92 días después de siembra, respectivamente. Estos valores superaron en 122 y 157 kg ha^{-1} a los obtenidos para estas mismas fechas en la siembra de noviembre.
- La acumulación de nitrógeno varió significativamente ($p < 0.05$) en función de las épocas de siembra. Los promedios generales fueron 352 y 147 kg ha^{-1} para siembras realizadas en junio y noviembre, respectivamente, los cuales según referencias, son suficientes para cumplir con la mayoría de los requerimientos de N de cultivos agronómicos y hortícolas.
- Las fechas de corte no se diferenciaron en términos de acumulación de nitrógeno, aunque en la tercera cosecha la acumulación de nitrógeno sobrepasó por 110 kg ha^{-1} al rendimiento general de los 71 días después de siembra. Los promedios fueron 193 , 254 y 303 kg ha^{-1} para cosechas a los 71, 92 y 121 DDS, respectivamente.
- Los mejores porcentajes ($p < 0.05$) de nitrógeno y proteína bruta se obtuvieron al cosechar el dosel superior de las plantas.
- La combinación de la época de siembra, fecha de corte y posición del dosel tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el contenido de proteína bruta. Para la siembra de noviembre el porcentaje mayor se obtuvo al cosechar el dosel superior a los 92 días después de siembra ($19.00\% \text{ PB}$). Por otro lado, al sembrar Sunn hemp en junio, se obtuvo un $17.25\% \text{ PB}$ en la cosecha de los 71 DDS.

6 RECOMENDACIONES

La información obtenida de este estudio comprueba que Sunn hemp es una leguminosa que pudiera incorporarse en sistemas agrícolas y que puede utilizarse para múltiples propósitos y obtener diferentes beneficios en las regiones de Lajas e Isabela, sin embargo, se recomienda:

- Realizar estudios que evalúen la tasa de descomposición de los residuos de Tropic Sun y mineralización de nitrógeno en función de diferentes épocas de siembra y fechas de corte.
- Determinar las aportaciones al suelo evaluando el contenido de nitrógeno antes y después de la incorporación de los residuos de Tropic Sun.
- En el caso de que Tropic Sun sea considerada para alimentación animal, sería necesario realizar ensayos que brinden información sobre el valor nutritivo del dosel superior de las plantas.
- Evaluar el potencial productivo de Tropic Sun en otros agroecosistemas de Puerto Rico.

7 LITERATURA CITADA

- Adler, M.J., y C. A. Chase. 2007. Comparison of the allelopathic potential of leguminous summer cover crops: cowpea, sunn hemp, and velvetbean. University of Florida, HortScience. 42(2):289–293.
- Altieri, M. A., 1995. Agroecology. The Science of Sustainable Agriculture. Westview Press, Boulder, Colorado. 433 pp.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C.
- Asres, K., F. Sporer and M.Wink. 2004. Patterns of pyrrolizidine alkaloids in 12 ethiopian *Crotalaria* species. Biochemical Systematics and Ecology 32: 915–930.
- Baligar, V.C., y N.K. Fageria. 2007. Agronomy and physiology of tropical cover crops. Journal of Plant Nutrition 30: 1287–1339.
- Balkcom, K.S., y D. W. Reeves. 2005. Sunn hemp utilized as a legume cover crop for corn production. Agron. J. 97:26–31.
- Baki, A.A., H.H. Bryan, G.M. Zinati, W. Klassen, M. Codallo y N. Heckert. 2001. Biomass yield and flower production in Sunn hemp: Effect of cutting the main stem. Journal of Vegetable Crop Production 7(1):83-104.
- Beinroth, F. H., R.J. Engel, J.L. Lugo, C.L. Santiago, S. Ríos and G.R. Brannon. 2003. Updated Taxonomic Classification of the Soils of Puerto Rico. University of Puerto Rico, Mayaguez Campus, Agricultura Experiment Station San Juan, P.R. Bulletin 303.
- Brunner, B., S. Martínez, L. Flores y P. Morales. 2009. Hoja informativa: *Crotalaria*. Proyecto de Hoja Informativa Agricultura Orgánica Z-NRCS-007/Z-208, Estación Experimental Agrícola de Lajas. (Disponible en línea en <http://prorganico.info/crotalaria2.pdf>)
- Burns, J. C. 1978. Antiquality factors as related to forage quality. J. Dairy Sci. 61:1809–1820.
- Chan, J.H. 2010. Here comes the Sunn: A comprehensive analysis of the cover crop Sunn Hemp (*Crotalaria juncea* L.) and its potential for seed production and weed control in Puerto Rican agricultural systems. MSC Thesis. University of Puerto Rico, Mayaguez Campus. 59pp.

Chaudhury, J., D.P. Singh and S.K. Hazra. 1978. Sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) Central Research Institute for jute and allied fibres (ICAR). (Available online at <http://assamagribusiness.nic.in/Sunnhemp.pdf>) (Accessed October 2010)

Cheng Hu y Zhiping Cao. 2007. Size and activity of the soil microbial biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. *World Journal of Agricultural Sciences* 3:63-70.

Cherr, C.M., J.M.S. Scholberg, and R. McSorley. 2006. Green manure as nitrogen source for sweet corn in a warm–temperate environment. *Agron. J.* 98:1173–1180.

Cook C.G. and G.A. White. 1996. *Crotalaria juncea*: A potential multipurpose fiber crop. p.389-394. In J. Janick (ed.), *Progress in new crops*. ASHS Press, Arlington, VA. (Available on-line at <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/v3-389.html>) (Verified September 2010)

Damron, B.L. and J. P. Jacob. 2001. Toxicity to Poultry of Common Weed Seeds. Animal Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Fact Sheet PS-55.

Environmental Protection Agency. 1999. Background Report on Fertilizer Use, Contaminants and Regulations. Office of Pollution, Prevention and Toxics. EPA 747-R-98 003. pp 8-10.

Fageria, N.K, Baligar, V.C. and B.A. Bailey. 2005. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36: 2733–2757

[FLDACS] Florida Department of Agriculture and Consumer Services. 2005. Water quality/Water quantity: Best management practices for Florida vegetable and agronomic crops. (Available at: http://www.floridaagwaterpolicy.com/PDF/Bmps/Bmp_VeggieAgroCrops2005.pdf) (Verified October 2010)

Frink, C.R., P.E. Waggoner and J. H. Ausubel. 1999. Nitrogen fertilizer: Retrospect and prospect. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 96: 1175–1180.

Giller, K. 2001. *Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems*. 2nd Edition Kent Giller. Publishing Department of Soil Science and Agricultural Engineering. Zimbabwe.

Goldstein, C. and J. McHugh. 2010. Sustainable Seed Production and Cover Crops. Pioneer Hi-Bred International, Inc and United States Department of Agriculture. (Available online at <http://www.ctahr.hawaii.edu/sustainag/news/articles/V4-Goldsten-CC.pdf>) (Verified october 2010)

Hooks, C.R., K. Wang and D. Falcon. 2006. An Ally in the War Against Nematode Pests: Using Sunn Hemp as a Cover Crop to Suppress Root-Knot Nematodes. Department of Plant and Environmental Protection Sciences, Department of Entomology and Nematology, University of Florida. Series PD-32.

Hubbell, D.H. and G. Kidder. 1978. Biological Nitrogen Fixation. Soil and Water Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Series SL-16.

James, L. F., K. E. Panter, D. B. Nielsen and R. J. Molyneux. 1992. The effect of natural toxins on reproduction in livestock. J. Anim. Sci. 70:1573-1579.

Joy, R., and J.S. Peterson. 2005. *Crotalaria juncea* L. USDA NRCS National Plant Data Center, Baton Rouge, Louisiana.

Joy, R. 2003. Report of Plants In Field Plantings. USDA NRCS.

Kingsbury, J. 1958. Plants Poisonous to Livestock. A Review. J. Dairy Sci. 41:875-907.

Knight, A.P., and R. G. Walter. 2003. Plants Affecting the Skin and Liver. A Guide to Plant Poisoning of Animals in North America. Internet Publisher: International Veterinary Information Service (www.ivis.org), Ithaca, New York, USA.

Lewis, G., Brian Schrire, Barbara MaCkinder and Mike Lock. 2005. Legumes of the World. Royal Botanic Gardens, Richmond, Surrey, U.K. 1-3.

Li, Y., Q. Wang, W. Klassen, and E. A. Hanlon. 2000. Sunn Hemp – A Cover Crop in Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Document SL-306.

Mansoer, Z., D. Wayne Reeves and C. Wesley Wood. 1997. Suitability of Sunn hemp as an alternative late-summer legume cover crop. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:246-253.

Morris, J. B., and S. E. Kays. 2005. Total dietary fiber variability in a cross section of *Crotalaria juncea* genetic resources. Crop Sci. 45:1826–1829.

Mosjidis, J.A. 2007. Breeding of Annual and perennial Legumes and their Utilization as Forages and Crops. Dept. of Agronomy and Soils, Auburn University and Ala. Agric. Expt. Stn., Auburn, AL 36849-5412, USA.

Njunie, M.N., M.G. Waggoner and P. Luna-Orea. 2004. Residue decomposition and nutrient release dynamics from two tropical forage legumes in a Kenyan environment. Agron. J. 96:1073-1081.

Peñaloza, G.C. y C.A. Peláez. 2008. Evaluación de la actividad biológica de extractos de *Crotalaria juncea* mediante el modelo *Drosophila melanogaster*. Revista de la facultad de química farmacéutica. 15(2): 279-284.

Rotar, P.P. and R.J. Joy. 1983. 'Tropic Sun' Sunn hemp *Crotalaria juncea* L. Res. Ext. Ser. 36. Hawaii Inst. Trop. Agric. and Human Resour. Univ. of Hawaii, Honolulu.

SAS, 1999. SAS/STAT User's Guide. (v. 8). SAS Inst. Inc., Cary, N. C U.S.A.

Schomberg, H. H., N. L. Martini, J. C. Diaz-Perez, S. C. Phatak, K.S. Balkcom and H. L. Bhardwa. 2007. Potential for using Sunn hemp as a source of biomass and nitrogen for the piedmont and coastal plain regions of the southeastern USA. Agron. J. 99:1448–1457.

Sotomayor-Ramírez, D. 2001. Interpretación de un análisis de suelo. Notas de clase Fertilidad de Suelos y Abono [en línea] disponible en <http://academic.uprm.edu/dsotomayor> (verificado septiembre 2010).

Steinmaier, N and A. Ngoliya. 2001. Potential of pasture legumes in low-external-input and sustainable agriculture (LEISA). Cambridge University Press. Expl Agric. 37. p. 297-307.

Thiessen-Martens, J. R., M. H. Entz, and J. W. Hoepfner. 2005. Legume cover crops with winter cereals in southern Manitoba: Fertilizer replacement values for oat. Canadian Journal of Plant Science 85:645-648.

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

Treadwell, D. and M. Alligood. 2008. Sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.): A summer cover crop for Florida vegetable producers. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Horticultural Sciences Department. Series HS1126. (Available on-line at <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/HS/HS37600.pdf>) (Verified September 2010)

Tripplett E.W., B.G. Rolfe, E.C. Cocking, I. Kennedy and J. Vanderleyden. 2007. A Nitrogen Story. Microbe 2(8): 372-373.

United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service Soil Quality Institute. 1996. Soil Quality Indicators: Organic Matter. Soil Quality Information Sheet. (Available on-line at http://soils.usda.gov/sqi/publications/files/sq_fou_1.pdf) (Verified September 2010)

(USDA) United States Department of Agriculture, NRCS. 1999. Sunn Hemp: A Cover Crop for Southern and Tropical Farming Systems. Soil Quality Technical Note No.10. (Available on-line at http://soils.usda.gov/sqi/management/files/sq_atn_10.pdf) (Verified September 2010)

Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez. 2010. Estación Experimental Agrícola, Subestación de Lajas. Disponible en <http://eea.uprm.edu>.

Urquiaga, S., Georg Cadisch, Bruno J. R. Alves, Robert M. Boddey and Ken E. Giller. 1998. Influence of decomposition of roots of tropical forage species on the availability of soil nitrogen. *Soil Biol. Biochem.* 14: 2099-2106.

USDA. 2007. Managing Cover Crops Profitably. Third Edition. Sustainable Agriculture Network, Beltsville, MD, ISBN 978-1-8888626-12-4. pp. 3-25

USDA NAL. 1999. Publications: Sustainable Agriculture Definitions and Terms. Special Reference Briefs Series no. SRB 99-02. (Available online at <http://www.nal.usda.gov/afsic/pubs/terms/srb9902.shtml#toc2>) (Verified September 2010)

Valenzuela, H. and J. Smith. 2002. 'Tropic Sun' Sunn hemp. Cooperative Extension Service. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Mānoa. Sustainable Agriculture Green Manure Crops. SA-GM-11.

Wang, K.H., B.S. Sipes and D.P. Schmitt. 2002. *Crotalaria* as a cover crop for nematode management: A review. *Nematropica* 32:35-57.

Wang, K-H. and R. McSorley. 2009. Management of Nematodes and Soil Fertility with Sunn Hemp Cover Crop. Department of Entomology and Nematology, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Document ENY-717.

Wang, K.H., R. McSorley, A.J. Marshall and R.N. Gallaher. 2004. Nematode community changes associated with decomposition of *Crotalaria juncea* amendment in litterbags. *Applied Soil Ecology* 27(2004):31-45.

Wang, K.H., R. McSorley, and R. N. Gallaher. 2004. Effect of *Crotalaria juncea* amendment on squash infected with *Meloidogyne incognita*. *Journal of Nematology*. 36(3):290–296.

Wang, Q., W. Klassen. H. Bryan and Y. Li. 2003. Influence of summer cover crops on growth and yield of a subsequent tomato crop in south Florida. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 116:140-143.

Weiss, A. and R. W. Godfrey. 2010. Evaluation of Sunn Hemp Hay for St. Croix White Hair Sheep Production. S. University of the Virgin Islands, Agricultural Experiment Station. Technical Session, 46th Caribbean Food Crops Society Annual Meeting. July 7-11, 2010 at Boca Chica, Dominican Republic.

8 APENDICE

Apéndice 1. Análisis de varianza efecto época de siembra y fecha de corte sobre el rendimiento de materia seca de Sunn hemp, Lajas, P.R, 2008-2009.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>p-valor</i>
Época	4857768.75	1	8.37	0.0444
Época>Rep	580570.25	4	0.11	0.9724
Corte	21368014.08	1	4.05	0.1144
Época*Corte	3359150.08	1	0.64	0.4695
Error	5272613.58	4		
Total		11		
CV=34.73				

Apéndice 2. Análisis de varianza efecto época de siembra y fecha de corte sobre la acumulación de nitrógeno en el tejido de Sunn hemp, Lajas, P.R, 2008-2009.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>p-valor</i>
Época	1381.749	1	1.30	0.3182
Época>Rep	4258.50	4	0.58	0.6965
Corte	279.59	1	0.15	0.7170
Época*Corte	7.18	1	0.00	0.9532
Error	1845.80	4		
Total		11		
CV=37.09				

Apéndice 3. Análisis de varianza efecto época de siembra y fecha de corte sobre el porcentaje de N de Sunn hemp al dividir las plantas entre dosel superior e inferior. Lajas, P.R, 2008-2009.

Fuente de variación	Cuadrados Medios	gl	F- valor	p-valor
Época	2.14663533	1	23.72	0.0082
Rep (Época)	0.09050900	4	1.22	0.3733
Corte	0.95065635	1	10.83	0.0302
Época*Corte	0.17526126	1	2.00	0.2305
Rep*Corte(Época)	0.08774942	4	1.19	0.3866
Dosel	7.39704743	1	99.96	<0.0001
Época *dosel	0.56118920	1	7.58	0.0249
Corte*dosel	0.40440769	1	5.47	0.0476
Época*corte*dosel	0.03035580	1	0.41	0.5398
Error	0.07399951	84		
Total		23		
CV=17.42				

Apéndice 4. Análisis de varianza efecto época de siembra y fecha de corte sobre el porcentaje de proteína bruta de Sunn hemp al dividir las plantas entre dosel superior e inferior. Lajas, P.R, 2008-2009.

Fuente de variación	Cuadrados Medios	gl	F- valor	p-valor
Época	83.85294275	1	23.72	0.0082
Rep (Época)	3.5355077	4	1.22	0.3733
Corte	37.13501370	1	10.83	0.0302
Época*Corte	6.84614311	1	2.00	0.2305
Rep*Corte(Época)	3.4277118	4	1.19	0.3866
Dosel	288.9471650	1	99.96	<0.0001
Época *dosel	21.9214531	1	7.58	0.0249
Corte*dosel	15.7971753	1	5.47	0.0476
Época*corte*dosel	1.1857734	1	0.41	0.5398
Error	2.8906058	8		
Total		23		
CV=17.42				

Apéndice 5. Análisis de varianza efecto época de siembra y fecha de corte sobre el rendimiento de materia seca de Sunn hemp, Isabela, P.R, 2009-2010.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>p-valor</i>
Época	465113462.4	1	256.18	<.0001
Época>Rep	1815603.7	4	0.17	0.9498
Corte	49330354.1	2	4.51	0.0488
Época*Corte	26437644.7	2	2.42	0.1510
Error	10939829.8	8		
Total		17		
CV=30.77				

Apéndice 6. Análisis de varianza efecto época de siembra y fecha de corte sobre la acumulación de nitrógeno en el tejido de Sunn hemp, Isabela, P.R, 2009-2010.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>p-valor</i>
Época	189790.0346	1	134.85	0.0003
Época>Rep	1407.3675	4	0.16	0.9528
Corte	36129.5928	2	2.05	0.1906
Época*Corte	39869.1934	2	2.27	0.1660
Error	1845.80	8		
Total		17		
CV=37.55				

Apéndice 7. Análisis de varianza efecto época de siembra y fecha de corte sobre el porcentaje de N de Sunn hemp al dividir las plantas entre dosel superior e inferior. Isabela, P.R, 2009-2010

<i>Fuente de variación</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>p-valor</i>
Época	0.6847191	1	1.57	0.2786
Rep (Época)	0.04364902	4	2.53	0.0956
Corte	0.42094888	2	4.43	0.1906
Época*Corte	0.21673989	2	2.28	0.1643
Rep*Corte(Época)	0.09495518	8	5.50	0.0044
Dosel	37.18090397	1	2153.61	<0.0001
Época *dosel	0.14397703	1	8.34	0.0136
Corte*dosel	0.26694368	2	15.46	0.0005
Época*corte*dosel	0.19072237	1	11.05	0.0019
Error	0.01726444	12		
Total		35		
CV=7.95				

Apéndice 8. Análisis de varianza efecto época de siembra y fecha de corte sobre el porcentaje de proteína bruta de Sunn hemp al dividir las plantas entre dosel superior e inferior. Isabela, P.R, 2009-2010.

<i>Fuente de variación</i>	<i>Cuadrados Medios</i>	<i>gl</i>	<i>F- valor</i>	<i>p-valor</i>
Época	2.14663533	1	1.57	0.2786
Rep (Época)	0.09050900	4	2.53	0.0956
Corte	0.95065635	2	4.43	0.1906
Época*Corte	0.17526126	2	2.28	0.1643
Rep*Corte(Época)	0.08774942	8	5.50	0.0044
Dosel	7.39704743	1	2153.61	<0.0001
Época *dosel	0.56118920	1	8.34	0.0136
Corte*dosel	0.40440769	2	15.46	0.0005
Época*corte*dosel	0.03035580	1	11.05	0.0019
Error	0.07399951	12		
Total		35		
CV=7.95				

Apéndice 9. Tropic Sun, época de siembra en junio a los 92 días después de siembra. Isabela, P.R., 2009

