



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ

POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**MODELO DE BALANCE NUTRIMENTAL PARA EL MANEJO SUSTENTABLE
DE DOS ESPECIES DE PASTOS TROPICALES**

GLORIA ESPERANZA DE DIOS LEÓN

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO

2017

La presente tesis, titulada: “**Modelo de balance nutrimental para el manejo sustentable de dos especies de pastos tropicales**”, realizada por la alumna: **Gloria Esperanza De Dios León**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

DR. CATALINO JORGE LÓPEZ COLLADO

ASESOR:

DR. EUSEBIO ORTEGA JIMÉNEZ

ASESOR:

DR. ARMANDO GUERRERO PEÑA

ASESOR:

DR. EDUARDO DANIEL BOLAÑOS AGUILAR

ASESOR:

DR. ALEJANDRO ALONSO LÓPEZ

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, 31 de octubre de 2017

MODELO DE BALANCE NUTRIMENTAL PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE DOS ESPECIES DE PASTOS TROPICALES

Gloria Esperanza De Dios León, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2017

El objetivo del presente estudio fue estimar la producción de biomasa, requerimiento interno y demanda de nitrógeno, fósforo y potasio en dos especies de pastos tropicales: Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Taiwán (*Pennisetum purpureum*), mediante la metodología del modelo de balance nutricional. Se usó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, evaluando los factores: época climática, nivel de fertilización y frecuencias de corte. Se observaron diferencias significativas dentro de los factores evaluados; en pasto Humidícola el mayor requerimiento interno de nitrógeno (RIN) se observó en Nortes, con la dosis alta (DA) y a los 20 días de rebrote con 1.60, 1.56 y 1.50%, respectivamente. El mayor rendimiento de biomasa seca (RBS) se observó en Lluvias, con la DA de fertilización y a los 30 días de rebrote con 9.2, 8.1 y 7.7 t ha⁻¹, respectivamente; el mejor contenido de proteína cruda (PC) se observó en Nortes, en la DA y a los 20 d de rebrote con 10.0, 9.8 y 9.4%, respectivamente. Las mayores demandas de nitrógeno (DEM_N) se encontraron en la época Seca y de Lluvias con 144 y 143 kg ha⁻¹, respectivamente y en la DA (158 kg ha⁻¹). Las mayores demandas de fósforo (DEM_P) se observaron en Seca y Lluvias con 20 y 22 kg ha⁻¹ y de potasio (DEM_K) se encontraron en Lluvias, en la dosis normal (DN), DA y a los 30 d de rebrote con 106, 81, 90 y 95 kg ha⁻¹, respectivamente. En pasto Taiwán el mayor requerimiento interno de fósforo (RIP) fue observado en la DA y a los 40 d de rebrote (1.71 y 1.86%, respectivamente); el mejor RBS se observó en época Seca, con las DN y DA y a los 80 d de rebrote con 6.4, 5.2, 4.6 y 7.2 t ha⁻¹, respectivamente. La DEM_N se observó mayor en Seca, con las DN, DA y a los 80 días de rebrote con 90, 75, 72 y 88 kg ha⁻¹, respectivamente; las mayores DEM_P fueron observadas en Seca, con la DA y a los 80 días de rebrote (12, 11 y 12 kg ha⁻¹, respectivamente) y la DEM_K superior fue observada en época Seca, con las DN, DA y a los 80 días de rebrote del pasto con 99, 82, 73 y 105 kg ha⁻¹, respectivamente; y el mayor contenido de PC fue de 11.9 y 11.9% con la DA y a los 40 días de rebrote, respectivamente.

Palabras clave: *Brachiaria humidicola*, *Pennisetum purpureum*, requerimiento interno, demanda de nitrógeno, demanda de fósforo, demanda de potasio.

NUTRIMENTAL BALANCE MODEL FOR THE SUSTAINABLE MANAGEMENT OF TWO SPECIES OF TROPICAL PASTURES

Gloria Esperanza De Dios León, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2017

The objective of the present study was to estimate the biomass production, internal requirement and demand for nitrogen, phosphorus and potassium in two tropical pasture species: *Brachiaria humidicola* and Taiwán (*Pennisetum purpureum*), using the nutrient balance model methodology. A completely randomized design with factorial arrangement was used, evaluating the factors: climatic season, fertilization level and cutting frequencies. Significant differences were observed within the factors evaluated; in humidicola pasture the higher nitrogen internal requirement (IRN) was observed in North, with the high dose (HD) and at 20 days of regrowth with 1.60, 1.56 and 1.50%, respectively. The best dry biomass yield (DBY) was observed in Rainy, with HD of fertilization and at 30 days of regrowth with 9.2, 8.1 and 7.7 t ha⁻¹, respectively; the best raw protein content (CP) was observed in North, in the HD and at 20 days of regrowth with 10.0, 9.8 and 9.4%, respectively. The highest nitrogen demands (NDEM) were found in Dry and Rainy season with 144 and 143 kg ha⁻¹, respectively and in the HD (158 kg ha⁻¹). The greatest potassium demands (PDEM) was observed in Drought and Rainfall with 20 and 22 kg ha⁻¹ and potassium (KDEM) were found in Rains at normal doses (ND), HD and at 30 days of regrowth with 106, 81, 90 and 95 kg ha⁻¹, respectively. In Taiwan grass, the highest phosphorus internal requirement (IRP) was observed in HD and 40 d of regrowth (1.71 and 1.86%, respectively); the best DBY was observed in the dry season, with the ND and HD and the 80 d of regrowth with 6.4, 5.2, 4.6 and 7.2 t ha⁻¹, respectively. The NDEM was observed higher in Drought, with ND, HD and 80 d of regrowth with 90, 75, 72 and 88 kg ha⁻¹, respectively, the highest PDEM were observed in Drought, with HD and 80 days of regrowth (12, 11 and 12 kg ha⁻¹, respectively) and the upper DEMK was observed in dry season, with ND, HD and 80 days of regrowth of pasture with 99, 82, 73 and 105 kg ha⁻¹, respectively; and the higher content of PC was 11.9 and 11.9% with the HD and 40 days of regrowth, respectively.

Key words: *Brachiaria humidicola*, *Pennisetum purpureum*, internal requirement, nitrogen demand, potassium demand, phosphorus demand

DEDICATORIA

A quien extraño tanto:

A Mago

(q.e.p.d.)

Mi ejemplo de lucha; mi gran guerrera

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para el estudio del postgrado en Agroecosistemas Tropicales.

Al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz por la enseñanza académica recibida durante cuatro años y al Campus Tabasco por las facilidades para realizar los análisis en el Laboratorio de Suelos.

Al M.C. Francisco Meléndez Nava por las facilidades otorgadas para la realización del experimento de campo en el Rancho “Santa Rosa”, además de su apoyo intelectual en toda mi formación académica.

A mi consejero Dr. Catalino Jorge López Collado por fungir como mi consejero para la implementación y desarrollo de este proyecto y por sus acertadas sugerencias para la finalización del mismo.

Al Dr. Armando Guerrero Peña; el proyecto que alguna vez surgió como una simple plática, lo vemos plasmado en este trabajo; gracias por su asesoría tan acertada en el tema de investigación, además de la oportunidad de realizar algo nuevo para mí y por abrirme las puertas en el laboratorio LASPA.

Al Dr. Eusebio Ortega Jiménez por formar parte de este proyecto y por sus recomendaciones durante el transcurso de la realización del mismo.

Al Dr. Eduardo Daniel Bolaños Aguilar por su gran apoyo y asesoría en los análisis estadísticos y por sus oportunas y acertadas observaciones en este proyecto.

Al Dr. Alejandro Alonso López por sus asesorías y estar pendiente en todo el transcurso del presente trabajo.

A USTEDES CINCO, MUCHAS GRACIAS

Al señor José Luís Morales Rodríguez y a su hijo Sergio Morales, por su gran apoyo en el trabajo de campo durante la evaluación de este proyecto.

A los técnicos del Laboratorio Agroindustrial de Suelo, Planta y Agua del CP Campus Tabasco: Sra. Martha Patricia Hernández Velázquez, Sr. Esteban Osorio Gamas y Sr. Bernardo Gómez Torres por la asesoría y apoyo otorgada para la realización de los análisis de laboratorio.

A mis compañeros de generación del Postgrado en Agroecosistemas Tropicales (Primavera 2014), los famosos Ti Icimeh, gracias por su amistad y compañerismo que los caracteriza y por hacerme sentir en familia, los llevo en mi corazón. Ary y Mario, gracias por su apoyo.

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos particulares.....	5
1.3 HIPÓTESIS	5
1.3.1 Hipótesis general	5
1.3.2 Hipótesis particulares	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL.....	7
2.1 Teoría general de sistemas	7
2.2 Teoría mineral de la nutrición vegetal (Teoría de las sustancias minerales)	9
2.3 Ley del mínimo de Liebig	10
2.4 Ley del mínimo de Mitscherlich	10
2.5 Sistema	11
2.6 Agroecosistema	12
2.7 Pastos y forrajes	12
2.8 Pasto Humidicola (<i>Brachiaria humidicola</i>)	13
2.9 Pasto Taiwán (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum)	14
2.10 Elementos minerales esenciales para los cultivos	14
2.11 Fertilizante mineral	15
2.12 Nitrógeno (N)	16
2.13 Fósforo (P).....	16
2.14 Potasio (K).....	17
2.15 Modelo de balance nutrimental	17
2.16 Referencias	18
CAPÍTULO III. EFFECT OF SEASON, FERTILIZATION AND CUTTING FREQUENCY ON BIOMASS YIELD OF <i>Brachiaria humidicola</i> (Rendle) Schweick	23
3.1 Abstract	23
3.2 Introduction	24
3.3 Materials and methods	25

3.3.1 Study area.....	25
3.3.2 The species evaluated.....	25
3.3.3 Evaluation periods.....	25
3.3.4 Treatments and fertilization	26
3.3.5 Experimental design and statistical analysis	26
3.3.6 Response variables	27
3.4 Results and discussion.....	27
3.4.1 Effect of season of the year	27
3.4.2 Effect of fertilization	29
3.4.3 Effect of cutting frequency.....	31
3.5 Conclusions	34
3.6 References	34
CAPÍTULO IV. DEMANDA Y REQUERIMIENTO INTERNO DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO DEL PASTO <i>Brachiaria humidicola</i> EN RESPUESTA A ÉPOCA DEL AÑO, FERTILIZACIÓN Y FRECUENCIA DE CORTE	39
4.1 Resumen	39
4.2 Abstract	40
4.3 Introducción	41
4.4 Materiales y métodos	42
4.4.1 Área de estudio.....	42
4.4.2 Especie evaluada	42
4.4.3 Periodos de evaluación.....	42
4.4.4 Tratamientos y fertilización	43
4.4.5 Diseño experimental y análisis estadístico.....	43
4.4.6 Muestreo y variables de respuesta.....	43
4.5 Resultados y discusión	44
4.5.1 Efecto de épocas climáticas.....	44
4.5.2 Efecto del nivel de fertilización	46
4.5.3 Efecto de la frecuencia de corte	49
4.6 Conclusiones	51
4.7 Referencias	52
CAPITULO V. ÉPOCA, FERTILIZACIÓN Y FRECUENCIA DE CORTE EN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DEL PASTO TAIWÁN (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum)	57
5.1 Resumen	57
5.2 Abstract	58

5.3	Introducción	59
5.4	Materiales y métodos	59
5.4.1	Área de estudio.....	59
5.4.2	Especie evaluada	60
5.4.3	Periodos de evaluación.....	60
5.4.4	Diseño experimental y análisis estadístico.....	61
5.4.5	Tratamientos y fertilización	61
5.4.6	Muestreo y variables de respuesta.....	62
5.5	Resultados y discusión	62
5.5.1	Efecto de época climática.....	62
5.5.2	Efecto del nivel de fertilización	65
5.5.3	Efecto de la frecuencia de corte	67
5.6	Conclusiones	70
5.7	Referencias	70
CAPÍTULO VI. DEMANDA Y REQUERIMIENTO INTERNO DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO DEL PASTO TAIWÁN EN RESPUESTA A ÉPOCA DEL AÑO, FERTILIZACIÓN Y FRECUENCIA DE CORTE		77
6.1	Resumen	77
6.2	Abstract	78
6.3	Introducción	79
6.4	Materiales y métodos	80
6.4.1	Área de estudio.....	80
6.4.2	Especie evaluada	80
6.4.3	Periodos de evaluación.....	81
6.4.4	Diseño experimental y análisis estadístico.....	81
6.4.5	Tratamientos y fertilización	82
6.4.6	Muestreo y variables de respuesta.....	82
6.5	Resultados y Discusión	83
6.5.1	Efecto de épocas climáticas.....	83
6.5.2	Efecto del nivel de fertilización	85
6.5.3	Efecto de la frecuencia de corte	87
6.6	Conclusiones	90
6.7	Referencias	91
VIII. CONCLUSIONES GENERALES		96

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Table 3. 1. Chemical and physical analysis of soil of the experiment site, Ranchería Posa Redonda, 2 nd . Sección, Cardenas, Tabasco, Mexico	25
Table 3.2. <i>Brachiaria humidicola</i> (Rendle) Schweick response variables to three climatic seasons	28
Table 3.3. <i>Brachiaria humidicola</i> (Rendle) Schweick response variables to different levels of fertilization with N, P and K	30
Table 3.4. <i>B. humidicola</i> (Rendle) Schweick response variables to different cutting frequencies	32
Cuadro 4.1. Análisis químico y físico del suelo del sitio experimental, Ranchería Posa Redonda, 2da. Sección, Cárdenas Tabasco, México.	42
Cuadro 4.2. Variables evaluadas de <i>B. humidicola</i> en tres épocas climáticas en Tabasco, México.	45
Cuadro 4.3. Variables evaluadas de <i>B. humidicola</i> con diferentes niveles de fertilización en Tabasco, México	48
Cuadro 4.4. Variables evaluadas de <i>B. humidicola</i> en tres frecuencias de corte en Tabasco, México.....	50
Cuadro 5.1. Análisis químico y físico del suelo del sitio experimental, Ranchería Posa Redonda, 2da. Sección, Cárdenas Tabasco, México	60
Cuadro 5.2. Variables de respuesta a tres épocas climáticas del pasto Taiwán	64
Cuadro 5.3. Variables de respuesta a diferentes niveles de fertilización con N, P y K del pasto Taiwán.....	66
Cuadro 5.4. Variables de respuesta a diferentes frecuencias de corte del pasto Taiwán	68
Cuadro 6.1. Análisis químico y físico del suelo del sitio experimental, Ranchería Posa Redonda, 2da. Sección, Cárdenas Tabasco, México	82
Cuadro 6.2. Variables evaluadas de pasto Taiwán en tres épocas climáticas en Tabasco, México	84
Cuadro 6.3. Variables evaluadas de pasto Taiwán en diferentes niveles de fertilización en Tabasco, México	86
Cuadro 6.4. Variables evaluadas de pasto Taiwán en tres frecuencias de corte en Tabasco, México.....	89

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figure 3.1. Climatological conditions present during the experimentation phase with <i>B. humidicola</i> grass. January 2015 to January 2016.....	26
Figura 4.1. Condiciones climatológicas presentes durante el periodo experimental en La Ranchería Posa redonda 2da. Sección Cárdenas Tabasco, México (enero 2015 a enero del 2016)	43
Figura 5.1. Condiciones climatológicas presentes durante la fase de establecimiento y experimentación del pasto <i>P. purpureum</i> . Periodo de febrero del 2015 a abril del 2016.....	61
Figura 6.1. Condiciones climatológicas presentes durante la fase de establecimiento y experimentación del pasto <i>P. purpureum</i> . Periodo de febrero del 2015 a abril del 2016	81

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La región tropical de la República Mexicana (trópico seco y trópico húmedo) comprende una superficie aproximadamente de 56 millones de hectáreas que representa el 28% del territorio nacional (INEGI, 2017); esta región se caracteriza por su elevado potencial para la explotación ganadera principalmente de bovinos, los cuales son alimentados con pastos y forrajes como principales fuentes de proteína y energía por ser más económicas y disponibles. Los pastos son explotados principalmente en pastoreo y/o corte (Orskov, 1993; Fujisaka *et al.*, 2005) para la producción de carne y leche. Está ampliamente documentado de que la cantidad y calidad de biomasa producida depende de diferentes factores externos e internos, los cuales pueden ser inherentes al ambiente y/o a la especie (McIlroy, 1991; Cruz & Moreno 1992; Lemaire *et al.*, 2000). La producción de biomasa, presenta una importante variación a través del año, debido a las condiciones de precipitación y temperatura que varían según cada época climática (seca, lluvias y nortes); lo cual se hace más evidente cuando es la transición de la época de mínima a la época de máxima precipitación (Fernández *et al.*, 2000; Juárez, 2005). Esta inestabilidad de producción a través del tiempo, no beneficia al productor por causarle una producción animal inestable y en consecuencia poco rentable.

La calidad depende de diferentes factores, entre ellos la especie. Las especies tropicales son de menor calidad que las de zonas templadas. Por otra parte, la calidad disminuye a medida que avanza la edad de la planta, sobre todo en el contenido de proteína cruda (Araya y Boschini, 2005; Ramírez *et al.*, 2010). La estabilidad de producción y calidad de la biomasa se puede mejorar mediante el uso racional de fertilizantes minerales (Kádar y Ragályi, 2012; Juárez *et al.*, 2004; Jiménez *et al.*, 2010; Cerdas y Vallejos, 2013; Mejía *et al.*, 2014). Los fertilizantes minerales que más demanda la planta son: nitrógeno fósforo y potasio. La fertilización es un factor externo manejado por el productor, además de que los residuos de los fertilizantes y del pasto (parte aérea y raíz) permanecen en el suelo, contribuyendo al mejoramiento de su fertilidad (Quirós *et al.*, 2014).

Dentro los factores internos de producción en pastos y forrajes se consideran la especie, etapas fisiológicas y el tipo de crecimiento; este último determina la forma en que mejor puede ser cosechada; en corte o pastoreo. Las etapas fisiológicas determinan la cantidad de carbohidratos no estructurales como reserva energética para el crecimiento y el área foliar, la interacción entre

éstas y el origen del nuevo crecimiento (Bernal, 1991); por ello, es la importancia de conocer las características de producción y calidad a través de diferentes edades de la planta, así como la demanda de nutrientes para proporcionárselo en el momento y cantidades correctas y poder ser eficientes en el manejo de la fertilización.

Los pastos Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Taiwán (*Pennisetum purpureum*) son representativos de la zona de estudio para su uso en pastoreo y corte, respectivamente. El pasto Humidícola se encuentra ampliamente distribuido en la región tropical de México, principalmente en aquellas zonas conformadas por suelos ácidos de mediana y baja fertilidad (Enríquez, 1994; Holnam *et al.*, 2005); lo último puede deberse a que este género tiene su origen en suelos de Sabana de África (Olivera *et al.*, 2006). Danin de Moura *et al.* (2002), mencionan que las *Brachiarias* tienen bajo contenido de proteína cruda (5%) y baja digestibilidad de la materia seca (55%). Los pastos de corte como los *Pennisetum* (originarios de África del Sur) son una ayuda para que el productor tenga forraje disponible para la época de escasez (temporada de seca y nortes) al usarlo para ensilar u ofrecerlo directo al animal. Estos pastos son robustos, de crecimientos erectos, vigorosos y perennes, por lo que han sido introducidos en todas las regiones tropicales y subtropicales (Araya y Boschini, 2005); producen grandes cantidades de biomasa por lo que demandan mayores cantidades de nutrientes comparados con los de porte rastrero como *B. humidicola*.

La demanda de nutrientes en pastos tropicales se puede estimar mediante el modelo de balance nutrimental; este es un método simple, racional y sistémico. Es simple porque no considera toda la complejidad de la nutrición y sólo tiene como objetivo ser una guía en la toma de decisiones de fertilización. Es racional porque descansa en los principios de la nutrición, y es sistémico en el sentido de que la fertilización se encuentra en el subsistema de nutrientes dentro de nuestro agroecosistema (Álvarez *et al.*, 1999). El fundamento de este modelo, de acuerdo a Rodríguez y Matus (1994) consiste en que para alcanzar un rendimiento satisfactorio en cualquier condición agroecológica, se debe satisfacer un balance entre la demanda del nutrimento por el cultivo y el suministro que hace el suelo, además de considerar la eficiencia del fertilizante aplicado (Etchevers *et al.*, 1991; Galvis, 1990; Rodríguez, 1993). Este modelo tiene como objetivo principal describir el comportamiento de los nutrientes en el suelo (Etchevers *et al.*, 1990; Rodríguez, 1987; Rodríguez y Matus, 1994).

En la literatura disponible hay trabajos de producción en pastos tropicales donde algunos consideran épocas, otros relacionados a fertilización, así como también evaluaciones de frecuencias de corte pero son escasos los estudios relacionados a evaluaciones respecto a demanda de nutrientes respecto a estos tres factores.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las regiones tropicales, los pastos y forrajes son la principal fuente de alimentación principal en rumiantes (Cruz *et al.*, 2017); en general, estos presentan dos problemáticas: producción de forraje estacional y bajo valor nutritivo principalmente en materia seca y proteína cruda, situaciones que pueden mejorarse mediante la fertilización mineral.

Al respecto Etchevers *et al.* (1990) y Peña *et al.*, (2001) indican la agricultura debe satisfacer las demandas de alimentos y materias primas a un nivel satisfactorio de una población en aumento, minimizando al mismo tiempo los riesgos de contaminación del ambiente donde uno de los aspectos para mantener la productividad y sostenibilidad de los agroecosistemas, es el uso eficiente de los fertilizantes. Es importante que los elementos incorporados al suelo sean usados con eficiencia por la planta, así como obtener la mayor tasa de absorción por las raíces ya que esto se traduce en ahorro económico para productores y un menor daño al ambiente (Gallais e Hirel, 2004).

En las regiones tropicales la información necesaria para definir la dosis de fertilización de pastos y forrajes es escasa; por esta razón es necesario investigar una propuesta metodológica con la cual generar esta información y que además permita conocer la cantidad y tiempo de aplicación de los fertilizantes; con lo cual se disminuye en gran medida los efectos negativos al ambiente y se aumenta la productividad del agroecosistema. La información que se busca generar es para que el productor cuente con una herramienta para un mejor manejo del pasto o que sea sustentable, lo que se traduce en un sistema de producción más rentable. La aplicación de los fertilizantes basada en el conocimiento de la demanda de nutrientes en cada etapa vegetativa de la planta es información base para estimar la dosis de fertilización con el modelo de balance nutricional.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Estimar la producción de biomasa, requerimiento interno y demanda de nitrógeno, fósforo y potasio en dos especies de pastos tropicales mediante la metodología del modelo de balance nutrimental.

1.2.2 Objetivos particulares

1. Conocer la producción de biomasa en diferentes épocas climáticas, tres frecuencias de corte y tres niveles de fertilización en los pastos Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Taiwán (*Pennisetum purpureum*).
2. Estimar el requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio en diferentes épocas climáticas, tres frecuencias de corte y tres niveles de fertilización en pastos Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Taiwán (*Pennisetum purpureum*).
3. Estimar la demanda total de nitrógeno, fósforo y potasio en diferentes épocas climáticas, tres frecuencias de corte y tres niveles de fertilización en pastos Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Taiwán (*Pennisetum purpureum*).

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis general

La producción de biomasa, requerimiento interno y demanda de nitrógeno, fósforo y potasio en las dos especies de pastos tropicales, estimados con el modelo de balance nutrimental, es igual en los tres factores estudiados.

1.3.2 Hipótesis particulares

1. La producción de biomasa en los pastos Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Taiwán (*Pennisetum purpureum*) es igual en las épocas de seca, lluvias y nortes, en los diferentes niveles de fertilización y en las tres frecuencias de corte.
2. El requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio en los pastos Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Taiwán (*Pennisetum purpureum*), es igual en las épocas de seca, lluvias y nortes, en los diferentes niveles de fertilización y en las tres frecuencias de corte.

3. La demanda de nitrógeno, fósforo y potasio en los pastos Humidícola (*Brachiaria humidicola*) y Taiwán (*Pennisetum purpureum*), es igual en las épocas de seca, lluvias y nortes, en los diferentes niveles de fertilización y en las tres frecuencias de corte.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

Las teorías científicas buscan postular hipótesis que pueden explicar de algún modo un determinado grupo de hechos experimentales, sin preocuparse demasiado si las hipótesis propuestas son realmente verdaderas o no (Abril, 1987). Partiendo de un enfoque epistemológico constructivista y considerando que cuando hablamos de “ciencia” entendemos una forma humana de conocer y observar, construida por los hombres con la finalidad de obtener, mediante un proceso de investigación, al menos, una explicación válida para algunos problemas (Daros, 2002).

La importancia de construir un marco teórico radica en que, como en nuestra formación de investigadores nos encontramos inmersos dentro de una disciplina del conocimiento y nos vemos obligados a ver la realidad desde dos niveles diferentes en el uso del lenguaje: 1) el ordinario que utilizamos en la vida cotidiana para dotar de significados al mundo y relacionarnos con las cosas que nos rodean y 2) el lenguaje teórico que utilizamos dentro de un ámbito disciplinar para describir y hacer comprensibles ciertos aspectos de la realidad pero no todos. Al lenguaje teórico lo podemos llamar “meta-lenguaje”, un lenguaje que se usa para hacer 2 cosas: 1) Referirnos a algo que no se hace visible de manera explícita en el lenguaje ordinario y que por lo tanto no podemos nombrarlo con él y 2) Hacer visible un aspecto de la realidad que no se manifiesta directamente ante nuestros ojos pero que desde el punto de vista de la teoría podemos considerarlo como algo real (Berthier, 2004).

El lenguaje teórico es de gran utilidad para la ciencia porque nos permite darle un nombre a aquellos aspectos de la realidad que a simple vista pasan desapercibidos; para ello, la teoría se vale de una herramienta básica: los conceptos, mediante ellos, el lenguaje teórico nos permite abstraer la realidad para describir y explicar fenómenos que son relevantes dentro de una disciplina del conocimiento (Berthier, 2004). Por lo mencionado anteriormente, necesitamos asumir teorías y conceptos que sirvan de marco de referencia a todo el proceso de investigación.

2.1 Teoría general de sistemas

La Teoría de Sistemas o Teoría General de los Sistemas (TGS) es el estudio interdisciplinario de los sistemas en general; su propósito es estudiar los principios aplicables a los sistemas en cualquier nivel en todos los campos de investigación. El biólogo y epistemólogo Ludwing von

Bertalanffy presenta en la década de 1950 los planteamientos iniciales de esta teoría, trabajó el concepto de sistema abierto e inició el pensamiento sistémico como un movimiento científico importante. La idea de Bertalanffy surge a partir de la no existencia de conceptos y elementos que le permitieran estudiar los sistemas vivos (posteriormente se consideran a los sistemas sociales también), ya que éstos son sistemas complejos con propiedades particulares y diferentes a las de los sistemas mecánicos. Igualmente, consideró la tendencia hacia la integración de diferentes tipos de ciencias naturales, sociales e incluso exactas, con el fin de dar soluciones más integradas a los problemas presentes en los sistemas; y en oposición a la creciente especialización del conocimiento que se había dado hasta ese entonces y seguía en aumento. Bertalanffy consideró que el objeto de estudio de todas las ciencias debían ser los sistemas (Ramírez, 2002).

La TGS fue concebida con el fin de construir un modelo práctico para conceptualizar los fenómenos que la reducción mecanicista de la ciencia clásica no podía explicar: en particular, parece proporcionar un marco teórico unificador tanto para las ciencias naturales como para las sociales, que necesitaban emplear conceptos tales como: organización, totalidad, globalidad e interacción dinámica; lo lineal es sustituido por lo circular, ninguno de los cuales era fácilmente estudiado por los métodos analíticos de las ciencias puras; lo individual perdía importancia ante el enfoque interdisciplinario. La TGS estudia sistemas abiertos y estados uniformes y menciona que cualquier investigación moderna del metabolismo y crecimiento debe tener en cuenta que el organismo vivo, así como sus componentes (Bertalanffy, 1989). La consideración de los organismos vivientes como sistemas abiertos que intercambian materia con el medio circundante comprende dos cuestiones: primero, su estática (el mantenimiento del sistema en un estado independiente del tiempo), segundo, su dinámica (los cambios en el sistema con el tiempo).

El objetivo/tema de la teoría general de sistemas es la formulación y derivación de aquellos principios que son válidos para los sistemas en general, sea cual fuere la naturaleza de sus elementos componentes y las relaciones o “fuerzas” reinantes entre ellos. Esta disciplina es un instrumento útil al dar, por una parte, modelos utilizables y transferibles entre diferentes campos y evitar, por otra, vagas analogías que a menudo han perjudicado el progreso en dichos campos. Con la teoría general de sistemas se alcanza un nivel en el que ya no se habla de entidades físicas y químicas sino que se discute totalidades de la naturaleza completamente general. Arnold y Osorio (1998) refieren a que los objetivos originales de la Teoría General de Sistemas son:

- a. Impulsar el desarrollo de una terminología general que permita describir las características, funciones y comportamientos sistémicos.
- b. Desarrollar un conjunto de leyes aplicables a todos estos comportamientos y
- c. Promover una formalización (matemática) de estas leyes.

2.2 Teoría mineral de la nutrición vegetal (Teoría de las sustancias minerales)

Fue desarrollada entre 1930 y 1940 por Boussingault, Sprengel y sobre todo, Liebig. Según Finck (1988), esta obra sugiere que:

1. Las plantas se alimentan exclusivamente de materia inorgánica procedente, ya sea de la descomposición del humus o de la atmósfera o de las sustancias minerales que hay en la tierra”, o dicho de otro modo, que las plantas transforman compuestos no orgánicos provenientes del suelo y de la atmósfera, en materias orgánicas.
2. Las sustancias minerales no se encuentran en la planta de forma accidental, sino que representan componentes esenciales para su crecimiento y su producción;
3. Las plantas necesitan diez sustancias nutritivas (elementos), las cuales, con excepción de carbono, oxígeno e hidrógeno, son tomados del suelo en forma de sales (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre e hierro);
4. Las necesidades que las diversas plantas tienen de sustancias nutritivas son diferentes y pueden conocerse a partir de la composición de las plantas bien alimentadas:
5. Muchos suelos carecen de las sustancias nutritivas suficientes para posibilitar un buen crecimiento de las plantas.
6. Esta carencia de sustancias nutritivas puede eliminarse mediante el aporte de fertilizantes.
7. Las sustancias orgánicas (sustancias húmicas) constituyen fertilizantes eficaces, porque “mejoran” el suelo y producen sustancias nutritivas y ácido carbónico, a través de su descomposición.

Una de las afirmaciones que sostiene esta teoría es que, la única forma de nitrógeno que podían absorber las plantas era la amónica, a partir del suelo, del estiércol o del aire; entre otras cosas descubrió la esencialidad del nitrógeno en la nutrición vegetal. Liebig consideró al suelo como el lugar de donde las plantas toman los nutrientes necesarios y que el suelo reemplaza con el tiempo; su agotamiento producía infertilidad, por lo que el agricultor debía preocuparse de su restitución. Consiguió resultados satisfactorios con abonos artificiales, lo que dio inicio a la

fertilización química moderna; también opinaba que el crecimiento de las plantas era proporcional a la cantidad de sustancias minerales asimilables contenidas en el fertilizante (Navarro y Navarro, 2013).

A partir de 1834 el francés J. B. Boussingault comprobó que las plantas necesitan nitrógeno, indicando que “las plantas superiores no pueden utilizar el nitrógeno atmosférico sino únicamente los nitratos del suelo y otros elementos minerales que extraen de la tierra; identificó los elementos minerales y las proporciones que cada elemento necesitan las plantas para su crecimiento; extrajo la primera evidencia sobre la fijación de nitrógeno por parte de las leguminosas.

2.3 Ley del mínimo de Liebig

Una de las aportaciones más conocidas de Justus von Liebig es la Ley del Mínimo expresada en 1840, que dedujo después de analizar muestras de plantas y establece que “El crecimiento de una cosecha no está gobernado por el total de los recursos disponibles sino que está limitado por el factor más escaso (factor limitante)”. La expansión de este concepto ha llevado incluir el agua, la temperatura y las condiciones del suelo como posibles factores limitantes, junto con los nutrientes de las plantas. Esta ley sugiere que aumentando el nivel del factor más limitante, se obtiene un incremento en el crecimiento vegetal; como es natural, esta operación eleva el suministro del factor en cuestión hasta el nivel adecuado, hasta que algún otro factor adquiere el factor de limitante. La cosecha máxima se obtiene cuando todos los factores se encuentran en niveles adecuados u óptimos. Esta ley ignora la posibilidad de interacciones entre nutrientes; se ha demostrado experimentalmente, que dos o más factores de crecimiento pueden interactuar y limitar el crecimiento, de manera más severa, que el factor aislado más limitante (Thompson y Troeh, 1988). Un elemento que falte, o que se halle en una cantidad insuficiente, impide a los restantes producir su efecto normal o por lo menos disminuye su acción nutritiva (Navarro y Navarro, 2013). Liebig pensaba que, a través del análisis químico de las plantas podían determinarse las necesidades de fertilización de las cosechas y, si bien algunas de sus hipótesis demostraron ser falsas su trabajo sirvió de iniciativa e impulso para muchos científicos que le siguieron.

2.4 Ley del mínimo de Mitscherlich

Postulada por Mitscherlich en 1909 menciona lo siguiente: “El rendimiento está influenciado por

todos los factores limitantes simultáneamente. La influencia de cada uno de los factores limitantes es proporcional a su grado de limitación”. Con esta ley, el rendimiento obtenido, en un conjunto dado de condiciones está en relación a la suma integrada de todos los factores limitantes remanentes; busca calcular los rendimientos esperados a medida que se corrigen los factores limitantes (Wallace, 1993).

2.5 Sistema

Un sistema es definido como un ensamblaje de elementos contenidos dentro de una frontera tal que los elementos dentro de esta frontera tiene fuerte relación funcional uno con otro, pero limitadas, débiles o relaciones no existentes con elementos en otros ensamblajes. Las salidas combinadas de las relaciones funcionales fuertes dentro de la frontera es para producir un comportamiento distintivo del ensamblaje, tal como ello tiende a responder al es estímulo como un todo, aún si el estímulo es aplicado a una de las partes (IFA, 1992). El diccionario de filosofía (1979) lo define como: conjunto de elementos relacionados entre sí funcionalmente, de modo que cada elemento del sistema es función de algún otro elemento, no habiendo ningún elemento aislado.

Podemos concebir la naturaleza como jerarquía de tales sistemas (organismos, poblaciones, comunidades, bioma, ecosistema, biosfera), cada una con más o menos fronteras definidas y comportamientos sistémicos distintivos. Así mismo, en desarrollo agrícola, los ecosistemas son transformados en agroecosistemas para la producción de alimentos y fibras y estos también pueden ser arreglados en esquemas jerárquicos (fincas, villas, cuencas, región); una característica básica de tales jerarquías es que el comportamiento de sistemas más altos, no pueden ser fácilmente explicados a través del estudio de comportamiento de sistemas más bajos, cada uno debe ser explicado en su nivel (Conway, 1985).

Los sistemas vivos son básicamente sistemas abiertos (Burton, 1939; Bertalanffy, 1989). Un sistema abierto es definido como sistema que intercambia materia con el medio circundante, que exhibe importación y exportación, constitución y degradación de sus componentes materiales. El desarrollo de la teoría cinética de los sistemas abiertos deriva de dos fuentes: primero, la biofísica del organismo vivo; segundo, adelantos de la química industrial que, a más de reacciones en recipientes cerrados o “procesos por lotes”, recurre cada vez más a sistemas de reacción continua, a causa de su mayor eficiencia y de otras ventajas (Bertalanffy, 1989).

2.6 Agroecosistema

Conway (1985) aplicó la teoría y el enfoque de sistemas al estudio de los agroecosistemas, término del cual existen varios conceptos lo cual va a depender del enfoque que pretendemos estudiar; para esta investigación, consideramos pertinente la de Martínez (1993) que lo define como: “la unidad de análisis de la actividad agrícola y su contexto, a la cual se subordina al sistema agrario y se integra a su contenido por los ecosistemas que lo componen; así mismo, se entiende al agroecosistema como la unidad de estudio donde se observa la totalidad de los factores que inciden en el equilibrio o desequilibrio del sistema, siendo este desde su perspectiva más general el económico, el político, el cultural, los físico-químico-biológicos. Mantiene su equilibrio básicamente bajo la acción humana, ya sea para aportarle energía o para reducir o incrementar su diversidad biológica aun cuando su diversidad puede sostenerse de manera muy reducida comparado con otros ecosistemas”.

Según la teoría de sistemas, existen diferentes enfoques para estudiar los agroecosistemas. El enfoque de Hart (1985) es de cierta manera parcializada, dado que el interés se centra en estudiar el efecto de los subsistemas (plagas, malezas, enfermedades, suelo) sobre el sistema o agroecosistema (cultivo), fraccionando la unidad de producción agrícola de acuerdo a las relaciones causa-efecto; indica que si el estudio de los ecosistemas (sistemas de alta complejidad) requiere de un enfoque sistémico para su estudio, el mismo criterio debe aplicarse para estudiar los agroecosistemas y da por descontado que la investigación de agroecosistemas debe ser realizada en terrenos de los agricultores, pues resulta difícil duplicar las condiciones en los campos experimentales; así, los cultivos, como parte de los agroecosistemas, pueden ser estudiados a diferentes niveles de organización biológica: nivel comunidad, individuo, celular o molecular.

2.7 Pastos y forrajes

Los pastos son plantas herbáceas nativas o introducidas utilizada para el pastoreo de animales, generalmente perteneciente a la familia gramíneas o poaceas y sirven de alimento al ganado bovino, equino, ovino, caprino, conejos, entre otros (The free dictionary). Hodgson (1979) define al pasto a las partes del nivel superior de una población de plantas herbáceas contemplada como la acumulación del material vegetal con características de masa y valor nutritivo, pero no de organización o estructura; la característica principal de los pastos es que, tradicionalmente, el hombre no los cosecha, sino que sirven directamente de alimento para el ganado en todas las

etapas de crecimiento. Viéndolo desde el enfoque de agroecosistema, pasto se define como la unidad de estudio conformada por un componente biótico (planta) que interactúa con un componente abiótico (suelo, aire, agua, temperatura, precipitación, etc.) los cuales son manejados por el ente controlador (agricultor, ganadero, familia, empresa) y condicionado su funcionamiento por condiciones socioeconómicas y culturales del mismo (Restrepo *et al.*, 2000). Los forrajes son diversas plantas u órganos vegetales que se emplean para alimentar los animales domésticos y especialmente el ganado; son gramíneas o leguminosas cosechadas para ser suministradas como alimento a los animales, sea verde, seco o procesado (heno, ensilaje, rastrojo, etc.): dentro de especies de pastos y forrajes encontramos: gramíneas, leguminosas y árboles forrajeros. La composición química de los pastos y forrajes se refiere a la cantidad de nutrientes orgánicos y minerales presentes, así como la existencia de factores o constituyentes que influyen sobre la calidad de los mismos; incluyen: proteína cruda, extracto etéreo, carbohidratos (glucósidos, hidratos de carbono o sacáridos), minerales (Pirela, 2005).

2.8 Pasto Humidicola (*Brachiaria humidicola*)

Es una gramínea tropical perenne y estolonífera de hábito de crecimiento de semierecto a postrado, originaria de África y es utilizado por los ganaderos para pastoreo. Su floración se concentra en un corto periodo de tiempo, alcanza de 38 a 60 cm de altura, con la presencia de estolones fuertes, largos, de color púrpura, que pueden medir hasta 1.2 m de longitud, los cuales presentan facilidad de producción de hijos en los nudos. Las hojas de los tallos vegetativos tienen de 10-30 cm de longitud y de 0,5 a 1,0 cm de ancho, las hojas de los estolones son de 2.5 a 12 cm de largo y de 0.8 a 1.2 cm de ancho. La inflorescencia es en panícula racimosa, corta, de 24 a 45 cm de longitud, con uno a cuatro racimos de 3 a 5 cm de longitud (Olivera *et al.*, 2006). Tolera suelos encharcados y hasta aquellos sometidos a inundaciones temporales y periódicas; esta especie presenta buena adaptación a suelos ácidos de baja fertilidad, pues bajo esas condiciones son capaces de manifestar adecuada velocidad de rebrote, mantener buena composición botánica y proporcionar una aceptable producción animal. Crece bien en zonas tropicales desde el nivel del mar hasta 1800 m, con precipitaciones de 1000 a 4000 mm por año; se comporta bien en un rango amplio de fertilidad, textura y acidez del suelo. Tiene buena repuesta a la sombra por lo que su uso en los sistemas silvopastoriles es muy aceptable, además de que soporta la quema (Pérez y Lascano, 1992). La calidad del forraje disminuye rápidamente con el tiempo, debido principalmente a deficiencias de nitrógeno, por lo que se deben hacer aplicaciones con

fertilizantes nitrogenados o la introducción de leguminosas persistentes y productivas. La productividad animal y el valor nutritivo de *B. humidicola* es inferior a muchas especies de gramíneas tropicales (Juárez y Bolaños, 2007).

2.9 Pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum* Schum)

El Taiwán, es un pasto amacollado llegando a presentar hasta 50 hijos por macolla, es de porte alto y perenne, utilizado como forraje de corte, sus hojas miden aproximadamente 3 cm de ancho en la base de la hoja y 4 cm en la parte media y hasta 130 cm de largo, alcanza alturas hasta de más de 3 m bajo condiciones de riego, produce una inflorescencia en forma de espiga de grano abundante, aunque su crecimiento es erecto, su follaje se dobla desde edades muy tempranas debido a su abundante biomasa y es exigente en nutrientes nitrogenados y minerales debido a que tiene tasas de extracción altas (CIAT, 2010). Es un pasto muy rústico y agresivo, es resistente a plagas y sequías prolongadas y se adapta bien a suelos de moderada fertilidad (Bernal y Espinosa, 2003). Crece bien desde nivel de mar hasta 2200 m, crece bien bajo temperaturas de 18 a 30° C, con el óptimo a 24° C. Se comporta bien en suelos ácidos a neutros, resiste sequía y humedad alta y una precipitación entre 800 y 4000 mm anuales. Para mantener su calidad, necesita cortes frecuentes a ras de suelo, normalmente cada 50 y 70 días cuando alcanza alturas entre 1 a 1.2 m. *Pennisetum purpureum* necesita para mantener la productividad, utilizando entre 50 y 75 kg de N ha⁻¹ después de cada corte y 20 kg de P y 50 kg ha⁻¹ de K por año. La producción promedia por corte es de 40 a 50 t de MS ha⁻¹ año⁻¹; el contenido de proteína cruda es de 7-10 % y una digestibilidad entre 50 y 60%, lo cual es una de calidad nutricional aceptable y tiene una excelente relación hoja/tallo (Araya y Boschini, 2005).

2.10 Elementos minerales esenciales para los cultivos

Justus von Liebig fue el primero en buscar y sintetizar la información referente a la importancia de los elementos minerales en el crecimiento de las plantas y que la nutrición mineral fuera establecida como disciplina científica. El término de elemento mineral esencial o nutrimento esencial fue propuesto por Arnon y Stout (1939), quienes refieren que para que un elemento sea considere esencial debe cumplir los siguientes criterios:

1. Su deficiencia hace imposible que la planta complete la etapa vegetativa o reproductiva de su ciclo de vida.

2. La deficiencia es específica del elemento en cuestión y sólo puede prevenirse o corregirse proporcionando este elemento
3. El elemento está directamente implicado en la nutrición de la planta, aparte de sus posibles efectos en la corrección de alguna condición microbiológica o química desfavorable del suelo u otro medio de cultivo.

De acuerdo con esta estricta definición, aquellos elementos minerales que bloquean los efectos tóxicos de otros elementos (por ejemplo: Silicio por toxicidad del manganeso) y los que reemplazan a otros en menores funciones específicas como reguladores de la presión osmótica (el sodio por el potasio), no son esenciales pero pueden ser considerados como elementos benéficos (Marschner, 2012).

Los elementos esenciales para las plantas son 17 incluyendo oxígeno, hidrógeno y carbono provenientes de H₂O, CO₂ y aire y por lo tanto no se consideran como nutrientes minerales (Mengel and Kirkby, 2001); los demás sí corresponden a nutrientes minerales: nitrógeno, fósforo y potasio (macronutrientes primarios); calcio, magnesio y azufre (macronutrientes secundarios); boro, cloro, cobre, hierro, molibdeno, manganeso, zinc y níquel (micronutrientes); la clasificación es de acuerdo a su concentración en la planta (cantidad absorbida) y de acuerdo a sus requerimientos para el adecuado crecimiento y reproducción (Mengel y Kirkby, 2001; Epstein y Bloom, 2004; Marschner, 2012). Si en el suelo no se encuentran las cantidades necesarias de un elemento para el crecimiento y producción de un cultivo, se le proporciona a través de los fertilizantes, los cuales son productos destinados a la alimentación de las plantas. Existe una ley del fertilizante que hace la siguiente mención: “Los fertilizantes son sustancias que se aplican directa o indirectamente en plantas, para favorecer su crecimiento, aumentar su producción o mejorar su calidad” (Finck, 1988). El nitrógeno, fósforo y potasio son los más importantes debido a que la mayoría de los cultivos requieren altas cantidades para obtener rendimientos elevados (Bregliani *et al.*, 2006); estos se encuentran en el tejido de las plantas en concentraciones superiores a 0.1% con base en la masa seca.

2.11 Fertilizante mineral

Es una sustancia o mezcla química natural o sintética (denominado también nutriente) destinada a abastecer y suministrar los elementos químicos al suelo para que la planta los absorba y favorezca el crecimiento de la misma, se trata, por tanto, de una reposición de nutrientes (IFA, 2002). Se

encuentran en formas químicas saludables y asimilables por las raíces de las plantas, para mantener y/o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo. Los fertilizantes contienen por los menos, un elemento químico que la planta necesita para su ciclo de vida. La característica más importante de cualquier fertilizante químico es que debe tener una solubilidad máxima en agua, para que, de este modo pueda disolverse en el agua de riego, ya que los nutrientes entran en forma pasiva y activa en la planta, a través del flujo del agua (IFA, 2002).

2.12 Nitrógeno (N)

El nitrógeno es un nutriente esencial para los seres vivos, ya que es uno de los constituyentes principales de compuestos vitales como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, así como también de las paredes celulares y clorofila en los vegetales. Es además, el nutriente que en general más influye en el rendimiento y calidad del producto a obtener en la actividad agropecuaria (Sinclair *et al.*, 1984). A pesar de que es uno de los elementos más comunes del planeta, es también el nutriente que más frecuentemente limita la producción de los cultivos, esto se debe a que la molécula de N_2 ($N\equiv N$) es inerte, con una gran estabilidad conferida por su triple enlace. En forma natural, el N del aire puede llegar a la planta a través de dos mecanismos principales: transferido por las bacterias que previamente lo han fijado simbiótica o asimbióticamente, o disuelto en el agua de lluvia. El N presente en el suelo bajo formas orgánicas tampoco está disponible como tal para las plantas, sino que para ser absorbido tiene que pasar a formas inorgánicas (IFA, 1992). El N inorgánico representa un 2% del N total del suelo, encontrándose en formas de nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y nitrito (NO_2^-). Estas formas inorgánicas son transitorias en el suelo, por lo cual las cantidades de N inorgánico del suelo son extremadamente variables, pudiendo existir desde unos pocos gramos hasta más de 100 kg ha^{-1} de N (Rutherford *et al.*, 2007).

2.13 Fósforo (P)

Constituye un componente primario de los sistemas responsables de la capacitación, almacenamiento y transferencia de energía, y es componente básico en las estructuras de macromoléculas de interés crucial, tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que se puede decir que su papel está generalizado en todos los procesos fisiológicos; en el sistema suelo-planta, el 90% del fósforo está en el suelo y menos del 10% se encuentra repartido fuera del suelo, sin embargo, sólo una pequeña parte de ese 90% es utilizable por los vegetales (Fernández,

2007). A diferencia de todos estos elementos, el fósforo disponible en el suelo es insuficiente para los vegetales, y esta deficiencia sólo se puede aminorar con la aplicación de fertilizantes fosforados (Richardson, 2001), ya que el fósforo no es reciclado por las lluvias ni es liberado rápidamente de los residuos orgánicos. Si a esto unimos que la fuente de estos fertilizantes es de origen animal, y que una vez adicionados al suelo pasan muy rápidamente a compuestos menos solubles, los cuales con el tiempo disminuyen cada vez más su disponibilidad para las plantas, es fácil comprender que este nutriente reviste una problemática especial en los suelos (Sanyal y De Datta, 1991).

2.14 Potasio (K)

Este elemento es de vital importancia para el desarrollo vegetal ya que activa más de sesenta enzimas, por ello juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y proteínas, participa en la síntesis de azúcar, almidón y proteínas (Salisbury y Ross, 1992). Es un elemento móvil dentro de la planta y se acumula en sus tejidos meristemáticos, estimula la turgencia celular, la división celular normal y crecimiento y desarrollo normal de la raíz (Rodríguez, 1992). Aproximadamente, 90% del K total que la planta absorbe accede a la raíz por difusión. En el suelo, el K se clasifica en cuatro categorías: 1) presente en la solución del suelo, 2) intercambiable, 3) difícilmente intercambiable y 4) formando parte de los minerales del suelo (Barber, 1995); está casi siempre en formas no asimilables encontrándose únicamente del 1 al 2 % del K total en forma aprovechable en la disolución del suelo o como intercambiable en los coloides (Sparks y Huang, 1985).

2.15 Modelo de balance nutrimental

El modelo de balance nutrimental parte de la base que la necesidad de fertilización de un cultivo está dada por la demanda del nutrimento que necesita, la cantidad de nutrimento que suministra el suelo y la eficiencia de fertilizante aplicado (Etchevers *et al.*, 1991; Galvis, 1990; Rodríguez, 1993). Permite estimar la dosis de fertilización requerida por los cultivos y postula que para alcanzar un rendimiento en cierta condición agroecológica, se debe satisfacer un balance entre la demanda del nutrimento y el suministro que se hace de éste al suelo; si la demanda de un nutrimento es mayor que el contenido en el suelo, se producirá un déficit que es necesario suplir con la fertilización para el cultivo; cuando la demanda es menor que el suministro, se aplicará una dosis para mantener la fertilidad del suelo y el rendimiento de un cultivo, con base en criterios

agronómicos y experiencia regional (Rodríguez, 1990). En general, tiene como objetivo principal describir el comportamiento de los nutrientes en el suelo (Etchevers *et al.*, 1990; Rodríguez, 1987; Rodríguez y Matus, 1994). Mediante este modelo se puede estimar la dosis de fertilización (DF) de nitrógeno, fósforo y potasio para diferentes tipos de suelos y cultivos. El modelo se basa en el balance entre la demanda del nutrimento (DEM) por el cultivo, el suministro que hace de este el suelo (SUM) y la eficiencia del fertilizante (EF), donde el algoritmo respectivo es $DF = (DEM - SUM) / EF$ (Rodríguez, 1993).

Con este enfoque, se puede predecir la respuesta a la fertilización en cualquier condición en particular y es válido para todas las especies vegetales (Álvarez *et al.* 1999) pero se ha desarrollado principalmente para cultivos agrícolas (Rodríguez, 1993) y se ha validado satisfactoriamente su comportamiento con resultados de la experimentación de campo. Este modelo requiere de menos recursos y tiempo para su implementación y es más preciso que otros, lo que lo hace atractivo de usar sobre todo por la necesidad de alcanzar la mayor eficiencia económica en el uso de los recursos y la productividad en la agricultura (Beltrán *et al.* 1996) y la importancia de mantener en el agroecosistema el balance nutrimental el cual permite elevar el rendimiento, mantener la fertilidad química del suelo y disminuir en gran medida la contaminación de suelos y mantos acuíferos (Alejo *et al.* 2011).

2.16 Referencias

- ABRIL E.R. (1987) Significado de las teorías científicas. Academia Nacional de Ciencias. Miscelánea No. 76. Córdoba, Argentina. 21 pág.
- ALEJO S.G., BUGARÍN M.R., ORTIZ C.M., LUNA E. G. y JIMÉNEZ M.V. (2011) Nutrición nitrogenada en cultivos importantes de Nayarit. *Revista Fuente*, **3**, 31-36.
- ÁLVAREZ M.J., RODRÍGUEZ S.J. y SUÁREZ F.D. (1999) Mejoramiento de la productividad de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, a través de un modelo racional de fertilización. *Revista Bosque*, **20**, 23-36.
- ARAYA M. y BOSCHINI C. (2005) Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la Meseta Central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, **16**, 37-43.
- ARNOLD C.M. y OSORIO F. (1998) Introducción a los conceptos básicos de la Teoría General de Sistemas. *Cinta de Moebio*, **3**, 1-11.
- ARNON D.I. and STOUT P.R. (1939) The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*, **14**, 371-375.
- BELTRÁN R., VOLKE H.V. y NÚÑEZ E.R. (1996) Un modelo de balance nutrimental para generar recomendaciones de fertilización para el arroz en suelos de Cuba. Serie Cuadernos de Edafología 26.

- BARBER S.A. (1995) Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. Second Ed. John Wiley, New York. 384 pág.
- BERNAL J.E. (1991) Pastos y forrajes tropicales. Producción y manejo. Unidad de Divulgación y Prensa. Banco Ganadero. 2a Ed. Bogotá, Colombia. 544 pág.
- BERNAL J. y ESPINOSA J. (2003) Manual de nutrición y fertilización de pastos. Potash and Phosphate Institute of Canada. 94 pág.
- BERTALANFFY L.V. (1989) Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo y aplicaciones. Traducción de Juan Almela. Fondo de Cultura Económica Séptima reimpresión. México. 336 pág.
- BERTHIER A.E. (2004) Cómo construir un marco teórico. Disponible en http://www.smo.edu.mx/colegiados/apoyos/marco_teorico.pdf. Consultado el 4 de julio de 2017.
- BREGLIANI M.M., TEMMINGHOFF E.J.M., VAN RIEMSDIJK W. H. and HAGGI E.S. (2006) Nitrogen fractions in arable soils in relation to nitrogen mineralization and plant uptake mabel. *Communications Soil Science and Plants Analysis*, **37**, 1571-1586.
- BURTON A.C. (1939) The properties of the steady state compared to those of equilibrium as Shown in characteristic biological behavior. *Journal of cellular and comparative physiology*, **14**, 327-349.
- CERDAS R. y VALLEJOS E. (2013) Productividad del pasto Brachipará (B. arrecta x B. mutica) con varias dosis de nitrógeno y frecuencias de corte en Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes*, **27**, 28-50.
- CIAT (2010) Centro Internacional de Agricultura Tropical. Informe Anual. Cali, Colombia. Disponible: http://webapp.ciat.cgiar.org/improved_germplasm/germoplasma/forrajes.htm. Consultado el 5 julio de 2017.
- CONWAY G.R. (1985) Agroecosystem analysis. *Agricultural Administration*, **20**, 31–55.
- CRUZ P. y MORENO J.L. (1992) Crecimiento potencial comparado de una gramínea natural (*Dichanthium aristatum*) y una cultivada (*Digitaria decumbens* Stent) sometida a variaciones fotoperiódicas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **26**, 323- 330.
- CRUZ H.A., HERNÁNDEZ G.A., VAQUERA H.H., CHAY C.A., ENRÍQUEZ Q.J. y RAMÍREZ V.S. (2017) Componentes morfogénéticos y acumulación del pasto mulato a diferentes frecuencias e intensidad de pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, **8**, 101-109.
- DANIN DE MOURA L.O., BRAGA C.M., BASTOS DE VEIGA J. e AMADOR DE COSTA N. (2002) Avaliação de pastagem de quicuiu-da-amazônia (*Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickerdt) em sistema de pastejo rotacionado intensivo, em Bemel, Pará.
- DAROS W.R. (2002) ¿Qué es un marco teórico?. *Enfoques*, **XIV**, 73-112.
- ENRÍQUEZ J.F. (1994) *Brachiarias* en el trópico, producción y manejo. En: XVIII Simposium de ganadería tropical. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental La Posta, Veracruz, México. Publicación Especial N° 6. 90 pág.
- EPSTEIN E. and BLOOM A.J. (2004) Mineral Nutrition of Plants: Principles and perspectives. 2ND. Ed. Sunderland: Sinauer Associates.
- ETCHEVERS B.J.D., VOLKE V.H., GALVIS S.A. y RODRÍGUEZ S.J. (1990) Metodologías usadas para generar recomendaciones de fertilización. In: Jasso Y.R., Montes H.M. y Hernández Y.C. (Edit.) Aprovechamiento del agua y los fertilizantes en las regiones áridas de México. XXVIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Comarca Lagunera, México.

- ETCHEVERS B.J.D., RODRÍGUEZ S.J. y GALVIS S.A. (1991) Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistémico racional. *Terra Latinoamericana*, **9**, 3-10.
- FERNÁNDEZ J.L., BENÍTEZ D.E., GÓMEZ I., TANDRON I. y RAY. I.J. (2000) Efecto de la edad de rebrote en el rendimiento de *Brachiaria purpurascens* vc. aguada en el Valle del Cauto en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **34**, 267.
- FERNÁNDEZ M.T. (2007) Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA Sobre derivados de la caña de azúcar*, **XLI**, 51-57.
- FINCK A. (1988) Fertilizantes y fertilización. Fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos. Hernando F.D.V (Trad.). Ed. Reverté, S. A. Barcelona, España. 436 pág.
- FUJISAKA S., HOLMANN F., PETERS M., SCHMIDT A., WHITE D., BURGOS C., ORDÓÑEZ J., MENA M., POSAS M., CRUZ H. e HINCAPIÉ B. (2005) Estrategias para minimizar la escasez de forrajes en zonas con sequías prolongadas en Honduras y Nicaragua. *Pasturas Tropicales*, **27**, 73-92.
- GALVIS S.A. (1990) Validación de las normas de fertilización de nitrógeno y fosforo estimadas con un modelo simplificado para maíz, con las dosis obtenidas en la experimentación de campo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- GALLAIS A. and HIREL B. (2004) An approach to the genetics of nitrogen use efficiency in maize. *Journal Experimental Botany*, **55**, 295-306.
- HART D. (1985) Conceptos básicos sobre agroecosistemas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 156 pág.
- HOLNAM F., RÍVAS L., ARGEL P.J. y PÉREZ E. (2005) Impacto de la adopción de pastos *Brachiaria*: Centroamérica y México. Disponible en: <http://www.ilri.cgiar.org/html/Adopci%C3%B3ndepastos%20BrachiariaenCA%20Mex-final.pdf>. Consultado el 27 junio 2017.
- HODGSON J. (1979) Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Science*. **34**, 11-18.
- IFA (1992) Los fertilizantes y su uso. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. París. 632 p.
- IFA (2002) Los fertilizantes y su uso. Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes Cuarta Ed. Roma, Italia. 87 pág.
- INEGI (2017) Instituto Nacional de Estadística y Geografía .Uso del suelo y vegetación. Disponible: http://www.inegi.org.mx/lib/olap/consulta/general_ver4/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=1827. Consultado el 28 de junio de 2017.
- JIMÉNEZ O.M.M., GRANADOS Z.L., OLIVA J., QUIROZ V.J. y BARRÓN A.M. (2010) Calidad nutritiva de *Brachiaria humidicola* con fertilización orgánica e inorgánica en suelos ácidos. *Archivos de Zootecnia*, **59**, 561-570.
- JUÁREZ H.J., BOLAÑOS E.D. y REINOSO M. (2004) Contenido de proteína por unidad de materia seca acumulada en pastos tropicales. Época de nortes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **38**, 423-430.
- JUÁREZ H.J y BOLAÑOS A.E.D. (2007) Las curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. *Universidad y Ciencia*, **23**, 81-90.
- JUÁREZ H.J. (2005) Estudio agrofisiológico y nutricional de la producción de materia seca y contenido de proteína en pastos tropicales. Tesis de Doctorado. Santa Clara, Cuba. 109 pág.

- KÁDÁR I. and RAGÁLYI P. (2012) Mineral fertilization and grass productivity in a long-term field experiment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, **58**, 127-131.
- LEMAIRE G., HODGSON J., DE MORAES A., CARVALHO P.C.F., NABINGER C. (2000) Grassland ecophysiology and grazing ecology. Cambridge (UK): Commonwealth Agricultural Bureau International.
- MARSCHNER P. (2012) Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Edition. New York. Academic Press. 643 pág.
- MARTÍNEZ D.J.P. (1993) Documento interno. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.
- McILROY R.J. (1991) Introducción al cultivo de los pastos tropicales. Ciudad de México. Ed. Limusa. 168 pág.
- MEJÍA T.A.C., OCHOA O. R. y MEDINA S.M. (2014) Efecto de diferentes dosis de fertilizante compuesto en la calidad del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov.). *Pastos y Forrajes*, **37**, 31-37.
- MENGEL K. and KIRKBY E.A. (2001) Principles of Plant Nutrition. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 849 pág.
- NAVARRO G.G y NAVARRO G.S. (2013) Química agrícola. Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. 3ra. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- OLIVERA Y., MACHADO R. y DEL POZO P.P. (2006) Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. *Pastos y Forrajes*, **29**, 1-13.
- ORSKOV E.R (1993) Reality in rural development aid with emphasis on livestock. Bucksburn (UK): Rowett research services. 88 pág.
- Peña C.J.J., Grajeda C.O.A. y Vera N. J.A. (2001) Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: Uso de las técnicas isotópicas (15N). *Terra Latinoamericana*, **20**, 51-56.
- PÉREZ B.R. y LASCANO C.E. (1992) Pasto humidícola (*Brachiaria humidicola*) Rendle Schweict. Instituto Colombiano Agropecuario. Boletín técnico No. 181. 20 pág.
- PIRELA M.F. (2005) Valor nutritivo de los pastos tropicales. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Manual de Ganadería de doble propósito. p. 176-182.
- QUIRÓS R., VILLALBA G., MUÑOZ P., FONT X. and GABARRELL X. (2014) Environmental and agronomical assessment of three fertilization treatments applied in horticultural open field crops. *Journal of Cleaner Production*, **67**: 147-158.
- RAMÍREZ C.L.A. (2002) Teoría de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia, 54 pág.
- RAMÍREZ J.L., VERDECIA D., LEONARD I. y ÁLVAREZ Y. (2010) Rendimiento de materia seca y calidad nutritiva del pasto *Panicum maximum* vc. Likoni en un suelo fluvisol de la región oriental de Cuba. *Revista Electrónica de Veterinaria*, **11**, 1-14.
- RESTREPO M. J., ANGEL S.D.I. y PRAGER M.M. (2000) Agroecología. Universidad Nacional de Colombia y Fundación para la Investigación y el Desarrollo Agrícola. Santo Domingo, República Dominicana. 134 pág.
- RICHARDSON A.E. (2001) Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Australian Journal Plant Physiology*, **28**, 897-906.
- RODRÍGUEZ S.J. (1987) Desarrollo de normas de fertilización para cultivo de maíz y la cebada en el Estado de Tlaxcala. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- RODRÍGUEZ S.A. (1992) Fertilizantes. Nutrición vegetal. AGT editor. Segunda reimpresión. México. D. F.
- RODRÍGUEZ S.J. (1993) La fertilización de los cultivos, un método racional. Facultad de Agronomía Pontificia Universidad Católica de Chile, 291 pág.

- RODRÍGUEZ S.J. y MATUS F.J. (1994) Modelo simple para estimar el suministro de nitrógeno en el suelo. *Ciencia e Investigación Agraria*, 15 - 2.
- RUTHERFORD P.M., MCGILL W.B., AROCENA J. M. and FIGUEIREDO C. T. (2007) Total nitrogen. In: CARTER M. R. and GREGORICH E. G. (eds.) Soil sampling and method of analysis. Second Ed. Canadian Society of Soil Science. Taylor & Francis Group. 198 pág.
- SALISBURY F.B. y ROSS C.W. (1992) Fisiología vegetal. Ed. Iberoamérica S.A. México.
- SANYAL S.K. and De DATTA S.K. (1991) Chemistry of phosphorus transformations in soil. *Advances in Soil Science*, **16**, 1-120.
- SINCLAIR T.R., TANNER C.B. and BENNETT J.M. (1984) Water use efficiency in crop production. *Biology Science*, **34**, 36-40.
- SPARKS D.L. and HUANG P.M. (1985) Physical Chemistry of Soil Potassium. In: Potassium in Agriculture. R.D. Mundson (ed). American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Soil Science Society of America. Madison, USA. Pp: 201-276.
- THOMPSON L. M. y TROEH R.F. (2002) Los suelos y su fertilidad. 4ta. Editorial Reverté. España. 657 pág.
- WALLACE A. (1993) The law of the maximum. *Better Crops*, **77**, 20-22.

CAPÍTULO III. EFFECT OF SEASON, FERTILIZATION AND CUTTING FREQUENCY ON BIOMASS YIELD OF *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick

Gloria Esperanza De Dios León¹, Catalino Jorge López Collado¹, Armando Guerrero Peña²,
Eusebio Ortega Jiménez¹, Eduardo Daniel Bolaños Aguilar³ y Alejandro Alonso López¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.
²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Cárdenas, Tabasco, México.³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, C. E. Huimanguillo, Huimanguillo Tabasco, México.

Artículo enviado a la revista Grass and Forage Science

3.1 Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of season, levels of fertilization and cutting frequency on the production of biomass and physiochemical variables of *Brachiaria humidicola* grass. The treatments were distributed in a completely randomized design with a factorial array and three replications. Significant differences ($P < 0.05$) were found for the factor season, except in root length (RL). The highest yield of dry biomass (DBY) was found for the rainy season (9.2 t ha^{-1}). During the northerlies the highest content (10%) of crude protein (CP) was obtained, and the best radical biomass/total biomass ratio (RB/TB) was found during the northerlies (0.55). A significant difference of the effect of levels of fertilization was found; the highest DBY, CP and harvest index (HI) were observed in treatment 3: 81 t ha^{-1} , 9.8% and 0.50, respectively. Significant differences for the effect of cutting frequency (CF) were found; 20 days after cutting, the regrowth had the highest CP, RL and RB/BT (9.4%, 19 cm and 0.57, respectively). It is concluded that the fertilizer dosage of 400-100-200 $\text{kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ and cutting frequency of 20 to 30 days of regrowth are the best agronomic practices for use of *Brachiaria humidicola* in the three seasons of the year.

Key words: tropical grasses, crude protein, dry biomass, root length, radical biomass/total biomass ratio, harvest index.

3.2 Introduction

Cattle raising is one of Mexico's most important primary economic activities (INEGI, 2012). Feeding cattle in the wet tropics of Mexico is based mostly on grasses and forages, which are the cheapest and most easily available source. Tropical grasslands occupy an area of approximately 112 million hectares, on which 81 million tons of dry matter are produced. This production sustains a third of the country's grazing herds and, to a smaller degree, those that graze in combination with stable management (Bolaños *et al.*, 2010). Use of tropical grasses is limited by their variation in production of biomass over the year and low nutritive value (Bernal and Espinosa, 2003), affecting voluntary intake and, consequently, production of meat and milk (Mejía, 2002).

The effects of these limitations can be diminished by mineral fertilization, which reestablishes essential nutrients removed by animals during grazing (Borges *et al.*, 2012). The most important elements in any production system are nitrogen, phosphorus and potassium. If they are well applied, they have a notable effect on forage yield and even elevate soil fertility and improve the nutritive value of agricultural produce (Kádar and Ragályi, 2012). Jiménez *et al.* (2010) evaluated the influence of organic and inorganic fertilization on crude protein content of humidicola grass in Tabasco in the three climate seasons. They observed greater effect with inorganic (7.5%) than with organic (5.7%) fertilizer. Some species of the genus *Brachiaria* have shown high productive potential in diverse ecosystems because of their capacity to adapt to infertile soils and their efficient use of nutrients (Velásquez and Muñoz, 2006). Among the most outstanding grasses found in the Mexican tropics is *Brachiaria (humidicola, or chetumal)*, a topical perennial stoloniferous grass with a creeping, semi-erect to prostrated growth habit, native to Africa (Olivera *et al.*, 2006). Its performance is good because of its rate of regrowth, drought tolerance, pest and disease resistance, and its adaptation to different types of soils (Chacón, 2005). The high demand for meat and milk requires soils with enough fertility for production of the grass biomass used to sustain cattle raising as a primary economic activity in Mexico. The object of this study was to evaluate the effect of season, levels of fertilization and cutting frequency on biomass production and physiotechnical variables of the grass *Brachiaria humidicola* Rendle.

3.3 Materials and methods

3.3.1 Study area

The experiment was set up in the Santa Rosa Ranch of the Ejido Posa Redonda, second section of the municipality of Cárdenas, Tabasco, Mexico (18°14' N and 93°20'W, altitude 10 m). García (2004) mentions that the site has an Am(f) climate, hot wet with rains in the summer and part of autumn; average annual precipitation and temperature are 2151 mm and 25.8°C, respectively. The soil is a Vertisol (Palma *et al.*, 2007), having more than 30% clay in all of the horizons. Table 3.1 presents its chemical characteristics.

Table 3. 1. Chemical and physical analysis of soil of the experiment site, Ranchería Posa Redonda, 2nd. Sección, Cardenas, Tabasco, Mexico

pH	EC	OM	Nt	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CEC	Texture class
	(dS m ⁻¹)	-----%-----		(mg kg ⁻¹)	-----		(cmol kg ⁻¹)	-----		
5.5	0.04	2.5	0.15	5.3	0.16	7.5	3.9	0.16	16.8	Clay loam

Source: NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002)

EC: electric conductivity, OM: organic matter, Nt: total nitrogen, P: available phosphorus, K: potassium, Ca: calcium, Mg: magnesium, Na: sodium, CEC: cationic exchange capability.

3.3.2 The species evaluated

The study was conducted in a Humidicola (*Brachiaria humidicola* Rendle) grassland established 14 years ago and grazed by cattle. The pasture had been in repose for 45 days before homogeneity cutting. A total of 27 plots were formed over the pasture for each of the seasons. In these plots the three levels of fertilization were distributed together with three cutting frequencies. The experimental unit consisted of one 4 m² useful plot. Plots were 1 m apart to eliminate the border effect.

3.3.3 Evaluation periods

Three seasons of the year were defined in the region. Moguel and Molina (2000) stated that these seasons occur in the following way: dry from March to June, rainy from July to October and northerlies from November to February. Our experiment comprehended January 2, 2015, to January 2, 2016, with evaluations at 20, 30 and 40 days of regrowth in each of the seasons of the year. The samples were obtained by harvesting each plot, cutting to ground level. Before sampling, a 625 cm² pylon was taken in each plot to separate the shoot biomass from the root

biomass, following the method described by Kolesnikov (1971). Harvested material was washed, dried and ground for later analysis. Climatological conditions present at the site during the study period are presented in Figure 3.1.

3.3.4 Treatments and fertilization

The treatments resulted from the combination of the three cutting frequencies and the three levels of fertilization within each season. The levels of fertilization were T1 no fertilization, or control, T2 fertilization with 200-50-100 kg ha⁻¹ N, P and K, and T3 fertilization with 400-100-200 kg ha⁻¹ N, P and K; each treatment was replicated three times. The sources of the fertilizers were urea, triple superphosphate and potassium chloride, cast once in each season.

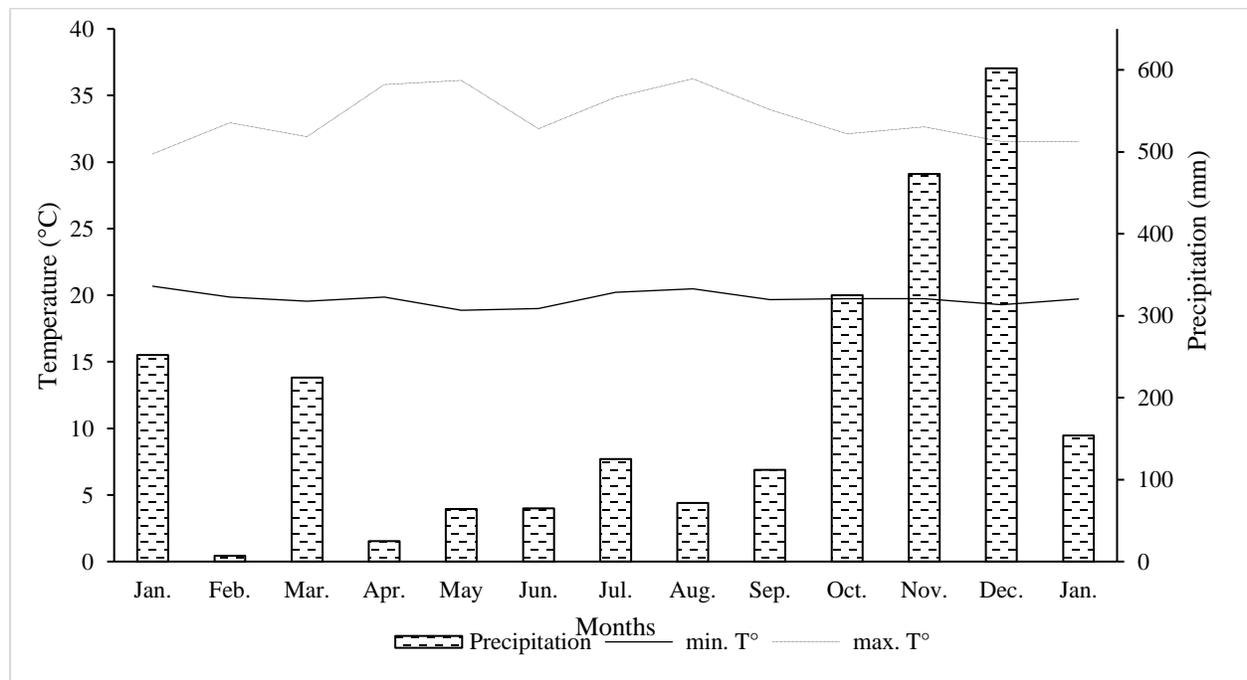


Figure 3.1. Climatological conditions present during the experimentation phase with *B. humidicola* grass. January 2015 to January 2016

3.3.5 Experimental design and statistical analysis

We used a completely randomized design with a 3x3x3 factorial array (3 seasons of the year, 3 cutting frequencies and three levels of fertilization) with three replications. For data analysis, SAS software, version 9.0, (SAS, 2009) for Windows was used. For comparison of means, the Tukey test ($p < 0.05$) was used when the variables had statistically significant differences.

3.3.6 Response variables

Each of the variables evaluated were estimated in the following way: height (cm), measured from the ground to the average of the fold of the last leaf; dry biomass yield (t ha⁻¹) with the formula $\text{dry biomass} = (\text{fresh biomass} * \%DM)/100$; crude protein (%) with the micro Kjeldahl method described by AOAC (2000); root length (cm), ten random subsamples measured with a graduated ruler; shoot biomass (kg ha⁻¹) determined from leaf and stem weight; root biomass (kg ha⁻¹), weight of roots after washing following the Böhm method (1979); total biomass (kg ha⁻¹), sum of shoot biomass and root biomass; root biomass/total biomass ratio is the quotient between root biomass weight and total biomass weight; and harvest index (HI), the quotient shoot biomass (variable of interest) and total biomass.

3.4 Results and discussion

Table 3.2 presents the response variables evaluated in the dry, rainy and northerlies seasons. It can be observed that there was an effect ($p < 0.001$) of seasons on the variables studied, except for root length (RL) ($p < 0.2114$).

3.4.1 Effect of season of the year

Dry biomass yield (DBY). The highest DBY was obtained in the rainy season, while the lowest was obtained in the season of northerlies, with a difference of 68% (Table 2). The lower production during the northerlies is explained by the low temperatures (average 19.9°C) that prevail in this season and affect yield. In addition, the short days and cloudy skies mean fewer hours of light and a lower rate of photosynthesis because of decreased photosynthetically active radiation reaching plant leaves (Sinclair and Horie, 1989; Machado, 1996). The yields obtained during the rainy season by this study are lower than those reported by Cruz *et al.* (2011), who evaluated 24 ecotypes of *Brachiaria* and obtained an average yield of 11.2 t ha⁻¹ in the same season.

Harvest index (HI). The highest HI was found during the rainy season and the lowest in the dry and northerlies seasons. The better performance in the rainy season is due to the higher dry biomass yield in this season in which the climatic conditions were favorable. The HI indicates the relationship between the product of economic interest (in these species the shoot biomass) and total plant biomass. Rodríguez (1993) and Etchevers *et al.* (1991) mention that this parameter is constant for a crop, regardless of the yield produced in optimum management conditions, but

varies slightly by effect of the variety. However, in non-optimal conditions of climatic factors, the mean value can deviate.

Height. The tallest height was recorded in the rainy season and the shortest in the dry season. The better behavior during the rainy season was due to the amount of available water that favors dissolution and absorption of the applied nutrients. This is conjugated with factors that are beneficial for grass growth such as hours of light and temperature (Ayala and Basulto, 1992; Enríquez and Romero, 1999; Hernández *et al.*, 1990). In the dry season, temperatures and solar radiation are higher, and there is less precipitation, contributing to making evapotranspiration higher than water availability. The deficit of water reduces nutrient solubility, and consequently, stem growth decreases (Sánchez and Carvacho, 2011). This result can be observed in Figure 3.1. The data observed in our study are higher than those reported by Sosa *et al.* (2008) for *B. humidicola* in the northerlies and rainy seasons and those reported by Rojas *et al.* (2011), who evaluated four *Brachiarias* during the rainy season.

Table 3.2. *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick response variables to three climatic seasons

SEASON	DBY (t ha ⁻¹)	HI	HEIGHT (cm)	RL	RB/BT	CP (%)
DRY	8.2 ^b	0.45 ^b	49.3 ^c	18.7 ^a	0.55 ^a	8.1 ^b
RAINY	9.2 ^a	0.55 ^a	62.6 ^a	18.5 ^a	0.46 ^b	6.7 ^c
NORTHERLIES	2.9 ^c	0.45 ^b	55.0 ^b	17.7 ^a	0.55 ^a	10.0 ^a

Values with the same letters within a column are not statistically different ($p \leq 0.05$)

DBY= Dry biomass yield, HI= Harvest index, RL = Root length, RB/BT = Root biomass /total biomass ratio, CP= Crude protein

Root length. This is one of the plant components that has been little studied in wet tropical regions. However, root length is important for grass nutrition in that roots explore the soil for nutrients. Olivera *et al.* (2006) mention that some species of the genus *Brachiaria* are characterized by their deep roots, which allows them to survive during long periods of drought. In our experiment it was not possible to demonstrate the effect of the season of the year on this variable ($p > 0.21$) because of the grass' age. Avellaneda *et al.* (2008) evaluated *B. decumbens*, *B. Brizantha* and *B. hibrido* cv. Mulato in Ecuador during the dry season and reported root lengths of 22.3, 23.6 and 26.9 cm, respectively. Their results are higher than those obtained in our experiment because the grasses they evaluated are bunched, while *B. humidicola* is a stoloniferous grass species.

Root biomass/total biomass ratio. There were significant differences among seasons for this variable. The higher ratio was found during the northerlies and the lowest in the rainy season. Only a few experiments consider root biomass when studying biomass production even though yield is a function that integrates both shoot and root growth. Macklon *et al.* (1994) indicated that growth of the shoot depends on nutrient transport from the roots, which in turn requires the carbohydrates produced by photosynthesis in the shoot. The higher RB/TB ratio during the northerlies indicates that the climate conditions were favorable for development of root and shoot biomass, while during the rainy season, excess water did not contribute to good root development and the higher amount of total biomass was due to more shoot biomass.

Crude protein (CP). The highest CP content was obtained in the season of northerlies and the lowest in the rainy season. Prior studies have demonstrated that CP content decreases when the percentage of dry matter increases, regardless of fertilization (Abaunza *et al.*, 1991; Martín, 1998; Velasco *et al.*, 2001). Borges *et al.* (2012) consider that the *humidicola* species belongs to a low quality group of *Brachiarias*, whose species are differentiated by protein content since several accessions tend to have difficulties in nitrification, especially in conditions of acid soils (Espinosa *et al.*, 2012), like those found in the site of our experiment. During the northerlies, a higher percentage is observed due to protein dilution; when the grass grows more slowly, the protein remains in the plant for a longer time (Juárez and Bolaños, 2007). Reyes *et al.* (2009) evaluated 21 genotypes of the genus *Brachiaria* during the dry season in Huimanguillo, Tabasco, and reported 11.1% protein in two consecutive years, a higher percentage than that found in our study. Jiménez *et al.* (2010) evaluated the *humidicola* species fertilized during the three seasons. The CP content was 7.0, 5.9 and 9.8% in the dry, rainy and northerlies seasons, respectively, with results that were lower than those of our study.

3.4.2 Effect of fertilization

Table 3.3 shows that there was an effect ($p < 0.001$) of fertilization level on all of the variables, except RL, for which there were no statistical differences.

Dry biomass yield (DBY). The highest DBY was obtained with the high dosage of fertilizer and the lowest in the control with a difference of 63%. The conditions of precipitation and temperature were favorable for *humidicola* grass to use the applied nutrients and express good production. Campos *et al.* (2011) mention that the increase in production of dry matter observed in the fertilized treatments is the consequence of adding nitrogen, which affects the development

of leaves and stems and of plant structures related to dry matter production. Cerdas and Vallejos (2013) reported a production of 2.9 t ha⁻¹ dry biomass in a pasture of *Brachiaria* treated with N-P-K fertilizer, compared with 1.3 t ha⁻¹ in the control. Silveira *et al.* (2013) observed an increase of 41% in DM yield, relative to the control, of Bahía grass (*Paspalum notatum*) fertilized with urea.

Harvest index (HI). With experimentation, significant differences were found in HI by effect of fertilization (Table 3.3). The highest HI corresponded to treatment T3, which was 10% higher than the control. The variable relates SB, the economically important product, to total biomass. Rodríguez (1993) presents HI for several crops; in the case of forage species the author indicates that this value is equal to 1.00 because it does not include root biomass in total biomass. This was considered in our study. Garcez *et al.* (2002) and Fagundes *et al.* (2006) have reported the positive impact of nitrogen on elongation of forage gramineae, while Ortega and González (1990) indicate a physiological response (yield) of the grass when it grows in a medium where there is a good supply of nutrients.

Table 3.3. *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick response variables to different levels of fertilization with N, P and K

FERT.	DBY	HI	HEIGHT	RL	RB/TB	CP
	(t ha ⁻¹)		(cm)			(%)
T1	5.1 ^c	0.45 ^b	46.7 ^b	18.0 ^a	0.56 ^a	6.2 ^c
T2	7.1 ^b	0.50 ^a	59.9 ^a	18.0 ^a	0.50 ^b	8.8 ^b
T3	8.1 ^a	0.51 ^a	60.4 ^a	18.9 ^a	0.49 ^b	9.8 ^a

Values with the same letters within each column are not statistically different ($p \leq 0.05$)
 FERT. = Fertilization, T1= Control (00-00-00), T2= Normal dosage (200-50-100 kg ha⁻¹ year⁻¹ of N, P y K, respectively) and T3= High dosage (400-100-200 kg ha⁻¹ year⁻¹ of N, P y K, respectively), DBY=Dry biomass yield, HI=Harvest index, RL=Root length, RB/TB=Root biomass/total biomass ratio, CP=Crude protein

Height. The tallest heights were observed in the fertilized treatments (T2 and T3) and the shortest in the control (T1), with a difference of 13 cm. The soil in which the experiment was set up is medium in terms of its percentage of total nitrogen (Table 3.1), which contributed to the good height of the control. In addition, the soil texture is clay loam, and when a soil contains enough clay, it retains more usable nutrients and water. Cripps and Allan (1997) indicate that the increase in height is due to the nitrogen that favors plant growth and increases the number and length of nodes, resulting in a progressive increase in height. Pastrana *et al.* (2011) evaluated three

accessions of *B. humidicola* (CIAT 16888, CIAT 26159 and CIAT 679) fertilized with nitrogen dosages of 150 and 300 kg ha⁻¹; they found average heights of 44 and 47 cm, respectively. These results are similar to those obtained with the control in our study.

Root length (RL). There were no statistical differences in RL among treatments ($P>0.2344$). Similar results were reported by Lozano *et al.* (2013), who evaluated insurgent grass (*B. brizantha*) after applying 120-80-00 N-P-K formula fertilizer and found higher results than those of our study. Soils with pH below 5.5, like the soil of where our experiment was conducted, indicate the possibility of solubilizing elements such as manganese, iron and aluminum, which can be factors that limit grass root development (Casierra and Aguilar, 2007).

Root biomass/total biomass ratio. The RB/TB ratio of the control was higher than that of the fertilized treatments. It was not possible to contrast the results because studies on grass roots are scarce. This variable is related to SB, and when the plant produces more shoot biomass, by effect of the fertilization treatments, an imbalance in the production of roots occurs, possibly because of soil acidity and because NH₄⁺ inhibits root growth (Magalhães and Huber, 1989).

Crude protein (CP). The highest percentage was found in T3 and the lowest in T1. Table 3.3 shows that the treatments with the highest percentages of protein also had the highest yields. Leaf photosynthetic capacity is related to nitrogen content mainly because the proteins of the Calvin cycle and of the thylakoids make up most of the leaf nitrogen (Gibson, 2005). It is evident that fertilization improves CP contents in any tropical grass species. Even so, *humidicola* is one of the species that is deficient in protein, a deficiency associated with a high percentage of cell wall (Arias and Hernández, 2002). Jiménez *et al.* (2010) evaluated *B. humidicola* growing in an acid soil and fertilized with 150-60-100 kg ha⁻¹ N, P and K for one year; they observed an average of 7.6% protein compared with 4.5% in the control treatment. These results are lower than those found in our study. However, our results coincide with those reported by Juárez *et al.* (2004), who assessed species of the genus *Brachiaria* fertilized with the formula 200-100-00. They found that CP content was higher in a direct relationship with dry matter yield.

3.4.3 Effect of cutting frequency

Table 3.4 shows the data that reveal the effect of cutting frequency on the evaluated variables.

Dry biomass yield. The highest dry biomass yield was observed with 30 d of regrowth and the lowest with 20 d. DB production was higher with older regrowth because the plant has more time to grow, develop and accumulate a larger amount of dry matter due to photosynthesis (Bolio *et*

al., 2006). In our study, there was lower production after 40 d than after 30 d, an effect also observed by Bircham and Hodgson (1983) and Chapman and Lemaire (1993), who, in studying grass growth dynamics in temperate climates, observed that the accumulation of forage decreases once the plant reaches the optimum leaf area when shading of the lower layers of the pasture increases and, consequently, senescence is greater than growth. Cerdas and Vallejos (2013) reported production of 2.2 and 5.0 t ha⁻¹ after 20 and 40 d of regrowth, respectively, results that are lower than those of our study.

Harvest index (HI). A higher HI was observed in the two last cutting frequencies than in the first. This could be related to a higher production of biomass on these two dates since the plant had more time to develop and grow in volume, especially the shoot, which responded to the favorable conditions of precipitation and temperature. Studies related to harvest indexes in grasses are scarce, but Etchevers and Galvis (1994) state that HI is relatively constant for a species, regardless of yield, as long as it represents the expected maximum yield for a location.

Height. The tallest height was found at 40 days of regrowth and the shortest at 20 days, with a difference of 20 cm. According to Fajemilehin *et al.* (2008) and Verdecia *et al.* (2009), stem height and diameter increase as the grass advances in age. Moreover, the older the grass, the larger the leaf area and, therefore, the greater the synthesis of reserve tissue, increasing some important morphological characteristics such as height (Manrique *et al.*, 1996). Cerdas and Vallejos (2013) found heights of 50.0, 56.0 and 62.4 cm of regrowth after 20, 40 and 60 days, respectively, in *Brachiaria* grass. In both studies, cutting frequency every 20 and 40 days obtained taller heights than in our studies, while at 60 days, height was greater in our study.

Table 3.4. *B. humidicola* (Rendle) Schweick response variables to different cutting frequencies

CUTTING FREQUENCY (d)	DBY (t ha ⁻¹)	HI	HEIGHT (cm)	RL	RB/TB	CP (%)
20	5.9 ^c	0.43 ^b	44.8 ^c	18.9 ^a	0.57 ^a	9.4 ^a
30	7.7 ^a	0.50 ^a	53.9 ^b	18.6 ^a	0.50 ^b	7.8 ^b
40	6.8 ^b	0.52 ^a	68.1 ^a	17.4 ^b	0.49 ^b	7.5 ^b

Values with the same letters within each column are not statistically different ($p \leq 0.05$)

d=days of regrowth, DBY=dry biomass yield, HI=Harvest index, RL= Root length, RB/TB=Root biomass/total biomass ratio, CP=Crude protein

Root length (RL). The greatest growth in RL was observed at 20 and 30 days; growth was statistically equal on the two dates. Barrios *et al.* (2014) mention that roots detain their growth at the expense of shoot growth; this can be inferred from the harvest index obtained in this study. Avellaneda *et al.* (2008) studied three *Brachiarias* and reported average lengths of 18.2 and 29.0 cm after 28 and 112 days of regrowth, respectively, growing in length as days of regrowth transpire, contrary to behavior observed in our experiment. Coinciding with our results with *B. humidicola*, Newman *et al.* (1999) observed that in Buffel grass (*Cenhrus ciliaris L.*) root length is constant as of 35 d. Studies on maize, rice and wheat have also shown that a decrease in root length is a symptom of aluminum toxicity (in acid soils), which occurs because of concentration of the metal at the root apexes (Vázquez *et al.*, 1999).

Root biomass/total biomass ratio. Statistical differences in this variable was found among cutting frequencies. The highest ratio was found at the frequency of 20 d, decreasing in the following two frequencies. The results of our study show that as the regrowth advanced in age, root biomass decreased. Fernández *et al.* (2000) stated that with increased age, this ratio begins to decrease because of a higher production of shoot biomass, which includes a larger proportion of stems, as well as the formation of structural components. When there are limiting factors (water stress), the plants exhibit mechanisms that allow them to buffer the effects. Thus, they show a tendency to reduce this ratio because they assign more resources to shoot biomass.

Crude protein (CP). The percentage of CP decreased as the regrowth advanced in age; the lowest was found on days 30 and 40. Over several studies, it has been proven that protein content decreases as the grass advances in age. Fernández *et al.* (2001) mention that this is due to a decrease in metabolic activity, such as the synthesis of protein compounds, and as grass ages there is a lower proportion of cell content where most proteins are found. In addition, *B. humidicola* is one of the *Brachiaria* species of lowest quality. Cruz and Lemaire (1996) mention the effect denominated protein dilution, which explains diminishing CP as the plant ages. Moreover, protein content is inversely correlated with production of dry biomass, a relationship that was observed in our study. Reyes *et al.* (2009), who evaluated 21 *B. decumbens* genotypes, observed average CP percentages of 11.0 and 11.1% after 35 d of regrowth, respectively, in two consecutive years. Avellaneda (2008) in *B. decumbens*, *B. brizantha* and *B. hibrido* (mulato) grasses, after 28, 56 and 84 d of regrowth, reported average CP contents of 12.1, 10.69 and 8.2%, respectively, results that are higher than those found in our study.

3.5 Conclusions

The effect of seasons of the year, fertilization with N-P-K, and cutting frequency on *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick grass in the wet tropics was studied. We demonstrated the effect of seasons of the year and fertilization on the variables height, crude protein, dry matter, root biomass/total biomass ration, and harvest index there was no effect on root length. The effect of cutting frequency on all of the measured variables was significantly different among treatments. For practical purposes, we can conclude that fertilization with N-P-K at the dosage of 400-100-200 kg ha⁻¹ year⁻¹ and cutting frequency at 20 and 30 days of regrowth are the best option for *Brachiaria humidicola* in the three seasons of the year.

Acknowledgements

The authors would like to thank MSc. Francisco Meléndez Nava, for facilitating the use of the “Santa Rosa” ranch for the experimental phase of this study. We also thank the Soil, Plant and Water Agroindustrial Laboratory and the Laboratory of Analytical Instrumentation of the College of Postgraduates, Campus Tabasco, for their support in conducting the chemical analyses.

3.6 References

- ABAUNZA M.A., LASCANO C.E., GIRALDO H. y TOLEDO J.M. (1991) Valor nutritivo y aceptabilidad de gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales en suelos ácidos. *Pasturas Tropicales*, **13**, 2-9.
- AOAC (2000) Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists. 17th Ed. Gaithersburg. United States of America. 168 pág. Disponible en: <http://www.eoma.aoac.org/>.
- ARIAS A. y HERNÁNDEZ H. (2002) Composición química del pasto aguja (*Brachiaria humidicola*) sometida a pastoreo en una finca del municipio Guanares Estado Portuguesa. *Revista Científica*, **12**, 562-565.
- AVELLANEDA C.J., CABEZAS G.F., QUINTANA Z.G., LUNA M.R., MONTAÑEZ V.O., ESPINOZA G.I., ZAMBRANO M.S., ROMERO G.D., VANEGAS R.J. y PINARGOTE M.E. (2008) Comportamiento agronómico y composición química de tres variedades de *Brachiaria* en diferentes edades de cosecha. *Ciencia y Tecnología*, **1**, 87-94.
- AYALA A. y BASULTO J. (1992) Evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras en la región oriental de Yucatán, México. *Pasturas Tropicales*, **14**, 36 - 40.
- BARRIOS M.B, BUJÁN A., DEBELLIS S.P., SOKOLOWSKI A.C., BLASÓN A.D., RODRÍGUEZ H.A., LÓPEZ S.C., DE GRAZIA J., MAZO C.R. y GAREY M.C. (2014) Relación biomasa de raíz/biomasa total de soja (*Glycine max*) en dos sistemas de labranza. *Terra Latinoamericana*, **32**, 221 – 230.
- BERNAL J. y ESPINOSA J. (2003) Manual de nutrición y fertilización de pastos. Potash and Phosphate Institute of Canada. 94 pág.

- BIRCHAM J. D. and HODGSON J. (1983) The influence of sward conditions on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous grazing management. *Grass and Forage Science*, **38**, 323 - 331.
- BOLAÑOS A.E.D., ÉMILE J.C. y ENRÍQUEZ Q.J.F. (2010) Les fourrages au Mexique: ressources, valorisation et perspectives de recherche. *Fourrage*, **204**, 277-282.
- BOLIO E., LARA P., MAGAÑA M. y SANGINÉS J. (2006) Producción forrajera del tulipán (*Hibiscus rosa sinensis*) según intervalo de corte y densidad de siembra. *Técnica Pecuaria en México*, **44**, 379 - 388.
- BÖHM W. (1979) Methods of studying root systems. Ecological studies. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. New York. 183 p.
- BORGES J.A., BARRIOS M., SANDOVAL E., BASTARDO Y. y MÁRQUEZ O. (2012) Características físico – químicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado Yuracuy. *Bioagro*, **24**, 121-126.
- BORGES J.A., BARRIOS M., SANDOVAL E., MILLÁN K., SÁNCHEZ D., BASTARDO Y. y MÁRQUEZ O. (2012) Aspectos agronómicos y productivos de *Brachiaria humidicola* (Rendle) en el Estado Yaracuy. *Mundo Pecuario*, **VIII**, 132-138.
- CAMPOS P.D.S., MIRANDA G.C.A., TAVARES C.C.R., BELIGOLI F.P., DIAS M.M. e FERREIRA X.D. (2011) Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **46**, 1176-1183.
- CASIERRA P.F. y AGUILAR A.O.E. (2007) Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, **1**, 246-257.
- CERDAS R. y VALLEJOS E. (2013) Productividad del pasto *Brachipará* (*B. arrecta* x *B. mutica*) con varias dosis de nitrógeno y frecuencias de corte en Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes*, **27**, 28-50.
- CHAPMAN D.F. y LEMAIRE G. (1993) Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. Proceedings. XVII International Grassland Congress. Palmerston, New Zealand. SIR Publ: 95-104.
- CHACÓN C.A. (2005) Evaluación de pasturas de *Brachiaria humidicola* sola y en asociación con *Desmodium ovalifolium*, en sistemas de pastoreo rotativo, al norte del Estado Táchira. IX Seminario de Pastos y Forrajes. AVPA, Venezuela. p. 138
- CRUZ P. y LEMAIRE G. (1996) Diagnosis of the nitrogen status of grass stands. *Tropical Grasslands*, **30**, 166-173.
- CRIPPS R. and ALLAN P. (1997) Effects of N, P and K on ‘Honey Gold’ papaws. *Horticultural Science*, **7**, 62-64.
- CRUZ L.P.I., HERNÁNDEZ G.A., ENRIQUEZ Q.J.F., MENDOZA P.S.I., QUERO C.A.Q. y JOAQUÍN T.B.M. (2011) Desempeño agronómico de genotipos de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickt en el trópico húmedo de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, **34**, 123-131.
- ENRÍQUEZ Q.J.F. y ROMERO M.J. (1999) Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria spp.* en Isla, Veracruz. *Agrociencia*, **3**, 141-148.
- ESPINOSA C.M., MARRUGO J., HURTADO S.M. y REZA G.S. (2012) Producción y pérdida de nitrato en *Brachiaria humidicola* y *Panicum máximum* en el valle del río Sinú. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, **13**, 55-61.

- ETCHEVERS B.J.D., RODRÍGUEZ S.J. y GALVIS S.A. (1991) Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistémico racional. *Terra Latinoamericana*, **9**, 3-10.
- ETCHEVERS B.J.D. y GALVIS S.A. (1994) Diagnóstico de la fertilidad en condiciones de campo: Pautas de fertilización para siembras directas. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. III Congreso Nacional de Siembra Directa, Córdoba, Argentina.
- FAGUNDES J.L., FONSECA D., MISTURA C., MORAIS R., VITOR C.M.T., GOMIDE J.A. y COSTA L. (2006) Características morfogênicas e estruturais do capimbraquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **35**, 21-29.
- FAJEMILEHIN O.K., BABAYEMI O.J. and FAGBUARO S.S. (2008) Effect of anhydrous magnesium sulphate fertilizer and cutting frequency on yield and chemical composition of *Panicum máximum*. *African Journal of Biotechnology*, **7**, 907-911.
- FERNÁNDEZ J.L., BENÍTEZ D.E., GÓMEZ I., TANDRON I. y RAY. I.J. (2000) Efecto de la edad de rebrote en el rendimiento de *Brachiaria purpurascens* vc. aguada en el Valle del Cauto en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **34**, 267.
- FERNÁNDEZ J.L., BENÍTEZ D.E., GÓMEZ I., CORDOVÍ E. and LEONARD I. (2001) Growth dynamics of *Brachiaria radicans* cv. Tanner under edaphic and climatic conditions of Cauto valley in Granma province. *Cuban Journal Agricultural Science*, **35**: 375.
- GARCÍA E. (2004) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 90 pág.
- GARCEZ N.A., NASCIMENTO J.D. e REGAZZI A.J. (2002) Respostas morfogênicas e estruturais de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **31**, 1890-1900.
- GIBSON S.I. (2005) Control of plant development and gene expression by sugar signaling. *Plant Biology*, **8**, 93-102.
- HERNÁNDEZ T., VALLES B. y CASTILLO E. (1990) Evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras en Veracruz, México. *Pasturas Tropicales*, **12**, 29-33.
- INEGI. (2012) INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. La ganadería bovina en los Estados Unidos Mexicanos: Censo Agropecuario 2007/Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Universidad de Guadalajara.
- JIMÉNEZ O.M.M., GRANADOS Z.L., OLIVA J., QUIROZ V.J. y BARRÓN A.M. (2010) Calidad nutritiva de *Brachiaria humidicola* con fertilización orgánica e inorgánica en suelos ácidos. *Archivos de Zootecnia*, **59**, 561-570.
- JUÁREZ H.J., BOLAÑOS E.D. y REINOSO M. (2004) Contenido de proteína por unidad de materia seca acumulada en pastos tropicales. Época de nortes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **38**, 423-430.
- JUÁREZ H.J y BOLAÑOS A.E.D. (2007) Las curvas de dilución de la proteína como alternativa para la evaluación de pastos tropicales. *Universidad y Ciencia*, **23**, 81-90.
- KÁDÁR I. and RAGÁLYI P. (2012) Mineral fertilization and grass productivity in a long – term field experiment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, **58**, 127-131.
- KOLESNIKOV V. 1971. The root system of fruit plants. Translated from the Russian by L. Aksenova. Mir Publishers. pp. 53-54.

- LOZANO C.M.G., RIVAS P.F. y CASTILLO H.J.E. (2013) Crecimiento de plántulas de *Brachiaria brizantha* en respuesta a la aplicación de hongos micorrizogenos y bacterias diazotróficas. *Pastos y Forrajes*, **36**, 227-232
- MACHADO R. (1996) Dinámica de algunos indicadores morfológicos y estructurales de *Andropogon gayanus* CIAT-621, bajo condiciones de manejo intensivo. Efecto de la época y el año. *Pastos y Forrajes* 19:121
- MACKLON A.E.S., MACKIE D.L.A., SIN A., SHAND C.A. and LYLLI A. (1994) Soil P resources, plant growth and rooting characteristics in nutrient poor upland grasslands. *Plant Soil*, **163**, 257-266.
- MAGALHÄES J.R. and HUBER D.M. (1989) Ammonium assimilation in different plant species as affected by nitrogen form and pH control in solution culture. *Fertilizer Research* **21**, 1-6.
- MANRIQUE U., CARRILLO V., VÁSQUEZ D., RODRÍGUEZ M. y RIVAS E. (1996) Efecto de la fertilización nitrogenada, edad y época de corte sobre el rendimiento de materia seca de *Andropogon gayanus*. *Zootecnia Tropical*, **14**, 149-166.
- MARTÍN P.C. (1998) Valor nutritivo de las gramíneas tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **32**, 1-10.
- MEJÍA H.J. (2002) Consumo voluntario de forraje por rumiantes en pastoreo. *Acta Universitaria*, **12**, 55-63.
- MOGUEL O.E.J. y MOLINA E.M.J.F. (2000) La precipitación pluvial en Tabasco y Chiapas. *Kuxulkab*, **5**, 1-8.
- NEWMAN Y., DELGADO H., ZAMBRANO J. y STHORMES G. (1999) *Zapoteca formosa* (Kunth) H. Hern. subsp. *formosa*: nueva especie forrajera arbustiva natural para Venezuela. I. Estudio de fenología y contenido nutricional. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, **16**, 196 - 203.
- OLIVERA Y., MACHADO R. y DEL POZO P.P. (2006) Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. *Pastos y Forrajes*, **29**,1-13.
- ORTEGA L. y GONZÁLEZ B. (1990) Efecto de la fertilización nitrogenada y frecuencia de corte sobre los rendimientos de materia seca y valor nutritivo del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*, **7**, 217-228.
- PALMA L. D. J., CISNEROS J. D., MORENO E. C. y RINCÓN R. J. A. (2007) Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados - ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 p.
- PASTRANA L. (1994) Respuesta de *Brachiaria decumbens* a la aplicación de dos fuentes de fósforo en un suelo ácido. *Pasturas tropicales*, **16**, 32-35.
- PASTRANA V. I., REZA G. S., ESPINOSA C. M., SUÁREZ P. E. and DÍAZ A. E. (2011) Effect of nitrogen fertilization on nitrous oxide and methane dynamics in *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickert. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, **12**, 134-142.
- REYES P.A., ARANDA I.E., HERNÁNDEZ S.D., BOLAÑOS A.E.D. e Izquierdo R.F. (2009) Producción de materia seca y concentración de proteína en 21 genotipos del pasto humidícola *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. *Universidad y Ciencia*, **25**, 213-224.
- RODRIGUEZ S. J. (1993) La fertilización de los cultivos: un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. Santiago, Chile. 287 p.

- ROJAS H.S., OLIVARES P.J., GUTIÉRREZ S.I., JIMÉNEZ G.R. y AVILÉS N.F. (2011) Producción de materia seca y componentes morfológicos de cuatro cultivares de *Brachiaria* en el trópico. *Avances en Investigación Agropecuaria*, **15**, 3-8.
- SÁNCHEZ M.M. y CARVACHO B.L. (2011) Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, **50**, 171-186.
- SAS. (2009) Statistical analysis system. SAS/STAT. SAS user's guide, 9.3. SAS Intitute Inc. Cary, NC. USA.
- SEMARNAT. (2002) NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-21-SEMARNAT, 2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, 31 de diciembre de 2002. México.
- SILVEIRA M.L., VENDRAMINI J.M.B., SELLERS B., MONTEIRO F.A., ARTUR A.G. and DUPAS E. (2013) Bahiagrass response and N loss from selected N fertilizer sources. *Grass and forage Science*, **70**, 154-160
- SINCLAIR T.R. and HORIE T. (1989) Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. *Crop Science*, **29**, 90-98.
- SOSA R.E.E., CABRERA T.E., PÉREZ R.D. y ORTEGA R.L. (2008) Producción estacional de materia seca de gramíneas y leguminosas forrajeras con cortes en el estado de Quintana Roo. *Técnica Pecuaria México*, **46**, 413-426.
- VÁZQUEZ M.D., POSCHENRIEDER C., CORRALES I. and BARCELÓ J. (1999) Change in apoplastic aluminium during the initial growth response to aluminium by roots of a tolerant maize variety. *Plant Physiology*, **199**, 435-444.
- VELASCO Z.M.E, HERNÁNDEZ G.A., GONZÁLEZ H.V.A., PÉREZ P.J., VAQUERA H.H. y GALVIS S.A. (2001) Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto Ovillo (*Dactylis glomerata* L.). *Técnica Pecuaria México*, **39**, 1-14.
- VELÁSQUEZ J.E. y MUÑOZ R.J. (2006) Producción de forraje de *Brachiaria* híbrido cv. Mulato II solo y asociado con *Arachis pintoii* en suelos de terraza y mesón en el Piedemonte Amazónico Colombiano. *Pasturas Tropicales*, **28**, 26-29.
- VERDECIA D.M., RAMÍREZ J.L., LEONARD I. y GARCÍA F. (2009) Potencialidades agroproductivas de dos cultivares de *Panicum maximum* (vc. Mombasa y Uganda) en la provincia Granma. *Revista electrónica de Veterinaria*, **10**, 1-9.

CAPÍTULO IV. DEMANDA Y REQUERIMIENTO INTERNO DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO DEL PASTO *Brachiaria humidicola* EN RESPUESTA A ÉPOCA DEL AÑO, FERTILIZACIÓN Y FRECUENCIA DE CORTE

Gloria Esperanza De Dios León¹, Catalino Jorge López Collado¹, Armando Guerrero Peña², Eusebio Ortega Jiménez¹, Eduardo Daniel Bolaños Aguilar³ y Alejandro Alonso López¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. ²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Cárdenas, Tabasco, México. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, C. E. Huimanguillo, Huimanguillo Tabasco, México.

4.1 Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar la demanda y requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio del pasto *Brachiaria humidicola* Rendle al ser sometido a tres épocas climáticas, diferentes niveles de fertilización y frecuencias de corte, como información base para establecer dosis de fertilización. Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial con tres repeticiones. Se encontraron diferencias significativas entre épocas del año excepto en requerimiento interno de fósforo (RIP). El mayor requerimiento de nitrógeno (RIN) y de potasio (RIK) se encontraron en la época de nortes con 1.60 y 1.20%, respectivamente. En la época seca y de lluvias se observaron las mayores demandas de nitrógeno (DEM_N) y potasio (DEM_K). Se observaron diferencias significativas en niveles de fertilización excepto para el RIP, demanda de potasio (DEM_P) y la producción de biomasa total (BT). Los mayores RIN y DEM_N fue con la dosis alta (DA) con 1.56% y 158 kg ha⁻¹, respectivamente. El mayor RIK se observó en la DA con 1.24%; mientras que la mayor DEM_K se obtuvo en la DA con 90 kg ha⁻¹. Se encontró diferencia significativa entre las frecuencias de corte excepto en DEM_N, DEM_P y BT. A los 20 días (d) de rebrote se observaron los mayores RIN y RIP con 1.5 y 0.23%, respectivamente; y la mayor DEM_K se obtuvo a los 30 días. Con la información generada es posible establecer una dosis de fertilización para *Brachiaria humidicola* basada en el modelo de balance nutrimental para N, P y K.

Palabras clave: biomasa total, época climática, fertilización de pasto, frecuencia de corte, *Brachiaria humidicola*

DEMAND AND INTERNAL REQUIREMENT OF NITROGEN, PHOSPHORUS AND POTASSIUM OF PASTURE *Brachiaria humidicola* IN RESPONSE TO SEASON OF THE YEAR, FERTILIZATION AND FREQUENCY OF CUTTING

4.2 Abstract

The objective of the present study was to determine the demand and internal requirement of nitrogen, phosphorus and potassium of *Brachiaria humidicola* Rendle pasture when subjected to three climatic seasons, different levels of fertilization and frequencies of cutting, as basic information to establish fertilization doses. The treatments were distributed in a completely randomized design with factorial arrangement with three replicates. Significant differences were found between seasons of the year except for internal requirements of phosphorus (IRP). The higher requirements of nitrogen (IRN) and potassium (IRK) were found in the windy season with 1.20 and 1.60%, respectively. In the dry and rainy season, the greatest nitrogen demands (NDEM) and potassium (KDEM) were observed. Significant differences were observed in fertilization levels except for IRP, potassium demand (PDEM) and total biomass production (TB). The highest IRN and NDEM were in high doses (HD) with 1.56% and 158 kg ha⁻¹, respectively. The highest IRK was observed in the HD with 1.24%; while the highest KDEM was obtained in the HD with 90 kg ha⁻¹. It was found significant difference between the cutoff frequencies (CF) except in NDEM, PDEM and TB. At 20 days (d) of regrowth, were observed the highest IRN and IRP with 1.5% and 0.23%, respectively; and the major DEMK was obtained at 30 days. With the information generated it is possible to establish a fertilization dose for *Brachiaria humidicola* based on the nutritional balance model for N, P and K.

Keywords: total biomass, climatic season, grass fertilization, cutting frequency, *Brachiaria humidicola*

4.3 Introducción

La especie *Brachiaria humidicola* tiene alto potencial productivo en el trópico húmedo mexicano por su alta adaptabilidad a suelos inundados y ácidos de baja fertilidad (Enríquez y Romero, 1999), debido a su alta eficiencia en la extracción de nutrientes del suelo a través de una asociación de micorriza y el sistema radicular (Rodríguez *et al.*, 2006). *B. humidicola* tiene la limitante de que su valor nutritivo es bajo, particularmente en concentración de proteína (Reyes *et al.*, 2009; Juárez *et al.*, 2011) comparado con otras especies de su género. Una de las formas de mejorar el valor nutritivo de los pastos es mediante la aplicación de fertilizantes minerales, principalmente de nitrógeno, fósforo y potasio, con los que también se incrementan los rendimientos de materia seca (Bregliani *et al.*, 2006).

La fertilización mineral es esencial para sostener un sistema de producción, incrementar los rendimientos y mejorar la fertilidad del suelo (Quirós *et al.*, 2014); pero debe conocerse la dosis óptima para evitar aplicaciones innecesarias en altas dosis que conllevan a un negativo impacto ambiental (Mosier *et al.*, 2006). El conocimiento de la demanda y el requerimiento interno de nutrientes del pasto ayuda a precisar la dosis óptima y uso eficiente del fertilizante y manteniendo la productividad de los pastos a través del tiempo (Andrade *et al.*, 2011). La demanda nutrimental de un cultivo es la cantidad de un nutrimento que debe estar presente en los tejidos de la planta en cada etapa fenológica para que no sea un factor restrictivo del crecimiento y rendimiento de la misma (Rodríguez, 1993; Rodríguez *et al.*, 2001; Medina *et al.*, 2010;); y depende de la biomasa aérea que puede producir un cultivo y de la concentración óptima del nutrimento contenido en ella (Escalona y Pire, 2008; Rodríguez, 1993). El requerimiento interno es la concentración crítica mínima del elemento en la biomasa total al momento de la cosecha de la planta, con una nutrición óptima; ésta función es válida para un mismo periodo de crecimiento de los cultivos con una tasa de crecimiento constante y una misma eficiencia fotosintética (Rodríguez, 1993). La información básica para establecer dosis de fertilización en pastos tropicales en el sureste de México es mínima. El objetivo del presente estudio fue determinar la demanda y requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio del pasto *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick en tres épocas climáticas, bajo diferentes niveles de fertilización y frecuencias de corte.

4.4 Materiales y métodos

4.4.1 Área de estudio

El experimento se estableció en el ejido Posa Redonda segunda sección del municipio de Cárdenas, Tabasco México, cuyas coordenadas son 18° 14' de LN y 93° 29' de LO y altitud de 10 msnm. García (2004) indica que el sitio cuenta con un clima Am (f) cálido húmedo con lluvias en verano y parte del otoño; la precipitación y temperatura promedio anuales son de 2151 mm y 25.8°C, respectivamente. El suelo pertenece a la unidad Vertisol (Palma *et al.*, 2007). En el Cuadro 4.1 se presentan las características físicas y químicas del suelo donde se estableció el experimento.

Cuadro 4.1. Análisis químico y físico del suelo del sitio experimental, Ranchería Posa Redonda, 2da. Sección, Cárdenas Tabasco, México.

pH	CE	MO	Nt	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CIC	Clase textural
1:2	(dS m ⁻¹)	-----%-----		(mg kg ⁻¹)	-----		(cmol kg ⁻¹)	-----		
5.5	0.04	2.5	0.15	5.3	0.16	7.5	3.9	0.16	16.8	Franco arcilloso

Fuente: NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002).

CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, Nt: nitrógeno total, P: fósforo disponible, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Na: sodio, CIC: capacidad de intercambio catiónico

4.4.2 Especie evaluada

Se evaluó el pasto Humidicola (*Brachiaria humidicola* Rendle) en pradera establecida. Antes de iniciar las evaluaciones, se asignaron 45 días de reposo para posteriormente realizar el corte de homogeneización. En la pradera fueron establecidas 27 parcelas, producto de la combinación de 3 niveles de fertilización x 3 frecuencias de corte y tres repeticiones, donde se distribuyeron los tres niveles de fertilización combinadas con las tres frecuencias de corte. La unidad experimental consistió en una parcela útil de 4 m² con separación de 1 metro entre parcelas para eliminar el efecto de borde.

4.4.3 Periodos de evaluación

La evaluación se realizó durante el período del 2 de enero del 2015 a 2 de enero del 2016, en las tres épocas climáticas definidas en la zona: época Seca (15 de febrero al 15 de junio), Lluvias (15 de junio al 15 de octubre) y Nortes (15 de octubre al 15 de febrero), de acuerdo con Moguel y Molina (2000). Se evaluaron tres frecuencias de corte en cada una de las épocas del año (20, 30 y

40 días de rebrote). Las condiciones climatológicas presentes en el sitio durante el periodo de estudio se presentan en la Figura 4.1.

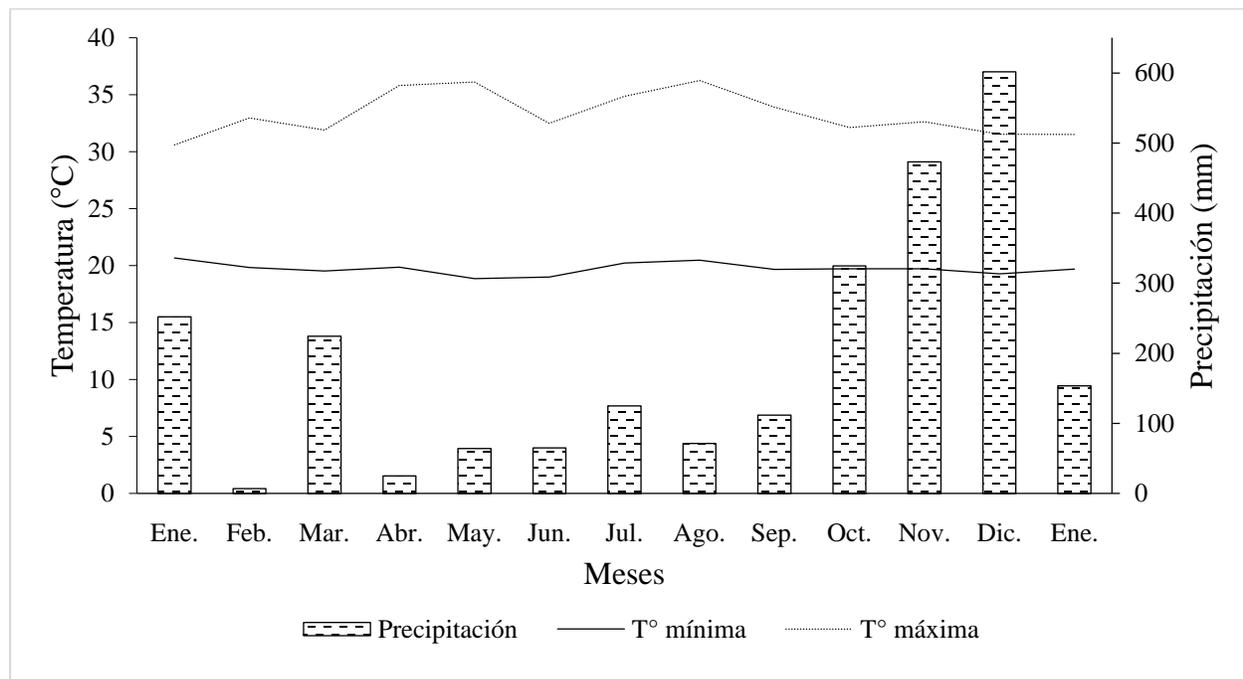


Figura 4.1. Condiciones climatológicas presentes durante el periodo experimental en La Ranchería Posa redonda 2da. Sección Cárdenas Tabasco, México (enero 2015 a enero del 2016)

4.4.4 Tratamientos y fertilización

Los tratamientos resultaron de la combinación de las tres frecuencias de corte con los tres niveles de fertilización para cada época. Los niveles de fertilización expresados en $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, fueron: T1 testigo (00-00-00), T2 dosis normal de fertilizante (200-50-100, DN) y T3 dosis alta de fertilizante ((400-100-200, DA) cada uno con tres repeticiones. Las fuentes de fertilizante fueron: urea, superfosfato triple y cloruro de potasio para N, P y K, respectivamente aplicados al voleo.

4.4.5 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x3x3 (tres épocas climáticas, tres frecuencias de corte y tres niveles de fertilización) con 3 repeticiones. Los datos se analizaron con el programa SAS versión 9.0 y se realizaron en variables que resultaron comparaciones de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

4.4.6 Muestreo y variables de respuesta

Para obtener la biomasa aérea, se cosechó la parcela cortando el pasto al ras del suelo; y para la biomasa radical, se tomó un bloque de suelo de 25 cm x 25 cm x 25 cm en de cada parcela,

método propuesto por Kolesnikov (1971) y el material cosechado fue lavado, secado y molido para su posterior análisis. Las variables fueron estimadas de la siguiente manera: requerimiento interno (RI, %) de N, P y K mediante la fórmula $RI = (\text{nutriente absorbido} / \text{biomasa total}) * 100$ (Rodríguez, 1993); el nutriente absorbido (kg ha^{-1}) fue calculado con la fórmula: $(\text{biomasa seca} * \text{porcentaje del nutriente}) / 100$; demanda (kg ha^{-1}) de N, P y K = $(\text{biomasa total} * \text{requerimiento interno}) / 100$, fórmula propuesta por Rodríguez (1993) y la biomasa total (BT, kg ha^{-1}): suma de la biomasa aérea con la biomasa radical. La determinación de nitrógeno del material vegetal se realizó mediante el método micro-Kjeldahl modificado para incluir nitratos; el fósforo (P) y el potasio (K) medidos en el digestado con $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$; la cuantificación del P con espectrofotómetro UV-visible y el de K fue cuantificado por espectrometría de absorción atómica.

4.5 Resultados y discusión

4.5.1 Efecto de épocas climáticas

Requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio. Se observaron diferencias estadísticas en RIN y RIK ($p < 0.0001$), excepto en RIP ($p > 0.9439$) dentro de épocas (Cuadro 4.2). La mayor concentración de nitrógeno fue en la época de Nortes y la menor en Lluvias con diferencia del 33%. Vieyra *et al.* (2013) y Muñoz *et al.* (2014) reportan variaciones en RI de minerales en forrajes tropicales dentro de épocas; Guenni *et al.* (2002) realizaron un experimento bajo simulación de lluvias, observaron un RIN en *B. humidícola* de 1.11%. Jarma *et al.* (2012), Muñoz *et al.* (2014) y Calvache *et al.* (2015) evaluando gramíneas del género de las *Brachiarias* reportan RIP promedio de $0.17 \pm 0.05\%$ en la época seca, $0.18 \pm 0.03\%$ en Lluvias y 0.21% en Nortes; estos son datos inferiores a los del presente estudio, debido a que sus muestreos fueron realizados en la etapa de floración, por lo que ya es un pasto maduro. El RIK fue mayor en la época de nortes y menor en la época seca con una diferencia del 23%. Se puede atribuir este comportamiento a cambios en la humedad del suelo entre épocas ya que las plantas absorben más potasio cuando el suelo está húmedo, al haber una mejor difusión del mismo a la raíz (Roldán *et al.* (2004). Estos resultados difieren de los obtenidos por Vieyra *et al.* (2013) y Morales *et al.* (2007) quienes reportan los mayores requerimientos de potasio en época de baja precipitación, esto debido a que el promedio de precipitación anual de los sitios de estudio es de 1000 mm, ocurriendo menos lixiviación del nutriente, comparado a nuestras condiciones de estudio. Muñoz *et al.* (2014)

evaluaron tres especies de *Brachiarias*, reportan un promedio de RIK de 1.39, 1.96 y 1.73%, con respecto a las épocas Seca, Lluvias y Nortes, respectivamente; estos datos son superiores a los encontrados en el presente estudio debido a que el estudio fue en un suelo diferente.

Cuadro 4.2. Variables evaluadas de *B. humidicola* en tres épocas climáticas en Tabasco, México

ÉPOCA	RIN	RIP	RIK	DEM _N	DEM _P	DEM _K	BT
	%			kg ha ⁻¹			
SECA	1.29 ^b	0.21 ^a	0.98 ^c	144 ^a	20 ^a	73 ^b	11846 ^a
LLUVIAS	1.07 ^c	0.20 ^a	1.18 ^b	143 ^a	22 ^a	106 ^a	13133 ^a
NORTES	1.60 ^a	0.21 ^a	1.28 ^a	97 ^b	12 ^b	57 ^c	7598 ^b

Valores con letras iguales dentro de cada columna no son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$)

RIN: requerimiento interno de nitrógeno, RIP: requerimiento interno de fósforo, RIK: requerimiento interno de potasio, BT: biomasa total, DEM_N: demanda de nitrógeno, DEM_P: demanda de fósforo, DEM_K: demanda de potasio.

Demanda de nitrógeno, fósforo y potasio. Con los datos de requerimiento interno y biomasa total fue estimada la demanda en las tres épocas climáticas. El ANOVA mostró diferencias significativas (Cuadro 4.2) entre épocas ($p < 0.0001$). Las mayores demandas de nitrógeno y potasio se observaron en épocas de seca y lluvias y la menor en nortes (Cuadro 4.2), mostrando una relación directamente proporcional a la producción de biomasa total. La mayor producción de biomasa total en época Seca se presentó debido a que la temperatura favorece los procesos del metabolismo celular incrementando la absorción de nutrientes (Yepes y Silveira, 2011). Silveira y Cardoso (2004) mencionan la importancia de las micorrizas arbusculares ya que aumentan la capacidad de la planta para absorber nutrientes, especialmente aquellos con poca movilidad en el suelo, efecto más pronunciado en condiciones de baja disponibilidad de fósforo (Cuadro 4.1), como ocurre en la mayoría de los suelos de las regiones tropicales. Los resultados obtenidos difieren a los de Rao *et al.* (1998) quienes observaron la menor DEM_N en diez genotipos de *Brachiaria* en época seca comparada con lluvias. Salas y Cabalceta (2009) y Calvache *et al.* (2015) reportan demanda de *Brachiarias* en seca de 128 ± 29 kg ha⁻¹. Calvache *et al.* (2015) en cinco especies de *Brachiaria* encontraron demanda promedio de P de 16.3 kg ha⁻¹ en la época Seca, valor menor al del presente estudio. La mayor DEM_K se encontró en Lluvias y la menor en Nortes (Cuadro 4.2) con diferencia del 46%. Borges *et al.* (2005) mencionan que el movimiento de los nutrimentos hacia las raíces ocurre por difusión o flujo de masas y el contenido de agua está muy relacionado con el abastecimiento del potasio; en Lluvias se presentan temperaturas que

oscilan los 25°C que benefician la absorción de este elemento debido a una mejor difusión en el suelo. Salas y Cabalceta (2009) en Xaraés (*B. brizantha*) y Calvache *et al.* (2015) en *B. decumbens* reportan demanda de $133.6 \pm 25 \text{ kg ha}^{-1}$ de K.

Biomasa total. El ANOVA mostró diferencias estadísticas entre épocas del año ($p < 0.0001$). Las mayores producciones de biomasa total se encontraron en seca y lluvias y la menor en nortes (Cuadro 4.2). En este experimento se consideró la evaluación de la raíz del pasto, donde se registraron mayores rendimientos de biomasa las épocas Seca y de Lluvias (datos no publicados). La raíz tiene como función la búsqueda de agua y de nutrientes para absorberlos y transportarlos a la planta, y dado que en la época Seca es elevado el déficit hídrico la raíz requiere extenderse para obtener los nutrientes (Cabezas y Sánchez, 2008), y en consecuencia, contribuye a incrementar la producción de biomasa total. La temporada de lluvias es la mejor para la producción de cualquier cultivo en la región tropical, apoyada por la distribución de precipitación y temperatura (Figura 1). Rincón *et al.* (2007) mencionan que las pasturas tropicales tienen mayor capacidad para aprovechar la radiación solar; ante esto, alcanzan su máxima producción con la presencia de mayor área foliar, lo que permite la intercepción de niveles altos de intensidad lumínica. Durante el estado vegetativo, las temperaturas bajas de la época de Nortes pueden dañar los componentes fotosintéticos de la hoja y reducir la tasa de asimilación de dióxido de carbono, produciéndose inhibición de la fotosíntesis y de la respiración, así como una reducción de la tasa de crecimiento (Escaso *et al.*, 2010). Lo anterior, aunado a las menos horas luz y al exceso de agua en el suelo, se afecta la fotosíntesis y el crecimiento de las especies forrajeras (Enríquez y Romero, 1999). Cruz *et al.* (2011) evaluando 24 genotipos de *Brachiaria* encontraron producciones de biomasa promedio, sin considerar la raíz, de 11275, 1167 y 1112 kg ha^{-1} MS en Lluvias, Nortes y en la época seca, respectivamente, siendo superiores los resultados de nuestro estudio en las tres épocas, por incluir la biomasa radical

4.5.2 Efecto del nivel de fertilización

Requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio. Se observó diferencia estadística en RIN y RIK ($p < 0.0001$) excepto en RIP ($p < 0.7163$). La mayor concentración de nitrógeno fue en la dosis alta y la menor en el testigo con una diferencia porcentual del 37% (Cuadro 4.3). Lo anterior se debe a que la planta aprovechó el fertilizante aplicado y su efecto se observó en la concentración de nutrientes dentro de la planta (Costa *et al.*, 2009; Sabin *et al.*, 2008). Jácome y

Saquilanda (2008) evaluaron la fertilización del pasto Mulato I y Xaraés y reportan concentraciones de nitrógeno de 2.51 y 2.42%, respectivamente, datos superiores a los del presente estudio. Navajas (2011) en dos *Brachiarias* reporta 2.1% en tratamiento fertilizado y 1.4% en el testigo. Los resultados de RIP son similares a los de Ortega y González (1990), Borges *et al.* (2012), Leanne *et al.* (2015), y González *et al.* (2015) quienes no observaron incremento de la concentración de fósforo en un experimento de fertilización de forrajes. La concentración de fósforo en la planta, aunque varía entre las distintas partes de ella, es relativamente constante al momento de la madurez fisiológica, siempre y cuando no haya limitaciones de manejo (Rodríguez, 1993; Etchevers *et al.*, 1991). Etchevers y Galvis (1994) mencionan que en términos generales, en praderas mixta y natural se ha observado RIP de 0.20 y 0.30 %, respectivamente. Los mayores RIK se observaron en tratamientos fertilizados resultando iguales, y el menor en el testigo (Cuadro 4.3), lo que muestra el beneficio de añadir fertilizante al pasto pero hasta la dosis normal recomendada. Al respecto, Rincón (2011) no encontró diferencia estadística en la concentración de potasio entre tratamientos testigo y fertilizado al evaluar el pasto *B. decumbens* (chontalpo o señal). Navajas (2011) en dos *Brachiarias* reporta 1.7% en tratamiento fertilizado y 1.2% en el testigo.

Demanda de nitrógeno, fósforo y potasio. Con los datos de requerimiento interno y biomasa total fue estimada la demanda en los tres niveles de fertilización. La demanda de nutrientes presentó diferencias estadísticas en DEMN ($p < 0.0001$) y DK ($p > 0.0034$), excepto en DEMP ($p > 0.0740$) (Cuadro 4.3). El ANOVA mostró que la mayor DEMN se encontró en la DA de fertilización y la menor en el testigo con diferencia del 41%, observando una demanda lineal al aumentar dosis de fertilización. La mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo, por efecto de los tratamientos de fertilización, se reflejó en una mayor extracción por el pasto; esto mismo fue observado por Aparecida *et al.* (2010) en pasto *B. brizantha*. Luce *et al.* (2016) en pasto *B. arrecta* observaron una demanda de 40.3 kg ha^{-1} comparado con el testigo (11.6 kg ha^{-1}), promedios inferiores a los del presente estudio. Bernal y Espinosa (2003) mencionan que las *Brachiarias* demandan aproximadamente $63 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de N. Una característica de la demanda de nutrientes es que una vez que el suministro de nutrientes externos alcanza el nivel donde se satisface la demanda, la concentración de nutrientes del tejido se estabiliza, exhibiendo poco o ningún cambio (Nissen, 1986). En el caso de fósforo, no hubo diferencias en la demanda debido a que *B. humidicola* puede crecer y desarrollarse bien en suelos muy ácidos ($\text{pH} < 0.5$) con baja

disponibilidad de fósforo, por su capacidad para absorber el elemento del suelo, incluso en áreas de mínima disponibilidad del mismo. Luce *et al.* (2016) y González *et al.* (2015) en *Brachiarias* reportan demandas de fósforo en Lluvias de 17 ± 6 kg ha⁻¹ y 6 ± 2 kg ha⁻¹ en la época seca, inferior a lo registrado en la presente investigación, debido a que el sitio de estudio en sus investigaciones presentó menores concentración de este elemento en el suelo (2.1 mg kg⁻¹) comparado al sitio de nuestro estudio (5.3 mg kg⁻¹). Bernal y Espinosa (2003) mencionan que las *Brachiarias* demandan aproximadamente 14 kg ha⁻¹ año⁻¹ de fósforo; lo cual es menor a lo encontrado en esta investigación en los tres tratamientos. Las mayores DEMK, se encontraron en tratamientos fertilizados y la menor en el testigo (Cuadro 4.3). De manera generalizada, Bernal y Espinosa (2003) mencionan que las *Brachiarias* demandan aproximadamente 69 kg ha⁻¹ año⁻¹ de potasio, cantidad menor a lo observado en este trabajo.

Cuadro 4.3. Variables evaluadas de *B. humidicola* con diferentes niveles de fertilización en Tabasco, México

	RIN	RIP	RIK	DEMN	DEMP	DEMK	BT
FERT.	(%)			(kg ha ⁻¹)			
T	0.99 ^c	0.21 ^a	1.04 ^b	94 ^c	16 ^a	64 ^b	9917 ^a
DN	1.41 ^b	0.20 ^a	1.17 ^a	132 ^b	18 ^a	81 ^a	10966 ^a
DA	1.56 ^a	0.21 ^a	1.24 ^a	158 ^a	20 ^a	90 ^a	11694 ^a

Valores con letras iguales dentro de cada columna no son diferentes estadísticamente ($p\leq 0.05$)

FERT: fertilización, T: Testigo (00-00-00), DN: Dosis normal (200-50-100 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N, P y K, respectivamente), DA: Dosis alta (400-100-200 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N, P y K, respectivamente), RIN: requerimiento interno de nitrógeno, RIP: requerimiento interno de fósforo, RIK: requerimiento interno de potasio, BT: biomasa total, DEMN: demanda de nitrógeno, Demp: demanda de fósforo, DEMK: demanda de potasio.

Biomasa total. No se encontró diferencia estadística significativa ($p>0.0981$) en la BT por efecto de los niveles de fertilización (Cuadro 4.3). Los datos de esta investigación difieren a los encontrados por Lara *et al.* (2005), Aparecida *et al.* (2010), Rincón (2011), Dalazen *et al.* (2011) y Cerdas y Vallejos (2013), y quienes han observado una respuesta lineal en la producción de biomasa al aplicar niveles de fertilización; pero son similares a los de Rahman *et al.* (2008) quienes observaron que el rendimiento de BT de algunas gramíneas tropicales había alcanzado su punto máximo en la aplicación de N de 300 kg ha⁻¹ MS; y Lagos (2009) en *B. brizantha* en diferentes niveles de fertilización incluyendo un testigo, no encontró diferencia estadística.

4.5.3 Efecto de la frecuencia de corte

Requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio. Fueron identificadas diferencias estadísticas dentro FC en RIN y RIK ($p < 0.0001$), y en el RIP ($p < 0.0002$) de acuerdo con el ANOVA (Cuadro 4.4). La mayor concentración de nitrógeno se encontró a los 20 y las menores a los 30 y 40 d de rebrote. Es conocido que la concentración de N disminuye a medida que avanza la edad de la planta sobre todo por efecto de dilución de nitrógeno (Cruz y Lemaire, 1996; Juárez *et al.*, 2011). Rodríguez (1993) señala que los RIN son mayores en cultivos que han sido cosechados antes de alcanzar su producción máxima y su madurez fisiológica y 20 días de rebrote es probablemente una corta edad del pasto. La disminución continúa hasta la madurez, momento en que el N es traslocado de las hojas a los tejidos de reservas (base de tallos y raíces); este comportamiento se debe a que inicialmente se estimula la actividad de los microorganismos del suelo, que fijan el N incorporado con las distintas fuentes (Ma *et al.*, 1999). Pérez *et al.* (2004) muestran que el RIN en pasto *Brachiaria* híbrido se incrementa hasta la cuarta semana de edad, posteriormente empieza a disminuir. Navajas (2011) evaluando dos *Brachiaris* muestra $2.1 \pm 0.14\%$ a los 35 d comparado con $1.9 \pm 0.07\%$ a los 70 d de rebrote. En RIP, el mayor se observó a los 20 y los menores a los 30 y 40 días de rebrote (Cuadro 4.4). De acuerdo con Thomas (2013) el P disminuye con la edad de la planta principalmente porque abunda más en las partes jóvenes y en crecimiento (brotes y hojas) las cuales son los órganos de mayor demanda. La variación del P cuando se incrementa la edad está relacionada al efecto de dilución producido por el desarrollo vegetativo, así como a la posible disminución de la capacidad de la planta para absorber nutrientes (González *et al.*, 1982). Ortega y González (1990) y Vega *et al.* (2006) muestran resultados en evaluación de gramíneas donde el P disminuye con el aumento de la edad de la planta. Ramírez *et al.* (2014) en *B. decumbens* observaron RIP de 0.50, 0.30 y 0.28% a los 30, 45 y 60 d, respectivamente y con una disminución conforme aumentan los días de rebrote; datos que son superiores a los observados en este estudio.

Por su parte Jarma *et al.* (2012) mencionan que *B. humidicola* contiene RIP de 0.17 y 0.16% a los 40 y 60 d, respectivamente. El mayor RIK se encontró a los 30 d y el menor a los 40 d de rebrote (Cuadro 4.4). Vázquez y Torres (2006) indican que la concentración de K disminuye a mayor edad de la planta, principalmente porque están más concentrados en las partes jóvenes y en crecimiento, especialmente en los brotes, hojas jóvenes y extremos radicales. Jarma *et al.* (2012) mencionan que *B. humidicola* presenta un RIK de 0.85 y 1.79% a los 40 y 60 d, respectivamente;

Navajas (2011) evaluando dos *Brachiarias* reporta concentración de potasio de 2.3 y 1.25% a los 35 y 70 d de rebrote, respectivamente.

Demanda de nitrógeno, fósforo y potasio. Con los datos de requerimiento interno y biomasa total fue estimada la demanda en las tres frecuencias de corte; y no se encontró diferencia estadística en DEMN ($p < 0.6439$) y en DEMP ($p > 0.6233$), solo en DK ($p < 0.0008$) (Cuadro 4.4). Rodríguez (1993) hace referencia que la demanda de nitrógeno en una pradera natural es de 45 kg ha⁻¹, dato inferior al del presente estudio. Se observa que la demanda está directamente relacionada con el rendimiento de BT, a lo que Rao *et al.* (1998) y Rodríguez (1993) indican que a mayor acumulación de materia seca se presenta mayor demanda de nutrientes. Consideramos que no hubo diferencia en la DEMN debido a que estudiamos un menor intervalo de corte comparado con los trabajos anteriormente mencionados, lo que no fue posible observar una diferencia significativa. La mayor demanda de potasio se observó a los 30 d de rebrote y las menores a los 20 y 40 d (Cuadro 4.4). De los 20 a 30 d se incrementa la demanda de K en lo cual esperaríamos incremento de la biomasa total, pero disminuyó a los 40 d pudiendo ser a que a ésta edad por tener la planta mayor madurez demanda menos K. Las bajas demandas de K registradas en el presente trabajo comparadas con resultados de Calvache *et al.* (2015) en evaluación de cinco *Brachiarias* podrían atribuirse a condiciones meteorológicas como altas temperaturas y condiciones de sequía observadas durante el periodo de experimentación del presente estudio, que reducen la demanda y absorción de nutrientes por la planta y posiblemente la movilidad de nutrientes a la estructura inferiores (Kering *et al.*, 2011).

Cuadro 4.4. Variables evaluadas de *B. humidicola* en tres frecuencias de corte en Tabasco, México

FRECUENCIA DE CORTE (d)	RIN	RIP	RIK	DEM N	DEM P	DEM K	BT
	%			(kg ha ⁻¹)			
20	1.50 ^a	0.23 ^a	1.13 ^b	129 ^a	18 ^a	67 ^b	10175 ^a
30	1.25 ^b	0.19 ^b	1.26 ^a	132 ^a	19 ^a	95 ^a	11797 ^a
40	1.20 ^b	0.20 ^b	1.05 ^c	122 ^a	17 ^a	74 ^b	10604 ^a

Valores con letras iguales dentro de cada columna no son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$)

d: días de rebrote, RIN: requerimiento interno de nitrógeno, RIP: requerimiento interno de fósforo, RIK: requerimiento interno de potasio, BT: biomasa total DEMN: demanda de nitrógeno, DEMP: demanda de fósforo, DEMK: demanda de potasio.

Biomasa total. No se encontró diferencia estadística ($p > 0.1266$) por efecto de la FC (Cuadro 4.4). Olivera *et al.* (2006) manifiestan que las gramíneas (*Poaceas*) se establecen bien en suelos pobres en materia orgánica, además de considerar la alta producción de raíz de esta especie (datos no publicados). El alto potencial de producción las especies forrajeras de los ciclos fotosintéticos C_4 se han atribuido a la alta eficiencia del uso del agua y tolerancia a la alta insolación y temperaturas elevadas (Rodrigues y Rodrigues, 1987). Nuestros resultados difieren a los encontrados por Avellaneda (2008), Cerdas y Vallejos, 2013, Rincón *et al.* (2008) y Homen *et al.* (2010) quienes reportan sí producciones de biomasa mayores conforme avanza la edad de la planta; es probable que en el presente experimento no se encontró tal diferencia por influencia de la raíz. Fernández *et al.* (2001) en *Brachiaria radicans* (tanner) reportan producciones de 1200, 1800 y 2200 t ha⁻¹ MS a los 21, 28 y 35 días, respectivamente. Benítez *et al.* (2007) encontraron 1800 y 1600 t ha⁻¹ a los 35 y 49 días de rebrote, respectivamente en pasto Humidícola. Rodríguez (1993) menciona que en praderas mixtas y naturales los rendimientos esperados son de 4.0 y 2.0 t ha⁻¹ MS, respectivamente, todos son datos inferiores a los de este estudio considerando que en esos trabajos no incluyeron la biomasa radical y las condiciones edafoclimáticas son distintas a la del presente experimento.

4.6 Conclusiones

Se generaron los valores de la demanda y requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio en pasto Humidicola (*Brachiaria humidicola* Rendle) en condiciones de campo en el trópico húmedo mexicano. Las variables evaluadas en general, presentaron diferente comportamiento dentro de las épocas climáticas, el RIN en Nortes fue 33% mayor que en época de Lluvias y el RIK en Nortes fue 23% superior comparado con la época de Seca y la DEMP fue 45% mayor en la época de Seca y Lluvias respecto a Nortes. Se observó respuesta de las variables a la fertilización con urea, superfosfato triple y cloruro de potasio; el RIN y la DEMN fueron 37 y 41% superior, respectivamente con la DA comparado con el tratamiento testigo. En el RIK y DEMK se presentaron mayor 13 y 26%, respectivamente comparados los tratamientos fertilizados respecto al testigo. En la mayoría de las variables estudiadas, se mostró influencia de las frecuencias de corte; el RIN y RIP se observaron 19 y 17%, respectivamente mayores a los 20 días respecto a los 30 y 40 días de rebrote; así mismo, el RIK fue 17% superior a los 30 días comparado con los 40 días y la DEMK se observó 25% por encima a los 30 días comparado con

las otras dos frecuencias de corte. En términos generales, *B. humidicola* observó mejor comportamiento en época de Nortes, en los tratamientos fertilizados, y el corte entre 20 y 30 días de rebrote, es la mejor opción para mejor aprovechamiento agronómico del pasto.

Agradecimientos

Agradecemos al MC. Francisco Meléndez Nava por las facilidades otorgadas en el rancho “Santa Rosa” para el desarrollo de la fase experimental de este estudio; al Laboratorio Agroindustrial, Suelo, Planta y Agua y Laboratorio de Instrumentación Analítica del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por el apoyo para la realización de los análisis químicos.

4.7 Referencias

- ANDRADE T.F., BONOMO P., PIRES V., AURELIANO J., FERREIRA DaS.F., DEITOS F.D. e SOUTO DaH.D. (2011) Produção anual e qualidade de pastagem de *Brachiaria decumbens* diferida e estratégias de adubação nitrogenada. *Acta Scientiarum*, **33**, 241-248.
- APARECIDA DE P.C.K., PEREIRA DE O.I., DA COSTA S.E., DE MENEZES T.S.F., SOUSA C.M. e RIBEIRO R.C. (2010) Extração de nutrientes pela fitomassa de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob doses de nitrogênio. *Ciência Animal Brasileira*, **11**, 307-314.
- AVELLANEDA C.J., CABEZAS G.F., QUINTANA Z.G., LUNA M.R., MONTAÑEZ V.O., ESPINOZA G.I., ZAMBRANO M.S., ROMERO G.D, VANEGAS R.J. y PINARGOTE M.E. (2008) Comportamiento agronómico y composición química de tres variedades de *Brachiaria* en diferentes edades de cosecha. *Ciencia y Tecnología*, **1**, 87-94.
- BENÍTEZ D., FERNÁNDEZ J.L., RAY J., RAMÍREZ A., VERENA T., TANDRÓN I., DÍAZ M. y GUERRA J. (2007) Factores determinantes en la producción de biomasa en tres especies de pastos en sistemas racionales de pastoreo en el Valle del Cauto, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Animal*, **41**, 231-235.
- BERNAL J. y ESPINOSA J. (2003) Manual de nutrición y fertilización de pastos. International Plant Nutrition Institute. Quito Ecuador. 100 pág.
- BORGES J.A., BARRIOS M., ESCALONA O. (2012) Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre variables agroproductivas y composición química del pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). *Zootecnia Tropical*, **30**, 12-25.
- BREGLIANI M.M., TEMMINGHOFF E.J.M., VAN RIEMSDIJK W.H. and HAGGI E.S. (2006) Nitrogen fractions in arable soils in relation to nitrogen mineralization and plant uptake. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **37**, 1571-1586.
- CABEZAS M. y SÁNCHEZ C.A. (2008) Efecto de las deficiencias nutricionales de la materia seca en plantas de vivero de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey). *Agronomía Colombiana*, **26**, 197-204.
- CALVACHE U.M., CEVALLOS L.V.C. y SAQUICELA R.R.A. (2015) Exportación de nutrientes de genotipos de *Brachiaria* en el trópico húmedo. Tesis de Licenciatura, Santo Domingo de los Tsáchila Ecuador. 29 pág.
- CERDAS R. y VALLEJOS E. (2013) Productividad del pasto Brachipará (*B. arrecta* x *B. mutica*) con varias dosis de nitrógeno y frecuencias de corte en Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes*, **27**, 28-50.

- COSTA K., OLIVEIRA I., FAQUIN V., SILVA G. e SEVERIANO E. (2009) Produção de massa seca e nutrição nitrogenada de cultivares de *Brachiaria brizantha* (A. Rich) Stapfsob doses de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, **33**, 1578-1585.
- CRUZ P. y LEMAIRE G. (1996) Diagnosis of the nitrogen status of grass stands. *Tropical Grasslands*, **30**, 166-173.
- CRUZ L.P.I., HERNÁNDEZ G.A., ENRIQUEZ Q.J.F., MENDOZA P.S.I., QUERO C.A.Q. y JOAQUÍN T.B.M. (2011) Desempeño agronómico de genotipos de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickt en el trópico húmedo de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, **34**, 123-131.
- DALAZEN C.D., ZOZ T., KRUTZMANN A., UHLEIN A., MESQUITA E.E., ABBADO N.M. e RABELLO DE O.P.S. (2011) Produção de forragem, características estruturais e eficiência de utilização do nitrogênio em forrageiras tropicais sob adubação nitrogenada. *Ciências Agrárias*, **32**, 1637-1647.
- ENRÍQUEZ Q.J.F. y ROMERO M.J. (1999) Tasa de crecimiento estacional a diferentes edades de rebrote de 16 ecotipos de *Brachiaria* spp. en Isla, Veracruz. *Agrociencia*, **3**, 141-148.
- ESCALONA A. y PIRE R. (2008) Crecimiento y extracción de N-P-K por plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) abonadas con estiércol de pollo en Quíbor, estado Lara. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*, **25**, 243-260.
- ESCASO S.F., MARTÍNEZ G.J.L. y PLANELLÓ C.M.R. (2010) Fundamentos básicos de fisiología vegetal y animal. Ed. Prentice Hall. 264 pág.
- ETCHEVERS B.J.D., RODRÍGUEZ S.J. y GALVIS S.A. (1991) Generación de recomendaciones de fertilización mediante un enfoque sistémico racional. *Terra*, **9**, 3-10.
- ETCHEVERS B.J.D. y GALVIS S.A. (1994) Diagnóstico de la fertilidad en condiciones de campo: Pautas de fertilización para siembras directas. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. En: III Congreso Nacional de Siembra Directa, Córdoba, Argentina.
- FERNÁNDEZ J.L., BENÍTEZ D.E., GÓMEZ I., CORDOVÍ E. y LEONARD I. (2001) Dinámica de crecimiento del pasto *Brachiaria radicans* cv Tanner en las condiciones edafoclimáticas del valle del Cauto en la provincia Granma. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **35**, 399-405.
- GARCÍA E. (2004) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 90 p.
- GONZÁLEZ S., HERRERA R.S. and SÁNCHEZ M. (1982) Effect of nitrogen fertilization and regrowth age on the mineral composition of *Cynodon nlemfuensis*. *Cuban Journal of Agriculture Science*, **16**, 297-304.
- GONZÁLEZ C.P.J., RAMÍREZ P.J.F., MORGAN R.O., RIVERA E.R. y PLANA L.L.R. (2015) Contribución a la inoculación micorrízica arbuscular a la reducción de la fertilización fosfórica en *Brachiaria decumbens*. *Cultivos Tropicales*, **36**, 135-142.
- GUENNI O., DOUGLAS M. and ZDAVKO B. (2002) Responses to drought of five *Brachiaria* species. I. Biomass production, leaf growth, root distribution, water use and forage quality. *Plant and soil*, **243**, 229-241.
- HOMEN M., ENTRENA I. y ARRIOJAS L. (2010) Biomasa y valor nutritivo de tres gramíneas forrajeras en diferentes períodos del año en la zona de bosque húmedo tropical, Barlovento, estado Miranda. *Zootecnia Tropical*, **28**, 115-127.

- JÁCOME L. y SAQUILANDA M. (2008) Fertilización organo-mineral del pasto mulato (*Brachiaria híbrido*) y xaraes (*Brachiaria brizantha* Xaraés). XI Congreso Ecuatoriano de la ciencia del suelo.
- JARMA O.A., MAZA A.L., PINEDA P.A y HERNÁNDEZ C.J. (2012) Aspectos fisiológicos y bromatológicos de *Brachiaria humidicola*. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, **7**, 88-99.
- JUÁREZ J., BOLAÑOS E.D., VARGAS L.M., MEDINA S. y MARTÍNEZ HERNÁNDEZ P.A. (2011) Curvas de dilución de la proteína en genotipos del pasto *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **45**, 321-330.
- KERING M.K., GURETZKY J., FUNDERBURG E. and MOSALI J. (2011) Effect of nitrogen fertilizer rate and harvest season on forage yield, quality, and macronutrient concentrations in Midland Bermuda grass. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **42**, 1958-1971.
- KOLESNIKOV V (1971) The root system of fruit plants. Translated from the Russian by L. Aksenova. Mir Publishers Moscow. pp. 103-127.
- LAGOS M.J.C. (2009) Fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de forraje del pasto *Brachiaria brizantha* (cv insurgente) en Isla, Veracruz. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-leche/articulos/fertilizacion-nitrogenada-sobre-rendimiento-t2293/p0.htm>
- LARA F.J., MIRANDA D.A.F.D., GOMIDE J.A., DO NASCIMENTO J.D., TEIXEIRA V.C.M., VIEIRA DE M.R., MISTURA C., DA CUNHA R.G. e AZEVEDO M.J. (2005) Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, **40**, 397-403.
- LEANNE D.S., WESLWY W.C., HALL W.B., FENG Y., FRANK O.W. and BRIAN M.R. (2015) Effects of nitrogen fertilization on soil nutrient concentration and phosphatase activity and forage nutrient uptake from a grazed pasture system. *Journal of Environmental Management*, **154**, 208-215.
- LUCE M.S.T., GOUVEIA G.G. and EUDOXIE G.D. (2016) Comparative effects of food processing liquid slurry and inorganic fertilizers on tanner grass (*Brachiaria arrecta*) pasture: grass yield, crude protein and P levels and residual soil N and P. *Grass and Forage Science*, **71**, 1-13.
- MA B.L., DWYER L.M. and GREGORICH E.G. (1999) Soil nitrogen amendment effects on seasonal nitrogen mineralization and nitrogen cycling in maize production. *Agronomy Journal*, **91**, 1003-1009.
- MEDINA N.J., BORGES G.L. y SORIA F.M. (2010) Composición nutricional de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, **12**, 219-228
- MOGUEL O.E.J. y MOLINA E.M.J.F. (2000) La precipitación pluvial en Tabasco y Chiapas. *Kuxulkab*, **5**, 1-8.
- MORALES A.E., DOMÍNGUEZ V.I., GONZÁLEZ R.M., JARAMILLO E.G., CASTELÁN O.O., PESCADOR S.N. y HUERTA B.M. (2007) Diagnóstico mineral en forraje y suero sanguíneo de bovinos lecheros en dos épocas en el valle central de México. *Técnica Pecuaria México*, **45**, 329-344.
- MOSIER A.R., HALVORSON A.D., REULE C.A. and LUI X.J. (2006) Net global warming potential and greenhouse gas intensity in irrigated cropping systems in Northeastern Colorado. *Journal of Environmental Quality*, **35**, 1584-1598.

- MUÑOZ G.J.C., HUERTA B.M., RANGEL S.R., LARA B.A. y DE LA ROSA A.J.L. (2014) Evaluación mineral de forrajes del trópico húmedo Mexicano. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, **17**, 285-287.
- NAVAJAS M.V.M. (2011) Efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa y la absorción de nutrientes en *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria híbrido* Mulato. Tesis de Licenciatura. Bogotá D. C. Colombia. 57 pág.
- NISSEN P. (1986) Nutrient uptake by plants: effect of external ion concentration. In Symposium on Nutrition, Growing Techniques and Plant Substrates. Gisholt HR (Ed.). Acta Horticulturae (ISHS) Leuven, Belgium pp. 21–28.
- OLIVERA Y., MACHADO R. y DEL POZO PP (2006) Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del género *Brachiaria*. *Pastos y Forrajes*, **29**, 1-23.
- ORTEGA L.E. y GONZÁLEZ B. (1990) Efecto de la fertilización nitrogenada y frecuencia de corte sobre los rendimientos de materia seca y valor nutritivo del pasto Estrella (*Cynodon nlemfuensis*). *Revista de Agronomía*, **7**, 217-228.
- PALMA L.D.J., CISNEROS J.D., MORENO E.C. y RINCÓN R.J.A. (2007) Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados - ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 p.
- PÉREZ AJA, GARCÍA ME, ENRÍQUEZ QJF, QUERO CAR, PÉREZ PJ, HERNÁNDEZ GA (2004) Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “mulato” (*Brachiaria híbrido*, cv.). *Técnica Pecuaria México* 42: 447-458.
- QUIRÓS R., VILLALBA G., MUÑOZ P., FONT X. and GABARRELL X. (2014) Environmental and agronomical assessment of three fertilization treatments applied in horticultural open field crops. *Journal of Cleaner Production*, **67**, 147-158.
- RAHMAN M.M., YAMAMOTO M., NIIMI M. and KAWAMURA O. (2008) Effect of nitrogen fertilization on oxalate content in Rhodesgrass, Guineagrass and Sudangrass. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, **21**, 214-219.
- RAMÍREZ L.J., LEONARD I., VERDECIA D., PÉREZ Y., ARSEO Y. y ÁLVAREZ Y. (2014) Relación de dos minerales con la edad y los elementos del clima en un pasto tropical. *Revista Electrónica de Veterinaria*, **15**, 1-8.
- RAO I.M., MILES J.M. and GRANOBLES J.C. (1998) Differences in tolerance to infertile acid soil stress among germplasm accessions and genetic recombinants of the tropical forage grass genus, *Brachiaria*. *Field Crops Research*, **59**, 43-52.
- REYES P.A., BOLAÑOS A.E.D., HERNÁNDEZ S.D., ARANDA I.E.M. e IZQUIERDO R.F. (2009) Producción de materia seca y concentración de proteína en 21 genotipos del pasto humidícola *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. *Universidad y ciencia*, **25**, 213-224.
- RINCÓN C.A., LIGARRETO M.G.A. y SANJUANELO D. (2007) Crecimiento de maíz y los pastos (*Brachiaria* sp.) establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano. *Agronomía Colombiana*, **25**, 264-272.
- RINCÓN C.A., LIGARRETO M.G.A. y GARAY E. (2008) Producción de forraje en los pastos *B. decumbens* cv. Amarga y *B. Brizantha* cv. Toledo, sometidos a tres frecuencias y a dos intensidades de defoliación en condiciones de piedemonte llanero colombiano. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, **61**, 4336-4346.
- RINCÓN C.A. (2011) Efecto del potasio sobre la producción y calidad de forraje de *Brachiaria decumbens* Stapf en el piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Acta Agronómica*, **60**, 1-10.

- RODRIGUES L.R.A. e RODRIGUES T.J.D. (1987) Ecofisiologia de plantas forrageiras. In: *Ecofisiologia da produção agrícola*. Castro P.R.C., Ferreira S.O., Yamada T. (Eds.) Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 249 pág.
- RODRÍGUEZ S.J. (1993) La fertilización de los cultivos: Un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. Santiago, Chile 287 p.
- RODRÍGUEZ J., PINOCHET D. y MATUS F.J. (2001) Fertilización de los cultivos. Ed. LOM. Santiago Chile. 117 pág.
- RODRÍGUEZ S.T., SÁNCHEZ N.J., MORALES G.E. y CRUZ C.F. (2006) Interacción micorrizas arbusculares – *Trichoderma harzianum* (Moniliaceae) y efectos sobre el crecimiento de *Brachiaria decumbens* (Poaceae). *Acta biológica colombiana*, **11**, 43-54.
- ROLDÁN M.F., VENIALGO C.A. y GUTIÉRREZ N.C. (2004) Potasio disponible, de reserva y energía de reemplazamiento en suelos y el nivel foliar en rye-grass. Universidad Nacional del Nordeste (Argentina). Comunicaciones Científicas y Tecnológicas A-072, pp. 1-3.
- SALAS R. y CABALCETA G. (2009) Manejo del Sistema Suelo - Pasto. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. Disponible en: http://www.proleche.com/recursos/documentos/Manejo_del_sistema_suelopasto_Dr_Rafael_Salas_y_M_Sc_Gilberto_Cabelceta.pdf
- SABIN B.C.G., BUZETTI S., SANTIAGO S.K., FERNANDO B.A. e ALARCÓN F.J. (2008) Produtividade e composição bromatológica do capimmarandu a fontes e doses de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, **32**, 1629-1636.
- SEMARNAT (2002) NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana 2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. 2a ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.
- SILVEIRA A.P.D. and CARDOSO E.J.B.N. (2004) Arbuscular mycorrhiza and kinetic parameters of phosphorus absorption by bean plants. *Scientia Agrícola*, **61**, 203-209.
- TEDONKENG P.E., BOUKILA B., FONTEH F.A., TENDONKENG F., KANA J.R. and NANDA A.S. (2007) Nutritive value of some grasses and leguminous tree leaves of the Central region of Africa. *Animal Feed Science and Technology*, **135**, 273-282.
- THOMAS H. (2013) Senescence, ageing and death of the whole plant. *New Phytology*, **197**, 696-711.
- VÁZQUEZ E. y TORRES S. (2006) Fisiología Vegetal. En: Nutrición Mineral. Tomo I. Tercera edición.: Edit. Félix Valera, La Habana Cuba. Pág: 164-167.
- VEGA E.M., RAMÍREZ DE LA R.J., LEONARD A.I e IGARZA A. (2006) Rendimiento, caracterización química y digestibilidad del pasto *Brachiaria decumbens* en las actuales condiciones edafoclimáticas del Valle del Cauto. *Revista Electrónica de Veterinaria*, **7**, 1-6.
- VIEYRA A.R., DOMÍNGUEZ V.A., OLMOS O.G., MARTÍNEZ M.J.F., BORQUEZ G.J.L., PALACIO N.J., LUGO F.J.A. y MORALES A.E. (2013) Perfil e interrelación mineral en agua, forraje y suero sanguíneo de bovinos durante dos épocas en la huasteca potosina, México. *Agrociencia*, **47**, 121-133.
- YEPES A. y SILVEIRA S.M. (2011) Respuesta de las plantas ante los factores ambientales del cambio climático global (Revisión). *Colombia Forestal*, **14**, 213-232.

CAPITULO V. ÉPOCA, FERTILIZACIÓN Y FRECUENCIA DE CORTE EN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DEL PASTO TAIWÁN (*Pennisetum purpureum* Schum)

Gloria Esperanza De Dios León¹, Catalino Jorge López Collado¹, Armando Guerrero Peña², Eusebio Ortega Jiménez¹, Eduardo Daniel Bolaños Aguilar³ y Alejandro Alonso López¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. ²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Cárdenas, Tabasco, México. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, C. E. Huimanguillo, Huimanguillo Tabasco, México.

5.1 Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la época del año, niveles de fertilización y frecuencias de corte en la producción de biomasa y variables fisiotécnicas del pasto Taiwán. Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial y seis repeticiones. Se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en el factor época, excepto en proteína cruda (PC). El mayor rendimiento de biomasa seca (RBS) se encontró en Seca (6.4 t ha^{-1}); en periodos de Seca y Lluvias se observaron los mejores índices de cosecha (IC) con 0.93 y 0.94, respectivamente; en época de Nortes se encontraron las mayores longitud de raíz (LR) y relación biomasa radical/biomasa total (RBR/BT) con 18.5 cm y 0.12, respectivamente. Se observó diferencia significativa en niveles de fertilización excepto para IC, LR y RBR/BT; los mayores RBS y alturas se observaron en los dos tratamientos fertilizados y el mayor contenido de PC se observó en la dosis alta con 11%. Se encontró diferencia significativa en la frecuencia de corte (FC); a los 80 días (d) de rebrote se observaron mejores RBS, IC y altura con 7.2 t ha^{-1} , 0.95 y 215.9 cm, respectivamente; la mayor LR se observó a los 60 d con 18.9 cm y el mayor contenido de PC se encontró a los 40 (11.9%). Se concluye que los tratamientos fertilizados y el corte de 60 y 80 días observaron el mejor comportamiento en variables de producción del pasto Taiwán en las tres épocas del año.

Palabras clave: pasto Taiwán, proteína cruda, biomasa seca, longitud de raíces, relación biomasa radical /biomasa total, índice de cosecha

SEASON, FERTILIZATION AND CUTTING FREQUENCY ON BIOMASS PRODUCTION OF TAIWAN GRASS (*Pennisetum purpureum* Schum)

5.2 Abstract

The objective of the present study was to evaluate the effect of the time of year, fertilization levels and cutting frequencies on biomass production and physiological variables of the Taiwan grass. The treatments were distributed in a completely randomized design with factorial arrangement and six replicates. A significant difference ($P < 0.05$) was found in the season factor, except for crude protein (CP). The highest yield of dry biomass (YDB) was found in Seca (6.4 t ha^{-1}); in period of Drought and Rain, the best harvest indexes (HI) were observed with 0.93 and 0.94, respectively; in season norther the highest root length (RL) and ratio radical biomass / total biomass (RRB /TB) were found with 18.5 cm and 0.12, respectively. There was a significant difference in fertilization levels except for HI, RL and RRB /TB; the highest YDB and heights were observed in the two fertilized treatments the highest CP content was observed in the high dose with 11%. A significant difference was found in the cutoff frequency (CF); at 80 days (d) of regrowth, better YDB, HI and height were observed with 7.2 t ha^{-1} , 0.95 and 215.9 cm, respectively; the highest RL was observed at 60 d with 18.9 cm and the highest PC content was found at 40 (11.9%). It was concluded that the fertilized treatments and the cut of 60 and 80 days observed the best performance in production variables of the Taiwan grass in the three seasons of the year.

Keywords: grass Taiwan, crude protein, dry biomass, root length, ratio radical biomass/total biomass, harvest index

5.3 Introducción

En las regiones tropicales, la producción de biomasa de pastos y forrajes depende de las diferentes condiciones climáticas (Seca, Lluvias y Nortes) características de estas zonas y el valor nutritivo depende de la edad de la planta (Araya y Boschini, 2005). El mayor déficit de biomasa se encuentra en época Seca, lo que obliga al productor a buscar alternativas para tener alimento disponible durante el año, por ejemplo, el uso de pastos de corte (Fujisaka *et al.*, 2005); estas son especies de alta producción de biomasa por lo que demandan cantidades altas de nutrientes (Primavesi *et al.*, 2006). Por eso, es necesario generar sistemas de fertilización de acuerdo a los requerimientos de la especie y del suelo, dirigidos a potenciar la producción y garantizar la sostenibilidad biológica, económica y ambiental de los forrajes de corte (Martha *et al.*, 2004). La fertilización se encuentra dentro de los factores controlables de los sistemas de producción; uno de los objetivos de su aplicación es reponer y corregir deficiencias de nutrientes del suelo (Cerdas, 2011), observándose incremento en el contenido de nitrógeno (proteína), digestibilidad, altura de la planta, densidad, relación hoja-tallo y mayor producción de biomasa, lo que ayuda a incrementar la carga animal para una mayor producción de carne y leche (Cerdas y Vallejos, 2010). En las mayores edades de rebrote, se obtienen altos rendimientos de biomasa pero con menor calidad, por lo que se debe buscar el punto de equilibrio entre producción y calidad. El pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum* Schum), originario de África es una especie perenne, robusta y vigorosa que ha sido introducida en las regiones tropicales y subtropicales (Lowe *et al.*, 2003, Kahindi *et al.*, 2007) llegando a producir hasta 40 t MS ha⁻¹ año⁻¹ (Márquez *et al.*, 2007). Son escasos los trabajos relacionados a fertilización inorgánica en pastos de corte y que involucren diferentes condiciones climáticas, por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la época del año, niveles de fertilización y frecuencias de corte en la producción de biomasa y variables fisiotécnicas del pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum* sp.).

5.4 Materiales y métodos

5.4.1 Área de estudio

El experimento se estableció en el Rancho Santa Rosa del ejido Posa Redonda segunda sección del municipio de Cárdenas, Tabasco, México, sitio con coordenadas 18° 14' de Latitud Norte y 93° 29' de Longitud Oeste y altitud de 10 msnm. García (2004) menciona que el sitio cuenta con un clima Am (f) cálido húmedo con Lluvias en verano y parte del otoño; la precipitación y

temperatura promedio anual son de 2151 mm y 25.8 °C, respectivamente; el suelo es un Vertisol (Palma *et al.*, 2007) caracterizado por presentar más de 30 % de arcilla en todos los horizontes y cuyas características químicas se presentan en el Cuadro 5.1.

Cuadro 5.1. Análisis químico y físico del suelo del sitio experimental, Ranchería Posa Redonda, 2da. Sección, Cárdenas Tabasco, México

pH	CE	MO	Nt	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CIC	Clase textural
1:2	(dS m ⁻¹)	-----%-----	(mg kg ⁻¹)	-----	(cmol kg ⁻¹)	-----	-----	-----	-----	
5.5	0.029	2.3	0.14	3.93	0.18	8.3	4.0	0.11	17.6	Franco arcilloso

Fuente: NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002)

CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, Nt: nitrógeno total, P: fósforo disponible, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Na: sodio, CIC: capacidad de intercambio catiónico

5.4.2 Especie evaluada

El pasto en estudio fue Taiwán (*P. purpureum*) e involucró desde su establecimiento con material vegetativo en terreno con uso esporádico de cultivos anuales, principalmente maíz y frijol. Después de la siembra, se esperaron cinco meses antes de realizar el corte de homogeneización; la unidad experimental consistió en una planta con separación de un metro entre ellas y un metro entre líneas para eliminar el efecto de borde. Sobre la pradera se formaron un total de 54 unidades experimentales para cada una de las épocas donde se distribuyeron los tres niveles de fertilización y las tres frecuencias de corte.

5.4.3 Periodos de evaluación

Se evaluaron tres épocas del año definidas en la zona; Moguel y Molina (2000) mencionan que se presentan de la siguiente manera: Seca de los meses de marzo a junio, Lluvias de julio a octubre y Nortes de noviembre a febrero. El presente experimento comprendió del 10 de febrero del 2015 a 28 de abril del 2016, con evaluaciones a los 40, 60 y 80 días (d) de rebrote dentro de cada una de las tres épocas del año. Las muestras se obtuvieron mediante la cosecha de la planta entera incluyendo a la raíz (Kolesnikov, 1971). El material cosechado fue lavado, secado y molido para su posterior análisis. Las condiciones climatológicas presentes en el sitio durante el periodo de estudio son presentadas en la Figura 5.1.

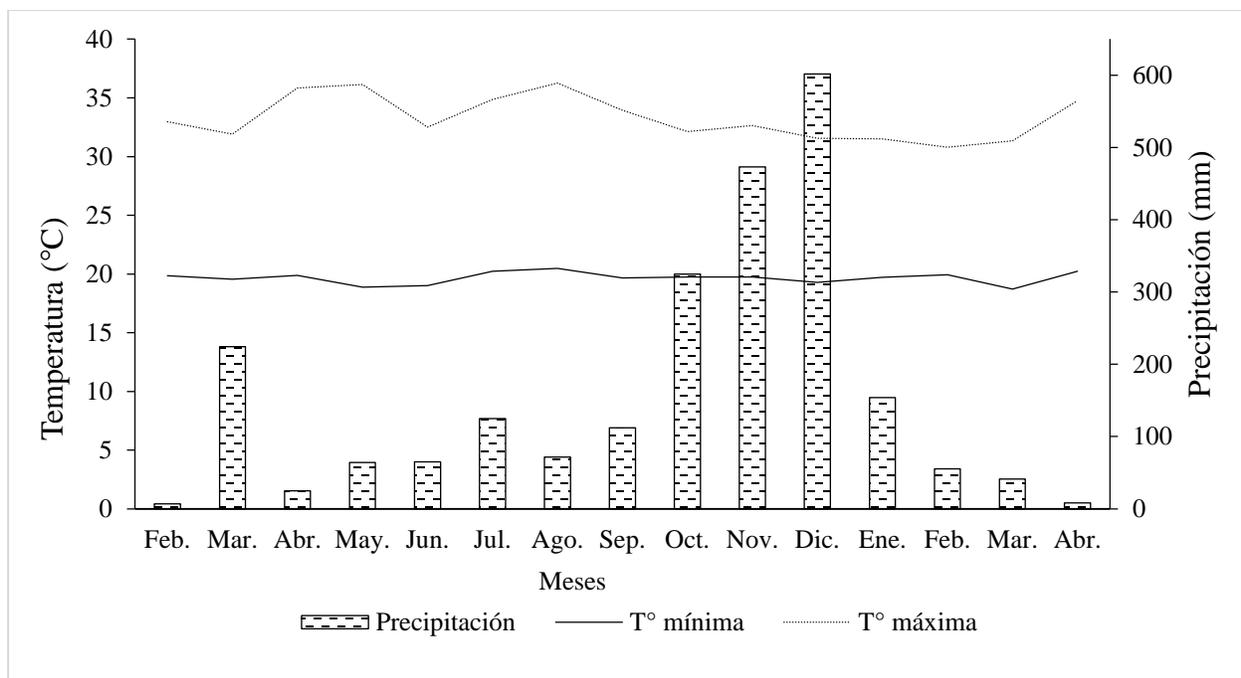


Figura 5.1. Condiciones climatológicas presentes durante la fase de establecimiento y experimentación del pasto *P. purpureum*. Periodo de febrero del 2015 a abril del 2016.

5.4.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Se usó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 3 x 3 (3 épocas del año, 3 frecuencias de corte y 3 niveles de fertilización) con seis repeticiones. Para el análisis de datos se usó el programa SAS (SAS, 2009) y para la comparación de medias se usó la prueba de Tukey ($p < 0.05$) en las variables que resultaron con diferencia estadística significativa.

5.4.5 Tratamientos y fertilización

Los tratamientos resultaron de la combinación de las tres frecuencias de corte y los tres niveles de fertilización dentro de cada época. Los niveles de fertilización fueron: testigo (T); Dosis normal (DN) = fertilizado con 300-100-200 kg ha⁻¹ año⁻¹ de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente y Dosis alta (DA) = fertilizado con 600-200-400 kg ha⁻¹ año con nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, cada uno con seis repeticiones. Las fuentes de fertilizantes fueron: urea, superfosfato triple y cloruro de potasio y aplicados una sola vez al voleo en cada una de las épocas.

5.4.6 Muestreo y variables de respuesta

Para obtener la biomasa aérea, se cosechó la parcela cortando el pasto a diez cm altura y para la biomasa radical, se extrajo el resto de la planta que contenía parte de tallo y raíz, método propuesto por Kolesnikov (1971); el material cosechado fue lavado, secado y molido para su posterior análisis. Las variables fueron estimadas de la siguiente manera: altura (cm) medida desde el nivel del suelo hasta el promedio del doble de la hoja bandera; rendimiento biomasa seca ($t\ ha^{-1}$) mediante la fórmula = $(\text{biomasa húmeda} \times \%MS) / 100$; proteína cruda (%) con el método micro Kjeldahl ($N \times 6.25$) descrito por la AOAC (2000); longitud de raíces (cm) con regla graduada se midieron diez submuestras tomadas al azar; biomasa aérea ($kg\ ha^{-1}$) determinada mediante el peso de hojas más tallos; biomasa radical ($kg\ ha^{-1}$) estimada con el peso de raíces (Böhm, 1979); biomasa total ($kg\ ha^{-1}$) suma del peso de BA más peso de BR; relación biomasa radical/biomasa total es el cociente entre el peso de la BR y el peso de la BT e índice de cosecha (IC) es el cociente de la BA (en este caso es el producto de interés) y la BT.

5.5 Resultados y discusión

5.5.1 Efecto de época climática

Rendimiento de biomasa seca. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0001$); el mayor rendimiento se obtuvo en época de Seca y el menor en Lluvias con diferencia de 50 % (Cuadro 5.2). Este comportamiento fue debido a la textura del suelo donde se estableció el experimento, estos son suelos que almacenan agua que benefició la producción de biomasa en esta época, además de que se presentaron temperaturas óptimas para el desarrollo y crecimiento del pasto, aunque en la mayoría de las evaluaciones de *Pennisetum* se muestra que en Lluvias es donde se obtienen rendimientos más altos (Rodríguez *et al.*, 2013; García *et al.*, 2014) comparado a la época de Seca. En época Seca se observaron temperaturas que favorecen el proceso de fotosíntesis (Figura 1) a lo que Baruch y Fisher (1991) mencionan la óptima para *P. purpureum* es de 37 °C además de que los *Pennisetum* son tolerantes a la sequía (Díaz, 2009; Herrera, 2009), además de considerar que el suelo tiene agua residual de la época anterior lo que beneficia la producción. Nuestros resultados son similares a los de Olivo *et al.* (2014) evaluando a pasto elefante (*P. purpureum*) encontraron los mejores rendimientos en época Seca, comparada a la época lluviosa. Rodríguez *et al.* (2013), González *et al.* (2011), Herrera *et al.* (2012) reportan rendimiento promedio de biomasa en variedades de *P. purpureum* de 2.8 ± 2 y 6.1 ± 2.9 para Seca

y Lluvias, respectivamente, resultados menores a los del presente experimento en Seca y mayores en época de Lluvias.

Índice de cosecha. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0001$); los mejores resultados se observaron en Seca y Lluvias y el menor en Nortes (Cuadro 5.2). Estos valores significan que más del 90 % la planta entera corresponden a biomasa aérea, habiendo muy poca cantidad de raíz, condición que fue evidente al momento de la obtención de muestras. En Nortes, la producción y crecimiento es afectada por el estrés de las bajas temperaturas, menor disponibilidad de horas luz o fotoperiodo (afectando la fotosíntesis); los suelos se encuentran saturados de agua causando anoxia en las raíces, afectando su respiración aeróbica, absorción de minerales y agua (McManmon and Crawford, 1971; Bailey and Voeselek, 2008). Baruch y Fisher (1998) indican que las pasturas tropicales presentan alta sensibilidad a bajas temperaturas efecto negativo de 0 a 15 °C. A la fecha no existe evidencia de evaluación de esta variable en pastos y forrajes tropicales.

Altura. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0001$); las mayores alturas se encontraron en Lluvias y Nortes y la menor en Seca (Cuadro 5.2). Esto resultados contradicen a otros trabajos donde las menores alturas también se han encontrado en Nortes. De acuerdo con Rodríguez *et al.* (2011), las precipitaciones y temperaturas presentadas en época de Lluvias benefician el crecimiento de las plantas. Crespo y Álvarez (2014), García *et al.* (2014), Hinojosa *et al.* (2014) y Gómez *et al.* (2015) muestran altura promedio de *P. Purpureum* de 172 ± 13 y 177 ± 9 cm, respectivamente en Seca y lluvias, dato similar en Seca y menores en Lluvias y Nortes. Ramírez *et al.* (2009) observaron incremento del 70 % en altura en *Panicum máximum* en Lluvias respecto a Seca.

Longitud de raíces. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0152$); la mayor longitud se obtuvo en Nortes y las menores en Seca y Lluvias (Cuadro 5.2). El exceso de agua en Nortes puede causar lixiviación de nutrientes hacia zona subterránea, por lo que sugerimos que la raíz creció más para alcanzar los mismos, condición diferente al periodo seco donde hay poca disponibilidad de agua, además de los cambios provocados por este déficit que inhibe la división celular y la elongación al disminuir la turgencia de las células (Biasutti y Galiñanes, 2001; Heydari y Heydarizadeh, 2002; Méndez *et al.*, 2010). En la época de Lluvias, se observa exceso de precipitaciones, lo que puede llegar a causar anoxia (Baruch, 1994) en las raíces impidiendo el desarrollo de las mismas.

Relación biomasa radical/biomasa total. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0001$); la mayor relación se obtuvo en Nortes y las menores en Seca y Lluvias (Cuadro 5.2), observándose el mismo comportamiento que LR, suponiendo la influencia de los mismos factores. Aún, la mayor cantidad en Nortes, en general fue evidente la poca producción de BR respecto a la BA en el pasto taiwán. Krizek *et al.* (1985) observaron en soja que el crecimiento foliar disminuye cuando se restringe el crecimiento de las raíces como consecuencia del estrés al que está sometido el sistema radical (exceso o déficit de agua), lo que puede explicar en parte la relación inversa en el IC. Macklon *et al.* (1994) mencionan que el crecimiento de las raíces depende del suministro de nutrientes del suelo y la planta no encontró disponibilidad de los mismos. Bernal (1994) menciona que las raíces son más seriamente afectadas que la parte aérea con altas temperaturas, características de las épocas de Seca y Lluvias, como se encuentra en varias especies de pastos cuando la temperatura se eleva de 17 a 37 °C (Rachmilevitch *et al.*, 2008). No se encuentra literatura respecto a esta variable en pastos. Nuestros resultados difieren a los de Mwendia *et al.* (2013), quienes evaluando dos *Pennisetum* observaron promedio de relación biomasa radical/brotos en condiciones de baja temperatura (Nortes) de 0.11 ± 0.005 y 0.06 ± 0.006 en condiciones de alta temperatura (Seca) y relación hoja/tallo de 1.9 ± 0.23 y 2.2 ± 0.16 en bajas y altas temperaturas, respectivamente.

Cuadro 5.2. Variables de respuesta a tres épocas climáticas del pasto Taiwán

ÉPOCA	RBS (t ha ⁻¹)	IC	ALTURA (cm)	LR	RBR/BT	PC (%)
SECA	6.4 ^a	0.93 ^a	173 ^b	17.4 ^b	0.07 ^b	9.5 ^a
LLUVIAS	3.2 ^c	0.94 ^a	190 ^a	17.0 ^b	0.07 ^b	10.1 ^a
NORTES	4.3 ^b	0.88 ^b	200 ^a	18.5 ^a	0.12 ^a	10.2 ^a

Valores con letras iguales dentro de cada columna no son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$)

RBS= Rendimiento biomasa seca, IC= Índice de cosecha LR= Longitud de raíces, RBR/BT= Relación biomasa radical /biomasa total, PC= Proteína cruda

Proteína cruda. No se encontró diferencia significativa ($p > 0.0982$) en el porcentaje de PC (Cuadro 5.2). Se esperaba un efecto sobre todo de las diferentes temperaturas y precipitación presentes en las tres épocas; en la literatura disponible no se encontraron estudios similares que relacionen los factores climáticos con esta variable, lo que hace difícil explicar este comportamiento. Estudios previos han mostrado que la diferencia en el porcentaje de PC es influenciada por la edad de la planta, más que por condiciones de Lluvias y temperaturas.

Nuestros datos difieren a los observados por los siguientes autores, los cuales han observado diferencia entre épocas; Casanovas *et al.* (2006), Ramírez *et al.* (2003) citado por Ramírez *et al.* (2008) e Hinojosa *et al.* (2014) reportan promedio de PC en *P. purpureum* de 6.5 ± 1.4 y 8.4 ± 0.5 % respectivamente para Seca y Lluvias, respectivamente. Cabe destacar que los valores de PC en todas las edades y en los dos períodos estuvieron por encima del valor crítico (7 %) para alimentación de bovinos (Van Soest, 1994).

5.5.2 Efecto del nivel de fertilización

Rendimiento de biomasa seca. Se encontró diferencia significativa ($p > 0.0476$); los mejores rendimientos se observaron en los tratamientos fertilizados y el menor en el T (Cuadro 5.3). Estos resultados son congruentes a los reportados por Cerdas y Vallejos (2010) y Cerdas (2015), quienes en variedades de *Pennisetum* observando el beneficio de aplicar fertilizante; pero identificaron que al ser iguales en los tratamientos fertilizados significa consumo de lujo de nutrientes (Ramos *et al.*, 2002) por parte de la planta. Arshad *et al.* (2010) mencionan incremento del 40 % (2.0 t ha^{-1}) del pasto elefante fertilizado, respecto al testigo, datos menores a los de este estudio; Ramos *et al.* (2015) en cinco *Pennisetum* obtuvieron un incremento del 17 % de producción de MS comparado al T. Rahman *et al.* (2010) en pasto napier (*P. purpureum*) observaron mejor RBS con la dosis de 300 y 150 kg ha^{-1} de N y K, respectivamente (6.02 t ha^{-1}), comparado con la dosis 600 y 150 kg ha^{-1} de N y K (5.4 t ha^{-1}), observando que existe un tope de aprovechamiento del nutriente por parte del pasto a lo que Rahman *et al.* (2008) y Rahman *et al.* (2010) mencionan que en gramíneas de corte, el pico de aplicación para las mayores producciones es de $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Índice de cosecha. No se encontró diferencia significativa ($p > 0.0982$) en el IC (Cuadro 5.3). Galvis, (1990) y Pinochet (1988) mencionan que el IC del cultivo que es un parámetro relativamente constante para un amplio rango de condiciones normales de crecimiento y grupo de variedades, lo que significa que la producción de cada componente es proporcional aún con o sin fertilización. Respecto a la fertilización, independientemente de la cantidad de nutriente aplicado, la planta regula y distribuye equitativamente a sus órganos, los fotoasimilados que produce (Orozco *et al.*, 2008). Moser *et al.* (2006) no observaron diferencia en tratamiento fertilizado respecto al testigo; Wong *et al.* (2006) en maíz forrajero, no encontraron diferencia significativa en el IC en parcelas fertilizadas comparando diferentes dosis.

Altura. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0040$); las mayores alturas se encontraron en los tratamientos fertilizados y la menor en el T (Cuadro 5.3); no hubo diferencia entre el tratamiento con DN y DA lo que coincide con Brasileiro *et al.* (2010) en pasto Pioneiro (*P. purpureum*) donde mediante aplicación de N de 300 a 700 kg ha⁻¹ disminuyó la altura; esto muestra que la planta tiene un límite de aprovechamiento del nutriente. Ramírez *et al.* (2010) y Lopes *et al.* (2005) muestran beneficios de fertilizar forrajes de corte, logrando mayor altura. Crespo y Álvarez (2014); Crespo y Fraga (2005) y Wagner y Colón (2014) en evaluaciones de *P. purpureum* encontraron altura promedio de 124±35 cm en testigo (dato inferior al del presente experimento) y 275 cm en pasto fertilizado (Crespo y Fraga, 2005).

Cuadro 5.3. Variables de respuesta a diferentes niveles de fertilización con N, P y K del pasto Taiwán

FERT.	RBS (t ha ⁻¹)	IC	ALTURA (cm)	LR	RBR/BT	PC (%)
T	4.1 ^b	0.91 ^a	177 ^b	16.9 ^a	0.09 ^a	8.9 ^c
DN	5.2 ^a	0.92 ^a	196 ^a	17.9 ^a	0.08 ^a	9.9 ^b
DA	4.6 ^{ab}	0.91 ^a	191 ^a	18.0 ^a	0.09 ^a	11.0 ^a

Valores con letras iguales dentro de cada columna no son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$)

FERT: fertilización, T: Testigo, DN: Dosis normal (300-100-200 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N, P y K, respectivamente), DA: Dosis alta (600-200-400 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N, P y K, respectivamente), RBS= Rendimiento biomasa seca, IC= Índice de cosecha LR= Longitud de raíces, RBR/BT= Relación biomasa radical /biomasa total, PC= Proteína cruda

Longitud de raíces y relación biomasa radical/biomasa total. No se encontró diferencia significativa ($p > 0.0691$) en LR ni en RBR/BT ($p > 0.1847$) como se observa en el Cuadro 5.3. Esto se debe a que el suelo tiene humedad suficiente lo que favorece una mayor absorción radicular de los elementos aplicados y no tuvieron necesidad de extenderse; aún en el testigo, además de considerar al fósforo el cual es poco móvil en el suelo y que interviene directamente en la formación de las raíces. Apráez *et al.* (2007) en kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) observaron incremento del 25 % en LR en el tratamiento fertilizado, comparado al testigo y Viega *et al.* (2013) en *Panicum máximum*, no encontraron respuesta a la fertilización en esta variable. En RBR/BT se observa la producción proporcional de cada componente de la planta (BA y BR) dentro de cada nivel de fertilización, incluyendo al testigo. Pirela *et al.* (1996) en *Panicum maximun* no observó diferencia del tratamiento fertilizado respecto al testigo en la producción de BR. Este comportamiento fisiológico, demostraría que independientemente de las

condiciones del cultivo, existe un equilibrio funcional entre el crecimiento radical y el de la biomasa aérea (Barrios *et al.*, 2014) para el caso particular de este experimento.

Proteína Cruda. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0001$); el mejor porcentaje se obtuvo con la DA de fertilizante y el menor en el testigo (Cuadro 5.3). Estos resultados son similares a los reportados por Sarwar *et al.* (1999) que muestran el beneficio de la aplicación de fertilizantes minerales. Cerdas (2015), Apráez y Moncayo (2003) y Builes *et al.* (2004), observaron incremento de la PC conforme aumentó la dosis de fertilización en especies de *Pennisetum*. Zewdu *et al.* (2002) reporta incremento 17 % y Arshad *et al.* (2010) de 45 %, en *Pennisetum purpureum* comparado a testigos. Mejía *et al.* (2014) en pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) reporta PC de 15 % en el testigo y 18% en tratamiento fertilizado. Nuestros resultados son similares a los reportados por Cerdas (2015) y Castañeda *et al.* (2008) que muestran el efecto lineal y positivo al aumentar la dosis de fertilización donde por ejemplo, el nitrógeno forma parte importante ya que forma parte de la estructura química de las proteínas (Pirela *et al.*, 1996).

5.5.3 Efecto de la frecuencia de corte

Rendimiento de biomasa seca. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0001$); el mayor rendimiento se observó a los 80 d de rebrote y el menor en la primera frecuencia de corte (Cuadro 5.4), observándose un incremento lineal respecto a días de rebrote. El incremento de la producción del forraje con la edad, se debe a un aumento en la tasa fotosintética como resultado de la presencia de mayor área foliar (Manrique *et al.*, 1996). Hernández y Guenni (2008) mencionan que las pasturas tropicales tienen mayor capacidad de aprovechar la radiación solar; ante esto, alcanzan su máxima producción con la presencia de mayor área foliar, lo que permite la intercepción de niveles altos de intensidad lumínica. El incremento de la materia fresca con la edad de la planta es característica dentro de las especies del género *Pennisetum*, que se debe a un incremento de la capacidad metabólica que poseen los pastos en el proceso de movilización y síntesis de sustancias orgánicas para la formación y funcionamiento de sus estructuras (Ramírez *et al.*, 2008), además de que en la mayoría de las gramíneas, el sistema radical se profundiza con la edad de la planta; evaluaciones de Lok *et al.* (2009) muestran que el género *Pennisetum* cuenta con las especies de mayor desarrollo radical, ya que exploran hasta 30-50 cm de profundidad. González *et al.* (2011) en dos cultivares de *P. purpureum* encontraron rendimientos de BS de 6.5 y 14.8 t ha⁻¹ a los 42 y 56 d, respectivamente. Arshad *et al.* (2010) en pasto elefante (*P. purpureum*) observó incremento del 71 % en el rendimiento de BS de 30 a 60 d de rebrote.

Cárdenas *et al.* (2012) reporta una relación directamente proporcional entre RBS y días de rebrote en marafalfa.

Índice de cosecha. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0001$); el mayor IC observó a los 80 d de rebrote y el menor a los 40 días (Cuadro 5.4). Esta variable tuvo relación directamente proporcional al RBS; dentro de esta variable se considera el producto de interés a la biomasa aérea, y diversos trabajos han demostrado el mayor rendimiento de este componente conforme avanza la edad de la planta (Araya y Boschini, 2005; Cerdas y Vallejos, 2010; Cárdenas *et al.*, 2012). No existe literatura disponible de estudios donde evalúen este parámetro en pastos de corte.

Cuadro 5.4. Variables de respuesta a diferentes frecuencias de corte del pasto Taiwán

FRECUENCIA DE CORTE (d)	RBS (t ha ⁻¹)	IC	ALTURA (cm)	LR	RBR/BT	PC (%)
40	2.5 ^c	0.88 ^c	154 ^c	16.4 ^c	0.12 ^a	11.9 ^a
60	4.2 ^b	0.91 ^b	193 ^b	18.9 ^a	0.09 ^b	10.0 ^b
80	7.2 ^a	0.95 ^a	216 ^a	17.5 ^b	0.05 ^c	8.0 ^c

Valores con letras iguales dentro de cada columna no son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$)

d= días, RBS= Rendimiento biomasa seca, IC= Índice de cosecha LR= Longitud de raíces, RBR/BT= Relación biomasa radical /biomasa total, PC= Proteína cruda

Altura. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0001$); la mayor altura se observó a los 80 d de rebrote y la menor la primera frecuencia de corte (Cuadro 5.4). Andino y Pérez (2012) y Manrique *et al.* (1996) mencionan que el incremento de altura en la planta conforme avanza la edad de rebrote, es un comportamiento fisiológico normal para las especies de gramíneas del genero *Pennisetum*, porque aumenta proporcionalmente el índice de área foliar y por lo tanto la síntesis de tejidos de reserva o sostén, incrementándose, por lo tanto, algunas características morfológicas de importancia. Las diferencias entre frecuencias de corte, se explican porque el crecimiento de las plantas después de ser cosechadas cerca del nivel del suelo, tienen una fase inicial de crecimiento lento, seguida de una fase de crecimiento acelerado (Hodgson, 1990). Martínez (2001), Gómez *et al.* (2015), Madera *et al.* (2013), Andino y Pérez (2012), Hinojosa *et al.* (2014), Luna *et al.* (2015) y Ramírez y Pérez (2006) en variedades de *P. purpureum* reportan alturas promedio de 158.6 ± 10 , 163.1 ± 30 , 161.7 ± 22 y 162 ± 23 cm, respectivamente a los 45, 60, 75 y 90 d de rebrote.

Longitud de raíces. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0001$); la mayor longitud se observó a los 60 d de rebrote y la menor a los 40 d (Cuadro 5.4). Al tener más edad la planta, las raíces tuvieron más tiempo para crecer aunado a la necesidad de la búsqueda de nutrientes disponibles; Kramer (1987) refiere que las raíces son poco profundas en las primeras etapas de crecimiento y que por lo general se incrementa, en la fase reproductiva porque es donde requiere de mayor anclaje. De los 60 a 80 días la planta no tuvo la necesidad de crecer, suponiendo que tuvo disponible todos los recursos necesarios para su supervivencia; Baligar (1986) refiere que a medida que la planta tiene más edad, el crecimiento de las raíces generalmente aumenta a tasas más lentas que los rebrotes.

Relación biomasa radical/biomasa total. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0001$); la mayor relación se encontró en la primera FC y la menor a los 80 d (Cuadro 5.4). Esto pudiera deberse a que en edades tempranas la planta tiene la necesidad de producir sustancias necesarias para su desarrollo, lo que crea la necesidad de producir mayor cantidad de raíces para ir en busca de los nutrientes; contrario a las otras dos edades, donde la planta contribuye a mayor cantidad de BA y menos proporción de BR; la disminución en la relación, muestra que las raíces detienen su crecimiento a expensas del crecimiento aéreo (Barrios *et al.*, 2014).

Proteína Cruda. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.0001$); el mayor porcentaje se observó a los 40 d de rebrote y el menor a los 80 d (Cuadro 5.4), mostrándose una disminución conforme avanzó la edad de la planta, como ha sido observado en la mayoría de los experimentos (Ramírez *et al.*, 2008; Arshad *et al.*, 2010; González *et al.*, 2011; Zetina *et al.*, 2013; Medina *et al.*, 2015) en variedades de *P. purpureum*; siendo además, una característica de los pastos tropicales. La disminución en la proteína al aumentar la edad del pasto se puede atribuir a una reducción de la actividad metabólica de la planta de manera que conforme se cosecha el forraje a una edad mayor, la síntesis de compuestos proteicos en la planta es menor, haciendo que la concentración de PC baje (Vega *et al.*, 2006; Ramírez *et al.*, 2008; Ramírez *et al.*, 2009; Santana *et al.*, 2010. Tessema *et al.*, 2010). Pirela (2005) afirma que las gramíneas tropicales presentan niveles relativamente altos contenidos de proteína en los estadios iniciales de crecimiento, para luego disminuir marcadamente hasta antes de la floración, tendencia que continúa hasta la madurez, momento en que el N es traslocado de las hojas a los tejidos de reservas (base de tallos y raíces). Chacón y Vargas (2009) en *P. purpureum* (King grass) encontraron 9.56, 8.70 y 8.42 % de PC a los 60, 75 y 90 d de rebrote, respectivamente, datos similares a los encontrados en este estudio.

Nuestros datos son superiores a los reportados por Casanovas *et al.* (2006) en CT-115 quien encontró 4.5 % a los 90 d. Herrera *et al.* (2002) encontraron que a los 49 días el pasto elefante alcanzaba niveles de proteína cruda de 11.24 %. Aún con este comportamiento, el porcentaje de CP en las tres FC se observaron por encima del nivel mínimo deseado para el funcionamiento del rumen del animal (7 %) de acuerdo con Van Soest (1994).

5.6 Conclusiones

En este experimento, se encontró beneficios de la fertilización en variables: rendimiento biomasa seca, altura y porcentaje de proteína cruda, las que son de mayor interés agronómico. Respecto a las frecuencias de corte, es necesario darle el tiempo de recuperación para obtener mayor rendimiento de biomasa en pasto Taiwán. La variable índice de cosecha evaluada en los tres factores, no ha sido estudiada en pastos tropicales y es un indicador importante que proporciona un estimado del producto de interés.

Agradecimientos

Agradecemos al MC. Francisco Meléndez Nava por las facilidades otorgadas en el rancho “Santa Rosa” para el desarrollo de la fase experimental de este estudio; al Laboratorio Agroindustrial, Suelo, Planta y Agua y Laboratorio de Instrumentación Analítica del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por el apoyo para la realización de los análisis químicos.

5.7 Referencias

- ANDINO R.N.J. y PÉREZ G.J.S. (2012) Producción de biomasa y concentración de nutrientes en el pasto cubano (*Pennisetum purpureum* x *P. tiphoides*) CV CT-115. Tesis de Licenciatura Finca la Tigra, Cárdenas, Rivas, Nicaragua, Managua, Nicaragua. 49 pág.
- AOAC (2000) Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists. 17th Ed. Gaithersburg. United States of América. 168 pág.
- APRÁEZ E. y MONCAYO O. (2003) Caracterización agronómica y bromatológica de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst) sometida a rehabilitación mediante labranza y fertilización orgánica y/o mineral. *Law, Environment and Development Journal*, **10**, 25-35.
- APRÁEZ E., CRESPO G. y HERRERA R.S. (2007) Efecto de la aplicación de abonos orgánicos y mineral en el comportamiento de una pradera de kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechs) en el Departamento de Nariño, Colombia. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **41**, 75-79.
- ARAYA M. M. y BOSCHINI F.C. (2005) Producción de forraje y calidad nutritiva de variedades de *Pennisetum purpureum* en la Meseta Central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, **16**, 37-43.

- ARSHAD U.M., ANWAR M. and SAEED R.A. (2010) Effect of nitrogen fertilization and harvesting intervals on the yield and forage quality of elephant grass (*Pennisetum purpureum*) under mesic climate of Pothwar plateau. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, **47**: 231-234.
- BAILEY S.J. and VOESENEK L.A.C.J. (2008) Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Annual Reviews in Plant Biology*, **59**, 313-339.
- BALIGAR V.C. (1986) Interrelationships between growth and nutrient uptake in alfalfa and corn. *Plant Nutrition*, **9**, 1391- 1404.
- BARRIOS M.B, BUJÁN A., DEBELLIS S.P., SOKOLOWSKI A.C., BLASÓN A.D., RODRÍGUEZ H.A., LÓPEZ S.C., DE GRAZIA J., MAZO C.R. y GAREY M.C. (2014) Relación biomasa de raíz/biomasa total de soja (*Glycine max*) en dos sistemas de labranza. *Terra Latinoamericana*, **32**, 221 – 230.
- BARUCH Z. and FISHER M.J. (1991) Factores climáticos de competencia que afectan el desarrollo de la planta en el crecimiento. In: Establecimiento y renovación de pasturas. Conceptos, experiencia y enfoques de la investigación. Red de Investigación y Evaluación de Pastos Tropicales. CIAT. Colombia. Pág: 103-142.
- BARUCH Z (1994) Response to drought and flooding in tropical forage grasses. II. Leaf water potential, photosynthesis rate and alcohol dehydrogenase activity. *Plant and Soil*, **164**, 97-105.
- BERNAL E.J. (1994) Pastos y Forrajes Tropicales. Producción y Manejo. Banco ganadero. 3ra. Edición, Bogotá. Colombia, 314 pág.
- BIASUTTI C.A, GALIÑANES V.A. (2001) Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) bajo estrés hídrico. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento a campo. *Agri Scientia*, **18**: 37-44.
- BÖHM W. (1979) Methods of studying root systems. Ecological studies. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. New York. 183 p.
- BRASILEIRO DE A.C.A., CÓSER A.C., MARTINS C.E., ALVES DE O.R., FRANÇA DE C.F. e AGUIAR F.J.L. (2010) Altura de capins e cobertura do solo sob adubação nitrogenada, irrigação e pastejo nas estações do ano. *Acta Scientiarum*, **32**, 21-27.
- BUILES A., GOMEZ M. y GIRALDO L. (2004) Evaluación de la producción y calidad de Kikuyo *Pennisetum clandestinum* asociado con árboles de Aliso *Alnus acuminata* H.B.K. en bmh-PM. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 105 pág.
- CÁRDENAS R.L.R., PINTO R.R., MEDINA F.J., GUEVARA F., GÓMEZ H., HERNÁNDEZ A. y CARMONA J. (2012) Producción y calidad del pasto marafalfa (*Pennisetum* sp.) durante la época seca. *Quehacer Científico en Chiapas*, **1**, 38-46.
- CASANOVAS E., FIGUEREDO Y., SOTO R., NOVOA R. y VALERA R. (2006) Efecto de la frecuencia de corte en el comportamiento fenológico y productivo de *Pennisetum purpureum* vc Cuba CT-115 en el periodo poco lluvioso. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **40**, 465-470.
- CASTAÑEDA M., DUQUE M., GALVIS R. y CORREA H. (2008) Efecto de la fertilización nitrogenada y de la edad de corte sobre la digestibilidad intestinal *in vitro* de la proteína del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst). *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía*, **61**, 4646-4653.
- CERDAS R. y VALLEJOS E. (2010) Productividad del pasto Camerún (*Pennisetum purpureum*) con varias dosis de nitrógeno y frecuencias de corte en la zona seca de Costa Rica. *InterSedes*, **XI**, 180-195.

- CERDAS R. R. (2011) Programa de fertilización de forrajes. Desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes*, **XII**, 109-128.
- CERDAS R.R. (2015) Comportamiento productivo del pasto Marafalfa (*Pennisetum sp.*) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *InterSedes*, **XVI**, 125-145.
- CHACÓN H.P.A. y VARGAS R.C.F. (2009) Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* cv. King grass a tres edades de rebrote. *Agronomía Mesoamericana*, **20**, 399-408.
- CRESPO G. y FRAGA S. (2005) Efecto de la aplicación superficial de fertilizante y abono orgánico en la recuperación de un campo forrajero de *Pennisetum purpureum* cv. King grass. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **39**, 343-349.
- CRESPO G. y ÁLVAREZ J. (2014) Comparación de la producción de biomasa de clones de *Pennisetum purpureum* fertilizados con nitrógeno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **48**, 287-291.
- DÍAZ D. (2009) Estudio de nuevos clones de *Pennisetum* con resistencia a la sequía en el Valle del Cauto. Master Thesis. Instituto de Investigaciones Agropecuarias “Jorge Dimitrov”. Bayamo, Cuba.
- FUJISAKA S., HOLMANN F., PETERS M., SCHMIDT A., WHITE D., BURGOS C., ORDÓÑEZ J.C., MENA M, POSAS M.I., CRUZ H. e HINCAPIÉ B. (2005) Estrategias para minimizar la escasez de forrajes en zonas con sequías prolongadas en Honduras y Nicaragua. *Pasturas Tropicales*, **27**, 73-92.
- GALVIS S.A. (1990) Validación de las normas de fertilización para maíz generadas con un modelo simplificado, con las obtenidas en la experimentación de campo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo México.
- GARCÍA E. (2004) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 90 p.
- GARCÍA L.M., MESA A.R. y HERNÁNDEZ M. (2014) Potencial forrajero de cuatro cultivares de *Pennisetum purpureum* en un suelo Pardo de Las Tunas. *Pastos y Forrajes*, **37**, 413-419.
- GÓMEZ G.A., LOYA O.J.L., SANGINÉS G.L., ZUBIRÁN S. y GÓMEZ G.J.A. (2015) Composición química y producción del pasto *Pennisetum purpureum* en la época de lluvias y diferentes estados de madurez. *Revista EDUCATECONCIENCIA*, **6**, 68-74.
- GONZÁLEZ I., BETANCOURT M., FUENMAYOR A. y LUGO M. (2011) Producción y composición química de forrajes de dos especies de pasto Elefante (*Pennisetum sp.*) en el Noroccidente de Venezuela. *Zootecnia Tropical*, **29**, 103-112.
- HERNÁNDEZ M. y GUENNI O. (2008) Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato graminoide en un sistema silvopastoril dominado por samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr). *Zootecnia Tropical*, **26**, 439-453.
- HERRERA R., MARTÍNEZ R., TUERO R., GARCÍA M. and CRUZ A. (2002) Movement of substances during grazing and regrowth of the clone Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum*). *Cuban Journal of Agricultural Science*, **36**, 403-407.
- HERRERA R.S. (2009) Mejoramiento de *Pennisetum purpureum* en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **43**, 345-349.
- HERRERA R.S., GARCÍA M., CRUZ A.M. y ROMERO AÍDA. (2012) Evaluación de clones de *Pennisetum purpureum* obtenidos por cultivo de tejidos *in vitro*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **46**, 427-433.

- HEYDARI R. and HEYDARIZADEH M. (2002) Evaluation of resistance for salinity, drought, cold, heat and pH changes in four Iranian wheat cultivars. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, **9**, 81-91.
- HINOJOSA Y.L.A., YÉPEZ N.D. y SUÁREZ P.M.A. (2014) Frecuencia de corte de Marafalfa (*Pennisetum* sp) durante la estación lluviosa, Trinidad, Bolivia. *Agrociencias Amazonia*, **4**, 11-18.
- HODGSON J. (1990) *Grazing management: Science into practice*. 1st ed. Harlow, England: Longman Scientific & Technical.
- KAHINDI R.K., ABDULRAZAK S.A. and MUINGA R.W. (2007) Effect of supplementing Napier grass (*Pennisetum purpureum*) with Madras thorn (*Pithecellobium dulce*) on intake, digestibility and live weight gains of growing goats. *Small Ruminant Research*, **69**, 83-87.
- KRIZEK D.T., CARMÍ A., MIRECKI R.M., SNYDER F.W. and BUNCE J.A. (1985) Comparative effects of soil moisture stress and restricted root zone volume on morphogenetic and physiological responses of Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.]. *Journal of Experimental Botany*, **36**, 25-38.
- KOLESNIKOV V. (1971) *The root system of fruit plants*. Translated from the Russian by L. Aksenova. Mir Publishers. Pág. 53-54.
- KRAMER P.J. (1987) *Plant and soil water relationship*. McGraw Hill, New York. 546 p.
- LOK S., CRESPO G., TORRES V., FRAGA S. y NODA A. (2009) Impacto de la tecnología de banco de biomasa de *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115 en el sistema suelo-pasto-animal de una unidad de producción de leche con ganado vacuno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **43**, 307-313.
- LOPES R.S., FONSECA D.M., OLIVEIRA R.A., ANDRADE A.C., NASCIMENTO J.D. e MASCARENHAS A.G. (2005) Efeito da irrigação e adubação na disponibilidade e composição bromatológica da massa seca de lâminas foliares de capim Elefante. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **34**: 20-29.
- LOWE A.J., THROPE W., TEALE A. and HANSON J. (2003) Characterization of germplasm accessions of Napier grass (*Pennisetum purpureum* and *P. purpureum* x *P. glaucum* hybrids) and comparison with farm clones using RAPD. *Genetic Resource and Crop Evolution*, **50**, 121-132.
- LUNA M.R., CHACÓN M.E., RAMÍREZ DE LA R.J., ÁLVAREZ P.G., ÁLVAREZ P.P. PLÚA P.P. y ÁLAVA M.A. (2015) Rendimiento y calidad de dos especies del género *Pennisetum* en Ecuador. *Revista Electrónica de Veterinaria*, **16**, 1-10.
- MADERA N.B., ORTIZ B., BACAB H.M. y MAGAÑA H. (2013) Influencia de la edad de corte del pasto morado (*Pennisetum purpureum*) en la producción y digestibilidad in vitro de la materia seca. *Avances en Investigación Agropecuaria*, **17**, 41-52.
- MANRIQUE U., CARRILLO, V., VÁSQUEZ D., RODRÍGUEZ M. y RIVAS E. (1996) Efecto de la fertilización nitrogenada, edad y época de corte sobre el rendimiento de materia seca de *Andropogon gayanus*. *Zootecnia Tropical*, **14**, 149-166.
- MÁRQUEZ F., SÁNCHEZ J., URBANO D. y CIRO D. (2007) Evaluación de la frecuencia de corte y tipos de fertilización sobre tres genotipos de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). 1. Rendimiento y contenido de proteína. *Zootecnia Tropical*, **25**, 253-259.
- MARTHA J.R.G.B., CORSI M., TRIVELIN P.C.O. and ALVES M.C. (2004) Nitrogen recovery and loss in a fertilized elephant grass pasture. *Grass and Forage Science*, **59**, 80-90.
- MARTÍNEZ R.O. (2001) Banco de biomasa para la sostenibilidad de la ganadería tropical. En: *Estrategias de alimentación para el ganado bovino en el trópico*. Ed. FIRA. MX. 125 p.

- MACKLON A.E.S., MACKIE D.L.A, SIN A., SHAND C.A, and LYLLI A. 1994. Soil P resources, plant growth and rooting characteristics in nutrient poor upland grasslands. *Plant Soil* 163: 257- 266.
- McMANMON M. and CRAWFORD M.M. (1971) A metabolic theory of flooding tolerance: The significance of enzyme distribution and behavior. *New Phytology*, **70**, 299-306.
- MEDINA J.F.J., PINTO R.R., GÓMEZ C.H., GUEVARA H.F., HERNÁNDEZ L.A. y HERNÁNDEZ S.D. (2015) Caracterización química y degradación in situ del pasto Cuba CT-115 (*Pennisetum purpureum* L.). *Quehacer Científico en Chiapas*, **10**, 9-14.
- MEJÍA T.A.C., OCHOA O. R. y MEDINA S.M. (2014) Efecto de diferentes dosis de fertilizante compuesto en la calidad del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex Chiov.). *Pastos y Forrajes*, **37**, 31-37.
- MÉNDEZ N.J.R. YBARRA P.F.T y MERAZO P.J.F (2010) Germinación y desarrollo de plántulas de tres híbridos de maíz bajo soluciones osmóticas. VI. Comparación entre cinco soluciones osmóticas. *Revista Tecnológica ESPOL-RTE*, **23**: 55-60.
- MOGUEL O.E.J. y MOLINA E.M.J.F. (2000) La precipitación pluvial en Tabasco y Chiapas. *Kuxulkab*, **5**, 1-8.
- MOSER S.B., FEIL B., JAMPATONG S. and STAMP P. (2006) Effects of pre-anthesis drought, nitrogen fertilizer rate, and variety on grain yield, yield components, and harvest index of tropical maize. *Agricultural Water Management*, **81**, 41-58.
- MWENDIA S.W., YUNUSA I.A.M., WHALLEY R.D.B., SINDEL B. M., KENNEY D. and KARIUKI I.W. (2013) Use of plant water relations to assess forage quality and growth for two cultivars of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) subjected to different levels of soil water supply and temperature regimes. *Crop & Pasture Science*, **64**, 1008–1019.
- OLIVO C.J., AGNOLIN C.A., FLÓRES A.P., MARQUES de B.C., DA ROS A.T.L., SCHALWMBERG D.M. and MEINERZ G.R. (2014) Forage mass and stocking rate of elephant grass pastures managed under agroecological and conventional systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **43**, 289-295.
- OROZCO V.J.A., PALOMO G.A., GUTIÉRREZ DEL R.E., ESPINOZA B.A. y HERNÁNDEZ H. V. (2008) Dosis de nitrógeno y su efecto en la producción y distribución de biomasa de algodón transgénico. *Terra Latinoamericana*, **26**, 29-35.
- PALMA L. D. J., CISNEROS J. D., MORENO E. C. y RINCÓN R. J. A. (2007) Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados - ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 pág.
- PINOCHET T.D. (1988) Modelo simple para la estimación de la fertilización fosfatada de los cultivos. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- PIRELA M.F., CLAVERO T., FERNÁNDEZ L., CASANOVA A. y SANDOVAL L. (1996) Estratificación del nitrógeno y rendimiento de materia seca en el pasto guinea (*Panicum máximum* Jacq.) sometido a diferentes niveles de fertilización nitrogenada. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*, **13**, 761-771.
- PIRELA M.F. (2005) Valor nutritivo de los pastos tropicales. Manual de ganadería doble propósito. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Pág. 176-182.
- PRIMAVESI O., PRIMAVESI A.C., DE ALMEIDA C.L., DA SILVA A.G y CANTARELLA H. (2006) Lixiviação de nitrato em pastagem de *coastcross* adubada com nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **35**, 683-690.
- RACHMILEVITCH S., LAMBERS H. and HUANG B. (2008) Short-term and long-term root respiratory acclimation to elevated temperatures associated with root thermotolerance for two *Agrostis* grass species. *Journal of Experimental Botany*, **59**, 3803–3809.

- RAHMAN M.M., YAMAMOTO M., NIIMI M. and KAWAMURA O. (2008). Effect of nitrogen fertilization on oxalate content in Rhodesgrass, Guineagrass and Sudangrass. *Asian-Aust. Journal Animal Science*, **21**, 214-219.
- RAHMAN M.M., ISHII Y., NIIMI M. and KAWAMURA O. (2010) Interactive effects of nitrogen and potassium fertilization on oxalate content in napiergrass (*Pennisetum purpureum*). *Asian-Aust. Journal Animal Science*, **23**, 719-723.
- RAMÍREZ Y. y PÉREZ J. (2006) Efecto de la edad de corte sobre el rendimiento y composición química del pasto marafalfa (*Pennisetum* sp.). *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, **24**, 57-62.
- RAMÍREZ J.L., VERDECIA D. y LEONARD I. (2008) Rendimiento y caracterización química del *Pennisetum* cuba CT 169 en un suelo pluvisol. *Revista electrónica de Veterinaria*, **IX**, 1-10.
- RAMÍREZ R.O., HERNÁNDEZ G.A., CARNEIRO DA S.S., PÉREZ P.J., ENRIQUEZ Q.J.F., QUERO C.A.R., HERRERA H.J.G. y CERVANTES N.A. (2009) Acumulación de forraje, crecimiento y características estructurales del pasto Mombaza (*Panicum máximum* Jacq.) cosechado a diferentes intervalos de corte. *Técnica Pecuaria en México*, **47**, 203-213.
- RAMÍREZ J.L., VERDECIA D., LEONARD I. y ÁLVAREZ Y. (2010) Rendimiento de materia seca y calidad nutritiva del pasto *Panicum maximum* vc. Likoni en un suelo fluvisol de la región oriental de Cuba. *Revista Electrónica de Veterinaria*, **11**, 1-14.
- RAMOS C., ALCÁNTAR G., GALVIS A., PEÑA A. y MARTÍNEZ A. (2002) Eficiencia en el uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. *Terra Latinoamericana*, **20**, 465-469.
- RAMOS T.O.S., VICTORIA G.C.A. and SANDOVAL G.J.J. (2015) Season, fertilization, and yield of varieties of *pennisetum purpureum*. *Agrociencia*, **49**, 837-844.
- RODRÍGUEZ L., TORRES V., MARTÍNEZ R.O., JAY O., NODA A.C. and HERRERA, M. (2011) Models to estimate the growth dynamics of *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-169. *Cuban Journal of Agricultural Science*, **45**, 349-354.
- RODRÍGUEZ L., LARDUET R., MARTÍNEZ R.O., TORRES V., HERRERA M., MEDINA Y. y NODA A.C. (2013) Modelación de la dinámica de acumulación de biomasa en *Pennisetum purpureum* vc. King grass en el occidente de Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **47**: 119-124.
- SANTANA P.A.A., PÉREZ L.A. y FIGUEREDO A.M.E. (2010) Efectos del estado de madurez en el valor nutritivo y momento óptimo de corte del forraje napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) en época lluviosa. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, **1**, 277-286.
- SARWAR M., KHAN M.N. and NAWAS S.M. (1999) Influence of nitrogen fertilization and stage of maturity of mottgrass (*Pennisetum purpureum*) on its composition, dry matter intake, ruminal characteristics and digestion kinetics in cannulated buffalo Bulls. *Animal Feed Science and Technology*, **82**, 121-130.
- SAS. (2009) Statistical analysis system. SAS/STAT. SAS user's guide, 9.3. SAS Intitute Inc. Cary, NC. USA.
- TESSEMA Z.K., MIHRET J. and SOLOMON M. (2010) Effect of defoliation frequency and cutting height on growth, dry-matter yield and nutritive value of Napier grass (*Pennisetum purpureum* (L.) Schumach). *Grass and Forage Science*, **65**, 421-430.

- VAN SOEST P. J. (1994) Nutritional Ecology of the Ruminant. Second Ed. Cornell University Press. Ithaca, N. Y.
- VEGA E.M, RAMÍREZ DE LA R.J., LEONARD A.I. e IGARZA A. (2006) Rendimiento, caracterización química y digestibilidad del pasto *Brachiaria decumbens* en las actuales condiciones edafoclimáticas del Valle del Cauto. *Revista Electrónica de Veterinaria*, **VII**, 1-6.
- VIEGA S.F.C., CECATO U.; LOLATO R.O., DA CRUZ R.C.F., CABRERA J.C., BELONI T. and VENTUROLI P.S.H. (2013) Root system and root and stem base organic reserves of pasture Tanzania grass fertilizer with nitrogen under grazing. *Semina: Ciências Agrárias*, **34**, 2415-2426.
- WAGNER B. y COLÓN R. (2014) Comportamiento forrajero de tres *Pennisetum purpureum* Schumach. *Revista Agropecuaria y Forestal APF*, **3**, 61-66.
- WONG C.J.A., RETA S.D.G., BARRIENTOS R.J.L., GONZÁLEZ G., SALAZAR S.E. (2006) Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, **29**, 97-101.
- ZETINA C.P., ORTEGA C.M.E., ORTEGA J.E. HERRERA H.J.G., SÁNCHEZ T.E.M.T., RETA M.J.L. VILABOA A.J. and MUNGUÍA A.G. (2013) Effect of cutting interval of Taiwan grass (*Pennisetum purpureum*) and partial substitution with duckweed (*Lemna* sp. and *Spirodela* sp.) on intake, digestibility and ruminal fermentation of Pelibuey lambs. *Livestock Science*, **157**, 471–477.
- ZEWDO T., BAARS R.M.T. and YAMI A. (2002) Effect of plant height at cutting, source and level of fertiliser on yield and nutritional quality of Napier grass (*Pennisetum purpureum* (L.) Schumach.). *African Journal of Range & Forage Science*, **19**, 123-128.

CAPÍTULO VI. DEMANDA Y REQUERIMIENTO INTERNO DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO DEL PASTO TAIWÁN EN RESPUESTA A ÉPOCA DEL AÑO, FERTILIZACIÓN Y FRECUENCIA DE CORTE

Gloria Esperanza De Dios León¹, Catalino Jorge López Collado¹, Armando Guerrero Peña², Eusebio Ortega Jiménez¹, Eduardo Daniel Bolaños Aguilar³ y Alejandro Alonso López¹

¹Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. ²Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Cárdenas, Tabasco, México. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, C. E. Huimanguillo, Huimanguillo Tabasco, México.

6.1 Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar en la biomasa total (aérea más raíz) el requerimiento interno y la demanda de nitrógeno, fósforo y potasio del pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum* GALL.) en tres épocas climáticas, en diferentes niveles de fertilización y frecuencias de corte, como información base para establecer dosis de fertilización y su fraccionamiento. Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial y seis repeticiones. Se encontraron diferencias significativas entre épocas del año excepto en requerimiento interno de nitrógeno (RIN); el mayor requerimiento de potasio (RIP) se encontró en la época de nortes con 0.25% y el de potasio (RIK) en lluvias con 1.69%. En la época de seca se observaron las mayores demandas de nitrógeno (DEM_N), fósforo (DEM_P) y potasio (DEM_K) con 90, 12 y 99 kg ha⁻¹, respectivamente. Se observaron diferencias significativas en niveles de fertilización excepto para el RIP y RIK; el mayor RIN se observó en la dosis alta (DA) con 1.71%. Las mayores DEM_N y DEM_K se encontraron en los tratamientos fertilizados con 75 y 72 kg ha⁻¹ en dosis normal (DN) y DA, respectivamente para nitrógeno y 82 y 73 kg ha⁻¹ en DN y DA, respectivamente para potasio. Se encontró diferencia significativa entre las frecuencias de corte; a los 40 días (d) de rebrote se observaron los mayores RIN y RIP con 1.86 y 0.24%, respectivamente y el mayor RIP se encontró a los 60 d con 0.24%. Las mayores DEM_N, DEM_P, DEM_K y biomasa total se obtuvieron a los 80 d con 88, 12 y 105 y 7271 kg ha⁻¹, respectivamente.

Palabras clave: *Pennisetum purpureum*, requerimiento interno, demanda de nitrógeno, demanda de potasio, demanda de fósforo

6.2 Abstract

The objective of the present study was to determine the internal requirement and demand the nitrogen, phosphorus and potassium of the Taiwan grass (*Pennisetum purpureum* Schum) in the total biomass (aerial plus root) in three climatic seasons, under different levels of fertilization and cutting frequencies, as basic information to establish fertilization doses and their fractionation. The treatments were distributed in a completely randomized design with factorial arrangement and six replicates. Significant differences were found between seasons of the year except for internal requirements nitrogen (IRN); the highest requirement of potassium (IRP) was found in the Norther period with 0.25% and potassium (IRK) in Rainy season with 1.69%. In the Dry season, the highest demands of nitrogen (NDEM), phosphorus (PDEM) and potassium (KDEM) were observed with 90, 12 and 99 kg ha⁻¹, respectively. Significant differences were observed in fertilization levels except for IRP and IRK; the highest IRN was observed in high dose (HD) with 1.71%. The largest NDEM and KDEM was found in fertilized treatments with 75 and 72 kg ha⁻¹ in normal dose (ND) and HD, respectively for nitrogen and 82 and 73 kg ha⁻¹ in ND and HD, respectively for potassium. A significant difference were found between the cutoff frequencies; at 40 days (d) of regrowth, the highest IRN and IRP were observed with 1.86 and 0.24%, respectively and the highest RIP was found at 60 d with 0.24%. The highest NDEM, PDEM, K DEM and total biomass were obtained at 80 d with 88, 12 and 105 and 7271 kg ha⁻¹, respectively.

Keywords: *Pennisetum purpureum*, internal requirement, nitrogen demand, potassium demand, phosphorus demand

6.3 Introducción

La utilización de especies de corte como el pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum* Schum), es una alternativa para la alimentación del ganado bovino durante las épocas de escasez de forrajes en las zonas tropicales (seca y nortes); debido a que la escasa disponibilidad y la pobre calidad de los forrajes en esas épocas limitan la producción animal en estas regiones (León *et al.* 2000). Los *Pennisetum* producen grandes cantidades de biomasa que llega a ser superior a 40 t ha⁻¹ por corte y cuando se cosechan en el momento oportuno suministra una gran cantidad de nutrientes (Larbi *et al.*, 1991; Martínez *et al.*, 1994; Araya y Boschini, 2005).

En general, los pastos y forrajes en el trópico presentan variación en calidad y producción de biomasa en sus distintas etapas de crecimiento, debido principalmente a las diferentes condiciones ambientales y edafoclimáticas, material genético, manejo, entre otras (Elizondo, 2017); y dentro del manejo, se considera a la fertilización como una alternativa para mejorar el rendimiento y calidad de plantas que extraen grandes cantidades de nutrientes (Primavesi *et al.*, 2006). Además los suelos de regiones tropicales son poco fértiles por lo que no satisfacen los requerimientos de la planta, principalmente de los tres elementos esenciales para el desarrollo, crecimiento y producción: nitrógeno, fósforo y potasio; Cerdas (2015) menciona que en variedades de *Pennisetum purpureum*, la relación promedio de extracción nutricional de N:P₂O₅:K₂O es de 3.5:1.0:4.0, respectivamente; por lo cual, el consumo de nutrientes está controlado por el rendimiento de forraje y la fertilización adquiere mayor significado en aquellas especies con alto potencial genético de producción (Cerdas y Vallejos 2012). Para realizar aplicaciones de nutrientes se debe conocer la demanda del elemento a través de las diferentes etapas vegetativas de la planta y proporcionárselo en el momento y cantidades adecuadas que permita a la planta expresar su mayor potencial de rendimiento (Ramírez *et al.*, 2010). La demanda de un cultivo es la cantidad de un nutrimento que debe estar presente en los tejidos de la planta en cada etapa fenológica para que no sea un factor restrictivo y afecte negativamente el crecimiento y rendimiento de la misma (Rodríguez, 1993; Rodríguez *et al.*, 2001; Medina *et al.*, 2010); y depende de la biomasa aérea que puede producir un cultivo en su agroecosistema y de la concentración óptima del nutrimento contenido en ella medida al momento de la cosecha (Escalona y Pire, 2008).

Cerdas (2015) refiere que la variabilidad de la demanda nutrimental de los forrajes depende de tres factores: la capacidad para extraer nutrientes del suelo, el requerimiento interno de la planta y

el potencial de producción de la especie. De acuerdo con Rodríguez (1993) el requerimiento interno es la concentración mínima de nutriente en la materia seca al momento de la cosecha de plantas con una nutrición óptima; y esta función es válida para un mismo periodo de crecimiento de los cultivos con una tasa de crecimiento constante y una misma eficiencia fotosintética. Greenwood (1983) menciona que es relativamente alta aunque varía entre las distintas partes de ella y es relativamente constante a la madurez fisiológica. Es escasa la literatura y el estudio de la demanda y requerimiento de nutrientes en forrajes de corte en zonas tropicales; por ello, el objetivo del presente estudio fue determinar en la biomasa total (aérea más raíz) el requerimiento interno y la demanda de nitrógeno, fósforo y potasio del pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum* Schum.) en tres épocas climáticas, en diferentes niveles de fertilización y frecuencias de corte, como información base para establecer dosis de fertilización y su fraccionamiento.

6.4 Materiales y métodos

6.4.1 Área de estudio

El experimento se estableció en el Rancho Santa Rosa del ejido Posa Redonda segunda sección del municipio de Cárdenas, Tabasco, México, sitio con coordenadas 18° 14' de Latitud Norte y 93° 29' de Longitud Oeste y altitud de 10 msnm. García (2004) menciona que el sitio cuenta con un clima Am (f) cálido húmedo con lluvias en verano y parte del otoño; la precipitación y temperatura promedio anual son de 2151 mm y 25.8 °C, respectivamente; el suelo es un Vertisol (Palma *et al.*, 2007) caracterizado por presentar más de 30% de arcilla en todos los horizontes y cuyas características químicas se presentan en el Cuadro 6.1.

6.4.2 Especie evaluada

El pasto en estudio fue Taiwán (*P. purpureum*) e involucró desde su establecimiento con material vegetativo en terreno con uso esporádico de cultivos anuales, principalmente maíz y frijol. Después de la siembra, se esperaron cinco meses antes de realizar el corte de homogeneización; la unidad experimental consistió en una planta con separación de un metro entre ellas y un metro entre líneas para eliminar el efecto de borde. Sobre la pradera se establecieron un total de 54 unidades experimentales, y para cada una de las épocas donde se distribuyeron los tres niveles de fertilización y las tres frecuencias de corte.

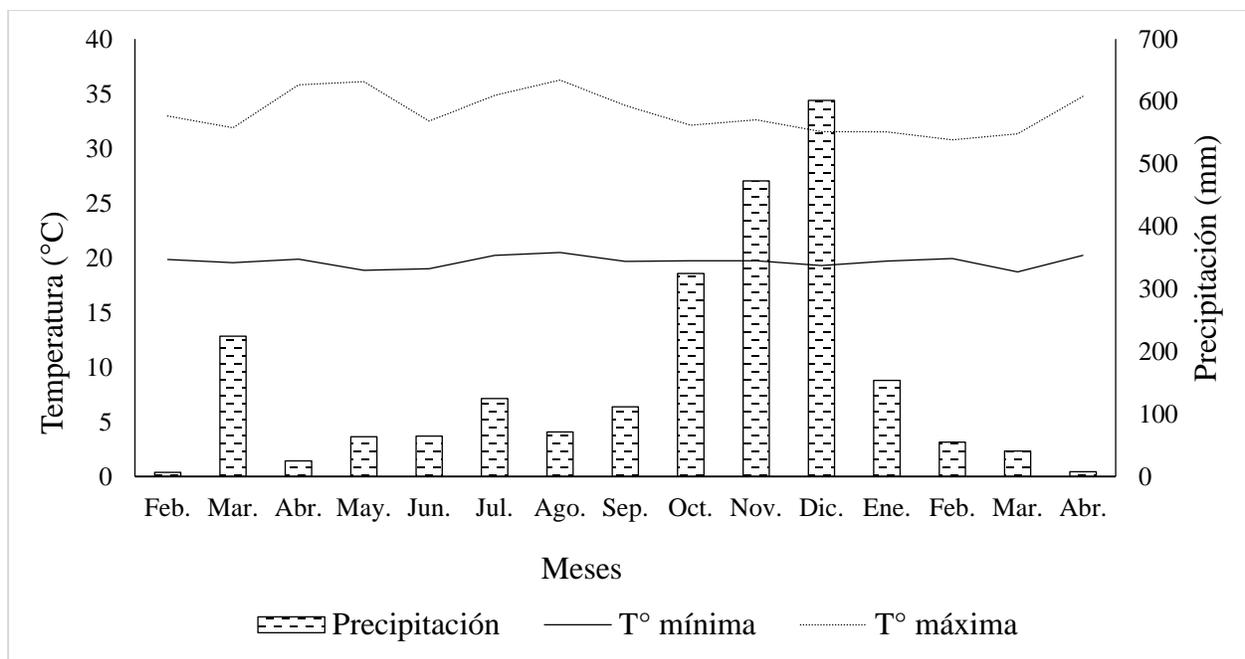


Figura 6.1. Condiciones climatológicas presentes durante la fase de establecimiento y experimentación del pasto *P. purpureum*. Periodo de febrero del 2015 a abril del 2016

6.4.3 Periodos de evaluación

Se evaluaron tres épocas del año definidas en la zona; Moguel y Molina (2000) mencionan que se presentan de la siguiente manera: seca de los meses de marzo a junio, lluvias de julio a octubre y nortes de noviembre a febrero. El presente experimento comprendió del 10 de febrero del 2015 a 28 de abril del 2016, con evaluaciones a los 40, 60 y 80 días (d) de rebrote dentro de cada una de las tres épocas del año. Las muestras se obtuvieron mediante la cosecha de la planta entera incluyendo la raíz (Kolesnikov, 1971). El material cosechado fue lavado, secado y molido para su posterior análisis en el Laboratorio Agroindustrial de Suelo, Planta y Agua del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Las condiciones climatológicas presentes en el sitio durante el periodo de estudio son presentadas en la Figura 6.1.

6.4.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Se usó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3x3x3 (tres épocas, tres niveles de fertilización y tres frecuencias de corte) con 3 repeticiones. Para el análisis de datos se usó el programa SAS (SAS, 2009) y en las variables que resultaron con diferencia significativa se hizo la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

6.4.5 Tratamientos y fertilización

Los tratamientos resultaron de la combinación de las tres frecuencias de corte y los tres niveles de fertilización dentro de cada época. Los niveles de fertilización fueron: testigo (T); dosis normal (DN) = fertilizado con 300-100-200 kg ha⁻¹ año⁻¹ de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente y dosis alta (DA)= fertilizado con 600-200-400 kg ha⁻¹ año con nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, cada uno con seis repeticiones. Las fuentes de fertilizantes fueron: urea, superfosfato triple y cloruro de potasio y una sola aplicación al voleo, en cada una de las épocas.

Cuadro 6.1. Análisis químico y físico del suelo del sitio experimental, Ranchería Posa Redonda, 2da. Sección, Cárdenas Tabasco, México

pH	CE	MO	Nt	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	CIC	Clase textural
1:2	(dS m ⁻¹)	-----%-----	(mg kg ⁻¹)	-----	(cmol kg ⁻¹)	-----	-----	-----	-----	-----
5	0.03	2.3	0.14	3.93	0.18	8.3	4.0	0.11	17.6	Franco arcilloso

Fuente: NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002)

CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, Nt: nitrógeno total, P: fósforo disponible, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Na: sodio, CIC: capacidad de intercambio catiónico

6.4.6 Muestreo y variables de respuesta

Para obtener la biomasa aérea, se cosechó la parcela cortando el pasto a diez cm altura y para la biomasa radical, se extrajo el resto de la planta que contenía parte de tallo y raíz, método propuesto por Kolesnikov (1971); el material cosechado fue lavado, secado y molido para su posterior análisis. Las variables fueron estimadas de la siguiente manera: requerimiento interno (RI, %) de N, P y K con la fórmula $RI = (\text{nutriente absorbido} / \text{biomasa total}) * 100$ (Rodríguez, 1993); el nutriente absorbido (kg ha⁻¹) fue calculado con la fórmula: $(\text{biomasa seca} * \text{porcentaje del nutriente}) / 100$; demanda (kg ha⁻¹) de N, P y K = $(\text{biomasa total} * \text{requerimiento interno}) / 100$, fórmula propuesta por Rodríguez (1993) y la biomasa total (BT, kg ha⁻¹): suma de la biomasa aérea con la biomasa radical. La determinación de nitrógeno del material vegetal se realizó mediante el método micro-Kjeldahl modificado para incluir nitratos; el fósforo (P) y el potasio (K) medidos en el digestado con HNO₃/HClO₄; la cuantificación del P con espectrofotómetro UV-Visible y el de K fue cuantificado por espectrometría de absorción atómica.

6.5 Resultados y Discusión

6.5.1 Efecto de épocas climáticas

Requerimiento interno de nitrógeno fósforo y potasio. Se observaron diferencias significativas dentro del factor época (Cuadro 6.2), excepto en requerimiento interno de nitrógeno (RIN) ($p \geq 0.05$). Botero (1999) menciona que la concentración de nitrógeno deseable en forrajes es de 1.34 a 1.52% por lo que los resultados de este experimento se encuentran dentro de este nivel. El mayor requerimiento interno de fósforo (RIP) fue 28% superior en la época de nortes comparada con el menor que se obtuvo en lluvias; Herrera *et al.* (2008) y Ramírez *et al.* (2008) en variedades de *P. purpureum* reportan valores en este elemento de 0.17 ± 0.01 y 0.19 ± 0.01 para épocas de seca y lluvias, respectivamente, promedios que oscilan a los observados en el presente estudio y de acuerdo con Botero (1999), estarían en niveles críticos (menor a 0.18%) y deseable (hasta 0.22%); Turano *et al.* (2016) mediante simulación de lluvias con riegos en *P. purpureum* muestra valores de $0.19 \pm 0.04\%$ y en el no irrigado $0.21 \pm 0.04\%$, lo cual fue observado en este trabajo. Los mayores requerimientos de potasio (RIK) fueron en seca y lluvias, siendo superior un 6% respecto a la menor que fue observada en nortes; el anegamiento típico de esta época, disminuyó la concentración de potasio debido a la clorosis foliar, típica de plantas inundadas y por la disminución de la tasa de absorción de iones causada por la alteración del metabolismo de las raíces debido a la anoxia (Bailey y Voesenek, 2008). En seca la causa probable fue un crecimiento reducido de las plantas que promovió la acumulación de nutrientes en las hojas (Baruch, 1994); el porcentaje crítico de este elemento en biomasa aérea de forrajes es menor a 0.50 y máximo 3% (Botero, 1999); por lo que los resultados de este experimento se encuentran dentro de ese intervalo en las tres épocas. Clavero *et al.* (1994) en *P. purpureum* (elefante enano) no encontraron diferencia en la concentración de este elemento, evaluando épocas de seca y lluvias; Herrera *et al.* (2008), Ramírez *et al.* (2008) y Turano *et al.* (2016) en variedades de *P. purpureum* muestran valores de 2.95 ± 0.59 y $2.61 \pm 1.31\%$ para seca y lluvias, respectivamente; observamos una ligera mayor cantidad en seca posiblemente a que ellos evaluaron únicamente hojas, sin considerar tallo.

Demanda de nitrógeno, fósforo y potasio. El ANOVA mostró diferencias significativas ($p \leq 0.0001$) en las demandas de nitrógeno (DEMN), fósforo (DEMP) y potasio (DEMK) dentro de épocas. Las mayores demandas de los tres elementos fueron observadas en época de seca y las menores en lluvias (Cuadro 6.2); siendo superior en orden del 48, 50 y 48%, respectivamente

para N, P y K. La DEMN se observa directamente proporcional a la biomasa total, lo cual es un comportamiento normal y ha sido observado en diversos experimentos como el de Ra *et al.* (2012) en evaluación de diferentes pastos tropicales y Bernal (2003) en Elefante (*P. purpureum*), observaron que cuando mayor fue la producción de biomasa, mayor fue la demanda de nitrógeno. Márquez *et al.* (2007) en evaluaciones de tres variedades *P. purpureum* durante un año, observaron demanda de $116.8 \pm 1 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrógeno, este valor es superior al observado en el presente estudio en las tres épocas debido a condiciones edafoclimáticas diferentes. Lemos Dos Santos *et al.* (2012) en *P. purpureum* durante época de lluvias encontraron demanda de fósforo de $20 \pm 4.1 \text{ kg ha}^{-1}$ resultados superiores al del presente estudio debido a que usaron altas dosis de fertilizante de ese elemento además de yeso.

Cuadro 6.2. Variables evaluadas de pasto Taiwán en tres épocas climáticas en Tabasco, México

ÉPOCA	RIN	RIP	RIK	DEM N	DEM P	DEM K	BT
	%			(kg ha^{-1})			
SECA	1.50 ^a	0.21 ^b	1.63 ^{ab}	90 ^a	12 ^a	99 ^a	6642 ^a
LLUVIAS	1.61 ^a	0.18 ^c	1.69 ^a	47 ^c	6 ^c	51 ^c	3442 ^c
NORTES	1.63 ^a	0.25 ^a	1.56 ^b	66 ^b	10 ^b	70 ^b	4688 ^b

Valores con letras iguales dentro de cada columna no son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$)

RIN: requerimiento interno de nitrógeno, RIP: requerimiento interno de fósforo, RIK: requerimiento interno de potasio, DEMN: demanda de nitrógeno, DEM P: demanda de fósforo, DEM K: demanda de potasio, BT: biomasa total

Biomasa total. Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.0001$); el mayor rendimiento de biomasa total (BT) se obtuvo en época de seca con producción superior al 48% comparada a la menor que fue en lluvias (Cuadro 6.2); se observa una relación lineal con las demandas de N, P y K a lo que Ra *et al.* (2012) menciona que existe una correlación directa entre estas dos variables cuando hay mayor producción de biomasa, mayor es la demanda de nutrientes. Se esperaría que la mayor producción ocurriera en lluvias si solo se hubiese considerado la biomasa aérea pero por la influencia de la biomasa radical, el comportamiento fue diferente; este resultado es similar al observado por Aves dos Santos *et al.* (2001) en pasto elefante (*P. purpureum*) quienes encontraron mayor producción en época de seca. Blum (2005) y Shao *et al.* (2008) refieren que la producción de raíz es una respuesta biológica inducida por el estrés de la falta de agua, lo que permite a la planta una mayor zona de exploración en el suelo en busca del recurso para realizar sus procesos fisiológicos de forma eficiente; además del agua residual de la época anterior y que

retienen principalmente este tipo de suelo debido a su textura, y también la contribución de la temperatura óptima de esta época para *P. purpureum* la cual de acuerdo con Baruch y Fisher (1991) es de 37 °C (Figura 1), que favorece los procesos de síntesis y acumulación de carbohidratos solubles en la planta; Bernal (1991) menciona que este género tiene alta capacidad fotosintética, favorecida por las altas temperaturas, predominantes en el trópico, le permite producir altas cantidades de biomasa, situaciones contrarias que suceden en lluvias. Es importante considerar que durante la etapa de experimentación, no se presentó la sequía extrema. Respecto a nortes se observó una BT intermedia, Jackson y Drew (1984) y Mollard *et al.* (2010) mencionan que una respuesta común a las inundaciones, característica de esta época, es la reducción de la fijación de carbono de las plantas (por ejemplo, la tasa de fotosíntesis), en el corto plazo, la fotosíntesis puede caer como resultado de una restricción de la absorción de CO₂ debido al cierre de estomas. Rodríguez *et al.* (2013), Herrera (2015) y González *et al.* (2011) en evaluación de *Pennisetum* en seca y lluvias reporta producciones de 3900±1.93 y 8338±1.16 kg ha⁻¹, respectivamente, comportamiento diferente al del presente estudio porque ellos en sus experimentos no consideraron raíces.

6.5.2 Efecto del nivel de fertilización

Requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio. Se observó diferencias significativas dentro del factor nivel de fertilización únicamente en RIN ($p \leq 0.0001$). La mayor concentración de nitrógeno se observó con la dosis alta de fertilización y la menor en el testigo (Cuadro 6.3), siendo 16% superior; debido a la aplicación de nitrógeno en forma de urea y que se vio reflejado en el requerimiento de este elemento; Rahman *et al.* (2008) en pasto guinea (*Panicum maximum*) encontró mayor concentración de nitrógeno con la dosis alta de fertilización (2.17%), comparada con la dosis normal (1.85%). En el requerimiento interno de potasio (RIK), asumimos que es debido al antagonismo del amonio y este elemento; en el presente experimento se aplicó nitrógeno en forma de urea, esta se hidroliza con rapidez produciéndose iones amonio, y se ha demostrado que entre más elevada sea la cantidad aplicada de amonio se tendrá una menor absorción de potasio por las raíces y viceversa (Fageria, 2001). Este comportamiento en los dos elementos es similar al observado por Faría *et al.* (1999) quienes no encontraron diferencias en fósforo evaluando al pasto elefante (*P. purpureum*), en tres dosis crecientes de fertilización y un testigo; y Rilner *et al.* (2012) en dos *P. purpureum* observaron mayor requerimiento de potasio en el tratamiento testigo (1.73%) comparado al tratamiento fertilizado (1.67%). Consideramos

pero al ser las demandas iguales estadísticamente en tratamientos fertilizados, significa que la planta tiene un máximo de absorción de nutrientes, y no es necesario aplicar la dosis alta porque la planta estaría haciendo un consumo de lujo (Ramos *et al.*, 2002).

Biomasa total. Se observaron diferencias significativas (Cuadro 3) en el rendimiento de biomasa total ($p \leq 0.0001$); mediante la fertilización mineral se incrementó la producción 19% en los tratamientos fertilizados respecto al testigo. El efecto de la aplicación de nitrógeno es porque este elemento forma parte primordial de las estructuras proteicas y de la clorofila en las plantas, lo que le permite un estímulo en el desarrollo y crecimiento de las hojas y tallos (Fageria y Baligar, 2005). Consideramos la relación del sinergismo entre el fósforo y el potasio debido a que el efecto conjunto en el rendimiento del cultivo es superior al rendimiento que se obtiene por su aplicación individual; entre mayor sea la cantidad aplicada de los elementos, la respuesta en el rendimiento se mejora hasta un punto máximo. Al no haber diferencia entre tratamientos fertilizados, nos indica que la planta tiene un tope de aprovechamiento del nutriente y no es necesario aplicar más porque estaría haciendo un consumo de lujo. Al respecto Rahman *et al.* (2008) menciona que algunas gramíneas tropicales había alcanzado un pico de aplicación de nitrógeno de 300 kg ha^{-1} , cantidad aplicada en la dosis normal; y Rahman *et al.* (2010) observaron que la producción de biomasa disminuyó al aplicar una dosis de fertilización tres veces mayor a la recomendada. Crespo y Fraga (2005) en king grass (*P. purpureum*) y Cerdas y Vallejos (2010) en marafalfa (*P. purpureum*) encontraron rendimiento 33% superior en tratamiento fertilizado, comparado con el testigo pero solo consideraron biomasa aérea. Cerdas (2015) en marafalfa (*P. purpureum*) reportan producción de 1760 kg ha^{-1} por cada corte en el tratamiento testigo y 12157 kg ha^{-1} en tratamientos fertilizados; Zewdu *et al.* (2002) reportan incremento de 17% del pasto napier (*P. purpureum*) del tratamiento fertilizado respecto al testigo. Arshad *et al.* (2010) reporta 45% de incremento en pasto elefante (*P. purpureum*) fertilizado. Hertentains *et al.*, (2005) menciona que el aporte de nitrógeno recomendado para la especie *purpureum* es de $275 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para mantener una producción forrajera adecuada, especialmente en suelos deficientes de este elemento.

6.5.3 Efecto de la frecuencia de corte

Requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio. Se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.0001$) dentro de la frecuencia de corte (Cuadro 6.4); los mayores RIN y RIP fueron observados a los 40 días de rebrote y los menores a los 80 días. El nitrógeno es un

elemento muy móvil y se necesita en las partes más jóvenes de la planta, además del proceso de dilución del nitrógeno que ocurre en los pastos tropicales producido por el desarrollo vegetativo (Juárez *et al.*, 2011); Norton (1981) refiere que la edad es el principal factor que afecta la concentración de este elemento en la planta porque al aumentar esta se reduce la relación hoja:tallo y en el primer componente es donde se concentra más el nitrógeno. El comportamiento del nitrógeno en el presente estudio es similar a lo reportado por Kozloski *et al.* (2003), Andino y Pérez (2012) y Palacios *et al.* (2013) quienes observaron la disminución de este elemento conforme avanzaba la edad en *P. purpureum* y Kering *et al.* (2012) en diferentes especies de pastos perennes; Clavero y Razz (2009) encontraron disminución del 47% en pasto marafalfa, de los 21 a 63 días de rebrote. Respecto al fósforo, Kass (1996) menciona que este elemento se encuentra en fuertes concentraciones en los tejidos meristemáticos, punto de crecimiento activo de la planta, su mayor presencia ocurre en la etapa de desarrollo de raíces y crecimiento vegetal y Greene *et al.* (1985) refieren que en el crecimiento de una planta forrajera, hasta la madurez, figura una rápida toma de minerales del suelo a tempranos estados de crecimiento y conforme aumenta la actividad fotosintética, se incrementa la producción de carbohidratos, proteínas y materia seca y reducción de la extracción de minerales del suelo, con el resultado de una dilución natural en la planta, por lo que declina el contenido. Casanova *et al.* (2006) e Hinojosa *et al.* (2014) en CT-115 y Marafalfa observaron que el requerimiento de este elemento disminuyó conforme avanzaba la edad de la planta y Kering *et al.* (2012) lo observaron en diferentes especies de pastos perennes. Clavero *et al.* (1994) en elefante enano (*P. purpureum*) observaron disminución del 21% en el contenido de fosforo en el transcurso de 28 días, comparado a los 25% en este experimento pero en un intervalo de 40 días y Casanovas *et al.* (2006) en CT-115 muestra disminución de 0.33 a 0.20% de 45 a 120 días en requerimiento interno y Ramírez *et al.* (2008) reporta concentración de 0.19 y 0.16% a los 60 y 90 d de rebrote respectivamente en CT-169, datos inferiores a los de este estudio, debido a que el suelo es más deficiente de este elemento. El mayor requerimiento de potasio se encontró 13% superior a los 60 días de rebrote respecto al menor lo cual ocurrió a los 80 días y hubo un incremento de los 40 a 60 d; este mismo comportamiento fue observado por Mijanur *et al.* (2008) en pasto napier (*P. purpureum*) quienes en la tercera edad de corte obtuvieron la menor concentración (2.70%), seguida de la primera edad (2.92%) y la mayor ocurrió en el segundo corte (3.51%). Ramírez *et al.* (2008) afirman que el potasio es muy móvil en la planta y que su concentración tiende a variar al incrementarse la

edad de la planta; esto también fue observado por Andino y Pérez (2012) en *P. purpureum* donde hubo incremento del 30% de los 60 a 75 d de rebrote. Edet (2013) en dos híbridos de *P. purpureum* muestras promedio de 0.49% a los 112 días de rebrote, dato muy inferior a los observados en el presente estudio debido a las condiciones muy diferentes de suelo y clima, aun siendo mayor el suministro por el suelo en ese estudio (0.59 cmol kg⁻¹), comparado al nuestro (0.18 cmol kg⁻¹) y Ramírez *et al.* (2008) muestra 2.37 y 2.24% de potasio a los 60 y 90 días de rebrote, respectivamente en CT-169, mayor al del presente estudio debido a que el suelo tenía mayor disponibilidad de ese elemento.

Demanda de nitrógeno, fósforo y potasio. Se observaron diferencias (Cuadro 6.4), de acuerdo con la frecuencia de corte ($p \leq 0.0001$); las mayores demandas de los tres elementos fueron a los 80 días de rebrote y las menores a los 40 días en orden superior de 51, 50 y 59%, respectivamente para nitrógeno, fósforo y potasio. El comportamiento de la demanda de nitrógeno es similar al observado por Palacios *et al.* (2013) quienes reportan aumento del 17% en el transcurso de 90 a 120 días de rebrote en Marafalfa; mientras que Xu *et al.* (2015) observaron en Taiwán que la DEMN estuvo directamente relacionada a la producción de biomasa. La mayor demanda de fósforo en la época de seca se relaciona con la producción de biomasa total; esto es atribuido a la relación directamente proporcional entre las variables demanda y rendimiento de biomasa; a lo que Rao *et al.* (1999) refiere que las especies forrajeras perennes, desarrollan sistemas radiculares más vigorosos como una característica adaptativa a la baja disponibilidad de fósforo en los suelos tropicales y como en este experimento se incluyó la producción de raíces.

Cuadro 6.4. Variables evaluadas de pasto Taiwán en tres frecuencias de corte en Tabasco, México

FREC. DE CORTE (d)	RIN	RIP	RIK	DEM N	DEM P	DEM K	BT
	%			(kg ha ⁻¹)			
40	1.86 ^a	0.24 ^a	1.65 ^b	43 ^c	6 ^c	43 ^c	2858 ^c
60	1.59 ^b	0.21 ^b	1.73 ^a	71 ^b	9 ^b	73 ^b	4643 ^b
80	1.28 ^c	0.18 ^c	1.50 ^c	88 ^a	12 ^a	105 ^a	7271 ^a

Valores con letras iguales dentro de cada columna no son diferentes estadísticamente ($p \leq 0.05$)

d: días de rebrote, RIN: requerimiento interno de nitrógeno, RIP: requerimiento interno de fósforo, RIK: requerimiento interno de potasio, DEMN: demanda de nitrógeno, DEM P: demanda de fósforo, DEM K: demanda de potasio, BT: biomasa total

Biomasa total. El ANOVA mostró diferencias significativas dentro del factor FC (Cuadro 4), ($p \leq 0.0001$); la mayor producción de BT se encontró a los 80 días de rebrote y la menor en la primera edad de corte con diferencia del 61%. Este resultado es conocido en los pastos tropicales, donde su producción aumenta a medida que se incrementa la edad de rebrote y ha sido observado por Herrera *et al.* (1994), Calzada *et al.* (2014) y Cárdenas *et al.* (2012) en pasto marafalfa y Xu *et al.* (2015) en Taiwán; esto es porque a medida que crece la planta en función de la edad, aumenta proporcionalmente el índice de área foliar; y, por lo tanto, la síntesis de tejidos de reserva o sostén, incrementándose algunas características morfológicas de importancia como es la biomasa (Manrique *et al.*, 1996). Es evidente que las producciones de este experimento fueron muy bajas comparadas a trabajos anteriores; debido a este comportamiento asumimos que se debió dejar un periodo de establecimiento más largo como el recomendado por Oquendo (2002); Rodríguez y Áviles (1997) refieren que la cantidad del forraje producido por los pastos están, en gran medida influenciadas por la morfología de la planta y Pérez *et al.* (2004) mencionan que la etapa morfológica y fisiológica, en la que se encuentra la planta forrajera al momento de la primera cosecha, es de importancia, debido a que de esto dependerá la persistencia y el vigor de rebrotes siguientes ya que la remoción del meristemo apical favorecerá la disminución de carbohidratos no estructurales, considerados como la fuente primaria de reserva energética para el rebrote (Anderson, 1989). Cerdas y Vallejos (2010) en Camerún (*P. purpureum*) obtuvieron incremento promedio de dos sitios diferentes de 37% de 30 a 60 días, dato similar al de este experimento donde el incremento fue de 38% en el transcurso de 40 a 60 días de rebrote. Cerdas (2015) a los 49 días de rebrote de pasto marafalfa observaron rendimiento de biomasa seca de $7,233 \text{ kg ha}^{-1} \text{ corte}^{-1}$ rendimiento similar al de este estudio pero a los 80 días de rebrote. Márquez *et al.*, (2007) en evaluación de tres *P. purpureum* observaron que el rendimiento de materia seca incrementó conforme avanzaba la edad de los pastos; por ejemplo en Taiwán, de los 49 a 63 días de rebrote tuvo incremento del 36%; estos mismos autores señalan que la frecuencia de corte constituye uno de los factores de mayor influencia en el crecimiento de los pastos, debido a que la edad provoca cambios en su morfología y constituyentes químicos.

6.6 Conclusiones

Se generaron los valores de requerimiento interno y demanda de nitrógeno, fósforo y potasio en pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum* Schum) en condiciones de campo en el trópico húmedo mexicano. Las variables evaluadas en general, presentaron diferente comportamiento dentro de

las épocas climáticas, niveles de fertilización y frecuencias de corte. El requerimiento interno de fósforo fue 28% mayor en nortes con respecto a lluvias y el requerimiento interno de potasio 6% mayor en seca y lluvias comparado con la época de nortes. El requerimiento interno de nitrógeno se observó 16% mayor con la dosis alta, comparado con el testigo y en las frecuencias de corte, las concentraciones de nitrógeno y fósforo disminuyeron conforme avanzó la edad del pasto. Se observó una relación lineal entre la biomasa total y demanda en los tres nutrientes en los tres factores evaluados; en cuanto a la fertilización, el nutriente aplicado tuvo efecto en la biomasa total producida pero observando un límite máximo de aprovechamiento del elemento; en las frecuencias de corte el comportamiento fue respecto a que mayor edad tuvo la planta, mayor fue la producción. La información generada es útil para establecer una dosis de fertilización y su fraccionamiento para nitrógeno, fósforo y potasio para el pasto Taiwán con el modelo de balance nutrimental.

Agradecimientos

Agradecemos al MC. Francisco Meléndez Nava por las facilidades otorgadas en el rancho “Santa Rosa” para el desarrollo de la fase experimental de este estudio; al Laboratorio Agroindustrial, Suelo, Planta y Agua y Laboratorio de Instrumentación Analítica del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco por el apoyo para la realización de los análisis químicos.

6.7 Referencias

- ALVES DOS SANTOS E., SOARES DA SILVA D. e LEITE DE QUEIROZ F. J. (2001) Aspectos Productivos do Capim-Elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum.) cv. Roxo no Brejo Paraibano. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **30**, 31-36.
- ANDERSON B., MATCHES A.G. and NELSON C.J. (1989) Carbohydrate reserves and tillering of Switchgrass following clipping. *Agronomy Journal*, **81**, 13-16.
- ANDINO R.N.J. y PÉREZ G.J.S. (2012) Producción de biomasa y concentración de nutrientes en el pasto cubano (*Pennisetum purpureum* x *P. tiphoides*) CV CT-115. Tesis de Licenciatura Finca la Tigra, Cárdenas, Rivas, Nicaragua, Managua, Nicaragua. 49 pág.
- ARAYA M.M. y BOSCHINI C.F. (2005) Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de *Pennisetum purpureum* en la Meseta Central de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, **16**: 37–43.
- BAILEY S.J. and VOESENEK L.A.C.J. (2008) Flooding stress: acclimations and genetic diversity. *Annual Reviews in Plant Biology*, **59**, 313-339.
- BARUCH Z. and FISHER M.J. (1991) Factores climáticos de competencia que afectan el desarrollo de la planta en el crecimiento. In: Establecimiento y renovación de pasturas. Conceptos, experiencia y enfoques de la investigación. Red de Investigación y Evaluación de Pastos Tropicales. CIAT. Colombia. Pág: 103-142.

- BARUCH Z (1994) Response to drought and flooding in tropical forage grasses. II. Leaf water potential, photosynthesis rate and alcohol dehydrogenase activity. *Plant and Soil*, **164**, 97-105.
- BERNAL J.E. (1991) Pastos y forrajes tropicales. Producción y manejo. Unidad de Divulgación y Prensa. Banco Ganadero. 2a Ed. Bogotá, Colombia. 544 pág.
- BERNAL J.E. (2003) Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos. Bogotá, Colombia. 94 pág.
- BLUM A. (2005) Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential - are they compatible, dissonant, or mutually exclusive?. *Australian Journal of Agricultural Research*, **56**, 1159–1168.
- BOTERO R. (1999) Fertilización racional y renovación de pasturas mejoradas en suelos ácidos tropicales. EARTH, Costa Rica. 21 pág.
- CALZADA M.J.M., ENRÍQUEZ Q.J.F., HERNÁNDEZ G.A. ORTEGA J.E. y MENDOZA P.S.I. (2014) Análisis de crecimiento del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) en clima cálido subhúmedo. *Revista Mexicana de Ciencia Pecuaria*, **5**, 247-260.
- CÁRDENAS R.L.R., PINTO R.R., MEDINA F.J., GUEVARA F., GÓMEZ H., HERNÁNDEZ A. y CARMONA J. (2012) Producción y calidad del pasto maralfalfa (*Pennisetum* sp.) durante la época seca. *Quehacer Científico en Chiapas*, **1**, 38-46.
- CASANOVAS E., FIGUEREDO Y., SOTO R., NOVOA R. y VALERA R. (2006) Efecto de la frecuencia de corte en el comportamiento fenológico y productivo de *Pennisetum purpureum* vc Cuba CT-115 en el periodo poco lluvioso. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **40**, 465-470.
- CERDAS R. y VALLEJOS E. (2010) Productividad del pasto Camerún (*Pennisetum purpureum*) con varias dosis de nitrógeno y frecuencias de corte en la zona seca de Costa Rica. *InterSedes*, **XI**, 180-195.
- CERDAS R. y VALLEJOS E. (2012) Comportamiento productivo de varios pastos tropicales a diferentes edades de cosecha en Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes*, **26**, 6-22.
- CERDAS R.R. (2015) Comportamiento productivo del pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *InterSedes*, **16**, 125-145.
- CLAVERO T., FERRER O. y PÉREZ J. (1994) Contenido mineral del pasto elefante enano (*Pennisetum purpureum* cv Mott.) bajo diferentes condiciones de defoliación. *Revista Facultad Agronomía (LUZ)*, **11**, 355-364.
- CLAVERO T. and RAZZ R. (2009) Valor nutritivo del pasto maralfalfa (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum glaucum*) under defoliation conditions. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*, **26**, 78-87.
- CRESPO G. y FRAGA S. (2005) Efecto de la aplicación superficial de fertilizante mineral y abono orgánico en la recuperación de un campo forrajero de *Pennisetum purpureum* cv. King grass. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **39**, 343-349.
- EDET O.E. (2013) Mineral contents of selected Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) x Elephant Grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) Interspecific Hybrids of Nigerian Origin. *Journal of Plant Studies*, **2**, 22-27.
- ELIZONDO S.J.A. (2017) Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas. *Agronomía Mesoamericana*, **28**, 329-340.
- ESCALONA A. y PIRE, R. (2008) Crecimiento y extracción de N-P-K por plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) abonadas con estiércol de pollo en Quíbor, Estado Lara. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, **25**, 243-260.
- FAGERIA N.K. (2001) Nutrient interactions in crop plants. *Journal Plant Nutrition*, **24**, 1269-1290.

- FAGERIA N.K. and BALIGAR V.C. (2005) Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, **88**, 97-185.
- FARÍA J.R., GONZÁLEZ B., FARÍA M.J. and MORILLO D.E. (1999) Effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on some components of nutritive value of dwarf elephantgrass. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **30**, 2259-2266.
- GARCÍA E. (2004) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 90 pág.
- GONZÁLEZ I., BETANCOURT M., FUENMAYOR A. y LUGO M. (2011) Producción y composición química de forrajes de dos especies de pasto Elefante (*Pennisetum* sp.) en el Noroccidente de Venezuela. *Zootecnia Tropical*, **29**, 103-112.
- GREENE L.W., HEITSCHMIDT R.K. and PINACHAK W.E. (1985) Mineral composition of forages in a short grazing system. *Forage Research in Texas*, pág: 64-66.
- GREENWOOD D.J. (1983) Quantitative theory and the control of soil fertility. *New Phytology*, **94**, 1-18.
- HERRERA R., CRUZ R. y MARTÍNEZ O. (1994) Estudio de mutantes de king grass (*Pennisetum purpureum*) obtenidos mediante técnicas nucleares y mutágenos químicos III. Indicadores agronómicos. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, **28**, 239-244.
- HERRERA R.S., FORTES D., GARCÍA M., CRUZ A.M. y ROMERO A. (2008) Estudio de la composición mineral en variedades de *Pennisetum purpureum*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **4**, 395-401.
- HERRERA R.S. (2015) Clones of *Pennisetum purpureum* for different ecosystems and productive purposes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **49**, 515-519.
- HERTENTAINS L., TROETSCH O. y SANTAMARÍA E. (2005) Manejo y utilización de cultivares de *Pennisetum purpureum* en fincas lecheras de las tierras altas de Chiriquí. Manual Técnico. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 4 pág.
- HINOJOSA Y.L.A., YÉPEZ N.D. y SUÁREZ P.M.A (2014) Frecuencia de corte de Marafalfa (*Pennisetum* sp) durante la estación lluviosa, Trinidad, Bolivia. *Agrociencias Amazonia*, **4**, 11-18.
- JACKSON M.B. and DREW M.C. (1984) Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In *Flooding and Plant Growth*. Ed. T Kozlowski. Academic Press, New York. Pág: 47-128.
- JUÁREZ J., BOLAÑOS A.E.D., VARGAS V.L.M., MEDINA S. y MARTÍNEZ H.P.A. (2011) Curvas de dilución de la proteína en genotipos del pasto *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **45**, 321-330.
- KASS D. (1996) Fertilidad de Suelo. Editorial EUNED. San José, Costa Rica. 272 pág.
- KERING M.K., BUTLER T.J. and BIERMACHER J.T. (2012) Biomass yield and nutrient removal rates of perennial grasses under nitrogen fertilization. *Bioenergy Research*, **5**, 61-70.
- KOLESNIKOV V. (1971) The root system of fruit plants. Translated from the Russian by L. Aksenova. Mir Publishers. Pág. 53-54.
- KOZLOSKI G.V., PEROTTONI J., CIOCCA M.L.S., ROCHA J.B.T., RAISER A.G. and SANCHEZ L.M.B. (2003) Potential nutritional assessment of dwarf elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Mott) by chemical composition, digestion and net portal flux of oxygen in cattle. *Animal Feed Science and Technology*, **104**, 29-40.
- LARBI A., FIANU F.K. and AKUDE F.K. (1991) Voluntary intake and digestibility by sheep and goats of whole-plant, leaf and stem fractions of *Pennisetum purpureum* Schum. *Small Ruminant Research*, **6**, 217-221.

- LEMOS DOS SANTOS R., MENDES DE AZEVEDO V., FREIRE F.J., TAVARES DA ROCHA A., ALVES T.J. e GALVÃO DOS SANTOS F.M.B. (2012) Extração e eficiência de uso de nutrientes em Capim-Elefante na presença de gesso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **36**, 497-505.
- LEÓN J., IBARRA G. e IGLESIAS O. (2000) *Pennisetum purpureum* cv. CRA-265 en condiciones de secano, parámetros agronómicos y valor nutritivo. *Revista de Producción Animal*, **3**, 12-18.
- MANRIQUE U., CARRILLO V., VÁSQUEZ D., RODRÍGUEZ M. y RIVAS E. (1996). Efecto de la fertilización nitrogenada, edad y época de corte sobre el rendimiento de materia seca de *Andropogon gayanus*. *Zootecnia Tropical*, **14**, 149-166.
- MÁRQUEZ F., SÁNCHEZ J., URBANO D. y CIRO D. (2007) Evaluación de la frecuencia de corte y tipos de fertilización sobre tres genotipos de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). 1. Rendimiento y contenido de proteína. *Zootecnia Tropical*, **25**, 253-259.
- MARTÍNEZ R.O., HERRERA R.S., CRUZ R., TUERO R. y GARCÍA M. (1994) Producción de biomasa con hierba elefante (*Pennisetum purpureum*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la producción animal en el trópico. I. Rendimientos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **28**, 221-225.
- MEDINA N., BORGES G.J. and SORIA F.L. (2010) Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, **12**, 219-228.
- MIJANUR R.M., YASUYUKI I., NIIMI M. and KAWAMURA O. (2008) Effects of levels of nitrogen fertilizer on oxalate and some mineral contents in napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach). *Grassland Science* **54**, 146-150.
- MOLLARD F.P.O., STRIKER G.G., PLOCHUK E.L and INSAUSTI P. (2010) Subtle topographical differences along a floodplain promote different plant strategies among *Paspalum dilatatum* subspecies and populations. *Australian Ecology*, **35**, 189-196
- NORTON B. (1981) Differences between species in forage quality. In: J. Hacker (Ed.). Nutritional limits to animal production from pastures. Commonwealth Agric. Bureau, Farnham Royal, UK. Pág: 89-110.
- OQUENDO L.G. (2002) Fomento y explotación de pastos y forrajes. MINAG. Cuba 320 pág.
- PALACIOS D.M.P., MENDOZA G.V., FERNÁNDEZ V.J.R. and HERNÁNDEZ M.J.M. (2013) Effects of defoliation and nitrogen uptake on forage nutritive values of *Pennisetum* sp. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, **23**, 566-574.
- PALMA L. D. J., CISNEROS J. D., MORENO E. C. y RINCÓN R. J. A. (2007) Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados - ISPROTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 195 pág.
- PÉREZ A.J.A, GARCÍA M.E., ENRÍQUEZ Q.J.F., QUERO C.A.R., PÉREZ P.J. y HERNÁNDEZ G.A. (2004) Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "Mulato" (*Brachiaria* híbrido cv.). *Técnica Pecuaria en México*, **42**, 447-458.
- PRIMAVESI O., PRIMAVESI A.C, ALMEIDA C.L., Da SILVA A.G e CANTARELLA H. (2006) Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **35**, 683-690.
- RA K., SHIOTSU F., ABER J. and MORITA S. (2012) Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosis energy crops for ethanol production. *Biomass and bioenergy*, **37**, 330-334.

- RAHMAN M.M., YAMAMOTO M., NIIMI M. and KAWAMURA O. (2008) Effect of nitrogen fertilization on oxalate content in Rhodesgrass, Guineagrass and Sudangrass. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, **21**, 214-219.
- RAHMAN M.M., ISHII Y., NIIMI M. and KAWAMURA O. (2010) Interactive effects of nitrogen and potassium fertilization on oxalate content in napiergrass (*Pennisetum purpureum*). *Asian-Aust. Journal Animal Science*, **23**, 719-723.
- RAMÍREZ J.L., VERDECIA D. y LEONARD I. (2008) Rendimiento y caracterización química del *Pennisetum* Cuba CT 169 en un suelo pluvisol. *Revista Electrónica de Veterinaria*, **9**, 1-10.
- RAMÍREZ R.O., HERNÁNDEZ G.A., CARNEIRO DA S.S., PÉREZ P.J., JACAÚNA DE S.J.S., CASTRO R.R. y ENRÍQUEZ J.F. (2010) Características morfogenéticas y su influencia en el rendimiento del pasto mombaza, cosechado a diferentes intervalos de corte. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, **12**, 303-311.
- RAMOS C., ALCÁNTAR G., GALVIS A., PEÑA A. y MARTÍNEZ A. (2002) Eficiencia en el uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. *Terra Latinoamericana*, **20**, 465-469.
- RAO I.M., FRIESEN D.K. and OSAKI M. (1999) Plant adaptation to phosphorus-limited tropical soil. In: M. Pessarakli. Ed. Handbook of plant and crops stress. Second Edition. Chapter 4. Marcel Dekker, In. New York.
- RILNER A.F., URQUIAGA S., BRUNO J.R.A.; LEONARDO S.C. and ROBERT M.B. (2012) Yield and quality of elephant grass biomass produced in the cerrados region for bioenergy. *Engenharia Agrícola*, **32**, 831-839.
- RODRÍGUEZ S. J. (1993) La fertilización de los cultivos: un método racional. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. Santiago, Chile. 287 pág.
- RODRÍGUEZ J.J. y AVILES L.R. (1997) Pastoreo intensivo y tradicional: su influencia sobre el sistema suelo-planta animal en el sureste de México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, **5**, 72-75.
- RODRÍGUEZ J., PINOCHET D. y MATUS F. (2001) Fertilización de los cultivos. Ediciones Lom. Santiago-Talca-Valdivia. 117 pág.
- RODRÍGUEZ L., LARDUET R., MARTÍNEZ R.O., TORRES V., HERRERA M., MEDINA Y. y NODA A.C. (2013) Modelación de la dinámica de acumulación de biomasa en *Pennisetum purpureum* vc. King grass en el occidente de Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, **47**: 119-124.
- SAS. (2009) Statistical analysis system. SAS/STAT. SAS user's guide, 9.3. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.
- SHAO H.B., CHU L.Y., JALEEL C.A and ZHAO C.X. (2008) Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, **331**, 215-225.
- TEJOS R. (2001) Alternativas de manejo de pasturas para bovinos post destete. XII Jornadas Técnicas de Ganadería en el estado de Táchira. Pág. 19-35.
- TURANO B., UTSAV P.T. and RAJECH J. (2016) Growth and nutritional evaluation of napier grass hybrids as forage for ruminants. *Tropical Grasslands*, **4**, 168-178.
- XU Q., HUNAG Z., WANG X. and CUI L. (2015) *Pennisetum* sinense Roxb and *Pennisetum purpureum* Schum. As vertical-flow constructed wetland vegetation for removal of N and P from domestic sewage. *Ecological Engineering*, **83**, 120-124.
- ZEWDO T., BAARS R.M.T. and YAMI A. (2002) Effect of plant height at cutting, source and level of fertiliser on yield and nutritional quality of Napier grass (*Pennisetum purpureum* (L.) Schumach.). *African Journal of Range & Forage Science*, **19**, 123-128.

VIII. CONCLUSIONES GENERALES

Las dos especies de pastos tropicales: humidícola (*Brachiaria humidicola*) y taiwán (*Pennisetum purpureum*) son considerados de importancia en la región de estudio debido a la superficie sembrada y son usadas principalmente en la alimentación de ganado bovino para la producción carne, leche o doble propósito; el primer pasto utilizado bajo pastoreo y el segundo para corte.

En este experimento se observó el efecto de los factores: época climática, nivel de fertilización y frecuencias de corte en los pastos. Las aportaciones en este experimento para los dos pastos fueron: a) el estudio de la biomasa total (incluyendo biomasa radical), b) índice de cosecha, relación biomasa radical/biomasa total y c) requerimiento interno de nitrógeno, fósforo y potasio; con los cuales derivar la demanda de nutrientes.

En el pasto humidícola la época de lluvias fue donde se observaron los mejores rendimientos de biomasa seca, índice de cosecha, altura de planta y longitud de raíz, requerimiento interno de fósforo, demanda de nitrógeno, fósforo y potasio y de biomasa total; en nivel de fertilización, se produjeron los mayores resultados en los dos tratamientos fertilizados que se visualizaron en todas las variables medidas, excepto en relación biomasa radical/biomasa total; a los 20 días de rebrote se observaron las mayores: longitud de raíz, relación biomasa radical/biomasa total, proteína cruda y requerimiento interno y demandas de nitrógeno y fósforo; a los 30 días se observaron mejores resultados en la mayoría de variables exceptuando a la relación biomasa radical/biomasa total, proteína cruda y requerimiento interno de nitrógeno y fosforo.

En pasto taiwán, la época con los mejores resultados en la mayoría de las variables, fue en seca, excepto: altura, longitud de raíz, relación biomasa radical/biomasa total y requerimiento interno de potasio. Así mismo, el fertilizante aplicado ejerció efecto en todas las variables evaluadas. En frecuencia de corte, se encontraron mejores efectos en la mayoría de las variables a los 80 días de rebrote del pasto, en: a) rendimiento de biomasa seca, b) índice de cosecha, c) altura, d) demanda de nitrógeno, fósforo y potasio y e) la producción de biomasa total; esta fue la última edad evaluada en el presente experimento.

Los datos de requerimiento interno y demanda de nitrógeno, fósforo y potasio obtenido en épocas y frecuencia de corte son necesarios para estimar dosis de fertilización mediante el modelo de balance nutrimental.

La investigación generó información útil para el manejo sustentable del agroecosistema pasto en las especies: humidícola (*Brachiaria humidicola*) y taiwán (*Pennisetum purpureum*) para el

manejo de la fertilización, con base en la demanda de nutrientes y la capacidad de fraccionar la dosis; con lo cual aumenta la eficiencia de los fertilizantes.

Mediante los diversos índices obtenidos en este experimento, se pudo hacer uso del modelo de balance nutrimental para conocer las necesidades de los tres nutrientes esenciales de los pastos. Este modelo se debe complementa con el suministro del suelo y la eficiencia del fertilizante para determinar la dosis además de contribuir a la sustentabilidad del agroecosistema.