

**RENDIMIENTO Y VALOR NUTRICIONAL DE ESPECIES FORRAJERAS
EN SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO**

por

Mayra Cristina Velasco Yaselga

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

MAESTRO EN CIENCIAS

en

AGRONOMÍA

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ

2019

Aprobado por:

Elide Valencia, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

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

Fecha

Guillermo Ortiz Colón, Ph.D., P.A.S
Miembro, Comité graduado

Fecha

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

Fecha

Jaime Curbelo Rodríguez, Ph.D., P.A.S
Representante de Escuela Graduada

Fecha

ABSTRACT

Experiments were conducted during 2017 and 2018 at the Agricultural Experimental Station (AES)- Isabela and Lajas, and in conjunction with Tai South Farm.

Experiment 1. In Puerto Rico (Isabela and Lajas), forage soybeans [*Glycine max.* L. Merr.] were established for hay production. The objective of the study was to determine the yield of dry matter (DMY, Mg/ha), percentage of crude protein (PC), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and lignin (L) in soybean lines at three phenological stages [(EF); R2 (full bloom), R4 (full developed pod) and R6 (fully developed seed)]. The experimental design was of complete blocks (RCBD) with a factorial arrangement of two soybean lines by three EF, established at the Agricultural Experimental Station, Isabela (PR Lines 1-1 and 16-2) and at Tai South Farm, Lajas (PR 1-1 and 22-3). To estimate the DMY by EF, 1.50 m² areas were sampled (three samples at random). The data was analyzed using InfoStat statistical package. In Isabela, no significant interaction ($p > 0.05$) was found between lines x EF for the DMY, and no difference was found between lines, except between EF ($p < 0.05$) where the DMY were 7.8, 5.2 and 2.3 Mg/ha, for R6, R4, and R2, respectively. Also, the PC was different ($p < 0.05$) presenting percentages 18.0 (R2), 16.7 (R4), and 16.5 (R6) decreasing by EF. In L, a difference was found between soybean lines with percentages of 9.3 and 10.6, for PR 1-1 and 16-2, respectively. In Tai South Farm, no interactions were found ($p > 0.05$) between lines x EF in DMY, but there was ($p < 0.05$) between EF and soybean lines. The DMY for line 1-1 and 16-2 was 4.2 and 1.2 Mg/ha. Similarly, no interactions were found ($p > 0.05$) between lines x EF in PC, NDF, FDA and L. No differences were found between lines ($p > 0.05$) in PC, except for EF ($p < 0.05$) where the R2 showed higher PC content on stage R4 and R6 with 13.9; 9.0 and 9.2%, respectively.

Experiment 2. *Crotalaria juncea* L.) and pearl millet (*Pennisetum americanum* L. Leeke.) are fast growing annuals often used as temporary pasture or hay crops. *Crotalaria* and pearl millet mixtures and monoculture to improve hay quality in Puerto Rico are non-existent. The objective of this study was to evaluate planting systems (PS) of *crotalaria*, pearl millet and mixtures of *crotalaria*-pearl millet effects on dry matter yield (DMY), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and lignin (L) when harvested at 49 and 63-d after planting.

Monocultures of crotalaria (14 kg/ha) and pearl millet (10 kg/ha), and mixture of crotalaria (7 kg/ha)-pearl millet (5 kg/ha) were established with a billion seeder. The experimental design was completely randomized (CRD) with a factorial arrangement of crotalaria, pearl millet and mixture of crotalaria and pearl millet by two harvest dates (HD) with four replications. At each HD in each PS three random samples of 1m² was clipped, weighed, dried to estimate DMY. Representative samples (500 g) were dried and ground for laboratory analysis. There was an interaction ($p < 0.05$) between PS and HD on DMY. At 63-d, pearl millet, crotalaria and their mixture averaged 4.8, 1.2 and 6.3 Mg/ha, respectively. There was no interaction between PS by HD period for CP and L. However, there was a significant difference ($p < 0.05$) between PS for CP and L. Crude protein averaged 8.2, 18.7, 8.2%, while L averaged 4.8, 7.9, 6.0 %, for pearl millet, crotalaria and mixture, respectively. Also, there was a significant difference ($p > 0.05$) between HD for CP, averaging 13.9 and 9.5% when harvested at 49 and 63-d. There was an interaction ($p < 0.05$) between PS by HD on NDF and ADF. Crotalaria when harvested at the 49 and 63-d presented 39.3 and 49.7% for NDF and 31.7 and 40.0% for ADF, respectively. No differences were observed for ADF on pearl millet and mixtures at the HD. In conclusion, DMY are increased when in mixture, CP is not increased in the mixture, but NDF and ADF are indicative of high quality hay.

Experiment 3. In Puerto Rico, haylage offers an opportunity to preserve forages at optimum nutritional quality. Forage sorghums (*Sorghum vulgare* L.) cv. Pampa Verde has long been preserved as haylage, but information is limited on maralfalfa (*Pennisetum* spp) fermentation characteristic. The objective of this study was to determine percentage dry matter (DM), crude protein (CP), pH and fermentation characteristics of Pampa Verde (56-d after sowing) and maralfalfa (56-d regrowth) and 35-d regrowth. The experiment was a complete factorial of two crops x two harvest dates in a completely randomized (CRD) design with six replications. Representative samples at different crop ages were harvested in 1m² (three samples per treatment), pre-wilted for 24-hrs and packed and sealed in plastic wrap round bales (Pampa verde) or in micro-silos (maralfalfa). After 21-d of fermentation, representative samples were taken, frozen and sent to a commercial laboratory for chemical analysis. There was a significant interaction ($p < 0.05$) between baled crops x harvest date. At 56-d, Pampa Verde and maralfalfa had 36 and 30% DM, 14 and 8.6% CP, and pH of 4.61 and 5.9, respectively. A 35-d regrowth, Pampa Verde and maralfalfa had 31 and 22% DM, 12 and 10% CP, and pH of 5.8 and 6, respectively. At 56-d, lactic acid was

4.01 for Pampa Verde compared to 0.24 for maralfalfa, while at 35-d lactic acid production (0.41) was low for both Pampa Verde and maralfalfa. Overall, DM, CP, pH and lactic acid percentages for Pampa Verde were better than those of maralfalfa indicating better fermentation characteristics, while at 35-d regrowth's of both crops fermentation characteristic were poor indicating a low quality haylage.

RESUMEN

Se realizaron experimentos durante el 2017 y 2018 en las Estaciones Experimentales Agrícolas (EEA)-Isabela y Lajas, y en conjunto con Tai South Farm.

Experimento 1. En Puerto Rico (Isabela y Lajas) se establecieron soyas [*Glycine max.* L. Merr.] forrajeras para la producción de heno. El objetivo de estudio fue determinar el rendimiento de materia seca (RMS; Mg/ha), porcentaje de proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina (L) en líneas de soya a tres etapas fenológicas [(EF); R2 (floración completa), R4 (vaina completamente desarrollada) y R6 (semilla completamente desarrollada)]. El diseño experimental fue de bloques completos (DBCA) con un arreglo factorial dos líneas de soya por tres EF, establecidas en la Estación Experimental Agrícola, Isabela (Líneas PR 1-1 y 16-2) y en la empresa Tai South Farm, Lajas (PR 1-1 y 22-3). Para estimar el RMS por EF, se muestrearon áreas de 1.50 m² (tres muestras al azar). La data se analizó usando el paquete estadístico InfoStat. En Isabela, no se encontró una interacción significativa ($p > 0.05$) entre líneas x EF para el RMS, y tampoco se encontró diferencia entre líneas, excepto entre EF ($p < 0.05$) donde los RMS fueron de 7.8, 5.2 y 2.3 Mg/ha, para R6, R4, y R2, respectivamente. También, la PC fue diferente ($p < 0.05$) presentando porcentajes 18.0 (R2), 16.7 (R4), y 16.5 (R6) decrecientes por EF. En L, se encontró diferencia entre líneas de soya con porcentajes de 9.3 y 10.6, para la PR 1-1 y 16-2, respectivamente. En Tai South Farm, no se encontraron interacciones ($p > 0.05$) entre líneas x EF en RMS, pero sí ($p < 0.05$) entre EF y líneas de soya. Los RMS para la línea 1-1 y 16-2 fue de 4.2 y 1.2 Mg/ha. De igual manera, no se encontraron interacciones ($p > 0.05$) entre líneas x EF en PC, FDN, FDA y L. Tampoco se encontró diferencias entre líneas ($p > 0.05$) en PC, excepto por EF ($p < 0.05$) donde la R2 presentó mayor contenido de PC sobre etapa R4 y R6 con 13.9; 9.0 y 9.2%, respectivamente.

Experimento 2. Crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) y el millo perla (*Pennisetum americanum* L. Leeke.) son plantas anuales de rápido crecimiento que se utilizan a menudo como pastos temporales o cultivos para heno. Las mezclas entre millo perla, crotalaria y en monocultivo mejoran la calidad del heno, pero en Puerto Rico no es existente. El objetivo de este estudio fue evaluar los sistemas

de siembra (S) de crotalaria, millo perla y la mezcla de millo perla y crotalaria sobre el efecto de rendimiento de materia seca (RMS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina (L) cuando se cosechan a los 49 y 63 días después de la siembra. Se establecieron monocultivos de crotalaria (14 kg/ha) y millo perla (10 kg/ha) y mezcla de crotalaria (7 kg/ha) millo perla (5 kg/ha) con una sembradora brillon. El diseño experimental fue completamente al azar (DCA) con una disposición factorial de crotalaria, mijo perla y mezcla de crotalaria y millo perla (S) en dos periodos de cosecha (P) con cuatro repeticiones. En cada S y en cada P se recortaron, pesaron y secaron tres muestras aleatorias de 1 m² para estimar el RMS. Muestras representativas (500 g) fueron secadas y molidas para análisis de laboratorio. Hubo una interacción (p <0.05) entre S y P en RMS. A los 63-días, el millo perla, la crotalaria y su mezcla promediaron 4.8, 1.2 y 6.3 Mg/ha, respectivamente. No hubo interacción entre S por P para PC y L. Sin embargo, hubo una diferencia significativa (p <0.05) entre S para PC y L. La proteína cruda promedió 8.2, 18.7, 8.2%, mientras que L promedió 4.8, 7.9 y 6.0%, para millo perla, crotalaria y su mezcla, respectivamente. Además, hubo una diferencia significativa (p > 0.05) entre la P para PC, con un promedio de 13.9 y 9.5% cuando se cosechó a los 49 y 63 días. Hubo una interacción (p <0.05) entre S por P en FDN y FDA. En crotalaria cuando se cosechó a los 49 y 63 días presentó 39.3 y 49.7% para FDN y 31.7 y 40.0% para FDA, respectivamente. No se observaron diferencias para el FDA en el millo perla y las mezclas en el S. En conclusión, el RMS aumenta cuando se mezcla, el PC no aumenta en la mezcla, pero el FDN y el FDA son indicativos de heno de alta calidad.

Experimento 3. En Puerto Rico, el henolaje ofrece la oportunidad de preservar los forrajes con una calidad nutricional óptima. Sorgos forrajeros (*Sorghum vulgare* L.) cv. Pampa Verde se ha conservado durante mucho tiempo como henolaje, pero la información está limitada a la característica de fermentación de maralfalfa (*Pennisetum* spp). El objetivo de este estudio fue determinar el porcentaje de materia seca (MS), proteína cruda (PC), pH y características de fermentación de Pampa Verde (56-días después de la siembra), maralfalfa (56-días rebrote) y 35 días-rebrote. El experimento fue un diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial de dos cultivos x dos fechas de cosecha con seis repeticiones. Las muestras fueron representativas en diferentes edades de cultivo, se recolectaron en 1 m² (tres muestras por tratamiento), se pre-marchitaron durante 24 horas y se empaquetaron, se sellaron en fardos redondos de plástico (Pampa

verde) o en micro-silos (maralfalfa). Después de 21 días de fermentación, se tomaron muestras representativas, se congelaron y se enviaron a un laboratorio comercial para su análisis químico. Hubo una interacción significativa ($p < 0.05$) entre cultivos empacados x fecha de cosecha. A los 56 días, Pampa Verde y maralfalfa tenían 36 y 30% de MS, 14 y 8,6% de PC, y un pH de 4,61 y 5,9, respectivamente. Un recrecimiento a los 35 días, Pampa Verde y maralfalfa tuvieron 31 y 22% de MS, 12 y 10% de PC, y pH de 5.8 y 6.0 respectivamente. A los 56 días, el ácido láctico fue de 4.0 para Pampa Verde en comparación con 0.2 para maralfalfa, mientras que, a los 35 días la producción de ácido láctico (0.4) fue baja tanto para Pampa Verde como para maralfalfa. En general, los porcentajes de MS, PC, pH y ácido láctico para Pampa Verde fueron mejores que los de maralfalfa, lo que indica mejores características de fermentación, mientras que, las características de fermentación a los 35 días de rebrote de los dos cultivos fueron pobres, lo que indica un henolaje de baja calidad.

©*Mayra Cristina Velasco Yaselga, 2019*

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con sus palabras siempre me animaron a emprender este sueño, a mis hermanos por el apoyo incondicional que me han brindado y a mi persona por el esfuerzo y sacrificio que he desempeñado en este trabajo.

AGRADECIMIENTO

A la prestigiosa Universidad de Puerto Rico Recinto Mayagüez, quien ha permitido mi desarrollo profesional, a mi tutor Ph.D, Elide Valencia por brindarme su ayuda y confianza en el trabajo realizado, a los miembros del comité Ph.D, Rebeca Tirado y Ph.D, Guillermo Ortiz y a todos los profesores quienes han sido parte de mí formación académica.

A mis amigas con quienes he compartido maravillosos momentos Lorena, Astrid y Leidy, un inmenso abrazo, y a todas las personas que siempre me alentaron con sus palabras de cariño y entusiasmo, a Alexis por el fortalecimiento que me ha brindado en estos últimos meses.

Y sobre todo a Dios quien me ha guiado siempre por los mejores caminos de mi vida .

TABLA DE CONTENIDOS

ABSTRACT.....	II
RESUMEN	V
DEDICATORIA.....	IX
AGRADECIMIENTOS	X
TABLA DE CONTENIDOS	XI
LISTA DE FIGURAS	XV
LISTA DE TABLAS	XVI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
3 REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 MÉTODOS DE ALMACENAMIENTO DE FORRAJES	4
3.2 PRODUCCIÓN DE HENO.....	4
3.2.1 Factores que afectan la producción de Heno	6
3.2.2 Propiedades de la producción de Heno	6
3.3 HENOLAJE	7
3.3.1 Factores que afectan la producción del henolaje	8
3.3.2 Propiedades nutricionales del henolaje	8
3.4 CULTIVO DE SOYA (<i>GLYCINE MAX. L. MERR.</i>).....	8
3.4.1 Etapas fenológicas de la soya	9

3.4.2	Importancia de la soya para la producción de forraje	10
3.4.3	Producción de biomasa en soya	11
3.4.4	Propiedades nutricionales de la soya.....	12
3.5	CULTIVO DE SORGO (<i>SORGHUM VULGARE</i> L.).....	12
3.5.1	Etapas fenológicas del sorgo.....	13
3.5.2	Importancia del sorgo en la producción de forraje.....	15
3.5.3	Producción de biomasa de sorgo.....	15
3.5.4	Propiedades nutricionales del sorgo	15
3.6	CULTIVO <i>CROTALARIA JUNCEA</i>	16
3.6.1	Fases fenológicas de <i>Crotalaria juncea</i>	17
3.6.2	Propiedades nutricionales de <i>Crotalaria juncea</i>	18
3.7	CULTIVO MILLO PERLA [<i>PENNISETUM AMERICANUM</i> (L.) LEEKE]	18
3.8	CULTIVO MARALFALFA (<i>PENNISETUM SPP.</i>).....	19
4	EXPERIMENTO I: RENDIMIENTO DE MATERIA SECA Y VALOR NUTRITIVO DE HENO DE SOYA (<i>GLYCINE MAX. L. MERR.</i>) EN TRES ETAPAS FENOLÓGICAS	20
4.1	RESUMEN	20
4.2	INTRODUCCIÓN.....	21
4.3	MÉTODOS Y MATERIALES.....	22
4.3.1	Ubicación de los experimentos	22
4.3.2	Preparación del terreno y siembra.....	22

4.3.3	Prácticas culturales	23
4.3.4	Tratamientos	24
4.3.5	Diseño experimental.....	25
4.3.6	Cosecha.....	25
4.3.7	Variables a considerar:	27
4.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.4.1	Heno de soya.....	28
4.5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
5	EXPERIMENTO II: RENDIMIENTO DE MATERIA SECA Y VALOR NUTRICIONAL DEL HENO DE PASTO MILLO PERLA [<i>PENNISETUM AMERICANUM</i> (L.) LEEKE] - <i>CROTALARIA JUNCEA</i> EN DOS PERIODOS DE COSECHA	34
5.1	RESUMEN	34
5.2	INTRODUCCIÓN.....	36
5.3	MÉTODOS Y MATERIALES.....	37
5.3.1	Ubicación del experimento	37
5.3.2	Preparación del terreno y siembra.....	37
5.3.3	Tratamientos	38
5.3.4	Diseño experimental.....	38
5.3.5	Cosecha.....	38
5.3.6	Variables a considerar:	39

5.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
5.4.1	Heno de millo perla, crotalaria y su asociación (M+C):	41
5.5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
6	EXPERIMENTO III: EFECTO DE EDAD DE REBROTE DE SORGO FORRAJERO (<i>SORGHUM VULGARE</i> L.) Y MARALFALFA (<i>PENNISETUM</i> SPP.) SOBRE EL VALOR NUTRICIONAL Y CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS DEL HENOLAJE.....	48
6.1	RESUMEN	48
6.2	INTRODUCCIÓN.....	50
6.3	MÉTODO Y MATERIALES.....	51
6.3.1	Ubicación y establecimiento de los cultivos.....	51
6.3.2	Preparación del terreno y siembra.....	51
6.3.3	Tratamientos	51
6.3.4	Diseño experimental.....	51
6.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
6.4.1	Características fermentativas	53
6.5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
7	REFERENCIAS	58

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS CON DOS LÍNEAS DE SOYA PARA LA ELABORACIÓN DE HENO EN TAI SOUTH FARM - LAJAS, 2017.....	26
FIGURA 2. UBICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS CON DOS LÍNEAS DE SOYA PARA LA ELABORACIÓN DE HENO EEA – ISABELA, 2017.....	26
FIGURA 3. ESTABLECIMIENTO DEL SEGUNDO EXPERIMENTO EN LA EEA – ISABELA, 2018.....	39
FIGURA 4. EFECTO DE LA INTERACCIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE SIEMBRA Y PERIODOS DE COSECHA SOBRE RMS EN LA PRODUCCIÓN DE HENO DE PASTOS MILLO PERLA, CROTALARIA Y SU ASOCIACIÓN MILLO PERLA + CROTALARIA EN LA EEA-ISABELA, 2018.....	42

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS BROMATOLÓGICAS DE LOS FORRAJES	5
TABLA 2. VALORES METEOROLÓGICOS MENSUALES 2017.	22
TABLA 3. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELO.....	23
TABLA 4. TRATAMIENTOS DISPUESTOS EN LA PRODUCCIÓN DE HENO DE SOYA EN LAJAS - TAI SOUTH FARM, 2017.	24
TABLA 5. DISPOSICIÓN DE TRATAMIENTOS PARA LA PRODUCCIÓN DE HENO DE SOYA EN LA EEA - ISABELA, 2017.....	25
TABLA 6. PRODUCCIÓN DE MATERIA FRESCA Y RENDIMIENTO DE MATERIA SECA DE SOYA, ISABELA, 2017.....	28
TABLA 7. PRODUCCIÓN DE MATERIA FRESCA Y RENDIMIENTO DE MATERIA SECA SOYA, LAJAS – TAI SOUTH FARM, 2017.	29
TABLA 8. VALORES DE PROTEÍNA CRUDA, FIBRA DETERGENTE NEUTRA, ÁCIDA Y LIGNINA EN SOYA, ISABELA, 2017.....	31
TABLA 9. VALORES DE PROTEÍNA CRUDA, FIBRA DETERGENTE NEUTRA, ÁCIDA Y LIGNINA EN SOYA LAJAS, 2017.	32
TABLA 10. DISPOSICIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PARA LA PRODUCCIÓN DE HENO DE PASTO MILLO PERLA, CROTALARIA Y SU ASOCIACIÓN EN LA EEA- ISABELA, 2018.....	38
TABLA 11. RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN LA PRODUCCIÓN DE HENO EN LA EEA- ISABELA, 2018.....	41
TABLA 12. CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA Y LIGNINA EN LA PRODUCCIÓN DE HENO DE PASTO MILLO PERLA, CROTALARIA Y SU ASOCIACIÓN EN LA EEA-ISABELA, 2018.....	44

TABLA 13. CONTENIDO DE FIBRA DETERGENTE NEUTRA Y ÁCIDA EN LA PRODUCCIÓN DE HENO DE PASTO MILLO PERLA, CROTALARIA JÚNCEA Y SU ASOCIACIÓN EN LA EEA-ISABELA, 2018....	46
TABLA 14. DISPOSICIÓN DE TRATAMIENTOS EN LA PRODUCCIÓN DE HENOLAJE DE SORGO Y MARALFALFA.....	52
TABLA 15. CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS EN LA PRODUCCIÓN DE HENOLAJE DE SORGO Y MARALFALFA, PR, 2018.....	53
TABLA 16. CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS DE LA PRODUCCIÓN DE HENOLAJE DE SORGO Y MARALFALFA. PR, 2018.....	55

1 INTRODUCCIÓN

Puerto Rico se encuentra geográficamente en el trópico, parte de su economía se basa en la producción lechera (34%). Por lo tanto, los pastos constituyen la fuente principal y económica para el desarrollo lechero y cárnico. Sin embargo, factores como la estacionalidad climática (época seca y lluviosa) limitan la producción del forraje y el valor nutricional (baja concentración de proteína cruda y digestibilidad) de las gramíneas tropicales. Estos factores, afectan negativamente el consumo voluntario y la producción animal, induciendo a que los productores busquen una suplementación estratégica, como es el caso de la producción lechera en Puerto Rico. La suplementación se basa en raciones de concentrados y la importación de heno de alfalfa es común en la industria lechera de Puerto Rico, ocasionando un aumento en los costos de producción. El mismo representa un 48.5% de los costos de concentrados para el año 2008 (Departamento de Agricultura, 2012).

Por otra parte, la alimentación animal se basa en combinaciones entre pastoreo, corte, y métodos de conservación de gramíneas como heno (humedad <30%), henolaje (50%) y ensilaje (>80%) (fermentación anaeróbica), las cuales son utilizadas en la alimentación ganadera en el trópico. Sin embargo, el pastoreo también se ve limitado por la disponibilidad de áreas extensas de pasturas (2.6% del área total de Puerto Rico) (DA, 2012). Durante la producción de pasturas, el corte y acareo de las gramíneas se ve afectado por la presencia de intensas lluvias, disminuyendo la producción de heno y henolaje. Además, de reducir la calidad nutricional debido a que son almacenados con un alto estado de madurez y especies no adecuadas. Se conoce que el ensilaje de maíz es el método de conservación más utilizado en otros países del trópico, pero Puerto Rico no tiene una cultura de ensilar maíz en grandes extensiones.

En los últimos años los programas de investigación de la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico – Mayagüez, han identificado líneas de soya forrajeras (*Glycine max* L. Merr.) de alta producción y valor nutricional con potencial para henificar (Aponte, Valencia-Chin, y Beaver, 2015). También, ha surgido un auge en la utilización de gramíneas anuales (Ej.

Pennisetum americanum) en mezclas con leguminosas anuales (Ej. *Crotalaria juncea*) con el fin de producir heno de alta calidad. Por otro lado, los sorgos forrajeros (*Sorghum* spp.) y maralfalfa (*Pennisetum* spp.) se utilizan para la producción de henolaje, debido a su mayor contenido de carbohidratos fermentables. Igualmente, la utilización de leguminosas en las dietas de los rumiantes puede incrementar la productividad, debido a un mayor contenido nutricional (Rodríguez y Riquelme, 1998).

Por tal razón, se justifica realizar trabajos de investigación con estas leguminosas anuales (soya y crotalaria), utilizándolas solas y en mezclas forrajeras con gramíneas anuales (millo perla), tanto para su henificación en diferentes periodos de cosecha. Así mismo se realizará la producción de henolaje de gramíneas como sorgos forrajeros cv. Pampa Verde y maralfalfa en diferentes estados de rebrotes. Los estudios se llevarán a cabo en diferentes agro-ecosistemas de Puerto Rico con épocas definidas para generar información más amplia a los productores de leche.

2 OBJETIVOS

1. Determinar el rendimiento de materia seca (RMS) de tres líneas de soya [*Glycine max* (L.) Merr.] forrajeras (PR 1-1; 16-2 y 22-3) para la producción de heno, además de su composición nutricional [proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina (L)] en tres estados fenológicos [(EF); R2 (Floración completa), R4 (Vaina completamente desarrollada) y R6 (Semilla completamente desarrollada)] en dos localidades (Lajas e Isabela).
2. Comparar el RMS, PC, FDN, FDA y L de pasto millo perla [*Pennisetum americanum* (L.) Leeke], *Crotalaria juncea* y su asociación, evaluadas para heno a los 49 días y 63 días después de la siembra.
3. Evaluar %MS, PC y las características fermentativas de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* L.) y maralfalfa (*Pennisetum* spp.) en la producción de henolaje a los 56 días después de la siembra y 35 días después del rebrote.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 MÉTODOS DE ALMACENAMIENTO DE FORRAJES

En la actualidad, la intensificación de la producción ganadera de leche y carne ha conllevado a mejorar las características nutricionales de los forrajes. Por tal motivo, se están investigando forrajes de alta calidad en valor nutricional como es PC y mayor cantidad de biomasa, además de mejorar los métodos de almacenamiento para evitar la disminución de la producción ganadera. Entre estas, encontramos principalmente la henificación, ensilaje y henolaje, métodos que ayudan a mantener las características nutricionales de los forrajes. De ahí que, el tipo de almacenamiento dependerá del espécimen de cultivo y del periodo de cosecha. Por lo cual, generalmente las gramíneas son utilizadas para ensilaje, mientras que, las leguminosas, como la alfalfa son utilizadas para heno. Cabe señalar, que la asociación entre estas dos especies ha sido utilizada con el fin de aumentar su eficiencia en producción y valor nutricional (Bruno, 1997).

En los estudios realizados por Hernández et al. (2010), se manifiesta que la calidad de los forrajes depende de las características bromatológicas y comparte con Shaver (2004), quién muestra que pueden calificarse de acuerdo al contenido de PC, digestibilidad in vitro , energía neta de lactancia y digestibilidad de FDN (Tabla 1). Por lo tanto, la conservación de los forrajes dependerá del contenido de humedad: heno <30%, henolajes de 50% y ensilajes > 80% de humedad y del valor nutricional.

3.2 Producción de Heno

El proceso de henificación convierte un forraje verde en un producto que puede ser almacenado en forma segura y minimizando la pérdida de MS y de nutrientes, ya sea por fermentación o pudriciones ocasionadas por hongos. Este mecanismo se basa en reducir el contenido de humedad de un 90% a un 20 a 25 % menos. Los pastos de hoja fina y las leguminosas son los cultivos tradicionales que son utilizados en la henificación en la mayoría de los países

(Suttie, 2003). Las pérdidas estimadas en este proceso de henificación pueden llegar hasta un 30% en óptimas condiciones de almacenamiento (Bustamante, 2004).

Tabla 1. Características bromatológicas de los forrajes

Calidad	¹PC %	²DIV %	³ENL Mcal/kg/MS	⁴DFDN %
Alta	> 18	> 70	1.5	> 60
Buena	15 a 18	70 a 80	1.3 a 1.5	50 a 60
Regular	12 a 15	65 a 70	1.1 a 1.3	40 a 50
Baja	< 12	< 65	< 1.1	< 50

¹Proteína cruda, ²Digestibilidad *in vitro*, ³Energía neta de lactancia, ⁴Digestibilidad de fibra detergente neutra

En cuanto a la producción de heno, se debe considerar las siguientes características del forraje: bajo contenido de agua, alto porcentaje de hojas, mayor contenido de proteína y digestibilidad y minimizar el uso de tallos muy gruesos. El proceso de henificación consiste en cortar el forraje, extenderlo al sol y al aire para su deshidratación natural; el tiempo de secado varía desde 24 a 72 horas en condiciones favorables (abundante sol) si la planta ha sido cosechada durante el inicio del llenado de las semillas (Peña y Álvarez, 2007). Dependiendo del estado de cosecha, se puede extender de 96 a 144 horas, si la planta ha sido cosechada cuando las semillas han alcanzado su máximo desarrollo (Blount, Wright, Sprenkel, Hewitt, y Myer, 2009). En el proceso de henificación, un manejo en la cosecha, empaque y buen acondicionamiento de las pacas, reduce las pérdidas de material y el RMS es mayor (Undersander, 1999).

En el caso de la soya, si la cosecha se realiza durante el estado R6 (semilla completamente desarrollada), permite aprovechar de mejor manera las propiedades nutricionales y energéticas de la semilla. Sin embargo, hay mayor cantidad de fibra, por lo tanto, menor palatabilidad para los animales. En efecto, el rechazo del heno por los bovinos puede alcanzar hasta un 20% debido a la poca aceptación del tejido leñoso, cosa que no ocurre con el ensilaje (Villalobos y Tobia, 2008). Además, el manipuleo del forraje suele ocasionar el desprendimiento de las semillas, provocando pérdidas del material. Por otra parte, si la planta se cosecha en estado R4 (vainas completamente desarrolladas), el aporte energético se desaprovecha al igual que el contenido de fibra (Blount et

al., 2009). Generalmente para la henificación se utilizan la mayoría de leguminosas, y para el ensilaje las gramíneas (Bustamante, 2004).

3.2.1 Factores que afectan la producción de Heno

El clima es un factor decisivo para la producción de heno; en condiciones templadas subhúmedas y húmedas la velocidad del secado es determinante para cuantificar la pérdida del material vegetal. Por el contrario, en condiciones cálidas y secas, los problemas son la caída de las partes más finas de la planta a causa de un secado excesivamente rápido o por el blanqueado del forraje debido a la pérdida de pigmentación (Suttie, 2003). El secado dependerá de la cantidad del material verde, etapa de crecimiento y el manejo realizado (Bustamante, 2004). Por lo tanto, si el heno tiene más del 20% de humedad puede causar el crecimiento de microorganismo provocando moho en el material. Otro problema es, si el heno se moja durante el secado, la lluvia arrastra los nutrientes hidrosolubles y el valor nutritivo y la palatabilidad es baja (INATEC y JICA, 2016).

Más aún, el lugar de almacenamiento de los rollos también provoca pérdidas del material. En estudios realizados por Bruno et al. (1997) los rollos fueron expuestos a situaciones extremas (descubiertas, en contacto con el suelo) presentando pérdidas de MS del 23%. Mientras que, los cubiertos - sin contacto con el suelo (sobre postes), tuvieron pérdidas de sólo el 6%. Por último, la presencia de malezas es otro factor que determinará la calidad del heno, disminuyendo su valor nutricional, de igual manera el ataque de plagas y enfermedades provocan la disminución de la MS.

3.2.2 Propiedades de la producción de Heno

El heno generalmente contiene un 5 a 8 % de PC, sin embargo Méndez et al. (1986), encontraron valores de PC entre 11% a 18% a los 35 y 55 días después de la siembra en gramíneas tropicales. Sin embargo, el contenido de PC disminuye por el efecto de la madurez del forraje, mientras que el contenido de FDN, FDA y lignina aumentan 9% a 42% (Méndez y Corchado, 1987). El contenido de PC en leguminosas tropicales se encuentra entre el 17.8 % al 24.6% en su desarrollo vegetal y el contenido de FDN entre el 41.9% a 54.5% (Blount et al., 2009). Por lo tanto, el realizar mezclas forrajeras entre gramíneas y leguminosas, aumenta la digestibilidad de los forrajes y mejora la aportación de nutrientes (Bustamante, 2004).

Los henos son fuente de fibras que regulan el ambiente ruminal, evitando los problemas digestivos como diarreas por el consumo de pastos muy tiernos. La fibra es un nutriente básico en la dieta del ganado y su escases en la dieta puede provocar afecciones metabólicas (Bragachini et al., 2008). De acuerdo con, Ustarroz (1995) menciona que los forrajes de buena calidad son aquellos que contienen porcentajes de proteína mayores al 12%, digestibilidad mayor al 60% y la concentración energética superior a 2 Mcal EM/kg MS para considerarlos pastos de excelente calidad.

3.3 HENOLAJE

Es un método de almacenar forraje húmedo, disminuyendo la mayor cantidad de oxígeno existente. El henolaje es un estado intermedio entre la henificación y el ensilaje con una humedad aproximadamente del 50%. El mismo, es almacenado en rollos de polietileno de 1.2 m de ancho por 1.2 m de diámetro, lo más compactado posible para eliminar el oxígeno y comenzar el proceso de fermentación anaeróbica. Los niveles de pH varían de 4 y 4.5 aproximadamente; incluso, con este método se disminuye la pérdida del material vegetal ya que se trabaja con pastos húmedos y sus pérdidas varían entre un 3 a 7%. Sin embargo, cuando la humedad supera el 60% el proceso de fermentación se retarda y ocasiona pérdidas del material a través de la acumulación de agua. Si los rollos y el pasto se almacenan adecuadamente, pueden durar de 10 a 12 meses o hasta cuatro años (Bruno et al., 1997).

Cabe añadir que se puede realizar henolaje con la mayoría de especies de gramíneas y leguminosas, considerando que tengan valores nutritivos altos. Las gramíneas tienen una ventaja que favorece la fermentación, debido a su alta relación de azúcar/proteína en un estado de prefloración y en leguminosas con un 10% de floración. Una nueva alternativa es la producción de henolaje mixto con una base del 75% de especies de gramíneas y un 25% de leguminosas (Rodríguez y Riquelme, 1998). Con esta alternativa de producción de henolaje, se pueden obtener de 17 a 40 pacas en un área de 0.70 ha de aproximadamente 544 kg con un pasto de *Digitaria swazilandensis*, misma producción dependerá del tipo de forraje a utilizarse (Santos et al., 2015).

3.3.1 Factores que afectan la producción del henolaje

Al igual que en la elaboración del heno, existen factores que afectan la producción del henolaje como lo son las lluvias y la humedad ambiental. Por lo tanto, la cosecha se debe realizar en tiempos de poca lluvia de por lo menos 24 horas para el presecado y alcanzar una humedad del 50%. Además hay que mencionar que la presencia de plagas y enfermedades así como la incidencia de malezas, disminuye la calidad del henolaje (Llumiquinga, 2007). Generalmente, el henolaje de gramíneas es el más común; sin embargo, existen gramíneas con contenidos bajos de proteína y poco palatable. En cambio, las leguminosas poseen un alto contenido de proteína y mayor palatabilidad y digestibilidad (Santos et al., 2015).

3.3.2 Propiedades nutricionales del henolaje

El sorgo es muy utilizado en muchos países, para la elaboración de henolaje. Ahora se han ido desarrollando especies o cultivares mejorados, con características de resistencia a plagas y enfermedades, además con mayores rendimientos de biomasa y de alto valor nutritivo. Una alternativa es la generación de sorgos híbridos, siendo un cultivo que contiene características similares al cultivo de maíz. Dicho brevemente los sorgos contienen valores de MS (24.2%), PC (8.5%), FDA (39.5%), FDN (66.3%), los mismos son similares al maíz con 29.2%, 6.9%, 39.5 % y 69.6%, respectivamente. De este modo, el sorgo es considerado como un cultivo de excelentes características para la producción de henolaje (Rodríguez, 2012).

3.4 Cultivo de Soya (*Glycine max.* L. Merr.)

La soya (*Glycine max.* L. Merr.), es un cultivo originario de los nororientales de China desde hace 7 mil años atrás y muy utilizado en su dieta diaria. La expansión a gran escala de la soya se efectuó en la cuarta década del siglo XX en Estados Unidos desde 1954 y hasta la actualidad (Ridner, 2006). La soya es una planta anual de alrededor de 1.5 m de altura, tallos erectos con espesa pilosidad de color marronáceo, hojas alternas, trifoliada, flores de color blanco – violetas de 5 a 6 cm de longitud con inflorescencia en racimos. El fruto es una legumbre de 7 cm de largo con 4 a 5 semillas por vaina.

La producción de soya se ha expandido en los trópicos húmedos como fuente de proteína y grasa de bajo costo (De Luna, 2007). Las concentraciones de proteína y grasa según Romero et al., 2013 se encuentran entre el 35 a 50% y de 15 a 25%, respectivamente, por lo cual son muy utilizados en la industria para el consumo humano y actualmente como pasto forrajero para la alimentación de ganado. En Puerto Rico, Silva et al. (1972) encontraron que la soya podría producir alrededor de 4.0 Mg/ha en plantaciones de mayo a junio y alrededor de 2.4 Mg/ha en plantaciones entre febrero y septiembre. Las líneas de soya tardías se cosechan a los 98 días, mientras que, las líneas precoces a partir de los 66 días después de la siembra, además, también dependerá de la cantidad de horas luz (días largos y cortos) (Erdosay et al., 2004).

3.4.1 Etapas fenológicas de la soya

El ciclo va desde la germinación hasta la madurez del grano y se divide en dos fases: vegetativo y reproductivo; la primera fase va desde la germinación de la semilla hasta la aparición de los primeros primordios florales y la segunda fase hasta que los granos alcanzan el grado de madurez necesario para la cosecha. Las etapas fenológicas del cultivo de soya se basan en lo que realizó Fehr y Caviness (1971) (Guamán et al., 1996).

A. Fase vegetativa

1. **VE - Etapa de emergencia:** Los cotiledones sobre la superficie del suelo en forma de arco y puede producirse entre tres a 15 días, dependiendo de los factores ambientales.
2. **VC - Etapa cotiledonar:** Ocurre cuando el hipocótilo se endereza y los cotiledones están totalmente desplegados, los bordes de las hojas unifoliadas no se rozan y a partir de aquí el resto de los estados vegetativos se los identifican con el número de nudos.
3. **V1 - Primer nudo:** Las hojas opuestas unifoliadas se encuentran expandidas totalmente, con la primera hoja trifoliada abierta cuyos bordes no se toquen.
4. **V2 - Segundo nudo:** La primera hoja trifoliada completamente abierta y la segunda hoja trifoliada abierta en el segundo nudo.
5. **V3 - Tercer nudo:** La segunda hoja trifoliada en el tercer nudo está completamente desarrollada y la tercera hoja trifoliada en el nudo inmediato superior (4to nudo) los bordes de cada uno de los folíolos de la hoja trifoliada no se tocan.

6. **Vn - (n número de hojas):** La hoja trifoliada del nudo (n) está desarrollada y en el nudo inmediato superior los bordes de cada uno de los foliolos no se tocan.

B. Fase reproductiva

7. **R1 - Inicio de Floración:** La primera flor se encuentra abierta en cualquier nudo del tallo principal. La floración empieza en la parte media de la planta hacia la parte superior.
8. **R2 - Floración completa:** Planta totalmente florecida en los nudos superiores del tallo principal con hojas totalmente abiertas, empieza la acumulación de MS. La aparición de flores alcanza su máximo entre las fases reproductivas R2, R3 y culmina en R5. Estas flores miden entre 6 y 7 mm de largo.
9. **R3 - Inicio de formación de vainas:** La aparición de una vaina en uno de los cuatro nudos superiores del tallo principal, las flores empiezan su marchitez.
10. **R4 - Vainas completamente desarrolladas:** Las vainas alcanzan dos centímetros en uno de los cuatro nudos superiores del tallo principal. Algunas de las vainas de los nudos inferiores del tallo principal han alcanzado su máximo tamaño, pero en general la mayoría lo logra en R5.
11. **R5 - Inicio de formación de semillas:** Una vaina en uno de los cuatro nudos superiores del tallo principal contiene una semilla de tres mm de largo.
12. **R6 - Semilla completamente desarrollada:** Una vaina contiene la semilla verde en su cavidad en unos de los cuatro nudos superiores.
13. **R7 - Inicio de maduración:** La vaina ha alcanzado su color característico de madurez. La semilla alcanza la madurez fisiológica y van perdiendo su coloración verde, la semilla contiene un 60% de humedad.
14. **R8 - Maduración completa:** El 95% de las vainas de la planta han alcanzado el color de madurez (amarillo).

3.4.2 Importancia de la soya para la producción de forraje

La soya es la fuente principal de proteína vegetal en los alimentos concentrados que se utilizan para la alimentación animal en el mundo. Cabe señalar que el uso de la soya, en primera instancia, fue utilizada como forraje para alimentación de cabras y cerdos en los Estados Unidos.

Por su manejo agronómico ha sido muy importante para alimento debido a su excelente calidad, además, es una alternativa para reducir los costos de alimentación en los sistemas tropicales. Por sus características se puede aprovechar solo o en asociación con otros forrajes ricos en carbohidratos (Tobía et al., 2006).

La producción de soya dependerá de la calidad de semilla y de las condiciones del sitio, es decir, si son zonas templadas, semi húmedas o secas. Estudios realizados por Tobía et al. (2006), obtuvieron producciones de 5 a 13 Mg/ha (toneladas métricas por hectárea) en Costa Rica. Mientras que, Aponte et al. 2015, presentaron en Puerto Rico producciones de biomasa de 6.5 Mg/ha en estado R5.4. La soya forrajera puede cosecharse hasta tres años (dependiendo el tipo de semilla), convirtiéndose en una alternativa amigable con el ambiente por la fijación de nitrógeno (N) y producción de biomasa para animales. Generalmente la cosecha se la realiza cuando las vainas estén completamente llenas y verdes (R6) y donde se acumula mayor cantidad de materia seca (Tobía et al., 2006). La composición química de la planta de soya cosechada en estado R6 es de 20.2% de proteína, 6.7% de grasa, 5.5% de cenizas, 42.2% de FDN y 25.4% de carbohidratos no fibrosos, características que la califican como un forraje de excelente calidad nutricional (Tobía y Villalobos, 2004).

3.4.3 Producción de biomasa en soya

El potencial de rendimiento de forraje de soya es alto. En Costa Rica los valores de producción de soya fluctúan entre 9 y 12 Mg/ha sembrados en mayo con fotoperiodos crecientes, de 5 a 7 Mg/ha en septiembre en fotoperiodos decrecientes (Villalobos et al., 1991). En Venezuela, con el genotipo de soya CIGRAS 06, produjo 13 Mg/ha de MS en suelos con alta fertilidad (Tobía et al., 2006). Por el contrario, en estudios realizados en México los máximos rendimientos del grano con un 15% de humedad fueron de 4.50 a 5.15 Mg/ha (Erdsay et al., 2004). En Puerto Rico el RMS en dos fechas de siembra, enero y septiembre, no presentaron diferencias en su producción tanto en R5.4 versus R2 (6.5 vs. 5.4 Mg/ha), valores que no se ajustan a los valores mencionados anteriormente (Aponte et al., 2015).

3.4.4 Propiedades nutricionales de la soya

La soya posee una excelente composición nutricional de acuerdo a Hernández et al. (2013):

- a) El contenido de PC varía entre 12 a 20.2%, dependiendo de los niveles de suplencia hídrica.
- b) Las concentraciones de FND se aproximan a 48% del total de la MS.

Además, el valor nutricional del forraje está determinado por su composición bromatológica y su digestibilidad, cuya composición es el indicador de la calidad de un forraje (Van Soest, 1993). Ahora bien, la composición química del forraje de soya en estado R6 fue de 26.7% MS, 20.2% de PC, 6.7% de grasa, 42.2% de FND, y 25.4% de carbohidratos no fibrosos (Tobía et al., 2006). En estudios realizados por Aponte et al. (2015), la composición de la soya en diferentes estados y periodos de tiempo (R2 ; R5.4), los cuales presentaron contenidos de PC de 29.6% a 33.6% y 23.1% a 26.7%; contenidos de FDA de 21.0% a 25.6% y 26.2% a 33.3%; y valores de FDN de 33.5% a 41.0%, respectivamente. El suplir un 7% de PC en el alimento es suficiente para suplir los requerimientos de los rumiantes, ya que el rumen contiene un 5% de PC en su saliva (Van Soest, 1993).

3.5 Cultivo de Sorgo (*Sorghum vulgare L.*)

El sorgo forrajero (*Sorghum Vulgare L.*), es originario de África, un cultivo semi perenne de crecimiento erecto, que se adapta a condiciones climáticas adversas o desfavorables. Perteneciente a la familia de las gramíneas, de acuerdo a su morfología, hace que sea un cultivo resistente a la sequía, mediante el cierre de estomas evitando la pérdida del agua durante la evapotranspiración. Es un pasto que puede utilizarse bajo pastoreo controlado y en la elaboración de heno y ensilaje por su alta producción de biomasa, constituyéndose una alternativa para la alimentación animal.

Así mismo, el sorgo morfológicamente puede llegar a medir entre 1.5 m y 4m de altura, permitiendo un desarrollo de material vegetal verde que puede llegar de 40 a 60 Mg/ha en condiciones favorables. A partir de los 50 días después de su siembra, su importancia como cultivo

forrajero se debe a sus valores nutricionales que va de 8% a 12% de PC y de 18% a 27% de MS, así como su rápido macollamiento (de una misma planta nacen muchos tallos) (Guerrero y Herrera, 2006). Los porcentajes de PC y MS que encontró Pereira et al., 1993, fueron 18.0 y 1.1; 16.6 y 1.3; 14.6 y 1.3 Mg/ha en sorgos de cultivares altos medios y bajos, respectivamente (Ribeiro, 2007).

En la actualidad existen cultivares precoces cuyo ciclo productivo es de 100 días aproximadamente con 78 días a la floración, variedades medias con un ciclo de 120 días con 80 días a la floración y las de ciclo largo son aquellas que tienen más de 120 días y más de 82 días a la floración (InfoAgro, 2018). Sin embargo, Colbert et al. (2013), manifestó que cosecharlos a los 90 días o más suele tener bajos contenidos de PC (6%), lo cual limita su utilidad.

Existen cultivares de sorgo de grano (graníferos), forrajeros y azucarados, además, existen cultivares de doble propósito para la alimentación animal, mediante pastoreo directo y para conservación de forraje (ensilaje y henolaje) y también utilizado para la producción de etanol. Otros cultivares contienen cantidades relevantes de taninos (Bressani et al., 2014); estos compuestos fenólicos, tienden a precipitar las proteínas, lo cual causa que se reduzcan la asimilación de las proteínas. (Zeledón et al., 2007).

3.5.1 Etapas fenológicas del sorgo

El sorgo presenta diferentes etapas fenológicas durante todo su ciclo, el cual dura aproximadamente tres meses. Las etapas fueron acopladas a la de Vanderlip (1993) (Carrasco, Zamora, y Melin, 2011); y comprende de tres fases: vegetativa, reproductiva y llenado de granos

A. Etapa Vegetativa: Comprende desde la siembra hasta el inicio de los primordios florales.

- 1. Etapa 0 - Emergencia:** La emergencia ocurre cuando el coleóptilo es perceptible en el suelo, por lo general 10 días después de la siembra.
- 2. Etapa 1 - Estado de tres hojas:** Se produce cuando se observa las lígulas de tres hojas sin romper la planta y ocurre aproximadamente después de los 10 días.
- 3. Etapa 2 - Etapa de las 5 hojas:** Se observa cuando las lígulas de cinco hojas se pueden ver en la planta, y se produce cerca de tres semanas después de la emergencia. En esta

etapa se determina el desarrollo potencial de la planta, ya que marca el total de hojas que tendrá la planta.

4. Etapa 3 - Diferenciación del punto de crecimiento: En este punto hay un cambio de etapa vegetativo a reproductivo, esto ocurre cuando el desarrollo de la planta ha alcanzado un 5% de su crecimiento. Esta etapa se produce aproximadamente 30 días después de la emergencia.

5. Etapa 4 - Última hoja visible: En este punto casi todas las hojas, excepto las últimas tres o cuatro hojas, se han expandido totalmente, es decir, existe un 80% del área foliar.

B. Etapa Reproductiva: Inicia con la emergencia del primordio floral, agrandamiento del ápice floral, formación de florcillas con sus estambres y pistilos, finalizando con la maduración de los órganos reproductivos.

6. Etapa 5 - Panoja embuchada: En esta etapa todas las hojas se han expandido totalmente, la planta se encuentra en sus niveles máximos de desarrollo foliar. La panoja se encuentra embuchada en la vaina de la hoja bandera; así mismo, continúa un rápido crecimiento y absorción de nutrientes. Es un periodo crítico para el rendimiento por la falta de algún nutriente donde puede proporcionar rendimientos menores.

C. Etapa de polinización: Comprende la fecundación del ovario, desarrollo y maduración del grano.

7. Etapa 6 - 50% de floración: Se observa que la mitad de las plantas poseen la etapa de floración, el desarrollo comienza en la parte superior de la panoja, y baja en cuatro a 9 días y constituye el 50% de materia seca total.

8. Etapa 7 - Grano pastoso: En esta etapa, el grano tiene una consistencia pastosa y el llenado de granos se produce rápidamente. Aproximadamente la mitad del peso seco del grano se acumula entre las etapas 6 y 7. Las hojas inferiores siguen envejeciendo, entre 8 a 12 hojas mueren en esta etapa.

9. Etapa 8 - Grano duro: En esta etapa se alcanza las tres cuartas partes del peso seco del grano.

10. Etapa 9 - Madurez fisiológica: En esta etapa se ha acumulado el máximo peso seco de la planta, entre un 25% y 35% de humedad; pero considerando que no es la madurez de cosecha.

3.5.2 Importancia del sorgo en la producción de forraje

El sorgo es un cultivo con resistencia a condiciones de sequía y al ataque de plagas y enfermedades, he ahí la importancia del cultivo en muchos países sustituyendo al cultivo de maíz. En los últimos años la producción de sorgo ha aumentado debido a la utilización de alimento humano en la panificación de harina y sustituto del trigo (Zeledón et al., 2007).

Por la gran capacidad de producir biomasa, es también considerado como un cultivo de cobertura del suelo, permitiendo mejorar las condiciones físicas, biológicas y químicas del suelo. En los últimos años con el calentamiento global, existen muchos proyectos de la utilización de biocombustible, por lo que, el sorgo está en mira para la producción de biocombustible. Debido a la estabilidad de rendimiento, los productores ganaderos creen que es una alternativa que permite mejorar la competitividad del sector (Carrasco et al., 2011).

3.5.3 Producción de biomasa de sorgo

El sorgo es un cultivo de importancia por su gran cantidad de forraje para sistemas de alimentación ganadera y también es muy utilizado como ensilaje por su contenido de carbohidratos. Para la producción de ensilaje, la cosecha se lo realiza cuando el grano se encuentre en estado lechoso-masoso y con una humedad entre 30% a 35% (Burbua y Cabanillas, 2008). En un estudio realizado en las costas de Puerto Rico se encontraron producciones de 6.2 Mg/ha en sorgos híbridos (Dahlberg y Madera, 1994). Sin embargo, Hernández et al. (2010), encontró rendimientos de 2.9 Mg/ha de grano y 35.4 Mg/ha de forraje verde con 7.3% de proteína y 66.4% de digestibilidad.

3.5.4 Propiedades nutricionales del sorgo

Según Nússio (1997), para obtener un ensilaje de calidad la materia seca debería contener entre el 40% a 50% de granos. En estudios realizados con tres cultivos de sorgo con crecimientos altos, medios y bajos con combinaciones de tallos - hojas – panoja, llegan a la conclusión que la panoja reduce el porcentaje de fibra y eleva los valores de digestibilidad in vitro de materia seca, por lo que sugiere la participación del 40% de la panoja para un material de buena calidad (Da Silva et al., 1999).

El contenido nutricional varía con la edad del cultivo y su altitud. En investigaciones realizadas por Amador y Boschini (2000), obtuvieron valores de proteína cruda de 18 a 22% a los 45 días y 14% a los 80 días de crecimiento en zonas altas, mientras que, Villegas (1990), obtuvo valores de proteína cruda de 12.5% a los 45 días y de 9.5% a los 55 días en zonas bajas. En investigaciones realizadas para caracterizar el valor nutritivo del forraje de sorgo encontraron: PC de 6.1%, FDN 64.4 %, FDA 39.2%, concentración de lignina 8.0%, digestibilidad de FDN 44.8% (Hernández et al., 2010).

Los valores bromatológicos de 8 variedades de sorgo se encuentran entre 9.6 a 14.4% de PC, en cuanto al porcentaje de FDA se encuentra entre 33.5% y 40.1 %, para la FDN con 49.9 % y 61.2 % (Bressani et al., 2014). Otra alternativa de producción de sorgo es por medio de cultivos hidropónico, donde el contenido mínimo de PC fue de 7%, garantizando la fermentación de los carbohidratos estructurales a nivel del rumen (Van Soest, 1994); aunque Vargas (2008), encontró valores de 10.47% de PC y en cuanto al porcentaje de FND, el sorgo presentó 66.6 % y de FDA con 45.2%, cosechados a los 20 días, no obstante los altos niveles de fibra presentaron problemas en la reducción del consumo.

3.6 Cultivo *Crotalaria juncea*

La crotalaria es una planta sensible al fotoperiodo, floreciendo en días cortos; además de ser resistente a periodos de sequía lo cual le permite adaptarse a lugares cálidos. Igualmente, es un excelente proveedor de fibra, pero posee un alto contenido de alcaloides disminuyendo el uso como forraje; generalmente es muy utilizado como cultivo de cobertura y abono verde (Brunner et al., 2009); Además, la crotalaria es utilizado como controlador del nematodo *Medoilogyne sp.* de esta manera esta planta es muy utilizada en el cultivo de *Solanum quitoense*, ya que reduce las poblaciones del nematodo (Betancourth et al., 2011).

Así mismo, estas plantas contienen monocrotalina y tricodesmina, un tipo de alcaloides pirrolizidínicos que se encuentran presentes en la planta (>semilla) y puede causar problemas hepatotóxicos (problemas en el hígado) (ELIKA, 2013), por su parte Odriozola, (2015) menciona que, el principio tóxico en los animales es positivo cuando se consumen en grandes cantidades, es decir, la cantidad que ingiere es equivalente a su peso. Además, que los daños pueden ser expuestos

hasta un año después, ya que el efecto del principio tóxico es acumulativo. Cabe añadir, que estos alcaloides se encuentran generalmente en la familia de las fabáceas o leguminosas, que al ser ingeridas en grandes cantidades ocasionan la muerte de rumiantes y equinos, ocasionando problemas económicos (Martínez et al., 2013).

En el Estado de Florida durante los días cortos, la planta puede alcanzar una altura de solo 0.90 a 1.2 metros de altura. Para obtener mayores rendimientos recomiendan la siembra en los meses de abril a mayo. La proporción máxima de consumo de un rumiante (heno-semilla), no debe exceder el 45% de su ración alimentaria. En el caso de utilizar abono verde, se incorpora a los 60 días aproximadamente en la etapa de floración temprana (Wang et al., 2009).

El RMS de crotalaria, utilizada como abono verde en un cultivo de café, fueron de 4.2 Mg/ha/año (Jiménez, Farfán y Morales, 2005), por otro lado, Álvarez et al. (1995) y Calegaria, (1995), manifiestan que la producción puede alcanzar de 10 a 15 Mg/ha cuando se encuentra con un 50% de floración y aporta cantidades considerables de N de 100 a 150 kg/ha, sin embargo, Brunner et al. (2009) menciona valores de N de 204 kg/ha.

3.6.1 Fases fenológicas de *Crotalaria juncea*

La fase fenológica descrita por Singh (1936):

1. **Etapa 1 - Juvenil:** Tallo fino y peludo, inmaduro con pocos nódulos en la raíz, hojas de 20 a 25 mm de largo, aproximadamente de tres días después de la siembra.
2. **Etapa 2 - Adolescente:** Rápido crecimiento, tallo grueso y flexible, ramificación en tallos secundarios, follaje denso, hojas de 7 a 12 cm de largo por tres cm de ancho, hasta 75 días y donde inicia la floración.
3. **Etapa 3 - Senescencia parcial:** Floración y formación de frutos, tallos leñosos con fibra madura, hojas amarillentas, dura aproximadamente de 20 a 25 días después de la adolescencia.

3.6.2 Propiedades nutricionales de *Crotalaria juncea*

El valor nutricional disminuye después de la etapa de adolescencia por el aumento en la cantidad de fibra. Mientras que, el contenido de proteína va de 18 a 23% y una digestibilidad in vitro del 70% (Singh, 1936). Por otro lado, Jiménez et al. (2005) en su estudio de la biomasa en materia seca encontró contenidos de PC de 23.12% ($N=3.70*6.25$).

Con respecto a la fijación de N aumenta sucesivamente hasta finales de la etapa de adolescencia aproximadamente a los 50 días, los contenidos de ceniza junto con el N actúan de forma similar hasta los 60 días (Singh, 1936).

3.7 Cultivo Millo Perla [*Pennisetum americanum* (L.) Leeke]

El cultivo de millo perla tiene beneficios nutricionales altos debido a su buena fuente de proteína, fibra cruda, calcio y fósforo para la alimentación animal (Obeng et al., 2015). Por sus características nutricionales y ricas en minerales, aminoácidos y fibras, constituye un alimento básico en la dieta tradicional de Karnataka - India (Reddy, 2010). El estado fenológico de la planta es la principal causa que afecta el valor nutritivo del heno y ensilaje. El mejor momento para el ensilaje es en el estado de grano lechoso y el mejor momento para heno es durante la floración. Dewey et al. (2012), manifiesta que la planta alcanza la madurez fisiológica a los 75 a 85 días después de la germinación de la semilla.

Se han reportado producciones de 4 Mg/ha materia seca (Altamira, 2010) además, en evaluaciones de niveles de N en cuatro genotipos de millo perla, la producción fue de 3.24 Mg/ha con fertilización a base de N, y de 6.15 Mg/ha con el genotipo LHBO8 (Obeng et al., 2015). El contenido de proteína en híbridos de millo perla es más alto que el del maíz; oscilando entre 27% a 32%, además de poseer un mayor contenido de energía (Davis et al., 2003, Ejeta et al., 1987). Sin embargo, según las estimaciones, el millo perla contiene entre 8 a 19% de proteína (Agencia AFP, 2017). Por otra parte Sedivec y Blaine (1991), encontraron contenidos de FDN del 65.0% y FAD de 43.8% en la producción de heno (Altamira, 2010).

3.8 Cultivo Maralfalfa (*Pennisetum* spp.)

Recientemente se ha iniciado el uso del pasto maralfalfa como pasto de corte en la alimentación de ganado de leche, ganado de doble propósito y de carne en el trópico. Esto se debe al interés que ha generado en los productores por su buena calidad y alta producción de biomasa, características importantes para ser ensilado.

La máxima producción de biomasa aérea y tasa de crecimiento (RMF/tiempo transcurrido al corte) se alcanzó a los 151 días después de la siembra con RMS de 37.3 Mg/ha y 0.3 Mg/ha/día, respectivamente (Calzada et al., 2014). Considerando que la calidad del forraje disminuye a medida que aumenta la edad. Como menciona (Luna et al., 2015), los cortes de maralfalfa evaluados a los 60 y 90 días se observó una disminución en la PC de 11.0 a 3.3% y a 4.8% a los 120 días Carulla et al. (2004), mientras que, Correa (2006) encontró valores de PC de 12% a los 105 días. En cuanto a la fibra cruda de 32.2 a 37.0%, respectivamente. Vargas et al. (2014), encontró porcentajes de PC, FND y FAD en ensilaje de maralfalfa de 6.5%, 62.9% y 34%, respectivamente; los mismos que pueden ser mejorados con algún aditivo como la vinaza de caña (9%) mejorando sus contenidos a 7.9%, 46.4% y 23.6%, respectivamente.

4 EXPERIMENTO I: RENDIMIENTO DE MATERIA SECA Y VALOR NUTRITIVO DE HENO DE SOYA (*Glycine max.* L. Merr.) EN TRES ETAPAS FENOLÓGICAS

4.1 RESUMEN

En Puerto Rico (Isabela y Lajas) se establecieron soyas [*Glycine max.* L. Merr.] forrajeras para la producción de heno. El objetivo de estudio fue determinar el rendimiento de materia seca (RMS; Mg/ha), porcentaje de proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina (L) en líneas de soya a tres etapas fenológicas [(EF); R2 (floración completa), R4 (vaina completamente desarrollada) y R6 (semilla completamente desarrollada)]. El diseño experimental fue de bloques completos (DBCA) con un arreglo factorial dos líneas de soya por tres EF, establecidas en la Estación Experimental Agrícola, Isabela (Líneas PR 1-1 y 16-2) y en la empresa Tai South Farm, Lajas (PR 1-1 y 22-3). Para estimar el RMS por EF, se muestrearon áreas de 1.50 m² (tres muestras al azar). La data se analizó usando el paquete estadístico InfoStat. En Isabela, no se encontró una interacción significativa ($p > 0.05$) entre líneas x EF para el RMS, y tampoco se encontró diferencia entre líneas, excepto entre EF ($p < 0.05$) donde los RMS fueron de 7.8, 5.2 y 2.3 Mg/ha, para R6, R4, y R2, respectivamente. También, la PC fue diferente ($p < 0.05$) presentando porcentajes 18.0 (R2), 16.7 (R4), y 16.5 (R6) decrecientes por EF. En L, se encontró diferencia entre líneas de soya con porcentajes de 9.3 y 10.6, para la PR 1-1 y 16-2, respectivamente. En Tai South Farm, no se encontraron interacciones ($p > 0.05$) entre líneas x EF en RMS, pero sí ($p < 0.05$) entre EF y líneas de soya. Los RMS para la línea 1-1 y 16-2 fue de 4.2 y 1.2 Mg/ha. De igual manera, no se encontraron interacciones ($p > 0.05$) entre líneas x EF en PC, FDN, FDA y L. Tampoco se encontró diferencias entre líneas ($p > 0.05$) en PC, excepto por EF ($p < 0.05$) donde la R2 presentó mayor contenido de PC sobre etapa R4 y R6 con 13.9; 9.0 y 9.2%, respectivamente.

4.2 INTRODUCCIÓN

En la producción lechera y cárnica la alimentación con forrajes de calidad son la base principal para alcanzar los niveles deseados de producción. En el trópico las gramíneas son utilizadas como alimento y adicionalmente se utilizan concentrados con el fin de mantener la productividad de los animales. Generalmente, las gramíneas del trópico tienen un desarrollo vegetal elevado lo que permite un aumento en biomasa. Sin embargo, poseen un bajo contenido nutricional como es el caso del contenido de proteína cruda y energía, entre otros, limitando los requerimientos nutricionales que son necesarios para el animal en su dieta diaria.

La alfalfa (*Medicago sativa*), es un forraje de clima templado y utilizada en la alimentación ganadera, debido a su alto valor nutricional. En el trópico, generalmente, se utiliza el residuo de la soya para la elaboración de concentrados, aumentando el costo de producción. Una de las alternativas es el uso de la soya forrajera por su alto contenido de proteína y alta capacidad de producción. La soya al ser un cultivo anual, se puede producir todo el año, realizando varios cortes y pudiendo ser almacenado en temporadas de carestía de alimento.

En Puerto Rico y en el trópico, la estacionalidad no permite la explotación máxima de sus pastos. Por tal razón, se busca introducir nuevas especies forrajeras que sean de fácil manejo y con mínimo uso de fertilizantes. La soya posee un periodo de crecimiento de 90 días aproximadamente, pertenece a la familia de las leguminosas, realizando simbiosis con bacterias que fijan N. La producción tiene algunos inconvenientes en su manejo como: el periodo de cosecha y la forma de almacenamiento. La producción de heno, la cual consiste en la deshidratación natural del pasto, método que conserva sus características nutricionales y puede conservar por largos periodos de tiempo es una alternativa en el trópico.

El objetivo del estudio es evaluar el cultivo de soya en la producción de heno a diferentes etapas fenológicas (floración completa, vainas completamente desarrolladas y semillas completamente desarrolladas) y su efecto en rendimiento de materia seca.

4.3 MÉTODOS Y MATERIALES

4.3.1 Ubicación de los experimentos

Los experimentos se realizaron en dos sectores de Puerto Rico, en la EEA - Isabela de la UPRM, localizada en la costa noroeste de Puerto Rico 17°27'32''N y 67°02'53''W, a 839 msnm; presentando los siguientes datos meteorológicos como indica la tabla 2. Por otra parte, los suelos predominantes son de la orden Oxisol, serie coto (Beinroth y Engel, 2002). El segundo sector de los experimentos está ubicado al suroeste de Puerto Rico - Lajas, en la finca ganadera de Tai South Farm 18°01'39'' N y 67°05'43'' W, a 13 msnm. Cabe añadir, que los suelos predominantes en Lajas es de la orden Vertisol serie Fraternidad.

Tabla 2. Valores meteorológicos mensuales 2017.

Meses	Estación Experimental Agrícola – Lajas				Estación Experimental Agrícola – Isabela			
	P (mm)	T med (°C)	T max (°C)	Tmin (°C)	P (mm)	T med (°C)	T max (°C)	Tmin (°C)
Marzo	1.9	23.7	31.0	18.9	3.8	23.8	28.7	20.4
Abril	8.1	25.4	31.3	19.8	6.4	24.3	29.4	20.3
Mayo	1.9	27.1	32.2	21.0	7.1	25.7	30.7	22.3
Junio	1.2	27.9	33.6	21.0	3.8	23.8	31.2	22.8

P: Precipitación, T med.: Temperatura media, T max.: Temperatura máxima, T min.: Temperatura mínima.

4.3.2 Preparación del terreno y siembra

La preparación y siembra se realizaron de forma mecánica con la utilización de una sembradora de hileras, a una distancia de 0.08 m entre planta por 0.75 m entre surcos; aproximadamente de 170,000 plantas/ha. Los cultivares utilizados en la EEA-Isabela fueron las líneas de soya PR 1-1 y 16-2 y en la empresa Tai South Farm las líneas PR 1-1 y 22-3.

En Tai South Farm el cultivo se estableció el 22 de marzo de 2017, se utilizaron dos lotes de 10,105 m² cada uno, con un ancho de 43 m por 235 m de largo. Cada bloque contenía 25 surcos para su respectivo muestreo. Por otra parte, el cultivo de la segunda localidad fue establecido el 13 de abril del 2017 en la EEA - Isabela. El área utilizada fue 10,740 m² con 179 m de largo por 60 m de ancho. De este modo, las parcelas contenían 20 hileras a 0.75 m de distancia entre ellas.

Previo a la siembra de soya, en el Valle de Lajas en Tai South Farm, se realizó una toma de muestras de suelo para determinar sus propiedades químicas. Las muestras fueron tomadas aleatoriamente dentro de los dos lotes en forma de “zig-zag”, secadas y molidas, para obtener una muestra de 500 gramos, luego fueron enviadas al Laboratorio Central Analítico de la Universidad de Puerto Rico, en Río Piedras.

Tabla 3. Resultados de análisis de suelo

Variable	Tai South Farm	EEA - Isabela
pH	6.8	5.3
Conductividad (µs/cm)	410	449
% MO	2.76	1.75
P (mg/kg)	14.90	17.0
Ca (mg/kg)	280	588
Mg (mg/kg)	876	77
K (mg/kg)	129	102
Na (mg/kg)	-	11
Al (mg/kg)	-	2
CICE meq/100g	-	4

4.3.3 Prácticas culturales

En la EEA – Isabela, el riego se realizó mediante un cañón con agua de riego para promover la emergencia de la semilla, mientras que, para el control de malezas se empleó un herbicida post-emergente “Fusilade[®]” DX (1.5 L/ha) para minimizar el crecimiento del pasto Johnson (*Sorghum*

halepense). Además, se realizó una aplicación “Lannate®” (250-500 g/ha), insecticida que actúo por contacto directo o por ingesta para el control de los barrenadores de hoja (lepidópteros).

Por el contrario, en la finca Tai South Farm, el agua de riego utilizada fue de la charca de oxidación (aguas descartadas de la limpieza de los galpones) las mismas que, ocasionaron una alta incidencia de malezas (*Amaranthus spinosus*). Las mismas que, fueron controladas mediante una cosechadora mecánica entre hileras.

4.3.4 Tratamientos

Los tratamientos fueron tres líneas de soja forrajera (PR 1-1; 16-2 y 22-3) en tres etapas fenológicas [(EF); R2 (floración completa), R4 (vaina completamente desarrollada) y R6 (semilla completamente desarrollada)], en dos localidades de Puerto Rico (Isabela y Lajas). En Tai South Farm, se experimentaron con las líneas PR 22-3 y 1-1 de forma individual en las tres etapas, obteniendo seis tratamientos como indica la Tabla 4. La unidad experimental fue de 25 surcos aproximadamente. Por otra parte, en EEA- Isabela, se evaluaron las líneas PR 1-1 y 16-2, de forma individual, mismo número de tratamientos como se observa en la Tabla 5. Las unidades experimentales se formaron de 20 surcos de cada línea.

Tabla 4. Tratamientos dispuestos en la producción de heno de soja en Lajas - Tai South Farm, 2017.

Tratamiento	Descripción
Línea 22-3 – R2	Línea 22-3 Floración completa
Línea 22-3 – R4	Línea 22-3 Vaina completamente desarrollada
Línea 22-3 – R6	Línea 22-3 Semilla completamente desarrollada
Línea 1-1 – R2	Línea 1-1 Floración completa
Línea 1-1 – R4	Línea 1-1 Vaina completamente desarrollada
Línea 1-1 – R6	Línea 1-1 Semilla completamente desarrollada

Tabla 5. Disposición de tratamientos para la producción de heno de soya en la EEA - Isabela, 2017

Tratamiento	Descripción
Línea 16-2 – R2	Línea 16-2 Floración completa.
Línea 16-2 – R4	Línea 16-2 Vaina completamente desarrollada
Línea 16-2 – R6	Línea 16-2 Semilla completamente desarrollada.
Línea 1-1 – R2	Línea 1-1 Floración completa
Línea 1-1 – R4	Línea 1-1 Vaina completamente desarrollada
Línea 1-1 – R6	Línea 1-1 Semilla completamente desarrollada

4.3.5 Diseño experimental

El establecimiento de las líneas de soya fue de acuerdo a un (DBCA) con un arreglo factorial 2 x 3 con cuatro repeticiones, donde se evaluaron dos líneas de soya y tres etapas fenológicas (Figura 1). Los datos se examinaron con un Análisis de Varianza-ADEVA, utilizando el paquete estadístico InfoStad/Estudiantil versión 2008. Además, se realizaron comparaciones de medias de los tratamientos aplicando pruebas de diferencia mínima significativa de Fisher (LMS), con un nivel de probabilidad de $p < 0.05$.

4.3.6 Cosecha

Los estados fenológicos de cosecha fueron: floración completa (R2), vainas completamente desarrolladas (R4) y semilla completamente desarrollada (R6). En cada EF se tomaron cinco muestras de dos metros lineales para la determinación del rendimiento de materia seca.

Boque I			Bloque II		
(22-3) R3	(22-3) R6	(22-3) R2	(22-3) R3	(22-3) R2	(22-3) R6
(1-1) R2	(1-1) R3	(1-1) R6	(1-1) R3	(1-1) R6	(1-1) R2
Bloque III			Bloque IV		
(1-1) R3	(1-1) R6	(1-1) R2	(1-1)R3	(1-1) R2	(1-1) R6
(22-3) R2	(22-3) R3	(22-3) R6	(22-3) R3	(22-3) R6	(22-3) R2

Figura 1. Ubicación de los tratamientos con dos líneas de soya para la elaboración de heno en Tai South Farm - Lajas, 2017.

Bloque I			Bloque II		
(1-1) R4	(1-1) R2	(1-1) R6	(1-1) R6	(1-1) R4	(1-1) R2
Bloque III			Bloque IV		
(1-1) R4	(1-1) R2	(1-1) R6	(1-1) R2	(1-1) R6	(1-1) R4
Bloque I			Bloque II		
(16-2) R6	(16-2)R2	(16-2) R4	(16-2) R6	(16-2) R4	(16-2) R2
Bloque III			Bloque IV		
(16-2) R2	(16-2) R6	(16-2) R4	(16-2) R4	(16-2) R6	(16-2) R2

Figura 2. Ubicación de los tratamientos con dos líneas de soya para la elaboración de heno EEA – Isabela, 2017.

4.3.7 Variables a considerar:

4.3.7.1 Rendimiento de materia verde (RMF Mg/ha) y de materia seca (RMS Mg/ha)

Cuando el cultivo fue establecido y alcanzó su EF esperada, se cosecharon cinco muestras de soya de dos metros lineales (1.5 m²) en cada parcela (R2, R4 y R6), se pesó la cantidad de materia verde por tratamiento y se proyectaron a toneladas métricas por hectárea. Una vez cosechado el forraje, se tomaron muestras representativas (aproximadamente 500 g de materia verde) las cuales se secaron en un horno de aire forzado a una temperatura de 50°C por un lapso de 72 horas. El porcentaje de MS se obtuvo considerando el peso en verde y peso en seco de las muestras:

$$\text{MS} = (\text{Peso seco} / \text{Peso fresco}) \times 100$$

Con los valores de producción de materia verde y el porcentaje de la materia seca se calculó el rendimiento de la materia seca de cada tratamiento:

$$\text{Rendimiento MS (Mg/ha)} = (\text{RMF} \times \% \text{MS}) / 100$$

4.3.7.2 Valores nutricionales

Las muestras secas de las líneas de soya de cada EF por replica se molieron en un equipo Wiley para pasar un cedazo de 1mm. Estas muestras se enviaron al laboratorio Centro de Investigación y Extensión de Texas A&M AgriLife en Stephenville, donde se realizaron los análisis de N [N*6.25=proteína cruda], fibra detergente neutra (% FDN), fibra detergente ácida (%FDA) y lignina (%L).

4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4.1 Heno de soya

4.4.1.1 Rendimiento de materia Fresca y seca (RMF y RMS)

No se encontró una interacción significativa ($p>0.05$), entre líneas de soya por EF para RMF. Sin embargo, mediante un análisis de comparaciones se pudo observar que las líneas de soya 1-1 y 16-2 tuvieron rendimientos de materia fresca de 23.7 Mg/ha y 20.0 Mg/ha, respectivamente en la EEA-Isabela (Tabla 6). Mientras que, en las líneas 1-1 y 22-3, se obtuvieron rendimientos de 14.1 y 4.2 Mg/ha, respectivamente en la finca Tai South Farm (Tabla 7). Habiendo una diferencia de 9.6 Mg/ha al en la línea 1-1 entre los ensayos (Lajas e Isabela).

Tabla 6. Producción de materia fresca y rendimiento de materia seca de soya, Isabela, 2017.

Variable	Líneas		Etapa fenológica			P-Valor		
	1-1	16-2	R2 ³	R4 ⁴	R6 ⁵	V ⁶	E ⁷	V*E ⁸
RMF Mg /ha ¹	23.7 a	20.0 b	11.3 c	25.1 b	29.1 a	0.0029	<0.0001	NS ⁹
RMS Mg/ ha ²	5.3 a	4.9 a	2.3 c	5.2 b	7.8 a	NS	<0.0001	NS

¹Rendimiento de materia fresca toneladas por hectárea, ²Rendimiento de materia seca toneladas por hectárea, ³Floración completa, ⁴Vaina completamente desarrollada, ⁵Semilla completamente desarrollada, ⁶Efecto de Variedad, ⁷Efecto de Etapa, ⁸Interacción Variedad*Etapa, ⁹No significativo, Promedios horizontales con una letra diferentes son significativamente diferentes ($p<0.05$).

Del mismo modo, al comparar las medias mostraron diferencias entre la etapa fenológica (EEA-Isabela) con rendimientos de 11.3, 25.1 y 29.1 Mg/ha en R2, R4 y R6, respectivamente, (Tabla 6). En Tai South Farm los rendimientos fueron de 7.4, 11.1 y 12.5 Mg/ha en R2, R4 y R6, respectivamente, (Tabla 7), observando así que la etapa de mayor producción fue R6 para las dos localidades.

Para el RMS no se observó interacción significativa ($p>0.05$) entre las líneas de soya y la EF, sin embargo, en la producción en la EEA- Isabela, se encontró un efecto en la etapa fenológica

R2, R4 y R6. Así pues, la etapa fenológica con mayor producción fue el R6 con una producción de 7.8 Mg/ha, R4 con 5.2 Mg/ha y el R2 con 2.3 Mg/ha (Tabla 6). Estos valores son diferentes a los rendimientos encontrados por Aponte et al.(2015) en su investigación con 5.4 Mg/ha en R2 superior a lo encontrado en 2.3 veces en el presente estudio; sin embargo, la producción en R5.4 con 6.4 Mg/ha es menor en 1.2 veces al encontrado en esta investigación. Estos valores son menores en 1.7 veces a los encontrados por Tobía et al. (2006) en la producción de una variedad mejorada de soya cuyo RMS fue de 13.2 Mg/ha en R6, efecto de la inoculación con bacterias fijadoras de N del género *Bradyrhizobium japonicum*.

En la investigación en Tai South Farm se presentó un efecto en las líneas 1-1 y 22-3 con 4.2 y 1.2 Mg/ha y también un efecto en las etapas fenológicas con 2.0, 3.2 y 4.0 en R2, R4 y R6, respectivamente, (Tabla 7). Quijia (2015) en su estudio, obtuvo 1.6 y 7.2 Mg/ha de RMS en R3 y R6, respectivamente con la línea de soya 22-3. Al comparar los RMS, entre los producidos en Isabela y Lajas los mayores rendimientos fueron los de la EEA-Isabela siendo 1.2, 1.6 y 1.9 veces superiores a los de Lajas.

Tabla 7. Producción de materia fresca y rendimiento de materia seca soya, Lajas – Tai South Farm, 2017.

Variables	Líneas		Etapas fenológicas			P-valor		
	1-1	22-3	R2 ³	R4 ⁴	R6 ⁵	V ⁶	E ⁷	V*E ⁸
MF Mg/ha ¹	14.1 a	4.2 b	7.4 b	11.1 a	12.5 a	<0.0001	0.0022	NS ⁹
RMS Mg/ha ²	4.2 a	1.2 b	2.0 c	3.2 b	4.0 a	<0.0001	0.0001	NS

¹Rendimiento de materia fresca en toneladas por hectárea, ²Rendimiento de materia seca en toneladas por hectárea, ³Floración completa, ⁴Vaina completamente desarrollada, ⁵Semila completamente desarrollada, ⁶Efecto de variedad, ⁷Efecto de Etapa, ⁸Interacción Variedad*Etapa, ⁹No significativo, Promedios horizontales con una letra diferentes son significativamente diferentes (p<0.05).

En la actualidad se han desarrollado variedades por su alto valor en RMS y valor nutricional que posean características de facilidad en la producción de heno mediante el uso de maquinaria Aponte et al., (2015). En colecciones que van de 1987 a 1989, presentados por Hintz et al. (1992), los RMS oscilan desde 1.1, 1.7, 2.5 y 3.3 Mg/ha en R1, R3, R5 y R7, respectivamente. En la

presente investigación podemos observar que el RMS va en aumento de acuerdo a la etapa fenológica con valores de 2.3, 5.2, 7.8 en R2, R4 y R6, respectivamente, sin la necesidad de aplicaciones de nitrógeno con fertilizantes químicos, cabe señalar, que las leguminosas fijan su propio nitrógeno.

4.4.1.2 Valores Nutricionales:

4.4.1.2.1 Proteína cruda (PC)

En los análisis de valores nutricionales no se observaron diferencias para las interacciones ($p>0.05$) entre líneas y etapas fenológicas para FDN y FDA. Sin embargo, se observó un efecto ($p<0.05$) en el contenido de PC en las diferentes etapas fenológicas R2, R4 y R6 con valores de 18.1%, 16.6% y 16.7%, respectivamente, pero no se presentaron diferencias en la R4 y R6 (Tabla 8) en la EEA-Isabela.

En la investigación que realizó Aponte et al. (2015) en la evolución de líneas de soya, los contenidos de PC fueron superiores a los encontrados en R2 con 29.6 y 26.7% en R5.4, para línea 1-1; mientras que, la media fue de 31.6 y 24.8% en R2 y R5.4, la misma que disminuye para la etapa R5.4 con 2.9 unidades. Esta misma reacción está presente en la investigación realizada en Isabela la cual difiere en 1.5 unidades. Por el contrario, en la producción de ensilaje de soya de Quijia (2015), los valores de PC fueron de 17.2% (R3) y 18.7% (R6), respectivamente, aumentado en 1.4 unidades, todo lo contrario, a la presente investigación.

En la finca Tai South Farm no se encontró una interacción ($p>0.05$) entre variedad y etapa fenológica. Analizando sus efectos principales, observamos diferencias en las comparaciones del contenido de proteína en R2, R4 y R6 con 13.9%, 9.0% y 9.2%, respectivamente (Tabla 9), siendo estas menores a las encontradas en la EEA-Isabela (Tabla 8).

Tabla 8. Valores de proteína cruda, fibra detergente neutra, ácida y lignina en soya, Isabela, 2017.

Variable	Línea		Etapa fenológica			P-valor		
	1-1	16-2	R2 ⁵	R4 ⁶	R6 ⁷	V ⁸	E ⁹	V*E ¹⁰
% PC ¹	17.1 a	17.1 a	18.1a	16.6 b	16.7 b	NS ¹¹	0.0023	NS
% FDN ²	54.3 a	55.5 a	54.8 a	54.8 a	55.3 a	NS	NS	NS
% FDA ³	38.6 a	38.5 a	38.7 a	38.1 a	38.9 a	NS	NS	NS
% L ⁴	9.4 b	10.6 a	10.6 a	9.7 a	10.2 a	0.0011	NS	NS

¹Porcentaje de proteína cruda, ²Porcentaje de fibra detergente neutra ³Porcentaje de fibra detergente ácida, ⁴Porcentaje lignina, ⁵Floración completa, ⁶Vaina completamente desarrollada, ⁷Semilla completamente desarrollada, ⁸Efecto de variedad, ⁹Efecto de etapa, ¹⁰Interacción Variedad*Etapa, ¹¹No significativo, Promedios horizontales con una letra diferentes son significativamente diferentes (p<0.05).

El porcentaje de PC generalmente tiene una tendencia de aumentar con la etapa fenológica del cultivo de soya, tal como presenta Blount et al. (2009), en su investigación, con un 17.8% cuando hay un 50% de floración, similar al encontrado en este estudio. Así mismo, Blount et al. (2009), obtuvieron un 20% PC durante el llenado de vaina y un 24.6% durante la maduración de la planta, mientras que, en el presente no exhibió dicha tendencia.

4.4.1.2.2 Fibra detergente neutra, ácida y lignina (FDN, FDA y L)

En el análisis de la EEA-Isabela no se encontró interacción (p>0.05) entre líneas y etapa fenológica para FDA, FDN y L. Pero hubo un efecto principal en el contenido de L en las líneas 1-1 y 16-2 con 9.4% y 10.6%, respectivamente, observando que hay menor cantidad en la línea 1-1 (Tabla 8).

En el análisis del porcentaje de FDN y FDA en la finca Tai South Farm, no se presentaron diferencias significativas para la interacción entre líneas y etapa fenológica (p>0.05). Sin embargo, se observó un efecto en las líneas con 51.2% y 48.8% para las líneas 1-1 y 22-3 en el contenido de FDN, respectivamente (Tabla 9); mientras que, el porcentaje de FDA fue de 37.7% y 36.1% (Tabla

9). Estos resultados nos indican que la línea 22-3 tiene los menores porcentajes de FDN, mientras que, la L no se encontró ninguna diferencia significativa. En la investigación realizada por Quijia (2015), en el ensilaje de soya, el contenido de FDN fue diferente significativamente con 51.3% y 55.6% en R3 y R6, respectivamente. Por otro lado, no hubo ninguna diferencia de FDA en R3 y R6 con 44.9 y 46.7%.

Tabla 9. Valores de proteína cruda, fibra detergente neutra, ácida y lignina en soya Lajas-Tai South Farm, 2017.

Variable	Línea		Etapa fenológica			P-valor		
	1-1	22-3	R2 ⁵	R4 ⁶	R6 ⁷	V ⁸	E ⁹	V*E ¹⁰
% PC ¹	11.3 a	10.1 a	13.9 a	9.0 b	9.2 b	NS ¹¹	0.0009	NS
% FDN ²	51.2 a	48.8 b	50.1 a	50.1 a	49.6 a	0.0010	NS	NS
% FDA ³	37.7 a	36.1 b	36.6 a	37.7 a	36.4 a	0.0217	NS	NS
% L ⁴	11.4 a	10.9 a	10.0 a	11.8 a	11.5 a	NS	NS	NS

¹Porcentaje de proteína cruda, ²Porcentaje de fibra detergente neutra ³Porcentaje de fibra detergente ácida, ⁴Porcentaje lignina, ⁵Floración completa, ⁶Vaina completamente desarrollada, ⁷Semilla completamente desarrollada, ⁸Efecto de variedad, ⁹Efecto de Etapa, ¹⁰Interacción Variedad*Etapa, ¹¹No significativo. Promedios horizontales con una letra diferentes son significativamente diferentes (p<0.05).

La porción altamente digerible está asociada con la cantidad de fibra, cuanto mayor sea el contenido de lignina en la planta, expresado en materia seca básica o como porcentaje del FDN, menor será la digestibilidad del forraje. El valor nutricional disminuye a medida que la planta madura.

4.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la producción de forrajes, la búsqueda de nuevas especies forrajeras, para mejorar la producción lechera es un reto para los ganaderos. La soya es una alternativa de producción, debido a sus buenas características nutricionales. En los estudios realizados en Isabela y Lajas en Puerto Rico, se probó la eficiencia de crecimiento de las líneas 1-1, 16-2 y 22-3 de soya forrajera. En EEA-Isabela se observó diferencias para RMS en las distintas etapas fenológicas, en efecto, la mayor producción fue de 7.8 Mg/ha (R6), seguidas por 5.2 Mg/ha (R4) y 2.3 Mg/ha (R2). Con respecto, al valor nutricional de las pasturas el contenido de PC fue diferente, con valores de 18.1, 16.6 y 16.7% en R2, R4 y R6, respectivamente. Además, de presentar diferencias en el contenido de lignina entre las líneas de soya 1-1 y 16-2 con valores de 9.4 y 10.6 respectivamente.

Por el contrario, en Tai South Farm-Lajas se encontraron diferencias entre las líneas de soya 1-1 y 22-3 con valores de RMS de 4.2 y 1.2 Mg/ha, respectivamente. Además, presentó diferencias entre las etapas fenológicas en R2, R4 y R6 con 2.0, 3.2 y 4.0 Mg/ha, respectivamente. Cabe notar, que las mayores producciones se presentaron en la etapa R6 durante la acumulación de biomasa y en la formación del grano. Del mismo modo, el contenido de PC difirió en la EF con 13.9, 9.0 y 9.2% en R2, R4 y R6. Así mismo, el contenido de FDN fue diferente entre las líneas de soya 1-1 y 22-3 con 51.2%, 48.8%, respectivamente, y para FDA con valores de 37.7% y 36.1%, respectivamente.

Finalmente, se recomienda realizar manejos de malezas mediante la aplicación de herbicidas preemergentes y postemergentes, para evitar una alta incidencia de malezas. Por otro lado, manejar de una forma adecuado el riego con aguas de desechos (piscinas de oxidación), para evitar la diseminación de semillas de malezas. Por último, se recomienda la cosecha en una etapa fenológica R4 (vaina completamente desarrollada) para obtener mejores rendimientos y con niveles adecuados de PC.

5 EXPERIMENTO II: RENDIMIENTO DE MATERIA SECA Y VALOR NUTRICIONAL DEL HENO DE PASTO MILLO PERLA [*Pennisetum americanum* (L.) Leeke] - *Crotalaria juncea* EN DOS PERIODOS DE COSECHA

5.1 RESUMEN

Crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) y el millo perla (*Pennisetum americanum* L. Leeke.) son plantas anuales de rápido crecimiento que se utilizan a menudo como pastos temporales o cultivos para heno. Las mezclas entre millo perla, crotalaria y en monocultivo mejoran la calidad del heno, pero en Puerto Rico no es existente. El objetivo de este estudio fue evaluar los sistemas de siembra (S) de crotalaria, millo perla y la mezcla de millo perla y crotalaria sobre el efecto de rendimiento de materia seca (RMS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina (L) cuando se cosechan a los 49 y 63 días después de la siembra. Se establecieron monocultivos de crotalaria (14 kg/ha) y millo perla (10 kg/ha) y mezcla de crotalaria (7 kg/ha) millo perla (5 kg/ha) con una sembradora brillon. El diseño experimental fue completamente al azar (DCA) con una disposición factorial de crotalaria, mijo perla y mezcla de crotalaria y millo perla (S) en dos periodos de cosecha (P) con cuatro repeticiones. En cada S y en cada P se recortaron, pesaron y secaron tres muestras aleatorias de 1 m² para estimar el RMS. Muestras representativas (500 g) fueron secadas y molidas para análisis de laboratorio. Hubo una interacción ($p < 0.05$) entre S y P en RMS. A los 63-días, el millo perla, la crotalaria y su mezcla promediaron 4.8, 1.2 y 6.3 Mg/ha, respectivamente. No hubo interacción entre S por P para PC y L. Sin embargo, hubo una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre S para PC y L. La proteína cruda promedió 8.2, 18.7, 8.2%, mientras que L promedió 4.8, 7.9 y 6.0%, para millo perla, crotalaria y su mezcla, respectivamente. Además, hubo una diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la P para PC, con un promedio de 13.9 y 9.5% cuando se cosechó a los 49 y 63 días. Hubo una interacción ($p < 0.05$) entre S por P en FDN y FDA. En crotalaria cuando se cosechó a los 49 y 63 días presentó 39.3 y

49.7% para FDN y 31.7 y 40.0% para FDA, respectivamente. No se observaron diferencias para el FDA en el millo perla y las mezclas en el S. En conclusión, el RMS aumenta cuando se mezcla, el PC no aumenta en la mezcla, pero el FDN y el FDA son indicativos de heno de alta calidad.

5.2 INTRODUCCIÓN

En países como India, el millo perla es utilizado en la dieta humana ya que posee altos contenidos de proteína, fibra, fósforo, calcio, así también posee energía en forma de carbohidratos, asemejándose al cultivo de maíz. En la actualidad existen híbridos de millo perla que han superado las características nutricionales del maíz.

La producción de heno generalmente se realiza con gramíneas (anuales o perennes) establecidas en monocultivos; con el propósito de conservar su valor nutricional. El millo perla es una alternativa para la producción forrajera, ya que es un cultivo anual de rápido crecimiento (60 días para alcanzar su máxima producción) y poder conservarla como heno.

El uso de nuevos pastos mejora la producción de forraje aumentando los niveles nutricionales cuando se utilizan asociados con leguminosas. Crotalaria es una leguminosa que generalmente es utilizado como abono verde en la reconstrucción de suelos erosionados y utilizado como extractor de nematodos patógenos en ciertos cultivos de importancia económica. La crotalaria aporta grandes cantidades de N al suelo y tiene altos contenidos de proteína cruda y fibra.

El uso de mezclas forrajeras en países de la zona templada, ha permitido aumentar sus rendimientos y sus valores nutricionales que han beneficiado la producción animal. Las mezclas generalmente se realizan con gramíneas y leguminosas; las leguminosas fijan N al suelo y benefician a las gramíneas que requieren N para su desarrollo, además de aportar mayores cantidades de proteína. Por el contrario, millo perla contiene cantidades considerables de carbohidratos las cuales facilitan la producción de energía, utilizada por los microorganismos del rumen de los bovinos.

Por estas razones, se ha planteado un estudio para comparar a millo perla, crotalaria en monocultivo y su asociación, cosechadas a los 49 y 63 días después de la siembra y medir su efecto sobre RMS, PC, FDA, FDN y contenido L.

5.3 MÉTODOS Y MATERIALES

5.3.1 Ubicación del experimento

El experimento se estableció en EEA - Isabela de la UPRM, localizada en la costa noroeste de Puerto Rico, Carretera #2, Km. 114.7, a una elevación de 126 metros sobre el nivel del mar. La precipitación en EEA-Isabela en el 2017 fue de 925.6 mm de enero a julio, temperatura media anual de 25° C con fluctuaciones de 20°C a 28°C. Cabe mencionar, que predominan un orden de suelo Oxisol serie coto.

5.3.2 Preparación del terreno y siembra

La preparación de suelo se realizó con un arado mecánico a una profundidad de 30 cm. La siembra se la realizó con la utilización de la sembradora mecánica Brillion, con una densidad de siembra de 10 kg/ha de pasto millo perla, 14 kg/ha de crotalaria y 5 kg/ha de millo perla más 7 kg/ha de crotalaria para la asociación, la siembra se la realizo junto con superfosfato triple (0-46-0) con la misma densidad de siembra de la asociación.

La siembra se realizó el 16 de enero de 2018, el área útil total fue de 40 x 70 m de largo con un área de 2,800 m²; el área de cada tratamiento fue de 16 m x 12 m, realizando un solo riego al momento de la siembra para promover la germinación. Para el control de malezas se utilizó una cosechadora mecánica (cultivadora) entre las sub parcelas para el respectivo control.

Previo a la siembra del experimento, se realizó una toma de muestras de suelo para determinar sus características. Las muestras fueron escogidas de forma aleatoria dentro del predio en forma cuadrangular, secadas y molidas para obtener 500 gramos. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de la Estación de Investigación de Agricultura Tropical (TRAS por sus siglas en ingles) USDA Mayagüez- Puerto Rico como indica la tabla 3.

5.3.3 Tratamientos

Se evaluaron tres sistemas de siembra (millo perla, crotalaria y asociación millo perla + crotalaria), cosechados en dos periodos a los 49 y 63 días después de la siembra, como nos indica la tabla 10.

Tabla 10. Disposición de los tratamientos para la producción de heno de pasto millo perla, crotalaria y su asociación en la EEA- Isabela, 2018.

Tratamiento	Descripción
Millo perla – 49	Cultivo de millo Perla - Cosechado a los 49 días
Millo perla – 63	Cultivo de millo Perla - Cosechado a la los 63 días
Crotalaria- 49	Cultivo de crotalaria - Cosechado a los 49 días
Crotalaria - 63	Cultivo de crotalaria - Cosechado a la los 63 días
Millo perla+crotalaria – 49	Mezcla (millo + crotalaria) - Cosechado a los 49 días
Millo perla+crotalaria - 63	Mezcla (millo + crotalaria) - Cosechado a la los 63 días

5.3.4 Diseño experimental

El establecimiento de los cultivos fue de acuerdo a un DCA con un arreglo factorial 3 x 2 con cuatro repeticiones, donde se evaluaron tres sistemas de siembra y dos periodos de cosecha. Los datos se examinaron con un Análisis de Varianza – ANOVA, utilizando el paquete estadístico InfoStad/Estudiantil versión 2008. Además, se realizaron comparaciones de medias de los tratamientos aplicando pruebas de diferencia mínima significativa de Fisher (LMS), con un nivel de probabilidad de $p < 0.05$.

5.3.5 Cosecha

La primera cosecha se realizó a los 49 días después de la siembra, su estado fenológico se encontraba terminando su fase vegetativa. Se realizaron tres muestras de 1 m² en forma diagonal y al azar, repitiéndose en cada unidad experimental y repetición; durante los 63 días después de la siembra, cabe añadir, que se encontraba con 100% de floración a esta fecha.

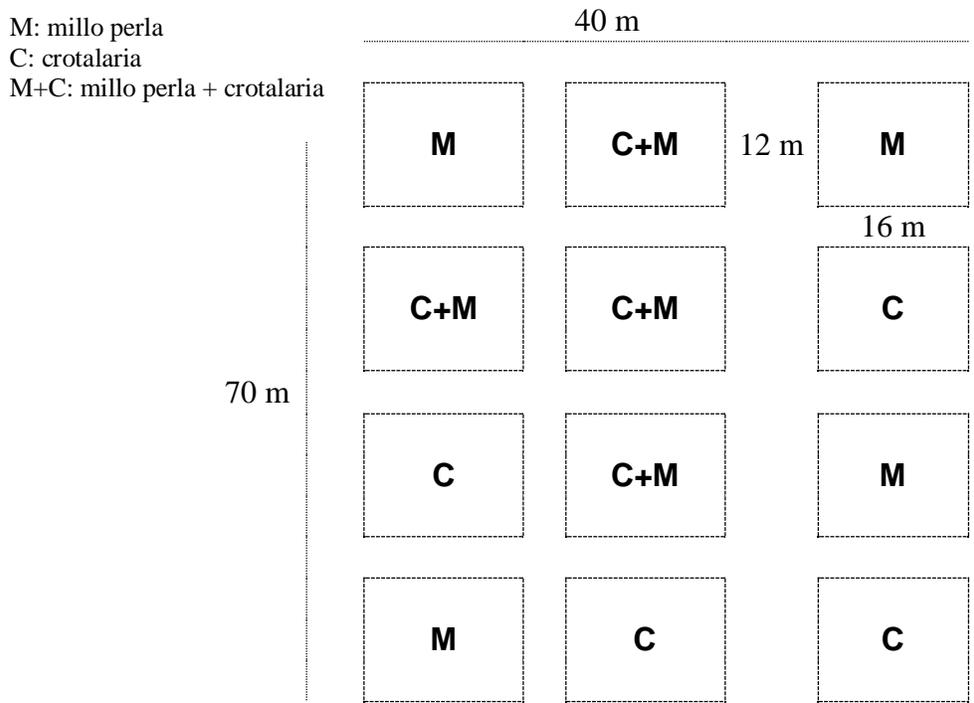


Figura 3. Establecimiento del segundo experimento en la EEA – Isabela, 2018.

5.3.6 Variables a considerar:

5.3.6.1 Rendimiento de materia fresca (RMF Mg/ha) y rendimiento de Materia Seca (RMS Mg/ha)

Luego de que el cultivo se estableció en las parcelas y transcurrió el periodo de cosechamientos mencionados anteriormente, se tomaron tres sub muestras de materia fresca en un área de 1m². Se contabilizó el peso de las muestras para el respectivo cálculo del rendimiento. Una vez cosechado el forraje fresco, se dejó deshidratar al ambiente durante cuatro días hasta obtener una humedad entre los 20 y 30%, es decir, que el pasto al momento de manipularlo no contenga agua al doblar el material. El porcentaje de materia seca se obtuvo considerando el peso en fresco y peso en seco:

$$\% \text{ MS} = (\text{Peso seco} / \text{Peso fresco}) \times 100$$

Con los valores de materia verde y el porcentaje de la materia seca se procedió a calcular el rendimiento de la materia seca por hectárea:

$$\text{Rendimiento MS} = (\text{Ren. MF} \times \% \text{ MS}) / 100 \text{ Mg/ha}$$

5.3.6.2 Valores nutricionales

Las muestras fueron secadas a 50°C por 72 horas, posteriormente molidas para su respectivo análisis. El valor nutricional se obtuvo de cada cultivo en sus diferentes periodos de cosecha, se analizó el porcentaje de proteína cruda (%PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina (L).

El análisis de PC se realizó en los Laboratorios de “Estación de Investigación de Agricultura Tropical” (TARS) USDA Puerto Rico – Mayagüez, mediante el método “Kjeldahl” proceso de análisis químico para determinar el contenido en N de una sustancia. Los contenidos de N presente en los análisis de materia seca se multiplicaron por el factor de 6.25 para obtener el contenido de PC de los cultivos. Por el contrario, los análisis de FDA, FDN y L se enviaron al laboratorio “Centro de Investigación y Extensión de Texas A&M AgriLife en Stephenville” para su respectivo análisis.

5.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.4.1 Heno de millo perla, crotalaria y su asociación (M+C):

5.4.1.1 Rendimiento de materia seca (RMS)

Se observó una interacción significativa ($p < 0.05$), entre los sistemas de siembra y los periodos de cosecha para RMS, observando una mayor producción en la asociación millo perla + crotalaria con 6.3 Mg/ha a los 63 días de cosecha (Tabla 11). Alonso et al. (2012) al evaluar el rendimiento de millo perla en monocultivo con diferentes dosis de biofertilizante (161 m³/ha NPK), obtuvo su mayor RMS de 5.4 Mg/ha, cuyo rendimiento fue menor al encontrado en el presente estudio con 0.9 unidades de diferencia. Mientras que, el RMS de millo perla, cosechado a los 63 días, produjo 4.8 Mg/ha (Tabla 11), al igual que el encontrado por Alonso et al. (2012), de 4.7 Mg/ha promedio con aplicaciones de NPK. La respuesta de menor producción fue para el cultivo de crotalaria cosechado a los 49 días después de la siembra con 0.6 Mg/ha (Tabla 11), producción menor en comparación con los presentados por Jiménez et al. (2005), en las que evaluó el RMS en diferentes densidades y a tres diferentes cortes durante la floración, igualmente su producción fue de 2.9, 0.3 y 0.4 Mg/ha a los 137, 240 y 330 días, respectivamente, con una densidad de 86,000 plantas por hectárea.

Tabla 11. Rendimiento de materia seca en la producción de heno en la EEA- Isabela, 2018.

Sistemas de siembra	Millo perla		Crotalaria		Millo perla + Crotalaria		P- valor
	² 49	³ 63	49	63	49	63	
Días	² 49	³ 63	49	63	49	63	⁴ S*P
¹ RMS Mg/ha	3.1 c	4.8 b	0.6 d	1.2 d	3.2 c	6.3 a	0.0241

¹Rendimiento de materia seca en toneladas por hectárea, ²Evaluadas a los 49 días después de la siembra, ³Evaluadas a los 63 días después de la siembra, ⁴Interacción entre sistema de siembra por periodo de cosecha Promedios horizontales con una letra diferentes son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

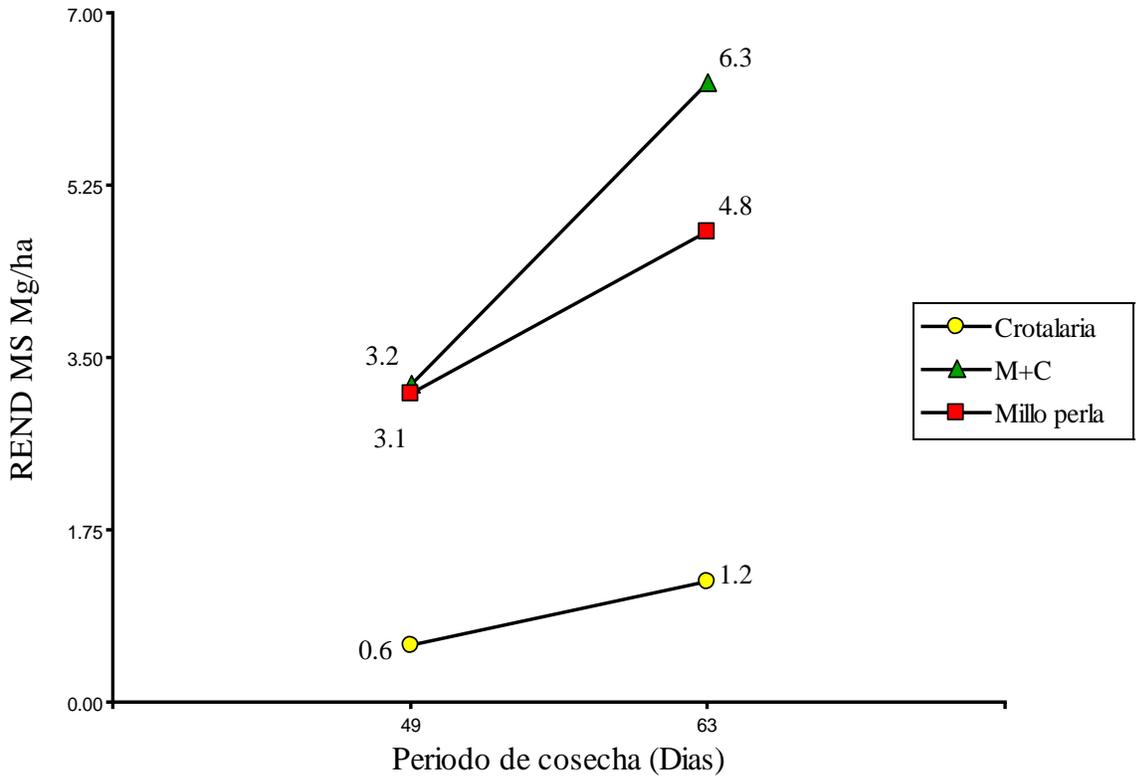


Figura 4. Efecto de la interacción entre los sistemas de siembra y periodos de cosecha sobre RMS en la producción de heno de pastos millo perla, crotalaria y su asociación millo perla + crotalaria en la EEA-Isabela, 2018.

En la Figura 4 podemos observar el efecto de la interacción entre los sistemas de siembra y los periodos de cosecha, donde el RMS aumenta a medida que se cosecha a mayor tiempo, además de observar que la mezcla forrajera presenta la mayor producción. En el experimento realizado por Zavala et al. (2011), al evaluar el RMS con maíz + mazorca obtuvo 9.9 Mg/ha y maíz + mazorca + crotalaria obtuvo un valor de 14.8 Mg/ha, por lo cual se ve un aumento de materia seca en 4.9 Mg/ha.

5.4.1.2 Valor nutricional:

5.4.1.2.1 Proteína cruda (PC)

El contenido de PC fue evaluado en dos periodos de cosecha y en tres sistemas de siembra (millo perla monocultivo, crotalaria monocultivo y su asociación), observando que no hubo una interacción significativa ($p>0.05$). Por lo tanto, se analizaron sus efectos principales donde se encontraron diferencias significativas ($p<0.05$) en las medias del contenido de PC en los sistemas de siembra y periodos de cosecha. El cultivo, crotalaria, presentó un 18.7% de PC mayor al del cultivo millo perla y su asociación (millo perla + crotalaria) (Tabla 12). Morris y Kays (2005), cuando evaluaron 6 genotipos de semillas de crotalaria la media fue de 41.9%, en efecto la acumulación de proteína en la semilla es mayor, dando a conocer que el heno empacado en una etapa fenológica en formación de grano, presentara contenidos de PC más altos.

No se encontraron diferencias entre millo perla y su asociación (millo perla + crotalaria) con 8.2% y 8.2%, respectivamente (Tabla 12). Zavala et al. (2011), en su investigación en la producción de ensilaje de maíz y en asociación con crotalaria, encontró contenidos de PC de 10.2% y 11.8%, respectivamente, estos son mayores en 2.0 y 3.6 unidades porcentuales a los encontrados en el presente estudio. Cabe mencionar que la incorporación de una leguminosa permite un aumento en el contenido de PC y MS. Alonso et al. (2012), por el contrario, encontraron contenidos de PC de 4.7% cuando aplicó una fertilización con NPK y obtuvo una media de 5.4% cuando fertilizó con un biofertilizante, valores inferiores en 3.4 y 2.8 unidades porcentuales a los encontrados en la presente investigación.

En un estudio llevado a cabo por Trujillo y Uriarte (1990), manifiesta rangos diferenciales entre especies de gramíneas y leguminosas, con valores de 6.3% y 18.9% para gramíneas y de 20.2% y 25.7% para leguminosas. Como se puede observar, las leguminosas contienen las mayores cantidades de PC, lo cual favorece la calidad del forraje.

No se encontró una interacción significativa ($p>0.05$) entre los sistemas de siembra y los periodos de cosecha para el contenido de lignina; tampoco hubo diferencia en los periodos de cosecha. Sí se encontró un efecto ($p<0.05$) para los sistemas de siembra, es así que presentaron

7.9%, 6.0% y 4.8% para crotalaria, asociación (millo perla + crotalaria) y pasto millo perla, respectivamente (Tabla 12). En la producción de heno de Millo perla realizado por Altamira (2010), se encontró un 4.9% de L en estado de llenado de la panoja, valores similares a los encontrados en la presente investigación

Tabla 12. Contenido de proteína cruda y lignina en la producción de heno de pasto millo perla, crotalaria y su asociación en la EEA-Isabela, 2018.

Variables	Sistema de siembra			Periodo de cosecha (días)		P-valor		
	M ³	C ⁴	M+C ⁵	49 ⁶	63 ⁷	S ⁸	P ⁹	S*P ¹⁰
% PC ¹	8.2 b	18.7 a	8.2 b	13.9 a	9.5 b	<0.0001	<0.0001	NS ¹¹
% L ²	4.8 b	7.9 a	6.0 b	5.9 a	6.7 a	0.0014	NS	NS

¹Contenido de proteína cruda, ²Porcentaje de Lignina, ³Cultivo millo perla, ⁴Cultivo crotalaria, ⁵Asociación millo perla + crotalaria, ⁶Evaluación a los 49 días después de la siembra, ⁷Evaluación a los 63 días después de la siembra, ⁸Efecto del sistema de siembra, ⁹Efecto de periodos de cosecha, ¹⁰Interacción entre sistema de siembra por periodo de cosecha, ¹¹No significativo, Promedios horizontales con una letra desiguales son significativamente diferentes (p<0.05).

La lignina es un componente de la pared celular que no es digerible por el animal y tiende a aumentar con la edad de la planta. Además, existen especies que contienen grandes contenidos de lignina como es el caso de la crotalaria, con un contenido de 7.9%, similar a los de soya con un promedio de 10%. Generalmente, el contenido de lignina en los pastos tropicales se encuentra en un promedio de 8%, mientras que, los pastos de zona templada, considerados con mejor valor nutritivo, poseen un 4% de lignina (Sánchez y Soto, 1998). En la investigación realizada por (Sánchez y Soto, 1998), encontró valores de 3.6 % de lignina en *Pennisetum clandestinum* y *Setaria anceps* y un 5.2% en *Brachiaria ruziziensis* entre 20 y 30 días después de la siembra cosechados en una estación semiseca.

5.4.1.2.2 Porcentaje de fibra detergente ácida y neutra (FDA, FDN)

El análisis nos muestra que existe interacción significativa ($p < 0.05$) entre los sistemas de siembra y periodos de cosecha para FDA y FDN (Tabla 11), esto significa que el contenido de FDA y FDN dependerá del tipo de siembra y del periodo en la cual se coseche.

El menor contenido de FDN lo presentó el cultivo de crotalaria, cosechado a los 49 días y los 63 días con 39.3 y 49.7% (Tabla 13) respectivamente, al comparar con la soya la cantidad promedio fue de 50% en R4 (vainas desarrolladas) (Tabla 9), valores similares al comparar con los 63 días. En la producción de ensilaje de soya, realizado por Quijia (2015), presentó un 44% de FDN, menor porcentaje en comparación con millo perla que presenta un 60.6 y 60.4% a los 49 días y los 63 días, respectivamente.

Mientras que, si se realiza una mezcla forrajera entre gramíneas y leguminosas, el porcentaje de FDN fue similar al de millo perla. Se observa en la asociación entre millo perla + crotalaria, en la presente investigación valores de 61.3 y 60.6% (Tabla 13), a los 49 días y los 63 días, respectivamente. Datos similares a los encontrados por Zavala et al., 2011, en la producción de ensilaje de Maíz + crotalaria sin mazorca con 59.2% y Maíz + *Lablab purpureus* sin mazorca con 57%.

Cuando se establece como monocultivo (millo perla) los valores fueron de 60.6 y 60.4% (Tabla 13), respectivamente en los 49 días y los 63 días, pero no difieren entre el periodo de cosecha. En la composición química realizada por Alonso et al. (2012), en su estudio en la producción de millo perla, con utilización de biofertilizantes, encontró un contenido de 67.8%, mayor en 7.3 unidades porcentuales. Trujillo y Uriarte (1990), mencionan que el valor de FDN para las gramíneas se encuentra entre un rango de 52.1% y 60.4% y para las leguminosas entre 44.5% y 47.3%.

En el análisis de FDA en el cultivo de millo perla, sembrado como monocultivo, no presentó diferencias con respecto a los periodos de cosecha con valores de 33.3% y 34.1%, respectivamente a los 49 días y los 63 días (Tabla 13). Valores menores a los encontrados por Altamira (2010), en la producción de heno con 40.5 y 39.7% en etapa de llenado de la panoja y floración similares al

estado fenológico cosechado; estos valores fueron menores en 7.2 y 5.6 unidades porcentuales. También, Alonso et al. (2012), en su investigación de la composición química de millo obtuvo mayores contenido de FDA con 39.3%.

En la producción de heno de crotalaria como monocultivo, existe una diferencia entre el periodo de cosecha, a medida que madura la planta el porcentaje de FDA aumenta, disminuyendo la palatabilidad del heno. Las cantidades fueron de 31.7% y 40.0% (Tabla 13) mayor en 8.3 unidades porcentuales a los 63 días de cosecha. Clemente (2014), encontró porcentajes de FDA de 42.4% en promedio en su estudio cuando combino sorgo con crotalaria, valores mayores a los encontrados en la presente investigación. En la producción de heno de soya el porcentaje de FDA fue de 36.9% (Tabla 9), similares a los de crotalaria.

Tabla 13. Contenido de fibra detergente neutra y ácida en la producción de heno de pasto Millo perla, Crotalaria júncea y su asociación en la EEA-Isabela, 2018.

Sistema de siembra	Cultivo millo perla		Cultivo crotalaria		Millo perla + Crotalaria		P- valor
	49 ³	63 ⁴	49	63	49	63	
Días							S*P ⁵
% FDN ¹	60.6 a	60.4 a	39.3 c	49.7 b	61.3 a	60.6 a	<0.0001
% FDA ²	33.3 de	34.1 cd	31.7 e	40.0 a	35.8 bc	36.6 b	<0.0001

¹Porcentaje de fibra detergente neutra, ²Porcentaje de fibra detergente ácida, ³Evaluación a los 49 días después de la siembra, ⁴Evaluación a los 63 días después de la siembra, ⁵Interacción entre sistema de siembra por periodo de cosecha, Promedios horizontales con letra desiguales son significativamente diferentes (p<0.05).

En la mezcla forrajera no se observó diferencia en los periodos de cosecha con 35.8% y 36.6% a los 49 días y 63 días, respectivamente (Tabla 13). Zavala et al. (2011), en la producción de ensilaje de maíz + crotalaria con mazorca obtuvo 38.9% y en maíz + crotalaria sin mazorca obtuvo 41.7%, mayores a los presentados en la investigación.

5.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el uso de mezclas forrajeras la calidad de los forrajes aumenta, así como su rendimiento de materia seca. En este estudio se observó que la asociación entre crotalaria y millo perla sobre el RMS fue mayor con un valor de 6.3 Mg/ha a los 63 días. Cabe notar, que la producción es mayor si comparamos cuando se la realiza como monocultivo. Por otra parte, el contenido de PC fue mayor a los 49 días semana después de la siembra con 13.9%, con respecto al periodo de cosecha. Mientras que, que el cultivo de crotalaria al ser una leguminosa presentó un promedio mayor de 18.7% con relación a millo perla y su asociación. Con respecto, al contenido de lignina este es un componente de la pared celular e influye en la digestibilidad de los pastos, así pues, al establecer una mezcla forrajera (millo perla +crotalaria) encontramos valores del 6.0%, crotalaria de 7.9% mayor valor al resto de tratamientos y, por último, millo perla con 4.8% con menor porcentaje.

Por último, el contenido de FDN no se diferenció entre millo perla y la asociación (millo perla + crotalaria) a los 49 días y los 63 días con valores de 60.6, 60.4, 61.3 y 60.6%, respectivamente, mientras que, sí hubo diferencia en crotalaria a los 49 días y los 63 días con 39.3 y 49.7%, respectivamente. Del mismo modo sucede con FDA, para millo perla con valores de 33.3 y 34.1%; asociación (millo perla + crotalaria) con 35.8 y 36.6% y crotalaria con 31.7 y 40.0% estos son diferentes entre sí, a los 49 días y los 63 días, respectivamente.

Para finalizar, se recomienda realizar mezclas forrajeras entre gramíneas y leguminosas dado que, permite un aumento en el RMS y valor nutricional considerando existe una mayor relación hoja/tallo a los 63 días.

6 EXPERIMENTO III: EFECTO DE EDAD DE REBROTE DE SORGO FORRAJERO (*Sorghum vulgare* L.) Y MARALFALFA (*Pennisetum* spp.) SOBRE EL VALOR NUTRICIONAL Y CARACTERÍSTICAS FERMENTATIVAS DEL HENOLAJE

6.1 RESUMEN

En Puerto Rico, el henolaje ofrece la oportunidad de preservar los forrajes con una calidad nutricional óptima. Sorgos forrajeros (*Sorghum vulgare* L.) cv. Pampa Verde se ha conservado durante mucho tiempo como henolaje, pero la información está limitada a la característica de fermentación de maralfalfa (*Pennisetum* spp). El objetivo de este estudio fue determinar el porcentaje de materia seca (MS), proteína cruda (PC), pH y características de fermentación de Pampa Verde (56-días después de la siembra), maralfalfa (56-días rebrote) y 35 días-rebrote. El experimento fue un diseño completamente al azar (DCA) con un arreglo factorial de dos cultivos x dos fechas de cosecha con seis repeticiones. Las muestras fueron representativas en diferentes edades de cultivo, se recolectaron en 1 m² (tres muestras por tratamiento), se pre-marchitaron durante 24 horas y se empaquetaron, se sellaron en fardos redondos de plástico (Pampa verde) o en micro-silos (maralfalfa). Después de 21 días de fermentación, se tomaron muestras representativas, se congelaron y se enviaron a un laboratorio comercial para su análisis químico. Hubo una interacción significativa ($p < 0.05$) entre cultivos empacados x fecha de cosecha. A los 56 días, Pampa Verde y maralfalfa tenían 36 y 30% de MS, 14 y 8,6% de PC, y un pH de 4,61 y 5,9, respectivamente. Un recrecimiento a los 35 días, Pampa Verde y maralfalfa tuvieron 31 y 22% de MS, 12 y 10% de PC, y pH de 5.8 y 6.0 respectivamente. A los 56 días, el ácido láctico fue de 4.0 para Pampa Verde en comparación con 0.2 para maralfalfa, mientras que, a los 35 días la producción de ácido láctico (0.4) fue baja tanto para Pampa Verde como para maralfalfa. En general, los porcentajes de MS, PC, pH y ácido láctico para Pampa Verde fueron mejores que los de maralfalfa, lo que indica mejores características de fermentación, mientras que, las

características de fermentación a los 35 días de rebrote de los dos cultivos fueron pobres, lo que indica un henolaje de baja calidad.

6.2 INTRODUCCIÓN

Una de las formas más comunes de almacenar los forrajes es el ensilaje que consiste en guardar el pasto con un 80% de humedad, siendo el más utilizado el ensilaje de maíz. En Puerto Rico, la producción de maíz es limitada para la producción animal, por lo que se está utilizando gramíneas que contenga características nutricionales similares a las del maíz, tal como, es el caso del sorgo forrajero. Sin embargo, el ensilaje presenta una desventaja que al ser almacenado con gran cantidad de agua empieza la proliferación de hongos aumentando las concentraciones de ácido propionico (0.2 – 0.3%) y disminuyendo la producción de ácido láctico, reduciendo la palatabilidad del alimento y reduciendo las características fermentativas del ensilaje.

Por otra parte, el henolaje es una técnica de almacenamiento que permite conservar los forrajes con un 50% de humedad, en forma de pacas cilíndricas selladas con polietileno, impidiendo el ingreso de oxígeno permitiendo una fermentación anaeróbica. La presencia de bacterias lácticas consume los carbohidratos y generan ácido láctico lo cual es un indicativo de calidad de los henolajes, este producto debe alcanzar un pH entre 4 y 5, donde se encuentra mayor concentración de este ácido.

En el trópico, el pasto que se está empleando es el sorgo forrajero, sin embargo, se sigue en la búsqueda de nuevos pastos, como es el caso de la maralfalfa, un pasto perenne de alta capacidad productiva y buen contenido nutricional; actualmente utilizado en la alimentación animal como pastoreo y corte. Por lo tanto, se buscan alternativas de pastos que puedan ser almacenados como henolaje sin disminuir su calidad. El objetivo de la presente investigación es comparar henolajes realizados con sorgo forrajero y maralfalfa en dos periodos de cosecha. Se investigará analizando los productos de la fermentación como es el contenido de ácido láctico, acético, total de ácidos grasos, pH y porcentaje de PC.

6.3 MÉTODO Y MATERIALES

6.3.1 Ubicación y establecimiento de los cultivos

El cultivo de maralfalfa se encontraba establecido en la EEA - Isabela de la UPRM, localizada en la costa noroeste de Puerto Rico, Carretera #2, Km. 114.7. El sorgo fue establecido en finca ganadera de Tai South Farm al suroeste de Puerto Rico - Lajas (detalladas en el experimento1).

6.3.2 Preparación del terreno y siembra

La preparación del suelo en la Finca Tai South Farm - Lajas, se la realizó de forma convencional con pase de arado y rastra a una profundidad de 30 cm aproximadamente, la siembra fue mediante una sembradora mecánica a 0.75m entre hileras y 0.20m de distancia entre planta.

La siembra del sorgo se realizó en el 15 de febrero del 2018, en un área de 10,105m² con un ancho de 43m por 235m de largo, cada uno de los lotes. La maralfalfa al considerarse un cultivo perenne, su establecimiento ya se encontraba en la en la EEA – Isabela, en un área de 2,500m², la fecha de inicio de experimento fue el día del corte. La poda se realizó en abril del 2018 mediante la utilización de una cortadora mecánica a unos 25 cm de altura desde el suelo.

6.3.3 Tratamientos

Para determinar el rendimiento de materia seca y las características nutricionales de henolaje, se evaluaron dos cultivos: sorgo forrajero y maralfalfa en dos periodos de cosecha (Tabla 14).

6.3.4 Diseño experimental

Para el análisis de las características nutricionales de henolaje, la unidad experimental fue un micro silo, examinados de acuerdo a un DCA con un arreglo factorial 2 x 2 con seis repeticiones, donde, se evaluaron dos cultivos y dos periodos de cosecha. Los datos se examinaron con un Análisis de Varianza – ANOVA, utilizando el paquete estadístico InfoStad/Estudiantil versión

2008, Además, se realizaron comparaciones de las medias de los tratamientos aplicando pruebas de diferencia mínima significativa de Fisher (LMS), con un nivel de probabilidad de $p < 0.05$.

Tabla 14. Disposición de tratamientos en la producción de henolaje de sorgo y maralfalfa.

Tratamiento	Descripción
S-1	Sorgo forrajero – Cosechado a los 56 días después de la siembra
S-2	Sorgo forrajero – Cosechado a los 35 días después del rebrote
M-1	Maralfalfa – Cosechado a los 56 días después de la siembra
M-2	Maralfalfa – Cosechado a los 35 días después del rebrote

6.3.4.1 Cosecha y elaboración de micro silos

Las cosechas se realizaron de los cultivos en sus tiempos respectivos (35 y 56 días). Para la cosecha del sorgo del primer periodo, el corte se realizó del lote completo en horas de la mañana a unos 20 cm de altura, se dejó premarchitar por 24 horas y posteriormente se elaboraron los silos de 454 kg de peso. Mientras que, para la maralfalfa las cosechas se realizaron mediante el uso de un cuadrante de 1 m², en cuanto al sorgo del segundo periodo de cosecha se cortó en un área de 1.5 m².

El material de sorgo y maralfalfa fue picado a 4 cm de espesor para facilitar la elaboración de los microsilos. Se empacaron en fundas Ziploc® (30 cm x 27 cm), extrayendo el contenido de oxígeno con una aspiradora mecánica. Al cabo de 21 días de fermentación anaeróbica, se obtuvieron las sub muestras y fueron congeladas para ser enviadas al laboratorio Dairy One (2018) para sus respectivos análisis.

6.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.4.1 Características fermentativas

Se observó una interacción significativa ($p < 0.05$) entre cultivo y el periodo cosecha para el % MS, % ácido láctico, ácido acético y total de ácidos. Es decir, el tipo de cultivo y el periodo de cosecha, influye en sus características fermentativas (Tabla 15). El resultado del henolaje de sorgo y maralfalfa en diferentes periodos de cosecha, presentaron los siguientes % MS, M-1 con 30.1%, M-2 con 22.0, S-1 con 36.0% y S-2 con 31.3% (Tabla 15).

Tabla 15. Características fermentativas en la producción de henolaje de sorgo y maralfalfa, PR, 2018.

Variable	Maralfalfa		Sorgo		P-valor C*E ⁴
	² 56	³ 35	56	35	
% MS ¹	30.1 b	22.0 c	36.0 a	31.3 b	0.0454
% Ácido láctico	0.2 b	0.2 b	4.1 a	0.6 b	0.0001
% Ácido acético	0.1 b	0.3 b	0.7 a	0.1 b	< 0.0001
% Total de ácidos	0.4 b	0.4 b	4.9 a	0.7 b	<0.0001

¹Porcentaje de materia seca, ²Evaluado a los 56 días después de la siembra, ³Evaluado a los 35 días después del rebrote, ⁴Interacción entre cultivo y periodo de cosecha, Promedios horizontales con letra desiguales son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

En la producción de ácido láctico se observó que hubo una mayor producción en S-1 con 4.1%, la cual difiere del resto de las interacciones, cuyas producciones fueron de 0.6, 0.2 y 0.2% para S-2 y M-1 y M-2, respectivamente. La producción de ácido láctico es un indicativo de una buena calidad del henolaje, debido a la presencia de carbohidratos que favorecen la fermentación. El valor de ácido láctico presentado por el laboratorio Dairy One (2018a), fue de 5.9% calificado como un ensilaje de excelente calidad.

Quijia (2015), en su investigación en ensilajes de sorgo, presentó un contenido de ácido láctico de 5.8% mayor en 1.7 unidades porcentuales con S-1. Mientras que, Rodríguez y Randel (2012) en la producción de ensilaje con dos tipos de sorgos, encontraron valores de 0.5 y 0.01% a

los 30 días de fermentación, valores menores en 3.6 y 4.1 unidades porcentuales considerando que la fermentación no se realizó de forma adecuada. Por el contrario, los henolajes de maralfalfa, en los dos periodos de cosecha y S-2, son menores a los de S-1 en 3.6, 3.8 y 3.9 unidades porcentuales. Por lo tanto, los contenidos inferiores a 1.5% es indicativo de una pobre fermentación, bajo contenido de carbohidratos y energía útil para las bacterias fermentativas (Rodríguez y Randel, 2012).

Los niveles de ácido acético, por el contrario, deben estar menos del 0.8% (Dairy One, 2018a), para tener un henolaje de excelente calidad. Los resultados obtenidos fueron los siguientes 0.7, 0.1, 0.1 y 0.3, respectivamente para S-1, S-2, M-1 y M-2 (Tabla 15). En la relación ácido láctico/ ácido acético se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para el tipo de cultivo, encontrando 1.5% y 7.0% en maralfalfa y sorgo, respectivamente, lo cual es mayor en 5.5 unidades porcentuales, es decir, mientras mayor relación mejor el henolaje. Con respecto al contenido total de ácidos, S-1 generó 4.9%, presentando mejor calidad y diferente a S-2 y M-1 y M-2 con 0.7, 0.4 y 0.4%, respectivamente, mayor en 4.2, 4.5 y 4.5 unidades porcentuales (Tabla 15).

Existen interacciones significativas ($p < 0.05$) en el pH, % CP, % CPE, % N total y % VFD entre el periodo de cosecha y el cultivo (Tabla 16). Durante el proceso de fermentación, se observó una diferencia de pH en la interacción, obteniendo el valor más alto en M-2 con 6.1, seguido por M-1 con un pH de 5.9, lo cual no difirió del S-2 con 5.8, pero sí diferente a S-1 con 4.6, el cual fue el valor más bajo y adecuado en la producción de henolaje, al ser un buen indicador de calidad (Tabla 16). Rodríguez (2010), menciona que los henolajes deben tener pH no menor a 4.5, por el contrario, si son muy altos tiene un efecto negativo en la producción de ácido láctico, mostrando bajos contenidos de carbohidratos solubles en agua. Al comparar dos tipos de sorgos en la producción de henolaje sus pH a los 30 días fueron de 6.1 y 6.1 para sorgo sudan y sorgo forrajero (Rodríguez, 2010).

Los análisis indicaron que existe interacción significativa ($p < 0.05$) entre el cultivo y los periodos de cosecha en el contenido de PC. Presentado su valor más alto el tratamiento de S-1 con 14.1%, S-2 con 12.2%, seguidos por M-1 y M-2 con 8.6 y 10.4 %, respectivamente (Tabla 16). El estudio llevado a cabo por Díaz y Rodríguez (2009) presentó contenidos de PC en heno comercial de gramíneas tropicales con 4.4%, menor a los obtenidos en la presente investigación. Por el

contrario, Zavala et al. (2011), en la producción de ensilaje de maíz, el contenido fue de 10.2% y Quijia (2015), en su estudio obtuvo un valor de 16.2% cuando realizó una mezcla de sorgo con soya, presentando un incremento en el contenido de proteína. Maza, Vergara y Peternina, (2011) en el análisis de ensilaje de maralfalfa + yuca, obtuvo resultados de aproximadamente 7% de PC, valores similares a los encontrados en la presente investigación con M-1, sin embargo, mayor en 1.5 unidades. Al comparar la producción de heno y ensilaje de gramíneas, se puede observar que el contenido de PC es mayor en ensilaje, tal como presenta Altamira (2010), cuando utilizó millo como heno (6.9%) y ensilaje (10.9%) en una etapa fenológica de grano lechoso. La cantidad que requieren los microorganismos del rumen es del 12% aproximadamente, la saliva recicla alrededor del 5%, es decir, el contenido de PC que se requiere para cubrir los requerimientos es del 7%, mismos resultados se encuentran dentro de lo mencionado por Van Soest, (1993).

Tabla 16. Características fermentativas de la producción de henolaje de sorgo y maralfalfa. PR, 2018.

Cultivo	Maralfalfa		Sorgo		P-valor ³ C*E
	¹ 56	² 35	56	35	
pH	5.9 b	6.1 a	4.6 c	5.8 b	<0.0001
% CP ⁴	8.6 d	10.4 c	14.1 a	12.2 b	<0.0001
% CPE (Amonio) ⁵	0.5 c	1.0 a	0.9 ab	0.7 b	<0.0001
% Amm-N/ NT ⁶	5.9 b	9.2 a	6.2 b	6.1 b	0.0002
VFA Score ⁷	2.0 c	1.4 c	7.7 a	3.7 b	<0.0001

¹Evaluado a los 56 días después de la siembra, ²Evaluado a los 35 días después del rebrote, ³Interacción entre cultivo y periodo de cosecha ⁴Porcentaje de proteína cruda, ⁵Equivalente de proteína cruda; ⁶Relación nitrógeno amoniacal/nitrógeno total. ⁷Ácidos grasos volátiles, Promedios horizontales con letra desiguales son significativamente diferentes (p<0.05).

Se encontró interacción significativa (p<0.05) en el contenido del porcentaje CPE (Equivalente a proteína cruda), indicando el contenido de nitrógeno no proteico y puede ser utilizada por los microorganismos del rumen (Dairy One, 2018b). El % CPE no difieren en M-2, S-1 y S-2 con valores de 1.0, 0.9 y 0.7%, respectivamente, pero de M-1 con 0.5%, lo cual, es menor al resto de las interacciones (Tabla 16). Quijia (2015), en su mezcla entre sorgo y soya, observó

una producción mayor de 1.3%, por el contrario cuando se realizó maíz + mazorca fue menor con 0.5% y si se realiza con una mezcla de leguminosas la cantidad aumenta 0.8% (Zavala et al., 2011).

El nitrógeno amoniacal es producto final de la degradación de las proteínas y corresponde a un proceso paralelo al de formación de ácidos grasos volátiles (VFA). La presencia de amoníaco en un nivel superior a 5%, indica un desarrollo de la flora butírica (generalmente ocurre por la presencia de una bacteria *Clostridium* que fermenta carbohidratos y proteínas, por lo cual disminuyen el valor nutritivo del ensilaje) y un aumento del contenido de N soluble que, entre otras consecuencias, disminuye el consumo animal cuando consumen este tipo de ensilajes (Demagnet F., 2018). Sin embargo, Kung y Shaver (2001) establecieron rangos entre 5% a 7% con un %MS (30 a 40) para ensilaje de maíz.

Con respecto a la relación que existe entre el nitrógeno amoniacal con el nitrógeno total (Amm-N/ NT) se observó interacción significativa ($p < 0.05$). En la presente investigación se observó que M-2 (9.2%) tiene mayor cantidad y difiere de S-1 (6.2%), S-2 (6.1%) y M-1 (5.9%) (Tabla 16). Quijia (2015), obtuvo valores de 11.3% (soya) mayor en 2.1 unidades y 8.3% (sorgo +soya) menor en 0.9 unidades porcentuales con M-2, respectivamente. Por el contrario Zavala et al. (2011), obtuvo valores menores a los encontrados en la presente investigación cuando se realizó en maíz + mazorca (4.6%) y con mezcla de leguminosas (6.5%). La relación que se debe conseguir en un ensilaje entre el nitrógeno amoniacal y el nitrógeno total debe ser inferior a 5% (Demagnet F., 2018).

6.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El henolaje de sorgo y maralfalfa conservadas a diferentes edades, demuestran que el Henolaje de S-1, presentó las mejores condiciones de fermentación y composición química con un pH (4.9), PC, ácido láctico, ácido acético, ácido Totales, CPE, y N total/Amm-N de 14.1, 4.1, 0.7, 4.9, 0.9 y 6.2, respectivamente. Este se considera como un henolaje de buena calidad. Por otra parte, el henolaje de Maralfalfa presenta un alto contenido de proteína cruda (10.4%) a los 35 días después del rebrote. Sin embargo, los productos de la fermentación son de menor calidad al de sorgo debido a que los contenidos de carbohidratos de la Maralfalfa son menores. Esto, también, se puede apreciar en los resultados expuestos cuyo pH (>5) es un indicativo de baja fermentación.

Considerando, las características de fermentación se recomienda el uso de sorgo para la producción de henolaje. Por otro lado, la maralfalfa posee buenos valores nutricionales, sin embargo, se debe considerar que el establecimiento del cultivo requiere de abundante mano de obra para su siembra mediante el uso de fitomeros o estacas.

7 REFERENCIAS

- Agencia AFP. (18 de septiembre de 2017). Descifran el genoma del mijo perla , cereal de las tierras áridas. Eltelegrafo. Retrieved from <https://www.elselegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/descifran-el-genoma-del-mijo-perla-cereal-de-las-tierras-aridas>
- Alonso, J., Sampaio, R., Colen, F., Santos, L., Fernandes, L., Rocha, J. V, y Rodrigues, M. (2012). Productividad y composición química del millo perla (Pennisetum glaucum) como respuesta a la fertilización con NPK y biofertilizante. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 46(4), 441–447.
- Altamira Escalante, A. (2010). Características del ensilaje y heno de mijo Perla (Pennisetum americanum (L.) Leeke) cosechado en cuatro estados fenológicos. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Retrieved from <http://ninive.uaslp.mx/jspui/bitstream/i/2376/1/MCA1ENS01001.pdf>
- Álvarez, M., García, M., Treto E. (1995). Los abonos verdes: una alternativa natural y económica para la agricultura. Cultivos Tropicales 16(3), 9-24.
- Amador, A. L., y Boschini, C. (2000). Calidad nutricional de la planta de sorgo negro forrajero (Sorghum almum) para alimentación animal. Agronomía Mesoamericana, 11(2), 79–84. Retrieved from <https://doi.org/10.15517/am.v11i2.17315>
- Aponte, A., Valencia-Chin, E., y Beaver, J. (2015). Biomass and nutritive value of forage soybean lines [Glycine max L. (Merr.)] in northwestern Puerto Rico. The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico, 99(1), 19–36. Retrieved from <http://revistas.upr.edu/index.php/jaupr/article/view/2524>
- Blount, A. R., Wright, D. L., Sprengel, R. K., Hewitt, T. D., y Myer, R. O. (2009). Forage Soybeans for Grazing , Hay and Silage 1. University of Florida IFAS Extension, pp. 1–5. Retrieved from <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AG/AG18400.pdf>
- Bragachini, M., Cattani, P., Gallardo, M., Peiretti, J. (2008). Forrajes conservados de alta calidad

- y aspectos relacionados al manejo nutricional. INTA - PRECOP. Argentina. Retrieved from https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-libro_forrajes.pdf
- Beinroth, F., y Engel, R. L. (2002). Updated Taxonomic Classification of the Soil of Puerto Rico. En Bulletin 303 (pág. 38). San Juan - PR: University of Puerto Rico, Mayaguez Campus. College of Agricultural Sciences Agricultural Experiment Station.
- Betancourth, C., Salazar, C., & Rodriguez, M. (2011). Evaluación de coberturas de suelo con Caléndula (*Calendula officinalis* L.), crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) y avena (*Avena* sp. L.) en el control de *Meloidogyne* spp. en Lulo (*Solanum quitoense* Lam.). *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(2), 43–57. Retrieved from <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.19136/era.a17n34.211>
- Bressani, R., Rodas, B., Gudiel, E., y Lezama, C. (2014). Composición Química y valor nutritivo del maicillo (sorgo) dulce. *Universidad Del Valle de Guatemala*, 29, 31–38.
- Bunner, B., Martínez, S., y Flores, L. (2009). *Crotalaria*. Puerto Rico- Lajas.
- Bruno, O. A., Romero, L. A., y Ustarroz, E. (1997). Heno, henolaje empaquetados, silajes, calidad de las reservas y respuesta animal. In *Forrajes Conservados* (pp. 58–130). Cordova-Argentina. Retrieved from http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_en_general/30-forrajes_conservados.pdf
- Burbua, R., y Cabanillas, R. (2008). Tecnología para la producción de sorgo forrajero. INIFAP - SAGARPA, 2.
- Bustamante, G. J. de J. (2004). *Estrategias De Alimentacion Para La Ganaderia Bovina En Nayarit*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Secretaria de agricultura, ganaderia, desarrollo rural, pesca y alimentación (1st ed.). Guadalajara. Retrieved from <http://infolactea.com/wp-content/uploads/2017/05/productores-1-ESTRATEGIAS-DE-ALIMENTACION-PARA-LA-GANADERIA-.pdf>
- Calzada Marín, J. M., Enríquez Quiroz, J. F., Hernández Garay, A., Ortega Jiménez, E., & Mendoza Pedroza, S. I. (2014). Growth analysis of maralfalfa grass (*Pennisetum* sp.) in a

- warm humid climate. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 5(2), 247–260. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v5n2/v5n2a9.pdf>
- Calegari A. (1995). Leguminosas para adubação verde de verão no Paraná. Londrina, Instituto Agronómico do Paraná. (Circular IAPAR No. 80), p 117.
- Carrasco, N., Zamora, M., y Melin, A. (2011). Importancia del cultivo de sorgo, Descripción bótánica y escala fisiológica, tipos de sorgo, el sorgo y uso como silaje y diferido en la alimentación animal. In *Manual del sorgo* (pp. 5–87). Buenos Aires - Argentina. Retrieved from http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_sorgo_renglon_191.pdf
- Carulla, J. E., Cárdenas, E., Sánchez, N., y Riveros, C. (2004). Valor nutricional de los forrajes más usados en los sistemas de producción lechera especializada de la zona Andina Colombiana. *Joel Allende - Academia*, 2019, 1–16. Retrieved from https://www.academia.edu/8158740/Valor_nutricional_de_los_forrajes_en_colombia
- Clemente, D. (2014). Evaluación agronómica de la asociación *Sorghum bicolor* (L.) (Moench.) - *Crotalaria juncea* (L.) para la alimentación animal. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas- Cuba. Retrieved from <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/689/A0050.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Correa C, H. J. (2006). Nutritional value of “Maralfalfa” (*Pennisetum* sp) harvested at two stages of re-growth. *Livestock Research for Rural Development*, 18(6), 1–84. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33745641298&partnerID=40&md5=71ac75234eb0143f21224deacff4d5b>
- Colbert, R. W., Valencia, E., y Beaver, J. S. (2013). Rendimiento de materia seca y composición química de asociaciones de sorgo forrajero con leguminosas anuales. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 96(3–4), 165–181.
- Departamento de Agricultura. (2012). Informe anual de la oficina para la reglamentación de la Industria Lechera. Ruerto Rico. Retrieved from [file:///D:/Informe Anual 2011_2012.pdf](file:///D:/Informe%20Anual%202011_2012.pdf)
- Da Silva, F., Gonçalves, L., Santos, J., Correa, C., Rodriguez, N., Brito, A., y Mourao, G. (1999).

- Qualidade de Silagens de Híbridos de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L .) Moench) de Portes Baixo , Médio e Alto com Diferentes Proporções de Colmo + Folhas / Panícula . 1 . Avaliação do Processo Fermentativo. *Rev. Bras. Zootec.*, 28(1), 14–20. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v28n1/a03v28n1.pdf>
- Dahlberg, J. A., y Madera-Torres, P. (1994). Yield and agronomic evaluation of ten sorghum hybrids on the south coast of Puerto Rico en 1993 and 1994. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 131–138.
- Dairy One. (2018a). New Tool for Evaluating Silage Quality. Retrieved from www.dairyone.com
- Dairy One. (2018b). Understanding y Significance of Forage Analysis Results. Retrieved from <http://dairyone.com/understanding-significance-of-forage-results/>
- Davis, A. J., Dale, N. M., y Ferreira, F. J. (2003). Pearl millet as an alternative feed ingredient in broiler diets. *Poultry Science Association*, 12, 137–144. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15023651>
- Demagnet F., R. (2018). Nitrogeno Amoniacal en Ensilajes. *Plan Lechero Watts*, pp. 1–2. Retrieved from <http://www.watts.cl/docs/default-source/charlas-a-productores/nitrogeno-amoniaca-en-ensilajes.pdf?sfvrsn=4>
- Dewey, L., Wayne, H., David, B., William, D., Timper, P., y Jeffrey, W. (2012). Pearl millet for grain. *The University of Georgia*, pp. 1–8. Retrieved from https://secure.caes.uga.edu/extension/publications/files/pdf/B_1216_3.PDF
- Díaz R., H., y Rodríguez C., A. (2009). Consumo voluntario y digestibilidad de nutrientes de heno de gramíneas y leguminosas tropicales suplementadas con ensilaje de residuos de pescadería. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 92(1–2), 27–38. Retrieved from <http://136.145.83.33:8000/jspui/handle/10476/566>
- Ejeta, G., Hassen, M. M., y Mertz, E. T. (1987). In vitro digestibility and amino acid composition of pearl millet (*Pennisetum typhoides*) and other cereals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 84(17), 6016–6019. <https://doi.org/10.1073/pnas.84.17.6016>
- ELIKA. (2013). Alcaloides pirrolizidínicos - *Crotalaria* spp. *Fundación Vasca para la Seguridad*

alimentaria (Vol. 1). Retrieved from <https://alimentacion-animal.elika.eus/wp-content/uploads/sites/6/2017/12/ALC-PIRROLIZIDÍNICOS-CROTALARIA-SPP-2012-maquetado.pdf>

Erdosay, S., Santana, C., Lagunas, M., Torres, D. C., Andrade, G., Manuel, J., ... Gatica, G. E. (2004). Rendimiento de grano de 34 líneas mutantes de soya. Colegio Superior Agropecuario Del Estaso de Guerrero CSAEGro, 1–6. Retrieved from https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/118/41118560.pdf?r=1&r=1

Guamán, R., Andrade V., C., Peralta, L., Triviño, C., Espinoza, A., Arias, M., ... Manzano, B. (1996). Manual del cultivo de soya. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2076>

Guerrero, B., y Herrera, D. (2006). Manejo del cultivo de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* L.). Instituto de Investigación Agropecuario de Panamá. Panamá: IDIAP. Retrieved from <http://bdigital.binal.ac.pa/bdp/idiap/sorgo1.pdf>

Hernández, A., Guerra, R., Tobía, C., y Villalobos, E. (2013). Evaluación Del Potencial Forrajero De Diez Cultivares De Soya (*Glycine max* (L) Merr) en Venezuela. *Agronomía Costarricense*, 37(2), 45–54. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/260290241_Evaluacion_del_potencial_forrajero_de_diez_cultivares_de_soya_Glycine_max_l_merr_en_Venezuela

Hernández, G. N., García, J. A. P., Ramos, A. P., Castañeda, F. G., Barrerad, O. R., & Alvarez, C. A. (2010). Caracterización agronómica y nutricional del forraje de variedades de especies anuales en la región norte de México. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 1(2), 85–98. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242010000200001

Hintz, R., Albrecht, K., y Oplinger, E. (1992). Yield and quality of soybean forage as affected by cultivar and management practices. *Agronomy Journal*, 84(5), 795–798. Retrieved from http://coolbean.info/pdf/soybean_research/library/forage_and_food_production/Yield_and_Quality_of_Soybean_Forage_as_Affected_by_Cultivar_and_Management_Practices.pdf

INATEC. (2016). Manual Del Protagonista Nutrición Animal. Instituto Nacional Tecnológico.

Retrieved from https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Manual_de_Nutricion_Animal.pdf

InfoAgro. (2018). El cultivo del sorgo. Retrieved from <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/sorgo.htm>

De Luna, A. (2007). Composicion y Procesamiento de la Soya para Consumo Humano. *Investigacion Y Ciencia*, 37, 35–44. Retrieved from <https://doi.org/10.3305/nh.2014.29.6.7047>

Jiménez, A., Farfán, F., y Morales, C. (2005). Biomasa seca y contenido de nutrientes de *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida*, empleadas como abonos verdes en cafetales. *Cenicafé*, 56(2), 93–109. Retrieved from <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2802%29093-109.pdf>

Kung, L., y Shaver, R. (2001). Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on Forage*. Retrieved from <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.206938>

Llumiquire, M. (2007). Levante de vacas mestizas alimentadas con alfalfa más henolaje. Ecuador. Retrieved from <http://dspace.espe.edu.ec/handle/123456789/1811>

Luna Murillo, R., Chacón Marcheco, E., Ramírez De La Ribera, J., Álvarez Perdomo, G., Álvarez Perdomo, P., Plúa Panta, K., y Álava Murillo, A. (2015). Yield and quality of two species of *Pennisetum* in Ecuador. *Revista Electronica de Veterinaria*, 16(8), 1–10. Retrieved from <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080815/081506.pdf>

Martínez, S., De los Santos, A., y Pinto, A. (2013). La Determinación Estructural del Alcaloide Pirrolizidínico Monocrotalina: Ejemplo de los Desafíos de la Química de Productos naturales hasta los años setenta del siglo XX. *Revista Virtual Química*, 5(2), 300–311. Retrieved from https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=es&prev=search&rurl=translate.google.com&sl=pt-BR&sp=nmt4&u=http://rvq.s bq.org.br/imagebank/pdf/v5n2a14.pdf&xid=17259,15700023,15700186,15700190,15700253,15700256,15700259&usg=ALkJrhgyJkooOw_g

- Maza, L., Vergara, O., y Peternina, E. (2011). Evaluación química y organoléptica del ensilaje de maralfalfa (*Pennisetum sp.*) más yuca fresca (*Manihot esculenta*). *Revista MVZ Cordoba*, 16(2), 2528–2537. Retrieved from <https://doi.org/10.21897/rmvz.1017>
- Méndez Cruz, A. V, y Corchado Juarbe, N. (1987). Storage and digestibility, voluntary intake and chemical components of hay of five tropical grasses. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 72(4), 531-543.
- Méndez Cruz, A. V, Siberio Torres, V., Fernández, J., Cleve, V., Fontanet, E., y Ramírez Oliveras, G. (1986). Yield and nutritive value of hay from five tropical grasses at three harvesting intervals. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 72(1), 109–118.
- Morris, J. B., y Kays, S. E. (2005). Total dietary fiber variability in a cross section of *Crotalaria juncea* genetic resources. *Crop Science*, 45(5), 1826–1829. Retrieved from <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0630>
- Nussio, L. (1997). Producao de silagen de sorgo. In *Manejo cultural do sorgo para forragem* (pp. 53–55). Janeiro. Retrieved from file:///D:/circ-17-2.ed (1).pdf
- Obeng, E., Cebert, E., Ward, R., Nyochembeng, L. M., Mays, D. A., Singh, H. P., y Singh, B. P. (2015). Insect Incidence and Damage on Pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) Under Various Nitrogen Regimes in Alabama. *Florida Entomologist*, 98(1), 74–79. Retrieved from <https://doi.org/10.1653/024.098.0113>
- Odriozola, E. (2015). Plantas y sustancias tóxicas para el ganado. *Maskana*, 6(Supl.), 149-161. Retrieved from file <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/659>
- Peña, M., y Luis Álvarez, J. (2007). Producción De Heno. *Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA)*, 50–52. Retrieved from http://www.actaf.co.cu/revistas/Revista_ACPA/2007/REVISTA_02/21_PRODUCION_HENO.pdf
- Quijia Pillajo, E. F. (2015). Fermentación y estabilidad aeróbica de ensilaje de soya (*Glycine max* L . Merr.) y girasol (*Helianthus annuus*). Puerto Rico-Mayaguez, Puerto Rico.

- Reddy, A. (30 de agosto de 2010). El mijo vuelve a la agricultura india. IPS-Inter Press Service. Retrieved from file: <http://www.ipsnoticias.net/2010/08/el-mijo-vuelve-a-la-agricultura-india/>
- Ribeiro P., L. G. (2007). Consideraciones Sobre Ensilajes de Sorgo. In Jornada sobre Producción y Utilización de Ensilajes (pp. 51–68). Retrieved from http://www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB1703.pdf
- Ridner, E. (2006). Valor nutricional de la soja. In Soja (1RA ed., pp. 8-32). Buenos Aires - Argentina. Retrieved from <http://www.sanutricion.org.ar/files/upload/files/soja.pdf>
- Rodríguez, A. A., y Randel, P. F. (2012). Características fermentativas, consumo voluntario y digestibilidad de nutrimentos de henilaje de sorgo forrajero [*Sorghum bicolor* (L .) Moench.] y sorgo-sudan (Sudax) fermentado en pacas cilíndricas. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 96(1–2), 89–105.
- Rodríguez, A. A., y Riquelme, E. O. (1998). Inclusión de leguminosas forrajeras en dietas basadas en gramíneas tropicales . II . Consumo voluntario y digestibilidad aparente de nutrimentos. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 82, 39–49.
- Rodríguez Brljevich, C. (2012). Conservación de forrajes: Métodos , Técnicas y Cultivos Objetivos [Power point]. Retrieved from http://www.proleche.com/recursos/documentos/10-Comparacion_de_diferentes_opciones_de_forrajes_conservados_MSc_Carlos_Rodriguez_B_Costa_Rica.pdf
- Rodríguez S., W. (2010). Características fermentativas, consumo voluntario y digestibilidad de nutrimentos de henilaje de Sorgo Forrajero ([*Sorghum bicolor* (L.) Moench.]) Sorgo - Sudan (Sudax) fermentado en pacas cilíndricas. Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico.
- Romero, A., Ruz, R., y Gonzáles, M. (2013). Evaluación de siete cultivos de soja en las condiciones edafoclimáticas del municipio Majibacoa , Las Tunas. *Pastos y Forrajes*, 36(4), 459–463. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942013000400006
- Sánchez, J., y Soto, H. (1998). Estimación de la calidad nutricional de los forrajes del cantón de

- San Carlos. II. Componentes de la pared celular. Centro de Investigación En Nutrición Animal, 3, 1–23. Retrieved from http://www.cina.ucr.ac.cr/recursos/docs/Revista/estimacion_de_la_calidad_nutricional_de_los_forrajes_del_canton_de_san_carlos_energia_para_la_produccion_de_leche.pdf
- Santos, J., Castellón, J., Guharay, F., Mendieta, B., Fariñas, T., Reyes, N., y Mena, M. (2015). Métodos de conservación de los forrajes. In Conservacion de Forrajes (Pascal Cha, pp. 13–41). Nicaragua.
- Silva, S., Chandler, V. J., Abruña, F., y Rodríguez, J. A. (1972). Effect of Season and Plant Spacing on Yields of Intensively Managed Soybeans Under. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico, 56(4), 365–369
- Singh, B. (1936). Analysis of *Crotalaria juncea* with special reference to its use in green manuring and fibre production. Journal of the American society of Agronomy, 216 - 227.
- Shaver, R. D. (2004). Forage Quality Variation. Wisconsin. Retrieved from <https://www.txanc.org/docs/RandyShaver.pdf>
- Suttie, J. M. (2003). Conservación de Heno y Paja para pequeños productores y en condiciones pastoriles. Colección FAO: Producción y protección vegetal (Vol. 29). Roma. Retrieved from <http://www.fao.org/3/x7660s/x7660s00.htm>
- Tobía, C., y Villalobos, E. (2004). Producción Y Valor Nutricional Del Forraje De Soya En Condiciones Tropicales Adversas. Agronomía Costarricense, 28(1), 17–25. Retrieved from http://www.mag.go.cr/rev_agr/v28n01_017.pdf
- Tobía, C., Villalobos, E., y Rico, E. (2006). Uso de forraje de soya (*Glycine max* L. Merr.) variedad CIGRAS 06 en la nutrición de rumiantes. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/228602149_USO_DEL_FORRAJE_DE_SOYA_Glycine_max_L_Merr_VARIEDAD_CIGRAS_06_EN_LA_NUTRICION_DE_LOS_RUMIANTES
- Trujillo, A., y Uriarte, G. (1990). Valor nutritivo de las pasturas. Retrieved from <http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/ALIMENTOS>

RUMIANTES/Trujillo_Uriarte.VALOR_NUTRITIVO_PASTURAS.pdf

- Undersander, D. (1999). Soybeans for Hay or Silage). University of Wisconsin-Extension. Retrieved from <https://fyi.extension.wisc.edu/forage/soybeans-for-hay-or-silage/>
- Ustarroz, E. (1995). Heno de calidad. In Henos (pp. 1–7). Retrieved from www.produccion-animal.com.ar
- Van Soest, P. (1993). Evaluacion de forrajes y calidad de los alimentos para rumiantes (Vol. 1, pp. 95–108). Retrieved from [http://tiesmexico.cals.cornell.edu/courses/shortcourse2/minisite/pdf/Calidad de Alimentos para Rumiantes/articulo Van Soest.pdf](http://tiesmexico.cals.cornell.edu/courses/shortcourse2/minisite/pdf/Calidad%20de%20Alimentos%20para%20Rumiantes/articulo%20Van%20Soest.pdf)
- Van Soest, P. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. New York. Cornell University Press. 2, 463. Retrieved from https://books.google.com.pr/books?hl=es&lr=&id=TlluDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Nutritional+ecology+of+the+ruminant&ots=lnzfEeoRkC&sig=58qRvbtuY5WR151Yio8X03K810&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Vargas, C. (2008). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 19(2), 233–240.
- Vargas, S. A., Noguera, R. R., y Posada, S. L. (2014). Inclusión de vinaza de caña y su efecto sobre el perfil de fermentación y calidad nutricional del ensilaje de pasto Maralfalfa (*Penisetum* sp). *Livestock Research for Rural Development*, 26(12), 1–8.
- Villalobos, E., Avila, G., Echandi, C. (1991). Crecimiento determinado e indeterminado de la soja en dos épocas de siembra en Costa Rica. *Turrialba* 41: 412- 422. Retrieved from <https://www.metabase.net/docs/earth/01272.html>
- Villalobos, E., y Tobía, C. (2008). Uso potencial del forraje de soja en la ganadería doble propósito en Venezuela. In Pérez Hernández P. y Díaz Rivera P (Ed.) (pp. 372–384). Argentina: Astro Data, S.A. Retrieved from http://www.avpa.ula.ve/libro_desarrollosost/pdf/capitulo_31.pdf
- Villegas, O. (1990). Producción y valor nutricional de sorgos forrajeros y sus ensilados a

diferentes edades de cosecha. Tesis Ing. Agrónomo. Sede Regional de Guanacaste-Liberia. UCR.

Wang, Q., Li, Y. C., Klassen, W., y Hanlon Jr, E. A. (2009). Crotalaria - A Promising Cover Crop in Florida. Florida: Servicio de Extensión Cooperativa de Florida, Intituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Uni Florida- EDIS. Retrieved from <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/TR/TR00300.pdf>

Zavala, D., Valencia, E., Randel, P. F., y Ramos-santana, R. (2011). Producción de ensilaje de maíz blanco (*Zea mays* L.) de alto valor proteico con y sin mazorca asociado con dos leguminosas anuales , lablab (*Lablab purpureus* L.) y crotalaria (*Crotalaria júncea* L.). *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 95((3-4)), 151–167.

Zeledón, H., Hernández, M., Ayala M., J., Guzmán de Serrano, R., Borja, C., Alvarado de Torres, M., y Calderón, V. R. (2007). Guía Técnica del Sorgo. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. La Libertad - El Salvador. Retrieved from [http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos_basicos/GUIA TECNICA SORGO.pdf](http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos_basicos/GUIA_TECNICA_SORGO.pdf)