

**PRODUCCION DE MATERIA SECA Y CONTENIDOS NUTRICIONALES DE CUATRO
ESPECIES DE GRAMINEAS EN SUELOS HAPLUSTOLLS**



Universidad
del Cauca

**ARLES ORLANDO HOYOS
JOHNATAN ANDRÉS CANENCIO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA AGROPECUARIA
POPAYÁN
2015**

**PRODUCCION DE MATERIA SECA Y CONTENIDOS NUTRICIONALES DE CUATRO
ESPECIES DE GRAMINEAS EN SUELOS HAPLUSTOLLS**

**ARLES ORLANDO HOYOS
JOHNATAN ANDRÉS CANENCIO**

**Trabajo de grado en la modalidad de Investigación para optar al título de
Ingenieros Agropecuarios**

**DIRECTORES
I.A. NOÉ ALBÁN LÓPEZ
I.A. M.Sc. FABIO ALONSO PRADO CERÓN**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA AGROPECUARIA
POPAYÁN
2015**

Nota de aceptación

Los Directores y los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por sus autores y lo encuentran satisfactorio.

I.A. NOÉ ALBÁN LÓPEZ

Director

I.A. M.Sc. FABIO ALONSO PRADO CERÓN

Director

Presidente del Jurado

Jurado

Popayán, 19 de octubre de 2015

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres, María Clemencia y Jesús por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi hijo Johnatan por su amor incondicional y ser la mayor razón para cumplir esta meta.

A mi Hermano Jesús Arley Canencio G. por ser ejemplo de la perseverancia, amistad.

A mis amigos, por su apoyo moral y fortaleza.

Johnatan A. Canencio

A Dios.

Quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, el que en todo momento está conmigo ayudándome a aprender de mis errores y a no cometerlos otra vez.

A mis padres, María Ocoró y en especial a la memoria de mi padre David Hoyos. Quienes me enseñaron que lo más importante en la vida es la dedicación, el cariño y el empeño que se dedique a las metas que uno traza como proyectos en la vida.

A mis hermanos Deiro David Hoyos, Mary Luz Hoyos y en especial a Magnolia Hoyos, por su ayuda incondicional y de quien me siento orgulloso por su lucha tenaz que ha tenido para lograr sus metas.

A mis amigos, por darme fortaleza, apoyo moral y comprensión para poder lograr esta meta.

Arles O. hoyos

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por su apoyo incondicional.

A la UNIVERSIDAD DEL CAUCA y en especial a la FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS por permitirnos ser parte de una generación de triunfadores y gente productiva para el país.

Al Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria de la UNIVERSIDAD DEL CAUCA.

Al programa de forrajes, al Laboratorio de Suelos y al Laboratorio de Bromatología del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), por su colaboración en la realización de los diferentes análisis.

A nuestros directores I.A. Noé Albán López y I.A. M.Sc. Fabio Alonso Prado Cerón, por compartir sus conocimientos, por su amistad, por su colaboración y orientación durante la ejecución de este proyecto.

Al Adm. Belisario Hincapié, quien siempre estuvo dispuesto a colaborarnos y compartir sus conocimientos.

A los Ingenieros John Freddy Gutiérrez y Mauricio Sotelo por su valiosa colaboración para facilitar la ejecución de este proyecto.

A la M.Sc. Sandra Morales y al Dr. Nelson José Vivas por su asesoría y apoyo intelectual durante la elaboración del trabajo.

Al Ph.D Hugo Ruiz Erazo, Investigador Programa Ingeniería Agronómica, Universidad de Nariño, quien con sus conocimientos nos guio y apoyo en este proyecto

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO REFERENCIAL	15
1.1 GENERALIDADES	15
1.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS	17
1.2.1 Suelos de la zona de estudio	17
1.3 POTENCIAL MATRICIAL DE AGUA EN EL SUELO	18
1.3.1 Estrés hídrico	18
1.3.2 Nutrición	19
1.4 EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES	19
1.5 ÁREA FOLIAR	20
1.5.1 Índice de área foliar crítico	20
1.6 ADAPTACIÓN DE LOS PASTOS EN COLOMBIA	20
2. METODOLOGÍA	23
2.1 LOCALIZACIÓN	23
2.2 ACTIVIDADES DE CAMPO	23
2.3 ACTIVIDADES EN EL INVERNADERO	23
2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL	24
2.5 INSTALACIÓN DEL EXPERIMENTO	25
2.6 INSTALACIÓN DE LAS BASES MANOMÉTRICAS	25
2.7 MEDICIÓN DEL POTENCIAL	26
2.8 PROCEDIMIENTO PARA FERTILIZACIÓN	26

	pág.
2.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	29
2.10 VARIABLES EVALUADAS	29
2.10.1 Vigor	29
2.10.2 Cobertura	29
2.10.3 Altura de plantas	29
2.10.4 Producción de materia seca	29
2.10.5 Índice de área foliar	29
3. RESULTADOS	30
3.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS	30
3.1.1 Condiciones de temperatura y humedad en establecimiento	30
3.2 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES AGRONÓMICAS	30
3.2.1 Vigor	30
3.2.2 Cobertura	33
3.2.3 Altura	34
3.2.4 Producción	36
3.2.5 Índice de área foliar	38
3.3 CONTENIDOS NUTRICIONALES ESPECIE POR POTENCIAL	39
3.4 EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES EUN	42
3.4.1 Nitrógeno	42
3.4.2 Fósforo	43
3.4.3 Potasio	44
3.4.4 Calcio	45
3.4.5 Magnesio	46

	pág.
3.5 CORRELACIONES	47
4. CONCLUSIONES	49
5. RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	56

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. <i>Megathyrsus máximus</i> . CIAT 6962	21
Cuadro 2. <i>Brachiaria híbrido</i> . CIAT BR02/1752	21
Cuadro 3. <i>Brachiaria brizantha</i> cv Toledo. CIAT 26110	21
Cuadro 4. <i>Brachiaria híbrido</i> cv Mulato II	22
Cuadro 5. Tratamientos	24
Cuadro 6. Reactivos y cantidades aplicadas	27
Cuadro 7. Análisis bromatológico de los tratamientos evaluados	39
Cuadro 8. Correlación Pearson	48

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación de los tratamientos en el invernadero	24
Figura 2. Sistema de medición	25
Figura 3. Aplicación de los fertilizantes	27
Figura 4. Corte y pesaje del forraje verde	28
Figura 5. a) Análisis NIRS; b) Medición Índice de área folia	28
Figura 6. Precipitaciones	30
Figura 7. Temperatura y humedad relativa	31
Figura 8. Diagrama de barras para la variable vigor	31
Figura 9. Diagrama de barras para la variable cobertura	33
Figura 10. Diagrama de barras para la variable altura	36
Figura 11. Diagrama de barras para la variable materia seca	37
Figura 12. Diagrama de barras para la variable Índice de área foliar	38
Figura 13. Diagrama de barras para nitrógeno	42
Figura 14. Diagrama de barras para fósforo	43
Figura 15. Diagrama de barras para potasio	44
Figura 16. Diagrama de barras para calcio	45
Figura 17. Diagrama de barras para magnesio	47

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Análisis de varianza	56
Anexo B. Prueba de Tukey de variables agronomicas y nutricionales	57

RESUMEN

El presente estudio se realizó en invernadero ubicado en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, municipio de Popayán, Cauca con las especies *Megathyrsus máximus* cv Monbasa, *Brachiaria brizantha*- Toledo, *Brachiaria* híbrido cv Cayman y *Brachiaria* híbrido cv Mulato II, sembradas en materas con capacidad de 5 kilos, donde se instaló un tensiómetro para controlar la humedad del suelo en busca de una alternativa para dar solución a la problemática de oferta forrajera que atraviesa la región ganadera del valle del patia y encontrar pastos que toleren condiciones de sequía prolongada, Por lo tanto, el objetivo fue evaluar la respuesta de cuatro gramíneas a diferentes potenciales de agua en el suelo simulando condiciones de humedad y temperatura, el diseño experimental fue completamente al azar con 12 tratamientos y tres repeticiones: donde las especies se sometieron a potenciales matriciales de – 15 kPa, - 30 kPa y – 50 kPa.

A los 60 días después de la siembra, se midió altura, cobertura, vigor y a los 70 días se realizó el primer corte para determinar cantidad de forraje verde y materia seca a los 116 días se repitió el procedimiento en un segundo corte donde se determinó índice de área foliar (IAF) y contenido nutricional de la materia seca.

Los resultados concluyen que la especie de mejor comportamiento en la fase de establecimiento correspondió a *Brachiaria brizantha* (Toledo CIAT 26110), en condiciones de humedad de –50 kPa siendo las más resistente y adaptable a condiciones críticas de sequía.

Palabras clave: Potencial matricial, evaluación agronómica, gramíneas, estrés hídrico, sequía prolongada, tensiómetro, *B. brizantha* (Toledo CIAT 26110), *B.* híbrido (Mulato II CIAT 36087), *B.* híbrido (Cayman CIAT 1752), *M. máximus* (Mombasa CIAT 6962).

SUMMARY

Present study was conducted in greenhouse located at the Faculty of Agricultural Sciences of the University of Cauca, Popayan city, Cauca, forage species used were: *Megathyrsus maximus* cv Monbasa species, *Brachiaria brizantha*- Toledo, *Brachiaria* and *Brachiaria* Cayman hybrid hybrid cv Mulato II, planted in pots with a capacity of 5 kilogram, where a tensiometer was installed to monitor soil moisture in search of an alternative to solve the problem of forage supply crossing livestock patia Valley region and find pasture tolerate prolonged drought conditions, The experimental design was completely randomized with 12 treatments and three repetitions: where species underwent potential matric of - 15 kPa - 30 kPa - 50 kPa.

At 60 days after planting, eight, coverage, forcé measured and at 70 days the first cut was done to determine quantity of green fodder and dry matter at 116 days, the procedure was repeated in a second court where leaf area index (LAI) and nutritional content of dry matter was determined.

The results conclude that the best kind of behavior in the establishment phase accounted *Brachiaria brizantha* (CIAT 26110 Toledo), in wet conditions of -50 kPa being most robust and adaptable to critical conditions of drought.

Keywords: Matric potential, agronomic evaluation, grasses, water stress, prolonged drought, tensiometer, *B. brizantha* (Toledo CIAT 26110), *B. hibrido* (Mulato II CIAT 36087), *B. hibrido* (Cayman CIAT 1752), *M. máximo* (Mombasa CIAT 6962).

INTRODUCCIÓN

El Departamento del Cauca cuenta con una de las regiones con mayor influencia en el sistema productivo ganadero del suroccidente colombiano (valle del patía) en donde la universidad del cauca, grupo de investigación nutrición agropecuaria- NUTRIFACA, el programa de forrajes tropicales del Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, la asociación de ganaderos de mercaderes –ASOGAMER y la cooperativa de usuarios campesinos del patía – COAGROUSUARIOS vienen generando estrategias y alternativas forrajeras con especies tolerantes a las condiciones de sequía y baja calidad de suelos reinantes en la región (Peters, et., al 2013).

La zona de Patía y Mercaderes comprende alturas entre 600 y 1.167 m.s.n.m, donde la ganadería ocupa un importante espacio en la economía de los productores de la región, explotado por pequeños productores generando fuente de ingresos para la región que habita en el clima cálido seco. (Alcaldía Patía, 2009).

En la actualidad los ganaderos de la región no han podido contar con un sistema productivo eficiente acorde a sus necesidades y requerimientos que les garantice sostenibilidad, manejo adecuado de los pastos y forrajes con que puedan afrontar las condiciones adversas de clima y suelos para la producción.

Este aspecto puede ser resuelto parcialmente con estudios de investigación que permitan evaluar especies de buen rendimiento, que se adapten y resistan periodos largos de sequía con buena oferta productiva, proceso de evaluación que adelanta el programa de forrajes del CIAT y el grupo de investigación de nutrición agropecuaria (NUTRIFACA).

En este sentido se evaluó la producción y contenido nutricional de Mombasa (*Megathysus maximus*), Caymán (*Brachiaria hibrido*), Toledo (*Brachiaria brizantha*), mulato II (*Brachiaria hibrido*) en suelos haplustolls del valle del Patía, según su adaptación bajo condiciones de humedad controlada con los siguientes objetivos específicos: Evaluar la capacidad de recuperación de las gramíneas en estudio en condiciones controladas, Evaluar la eficiencia de utilización de nutrientes (EUN) de las gramíneas Mombaza (*Megathysus maximus*), pasto Caymán (*Brachiaria hibrido*), Toledo (*Brachiaria brizantha*), mulato II (*Brachiaria hibrido*) y clasificar las gramíneas en estudio según su adaptación bajo condiciones de humedad controlada en suelos de Patía y Mercaderes.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 GENERALIDADES

Estudios de la CLIMATE ACTION NETWORK (CAN, 2008) sobre la eficacia de la utilización del agua, demuestran que el 70% de la superficie de la tierra es agua, la mayor parte es oceánica y solo 3% del agua dulce y en su mayor parte no se halla disponible. Solo el 1% es agua dulce superficial fácilmente accesible esta es primordialmente el agua que se encuentra en los ríos y lagos a poca profundidad del suelo, de donde puede extraerse sin mayor costo y es la dedicada a la producción y alimentación humana.

Esta cantidad de agua utilizada se renueva habitualmente con la lluvia y las nevadas y considerado un recurso sostenible. Para el uso humano se estima que se utiliza un centésimo del 1% que es accesible. En ese sentido bajo forma líquida, cerca de un 1% se considera superficial, y de ella, en los suelos, habría entre un 20 y un 40% utilizable para las plantas. Es por ello que el agua del suelo es tan importante para los ecosistemas terrestres; el suelo desde el punto de vista agrícola, constituye la principal reserva de agua para el crecimiento de las plantas y es el almacenamiento regulador del ciclo hidrológico a nivel de cultivo (CAN, 2008).

El departamento del Cauca cuenta con recursos de agua provenientes de ríos, lagunas y quebradas, en el sur del Cauca nacen cuatro de los grandes ríos que atraviesan el territorio nacional como son el Cauca, Magdalena, Caquetá y Patía. Hay zonas del departamento como es el caso de los municipios de Patía y Mercaderes, que están sufriendo por la falta de agua, debido a la desecación de los ríos y la destrucción de ecosistemas, con la pérdida asociada de biodiversidad y medios de subsistencia (IGAC, 2009).

Los foros sobre Cambio Climático en la segunda comunicación nacional de Colombia indican que para el año 2070 se presentará un aumento de temperatura estimada entre 2 y 4°C con modificación de las condiciones hidrológicas y una reducción de las precipitaciones en algunas regiones hasta un 30% en Colombia. Los efectos por el incremento de la temperatura ocasionan la acumulación de los gases de invernadero (CO₂, CH₄, N₂O, O₃, etc.) que en muchos de los casos genera lluvias ácidas y deterioro del suelo por la acumulación (líquida y seca) del nitrógeno y azufre, proceso que acelera la desertización de zonas dedicadas a la producción agropecuaria degradando rápidamente los ecosistemas secos del País (Sistema de Naciones Unidas, 2010).

Según las proyecciones de la FAO en 2050 habrá agua suficiente para producir los alimentos necesarios para una población mundial que superará los 9 000 millones de personas, pero el consumo excesivo, la degradación de los recursos y el impacto del cambio climático reducirá el suministro de agua en muchas regiones, especialmente los países en desarrollo, según advierten la FAO y el Consejo Mundial del Agua (CMA). Piden

políticas gubernamentales e inversiones de los sectores público y privado para asegurar que la producción agrícola, ganadera y pesquera se realice de forma sostenible y contemple a la vez la salvaguarda de los recursos hídricos (Roma, Daegu, 2015).

Estas actuaciones son esenciales para reducir la pobreza, aumentar los ingresos y garantizar la seguridad alimentaria de muchas personas que viven en las zonas rurales y urbanas que actualmente presentan procesos de desertificación, sequía y bajas producciones en el sector agropecuario. Aproximadamente del área total del Planeta Tierra 13,4 billones de hectáreas, son ocupadas por pasturas, que corresponde al 25% del total (Navarro, 2012).

Según el Dpto Administrativo Nacional de Estadística en los resultados de Encuesta Nacional Agropecuaria, el área utilizada para la actividad pecuaria de Colombia corresponde a un 80,3% del total, distribuida para la actividad agrícola con un 7,3%; área en bosques 10,3% y en del suelo a otros usos 2,1%. Así mismo estimo que la actividad pecuaria se desarrolla en 30.362.322 Ha de donde un 56.6% es utilizada para pastos y forrajes que corresponde a 17.185.074 Ha (DANE, 2012).

La misma encuesta indica que el departamento del Cauca cuenta con un área de 29.308 km² de las cuales 960.869 Ha tienen uso pecuario dedicados a pastos y forrajes, maleza, rastrojo, vegetación de sabanas, páramos y xerofítica (DANE, 2012).

La segunda Comunicación Nacional estima niveles elevados de vulnerabilidad para el sector agropecuario y las áreas de minifundio campesino; en especial, en las extensiones agrícolas de los departamentos de Cesar, Nariño, Cauca, Tolima, Magdalena, Córdoba y Antioquia. Los impactos podrían alcanzar el 50% de la superficie dedicada a las pasturas; el 57% de las áreas de cultivos permanentes y semipermanentes, el 71% del área sembrada de café y el 47% de los minifundios campesinos. (Ocampo, 2011).

Los POT de los municipios de Patía y Mercaderes destacan la ganadería como su principal renglón de desarrollo económico. Según la distribución de áreas, el Patía cuenta con 75.477 ha, de las cuales 52.834 (70%) corresponden a pastos mejorados, naturales y rastrojos (Alcaldía Patía, 2009); mientras que en Mercaderes de las 70.697 ha que posee, 599 ha (10.6%), dedicadas al uso agropecuario (Alcaldía de Mercaderes, 2009).

Esta región ubicada en el trópico bajo ha servido para adelantar estudios de investigación por parte del grupo de investigación de nutrición animal NUTRIFACA de la universidad del Cauca y el CIAT los cuales han encontrado materiales con importantes rendimientos que mejoran capacidad de carga, producción y economía para los pequeños productores, según Peters, et al (2013), los cultivares *Brachiaria* híbrido Mulato II (CIAT 36087) y Cayman (CIAT BR02/1752) producen 25% más MS que otras *Brachiarias* comerciales. Mientras que evaluaciones de *Megathyrsus maximus* cv Mombasa (CIAT 6992) obtuvo una producción hasta 30 t de MS/ha/año.

1.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS

Según Valenzuela y Torrente (2013), la textura, estructura consistencia, densidad, aireación, temperatura y color son las propiedades físicas del suelo, la proporción de estos componentes y su estado inciden de manera importante sobre el crecimiento de las plantas y la disponibilidad de nutrientes.

De acuerdo con Montenegro y Malagón (1990), las propiedades físicas de los suelos al igual que, con las químicas, biológicas y mineralógicas determinan, entre otras la productividad de los suelos, y permite conocer mejor las actividades agrícolas vitales, como el laboreo, la fertilización, el drenaje, la irrigación, la conservación del suelo y aguas y el manejo de residuos de cosecha.

1.2.1 Suelos de la zona de estudio. El valle del Patía presenta cambios pluviométricos notables, posee áreas secas y áreas lluviosas. Los factores que determinan la sequedad son de una parte, la altitud que modifica la temperatura y, por otra, los efectos orográficos que se producen al calentar el aire cálido y seco que pasa por la zona.

Las áreas secas corresponden a la zona ubicada entre los 500 y 1.000 msnm, Perteneciente a la Fosa del Patía, la temperatura varía entre 22°C y 24°C y tiene un promedio de precipitación de 1.800 mm; hay dos períodos definidos uno de escasa precipitación de enero a agosto y otro de intensas lluvias de septiembre a diciembre. En algunos años las sequías son tan fuertes que se convierte en una limitante para el desarrollo de pastos y cultivos. La mayor parte de la vegetación natural no existe en estas áreas, los bosques han sido talados para dar paso a actividades agropecuarias. Según el estudio de suelos del IGAC estos corresponden al orden Molisol que presentan un epipedon mollico y presentan un régimen de humedad ustico con una saturación de bases superior al 50% en todos sus horizontes hasta una profundidad de 180 cm. El paisaje corresponde a un clima seco y está dividido en dos grandes grupos argiustolls y haplustolls (IGAC, 2009).

Los suelos haplustolls se han originado a partir de rocas ígneas, que alternan con materiales sedimentarios (tobas y areniscas); son superficiales a moderadamente profundos, limitados por la presencia de rocas, horizontes argílicos, duros y compactos, el drenaje natural es moderado a bien drenados, texturas moderadamente gruesas a moderadamente finas, gravillosas, fuerte a ligeramente ácidos y fertilidad natural moderada. La mayoría de los suelos presenta erosión hídrica laminar en grado moderado a severo y problemas de compactación de suelo que han dado origen a abundantes patas de vaca, terracetos y afloramientos rocosos (IGAC, 2009).

De acuerdo al IGAC (2009), la última clasificación del estudio de suelos realizados para uso agropecuario en el departamento del Cauca, clasifica los suelos de esta unidad cartográfica (VWB) que se encuentra ubicada en jurisdicción de los municipios de

Mercaderes, Patía y Bolívar, en alturas entre 700 y 1.200 msnm. El clima es cálido seco con precipitaciones entre 1.000 y 2.000 mm y temperatura mayor a 24 °C; corresponde a la zona de vida de bosque seco Tropical (bs-T).

La unidad ocupa la posición geomorfológica de vegas dentro del paisaje de valle aluvial, y el relieve es plano con pendientes entre 1 y 3%. Los suelos se han desarrollado a partir de sedimentos aluviales moderadamente finos y finos; son bien drenados, profundos a moderadamente profundos, texturas finas a medias, ligeramente ácidos a moderadamente alcalinos y fertilidad alta a muy alta.

El uso actual de estas tierras es la ganadería extensiva y semi-intensiva con pastos Naturales y algunos pastos introducidos como el puntero; la agricultura de Subsistencia es poca.

En general en el Valle del Patía, la disponibilidad de forraje disminuye notablemente en los meses de septiembre y octubre. La mayor parte de los productores depende del uso de pasturas degradadas para el sostenimiento de los animales; estas pasturas representan un área significativa en las fincas y están compuestas principalmente por *Dichanthium aristatum* (Angleton), “gramas” (*Paspalum spp*), “Puntero” (*Hyparrhenia rufa*) y “Estrella” (*Cynodon nlemfluensis*) (Carrillo y Galindez, 2014).

1.3 POTENCIAL MATRICIAL DE AGUA EN EL SUELO

Denominado también potencial capilar, es el trabajo para desplazar el agua en contra de las fuerzas capilares o para transformar un gramo de agua ligada en agua libre. Se expresa en centímetros de altura de una columna de agua necesaria para llevar el agua del suelo a la dosis de humedad precisa (Valenzuela y Torrente, 2013).

Porta (2005) afirma que su importancia radica en que el agua del suelo está sometida a la acción de una serie de factores que tienden a retenerla o a expulsarla. El potencial hídrico representa la energía necesaria para separar la unidad de peso, de masa o de volumen de agua de la matriz del suelo.

1.3.1 Estrés hídrico. Las plantas contienen una cierta cantidad de agua que actúa como un amortiguador contra los momentos de su escases en el suelo, pero esta cantidad es muy pequeña ósea sirve para un periodo de corta duración. La falta de agua en el suelo disminuye la disponibilidad de los nutrientes, reduciendo la actividad microbiana la cual afecta la liberación de N, P Y S de la materia orgánica (Valenzuela y Torrente, 2013).

En estudios de investigación realizados en Venezuela se encontró que la mayor parte de las gramíneas forrajeras tropicales muestra respuestas a la sequía de tipo evasivo y de

tolerancia (Ludlow et al., 1983; Fisher y Ludlow, 1984; Ludlow 1989; Clements, 1990; Baruch y Fisher, 1991 y Chávez et al, 2003), citados por Guenni. O, et al., 2006). Las primeras incluyen cambios morfológicos que incrementan el acceso a la humedad del suelo y minimizan las pérdidas de agua por transpiración., por lo que la eficiencia de uso de agua aumenta. Las respuestas de tolerancia permiten el mantenimiento de la turgencia celular aún a potenciales hídricos foliares bajos. Como consecuencia, las plantas mantienen durante la sequía una actividad fotosintética reducida pero capaz de sostener el crecimiento por un tiempo mayor.

Un estudio de investigación realizado en Brasil, por Brito et al., 2014), en invernadero, se evaluó el desarrollo y crecimiento inicial de la Higuera (*Ricinus cummunis*) sometida a diferentes tensiones de agua en el suelo y cultivadas en macetas, los resultados muestran que la higuera es sensible al aumento de la tensión de agua en el suelo y las condiciones de mayor estrés conducen a un crecimiento reducido, e índices de transpiración y periodo vegetativo menores.

1.3.2 Nutrición. Las plantas necesitan alimentarse. La nutrición es el proceso fisiológico de absorción, transporte y utilización de asimilados por los cultivos. Los elementos involucrados en este proceso son los nutrientes, los cuales son exclusivamente de naturaleza inorgánica o mineral (Castro y Gómez, 2013).

La nutrición en las plantas es importante porque ellas elaboran la mayoría de sus tejidos y consiguen un óptimo crecimiento, desarrollo y producción cuando van acumulando productos de la fotosíntesis (carbohidratos, grasas y proteínas), los cuales son generados a partir del agua, nutrientes del suelo, oxígeno del aire y energía solar (Montenegro y Malagón, 1990).

1.4 EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES

Según Bruulsema et al. (2004) los conceptos de uso eficiente de nutrientes generalmente describen a las plantas como un sistema de producción que usan los nutrientes con eficiencia que puede verse a corto o largo plazo y puede basarse en el rendimiento, recuperación o remoción. La eficiencia agronómica Según Dobermann (2007) es el número de kg de incremento en rendimiento con base en la dosis del nutriente aplicado al cultivo.

$$EA = \frac{\text{kilogramo de nutriente en rendimiento}}{\text{kilogramo de nutriente aplicado}}$$

R: Rendimiento del cultivo con aplicación de nutrientes

Ro: Rendimiento de cultivo sin aplicación de nutriente

F: Dosis de nutriente

De acuerdo a García (2008) en promedio, alrededor del 33% del total de nutriente aplicado es absorbido y metabolizado por las plantas. Si incrementáramos el uso eficiente de nutrientes en 1%, estaríamos produciendo cerca de 500 millones de toneladas más de alimentos, lo que significaría un ahorro aproximado de US\$ 235 millones. En general, lo que nosotros queremos es que haya una menor pérdida de nutrientes en el campo, y eso significa un mayor uso eficiente de nutrientes.

1.5 ÁREA FOLIAR

Índice de área foliar (IAF) es la relación entre la superficie de las hojas (una cara) y la superficie de suelo que las soporta. Este índice es óptimo entre un cultivo abierto y uno cerrado. Si es bajo una parte de luz se pierde; si es alto, una parte de las hojas no están iluminadas, pero respiran y le hacen perder carbono a la planta.

Las coberturas de los cultivos muy rastreros, como el trébol blanco y el maní forrajero, se cierran para índices de área foliar próximos a 1 (1 m² de superficie de hojas por un 1 m² de superficie de terreno), pues una sola capa puede cubrir enteramente el suelo. Por el contrario, las plantas erectas no cierran en sus coberturas si no con valores de índice 3 o 4 (Sierra, 2005).

1.5.1 Índice de área foliar crítico. El índice de área foliar crítico, es aquel valor de IAF que le permite a la planta interceptar más del 95% de la luz incidente en un día sin nubes, lo que le proporciona un crecimiento óptimo. El IAF_C varía para cada especie. Por ejemplo, en el *ray grass* toma un valor de 7,5 y en el trébol blanco su valor es de 3,5 (Sierra, 2005). Cuando el IAF está por debajo de cierto nivel, no se utiliza toda la luz incidente o disponible y en consecuencia el crecimiento es lento. Con valores muy altos de IAF puede ocurrir un autosombreamiento de la planta, lo que también puede causar reducción en el potencial de crecimiento o de producción de materia seca por hectárea por año (Sierra, 2005).

1.6 ADAPTACIÓN DE LOS PASTOS EN COLOMBIA

Muchas áreas dedicadas a la ganadería en el país, se encuentran en zonas donde las condiciones reinantes de altas precipitaciones y altas temperaturas, en presencia de topografías onduladas o pendientes y especies forrajeras que no brindan coberturas densas y protectoras, hacen que éstos ecosistemas sean muy frágiles y, a menudo, los procesos de degradación de las pasturas y de los suelos se encuentran muy avanzados como en el caso de Patía y Mercaderes (IGAC, 2009).

Las gramíneas mejoradas constituyen aquellos forrajes seleccionados a propósito por sus características como forrajeras. En este caso el hombre tiene una intervención directa en su siembra y en la aplicación de prácticas culturales tendientes a mejorar la producción y

persistencia. Son plantas de altas producciones que responden favorablemente a la aplicación de prácticas agronómicas como fertilización y además se pueden aplicar ventajosamente la subdivisión de potreros y la aplicación de sistemas intensivos de pastoreo, en su mayoría estas gramíneas son perennes (Nutrifaca, Coagrouuarios, Asogamer, 2013).

En este sentido, el CIAT en los últimos años ha desarrollado especies forrajeras que se pueden adaptar a condiciones climáticas adversas; entre las más promisorias, se citan en los cuadros 1, 2, 3 y 4 las que van a hacer parte de esta investigación. En los municipios de Patía y Mercaderes se han venido trabajando con los productores para encontrar alternativas de producción y soluciones para los suelos degradados de estos municipios (Peters et al., 2011).

Cuadro 1. *Megathyrsus máximus*. CIAT 6962

<i>Megathyrsus máximus cv mombasa</i>	Mombasa
Familia:	Gramínea
Ciclo vegetativo:	Perenne, persistente
Adaptación pH:	4.5 a 7.5; media - alta fertilidad del suelo
Drenaje:	Buen drenaje
Altitud m.s.n.m.:	0 – 2000 m
Precipitación:	>800 mm
Densidad de siembra:	6 kg/ha
Profundidad de siembra:	1 cm
Valor nutritivo:	Alto, proteína 10 – 14%, digestibilidad 60 – 65%
Utilización:	Pastoreo, heno, ensilaje, corte y acarreo

Fuente: Peters et al. 2011.

Cuadro 2. *Brachiaria híbrido*. CIAT BR02/1752

<i>Brachiaria híbrido cv. Caymán</i>	Caymán, mulato III
Familia:	Gramínea
Ciclo vegetativo:	
Adaptación. pH:	Fertilidad del suelo: media a alta
Drenaje:	Tolera inundaciones
m.s.n.m.:	0 – 1500 m
Precipitación:	700 - 1000 mm/año
Densidad de siembra:	8 – 10 kg/ha
Prof. siembra:	1 – 2 cm
Valor nutritivo:	Proteína 17%, digestibilidad alta
Utilización:	Pastoreo, ensilaje, henolaje y henificación.

Fuente: Semillas Sáenz, 2013.

Cuadro 3. *Brachiaria brizantha cv Toledo*. CIAT 26110

Familia:	Gramínea
Ciclo vegetativo:	Perenne, persistente
Adaptación pH:	4.0 - 8.0 Fertilidad del suelo: Media a alta
m.s.n.m.:	0 – 1800 m

Cuadro 3. (Continuación)

Precipitación:	1000 – 3500 mm
Densidad de siembra:	4 kg/ha, escarificada
Profundidad de siembra:	1 – 2 cm
Valor nutritivo:	Proteína 7 - 14%, digestibilidad 55 - 70%
Utilización:	Pastoreo, corte, acarreo y barrera viva
Tolerancia:	Periodos cortos de encharcamiento, susceptible a salivazo

Fuente: Peters et al. 2011.

Cuadro 4. *Brachiaria híbrido cv Mulato II*

Familia:	Gramínea
Ciclo vegetativo:	Perenne, persistente.
Adaptación pH:	4.5 – 8.0 Buena adaptación a suelos ácidos, fertilidad media
Drenaje:	Buen drenaje
m.s.n.m.:	0 – 1800 m
Precipitación:	>700 mm
Densidad de siembra:	4 a 5 kg/ha, escarificada
Profundidad de siembra:	1 – 2 cm
Valor nutritivo:	Proteína 12 – 15%, digestibilidad 55 – 62%
Utilización:	Pastoreo, heno y ensilaje
Tolerancia:	Sequías prolongadas de 6 meses; no tolera encharcamiento; tolerancia a sombra y a salivazo

Fuente: Peters et al. 2011.

2. METODOLOGÍA

2.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se realizó en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, sede Las Guacas, ubicada en el municipio de Popayán, Departamento del Cauca, a 2° 29' de latitud norte y 76° 33" longitud oeste, a una altura de 1900 msnm, con temperatura promedio de 18°C, precipitación promedio anual de 2000 mm y una humedad relativa entre 80 y 90% (Estación Meteorológica Guillermo León Valencia-2603503). La ubicación del invernadero fue referenciada mediante GPS dando las siguientes coordenadas 02°28'14.104" latitud norte y 76°33'01.467 longitud oeste, a una altura de 1897 msnm.

2.2 ACTIVIDADES DE CAMPO

Para la toma del muestreo del suelo se identificaron dos zonas, la primera en el Valle del Patía caracterizado por tener vegas y terrazas bajas dentro de un relieve plano, la primera muestra se tomó de la finca La cocha, ubicada en el corregimiento de Mojarras. Una segunda muestra se hizo en la finca Villa Camila, meseta de Mercaderes, el muestreo en cada propiedad fue de 400 kg de los primeros 20 cm de suelo.

Según el IGAC, 2009 el suelo utilizado es clasificado como haplustolls que corresponde a suelos originados de aluviones, moderadamente profundos a muy superficiales, muy pobres a bien drenados, de texturas gruesas a medias, desde fuertemente ácidos a alcalinos de fertilidad alta a moderada y erosión severa.

Se tomaron dos muestras de suelo de 1 kg por finca fueron llevadas al laboratorio de Física de suelos, Servicios Analíticos del Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, para ser caracterizadas física y químicamente. Además se tomaron 8 muestras de suelo utilizando los anillos concéntricos por finca para determinar la curva característica de agua del suelo y establecer los potenciales matriciales a trabajar con las especies de pastos seleccionados.

2.3 ACTIVIDADES EN EL INVERNADERO

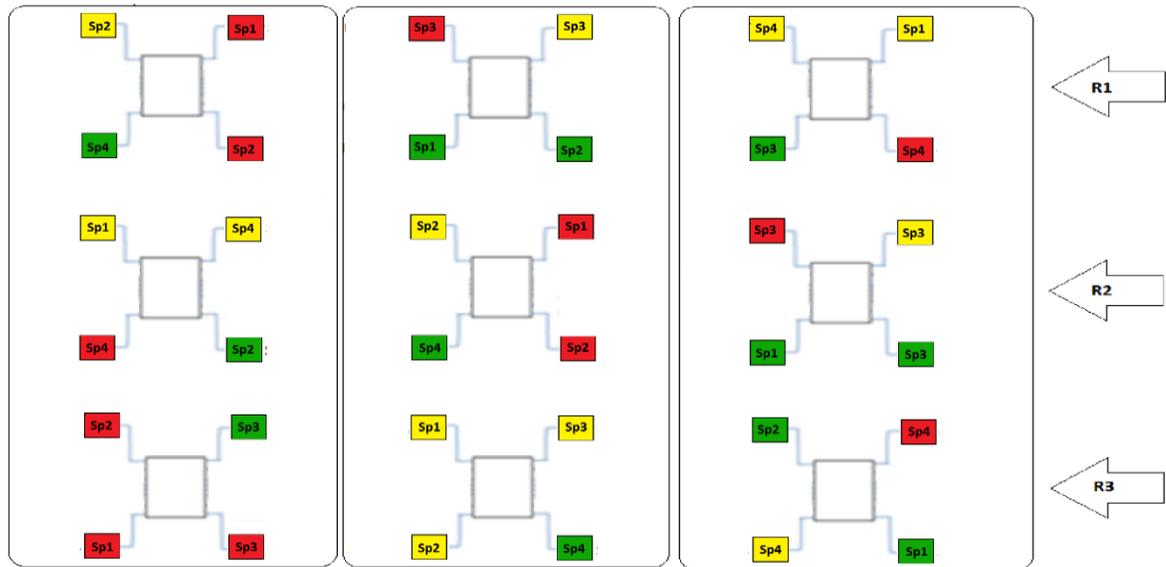
Una vez conseguidos los equipos, materiales e insumos se adecuó el invernadero en un área de 27.6 m² y se cubrió en su totalidad con plástico calibre 6, para simular condiciones de altas temperaturas, manejo de humedad y suministro de agua, se adecuaron 3 mesas construidas en guadua y tabla de un largo de 5.80 m x 1.05 m de ancho x 0.75 m de alto para disponer las 72 materas cada una instalada en los 9 tensiómetros distribuidos según el diseño experimental. Adicionalmente se hizo el

cerramiento perimetral del invernadero con postadura, alambre de púas y candados a fin de mantenerlo aislado y seguro.

2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

El ensayo corresponde a un diseño completo al azar 3 x 4 con 3 repeticiones, con 4 especies de gramíneas: Mulato II, Cayman, Mombaza, Toledo y 3 los potenciales matriciales -15 kPa, -30 kPa y -50 kPa. Así el ensayo tuvo 12 tratamientos por repetición y 36 tratamientos para las 3 repeticiones.

Figura 1. Ubicación de los tratamientos en el invernadero



- -15 kPa (12cm)
- -30 kPa (24cm)
- -50 kPa (46cm)

Sp1: Mulato II
 Sp3: Toledo
 R: Repetición

Sp2: Cayman
 Sp4: Mombaza
 T: Tratamiento

Cuadro 5. Tratamientos

Tratamiento		Tratamiento	
T1	-15 kPa mulato II	T7	-30 kPa Toledo
T2	-15 kPa Cayman	T8	-30 kPa Mombaza
T3	-15 kPa Toledo	T9	-50 kPa mulato II
T4	-15 kPa Mombaza	T10	-50 kPa Cayman
T5	-30 kPa mulato II	T11	-50 kPa Toledo
T6	-30 kPa Cayman	T12	-50 kPa Mombaza

2.5 INSTALACIÓN DEL EXPERIMENTO

El suelo fue secado al sol durante 15 días y luego tamizado en mallas calibre 4 mm, como lo exige el protocolo del Manual de Prácticas de Laboratorio Fertilidad de Suelos, Practica dos (Unigarro, et al. 2009) de la Universidad de Nariño para este tipo de estudios y estandarizar la partícula de suelo y obtener una muestra homogénea, quedando dispuesta para empezar el experimento.

Cada uno de los 36 tratamientos pesaba 5 kg, cantidad incubada con el fósforo y dejada temporalmente por unos días en bolsas plásticas para luego ser pasadas a las materas.

2.6 INSTALACIÓN DE LAS BASES MANOMÉTRICAS

La base manométrica consta de una tabla de madera de 90 cm de alto, 18 cm de ancho y 2 cm de espesor y anclada a una base de madera 20 cm de largo, 18 cm de ancho y 2 cm de espesor; en la tabla de 90 cm se colocó papel milimetrado marcado de 0 a 80 cm y la base manométrica soporta ocho columnas o capilares de vidrio, que en su interior lleva manguera transparente conectada a una caja de vidrio que va sobre la base de los tensiómetros y se llenaron con mercurio hasta una tercera parte y luego se completó con agua a través de una jeringa.

Figura 2. Sistema de medición



Este sistema permitió realizar las lecturas a -15 kPa (12 cm), -30 kPa (24 cm) y -50 kPa (40 cm), la manguera va conectada a una cápsula porosa de porcelana que se encuentra ubicada en el segundo tercio de la matera donde se realizó la siembra y de está se colocó 15 cm de manguera transparente conectada a una jeringa de 50 ml que sirvió para escorbar o purgar del sistema.

Para el experimento se utilizaron nueve bases manométricas conectadas a las 36 materas que sirvieron de tratamientos para las tres repeticiones.

2.7 MEDICIÓN DEL POTENCIAL

Consistió en que a medida que el suelo contenido en la matera por efecto de la evaporación, transpiración y la absorción de agua por parte de las plantas crea una presión negativa en la columna del potencial mátrico, la cual hace ascender el mercurio por los capilares de la tabla manométrica, la tabla tiene marcados valores en centímetros los cuales por medio del modelo matemático así:

$$\text{Cantidad de agua} = \frac{0,12577122 * 3,1895853}{\text{potencial}}$$

Se calcula la cantidad de agua requerida por cada potencial o tratamiento pasándolo de cm a kPa y efectuando la aplicación diaria de agua.

Pasados los 30 días se pasó el suelo de las bolsas plásticas a las materas. Posteriormente se realizó la siembra depositando 0.33 gramos de semilla por especie por matera. Durante 30 días se aplicó agua manteniendo a capacidad de campo para facilitar su germinación y empezar a efectuar lecturas diarias a partir 6:30 am de acuerdo a los potenciales propuestos.

Los datos registrados se complementaron con lecturas del termohigrómetro de temperatura, máximas, mínimas y de humedad relativa. La fertilización se realizó de acuerdo al resultado del análisis de suelos con el método biológico y la técnica del elemento faltante.

2.8 PROCEDIMIENTO PARA FERTILIZACIÓN

Se tomó la cantidad correspondiente de cada elemento se emplearon reactivos en lugar de fertilizantes comerciales con el fin de incrementar la solubilidad y reducir contaminaciones.

Se preparó una solución por cada elemento diluyéndolo en un litro de agua destilada para (N, K) y otra para los elementos menores, teniendo en cuenta en disolver el citrato de calcio en agua caliente antes de agregarlo a los demás nutrientes (S, Cu, Zn, Mn, Mo, Fe, B). Para el Ca y Mg se hizo la mezcla individual con el mismo procedimiento y se aplicó 5 días después del resto de nutrientes para reducir la formación de precipitados, en especial con los fosfatos.

Cuadro 6. Reactivos y cantidades aplicadas

Elemento	Fórmula	Cantidad (gr)	Pureza (%)
N	Urea	108,75	99,5
P	NaH ₂ PO ₄ H ₂ O	568,05	99,5
K	KCl	96,10	99,5
Ca	CaCO ₃	312,50	99,5
Mg	MgCO ₃	258,60	99,5
S	Na ₂ SO ₄	108,75	99,5
Cu	CuCl ₂ ·2H ₂ O	6,90	99,5
Zn	ZnCl ₂	10,40	99,5
Mn	MnCl ₂ ·4H ₂ O	35,65	99,5
Fe	FeC ₆ H ₅ O ₇ ·3H ₂ O	65,80	99,5
Mo	NaMoO ₄ ·2H ₂ O	6,25	99,5
B	NaB ₄ O ₇ ·10H ₂ O	20,80	99,5

Después se completó cada solución llevándola a 5 litros y almacenándola en galones plásticos previamente rotulados con cada reactivo utilizado como nutriente.

A los 20 días de la siembra se hizo la primera fertilización, excepto Ca y Mg, dividiéndola en dos partes iguales de 2,5 litros por aplicación, correspondiéndole 34,7 ml de solución por cada materia empezando por los elementos mayores (N, K) y terminando con los menores. Todos fueron aplicados en solución sobre el suelo húmedo.

Figura 3. Aplicación de los fertilizantes



Pasados 5 días después de la fertilización, se hizo la aplicación de 34,7 ml de Ca y Mg por cada materia para evitar la formación de precipitados. A los dos meses de la siembra se realizó la medición de las variables para cada uno de los tratamientos las cuales fueron Altura (cm), vigor (calificación 1 a 5), cobertura (%) y se realizaron observaciones para cada tratamiento y repetición (Toledo, 1982).

A partir del día 33 posterior a la siembra y durante 86 días entre las 6:30 y 9:00 am se llevó a cabo la toma de datos, llenado de registros y la aplicación diaria de agua según la

tensiometría para cada tratamiento, así como otras evaluaciones agronómicas. Entre las 5:30 y 6:30 pm se realizó la esorbada o purgada de todo el sistema de tensiometría, el cual marca diariamente la necesidad hídrica a aplicar para cada tratamiento.

Pasados 70 días de la siembra, se realizó el primer corte, se pesó el forraje verde por cada tratamiento, se empaco en bolsas dobles de papel kraft debidamente rotulados por tratamiento y la repetición correspondiente, se llevaron las muestras al horno donde fueron secadas durante 72 horas a 70 grados centígrados para obtener el porcentaje de materia seca por tratamiento.

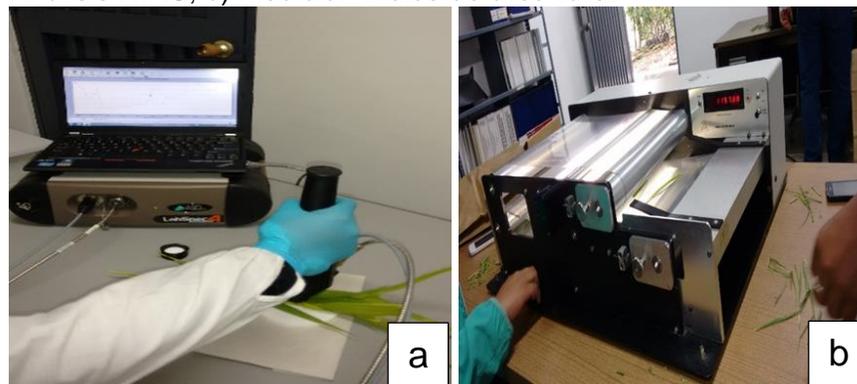
Figura 4. Corte y pesaje del forraje verde



Se repitió el procedimiento a los 45 días en el segundo corte. Estas muestras fueron llevadas en fresco al CIAT Palmira donde fueron analizadas en su parte química NIRS (espectroscopia del infrarrojo cercano), física (área foliar y MS), y análisis del contenido de fósforo, se determinó el peso de forraje verde.

Por último se tomaron tres muestras de suelos, una por potencial (-15 kPa, -30 kPa, -50 kPa), se enviaron al laboratorio del CIAT para el análisis completo respectivo.

Figura 5. a) Análisis NIRS; b) Medición Índice de área foliar



2.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis y procesamiento de la información, se utilizó el programa SPSS V 19.0, se realizó un análisis de varianza y si existían diferencias entre los tratamientos, estas se determinaron mediante prueba de HDS de Tukey ($PR \leq 0,05$).

Para establecer los niveles de relación entre las variables evaluadas durante el ensayo, se realizó una prueba de Correlación de Pearson.

2.10 VARIABLES EVALUADAS

2.10.1 Vigor. Esta variable se evaluó teniendo en cuenta el crecimiento, sanidad y desarrollo de la planta, el grosor del tallo, cantidad y color de las hojas producidas. Se analizó en una escala de 1 a 5, siendo 1 el peor, 2 regular, 3 medianamente bueno, 4 bueno y 5 excelente (Toledo 1982).

2.10.2 Cobertura. Se registró según la proporción aparente que las especies cubrían en cada área y se asignaron valores dentro del rango de 0 a 100. (Toledo 1982).

2.10.3 Altura de plantas. Se hicieron anotaciones sobre la altura de cinco plantas seleccionadas al azar en cada parcela. Se informó sobre el promedio de la altura en cada tratamiento. La altura se midió en centímetros desde el suelo hasta el punto más alto de la planta, sin estirla y sin contar las inflorescencias (Adaptado Toledo 1982).

2.10.4 Producción de materia seca. De la materia verde total (MVT), se pesaron las muestras de cada materia. Fueron llevadas a un proceso de secado en horno con ventilación controlada y con el peso final de estas hallar la producción de materia seca.

2.10.5 Índice de área foliar. Para determinar ÍÁF ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) se transformó el área total por planta en cm^2 a m^2 y se dividió entre $0,0573 \text{ m}^2$ que representa el área efectiva de suelo o área de la materia. El área foliar de cada planta se obtuvo en el medidor de área LI-3100.

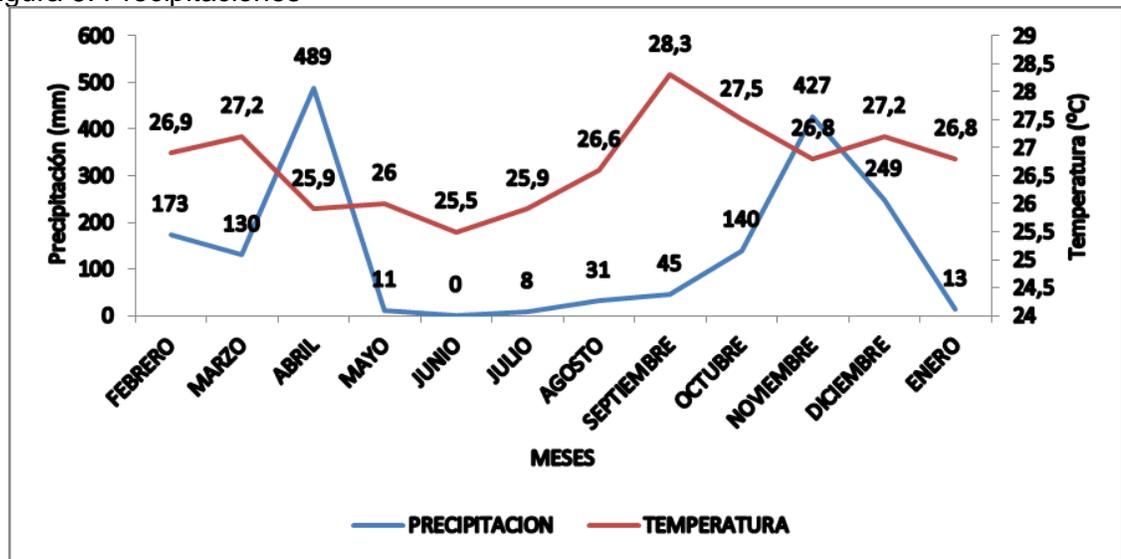
3. RESULTADOS

3.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Condiciones climáticas, promedios de temperatura y precipitación tomados de la estación meteorológica de Patía.

Se observa una distribución de lluvia bimodal (figura 6) con dos periodos lluviosos que van de octubre a diciembre y de febrero a abril, siendo abril el mes más lluvioso con un promedio de 489 mm. El periodo o estación seca corresponde a los meses de mayo a septiembre, siendo mayo, junio y julio los meses menos lluviosos con 11, 0 y 8 mm, respectivamente. La distribución de la temperatura durante todo el año están en el rango de 25.5 y 28.3°C (IDEAM, 2013).

Figura 6. Precipitaciones



Fuente: Adaptado IDEAM 2013

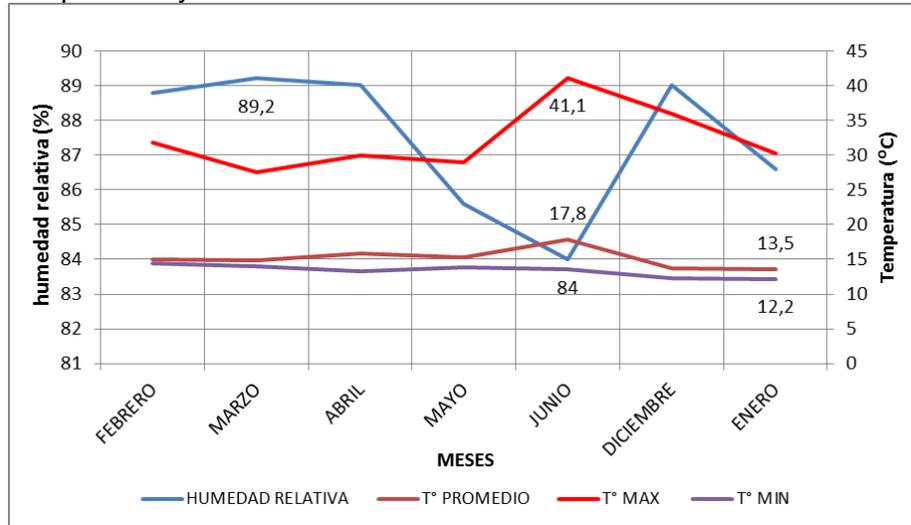
3.1.1 Condiciones de temperatura y humedad en establecimiento. Durante el tiempo de estudio, el promedio de temperatura fue de 15,1°C, con una máxima en el mes de junio de 41,1°C y una mínima en el mes de enero con 12,2°C presentándose una humedad relativa promedio de 87,4 % en el interior del invernadero (Ver figura 7).

3.2 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES AGRONÓMICAS

3.2.1 Vigor. Se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos, los valores fluctuaron entre 4,56 a 3 destacándose los tratamientos T2 (-15 kPa por Cayman),

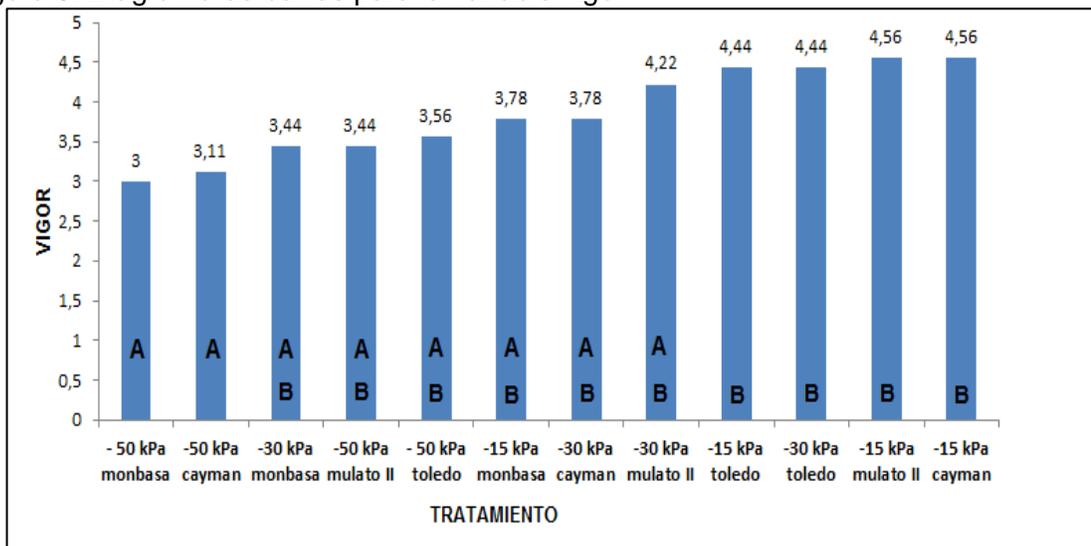
T1 (-15kPa por mulato II), T7 (-30 kPa por Toledo), T3 (-15 kPa por Toledo) y T5 (-30 kPa por mulato II) que superan el promedio de 3,86 obtenido según el análisis de varianza.

Figura 7. Temperatura y humedad relativa



En la figura 8 se puede apreciar diferencia estadística ($p \leq 0,05$) donde los tratamientos T2 (-15 kPa Toledo) y T1 (-15 kPa Mulato II) obtuvieron valores promedios entre 4.44 y 4.56, situación que confirma que estas gramíneas se adaptan bien a regiones húmedas y subhúmedas, con suelos bien drenados y de mediana fertilidad (Peters et. al, 2013), condiciones similares a las que presenta los suelos del patia y mercaderes respondiendo bien al establecimiento de estas dos variedades cuando las condiciones humedad del suelo son favorables.

Figura 8. Diagrama de barras para la variable vigor



Para este mayor valor el *Brachiaria brizantha* cv Toledo teniendo una menor humedad -30 kPa su comportamiento en la etapa establecimiento no fue afectado, comprobándose su rusticidad, resistencia a la sequía en periodos largos, bajo diversas situaciones edafoclimaticas comprobándose lo sugerido por Toledo, 1982, confirmando su potencial de producción para la zona de estudio según esta investigación.

Betancur y Valencia (2011) reportan información de comportamientos favorables para las especies *Brachiaria brizantha* (Toledo CIAT 26110) y *Brachiaria híbrido* (Mulato II 36087) en la vereda el tablón, municipio de Popayán presentando un vigor de 4.3 y 3.7 respectivamente ratificando la adaptabilidad de estas gramíneas a diversos medios edafoclimaticos.

Los tratamientos que presentaron el menor valor fueron T12 y T11 a (-50 kPa por Monbasa y Cayman), según Peters, 2011 estos cultivares soportan periodos largos de sequía en producción y su baja repuesta puede deberse al estrés hídrico al que fueron sometidos las plantas después de su emergencia, etapa de establecimiento, crecimiento lo cual se reflejó en su aspecto general de desarrollo. Este comportamiento es similar al encontrado por Betancur y Valencia (2011) donde los resultados fueron poco favorables en esta instancia para la cultivar Monbasa. Según Peters et al. (2013) los *Panicum* se adaptan a alturas de 0-1500 msnm con precipitaciones de 1000-3500 mm/año, comportamiento que confirma el presente estudio dado que estas especies presentaron mejor comportamiento cuando la humedad del suelo fue alta (-15 kPa).

Cuando las condiciones edafoclimaticas son favorables Carrillo y Galindez (2014) reportan información de 4.73 (*M. maximus* cv Monbasa) en la vereda Piedra de moler, municipio de Patía, Cauca donde expreso todo su potencial en el periodo de establecimiento cuando se sembró en época lluviosa a una altura de 608 m.s.n.m., como en las condiciones del valle del Patía (Colombia).

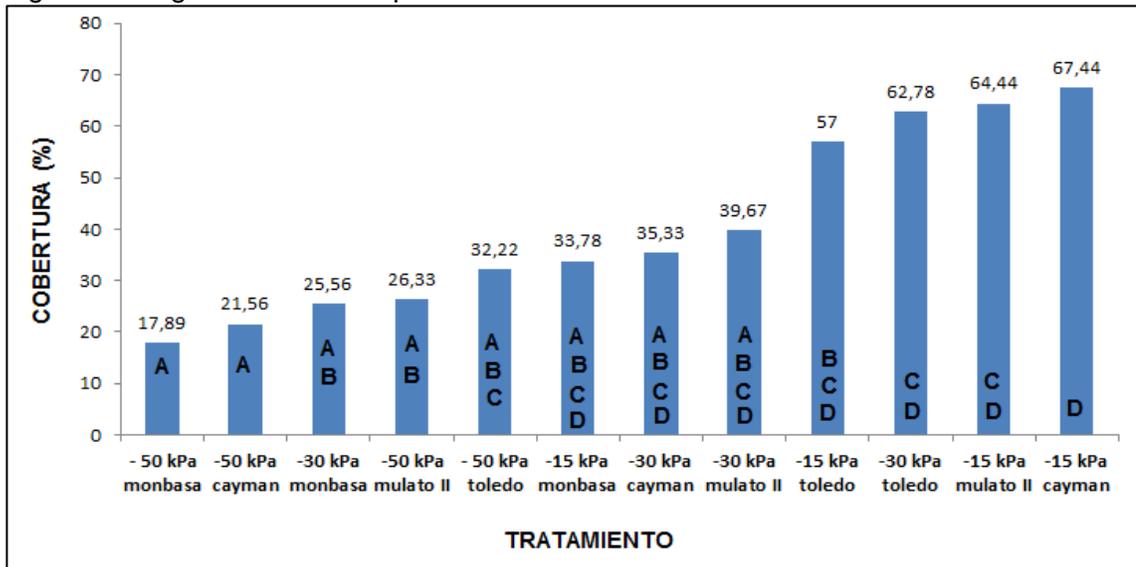
Los cuatro cultivares cuando fueron sometidos a condiciones de un alto estrés hídrico -50 kPa presentaron valores entre 3.44 y 4.22 para la etapa de establecimiento considerando 6 meses desde la preparación de terreno. Este comportamiento confirma la resistencia a los periodos prolongados de sequía y su diferencia significativa que se presenta entre tratamientos se debe a los diferentes potenciales matriciales y posiblemente a la adición de fosforo en este periodo. Peters et al., 2013 afirman que las cuatro gramíneas utilizadas presentan resistencias a la sequía prolongada, con buena producción de forraje en época crítica, siendo *M. maximus* cv Monbasa el que tiene menor tolerancia a la sequía.

Los resultados confirman la rusticidad y adaptabilidad de la especie *Brachiaria brizantha* – Toledo, por su comportamiento en la etapa de establecimiento en cada uno de los tratamientos; según Lascano et al., (2002), el pasto Toledo tiene un amplio rango de adaptación a climas y suelos. Crece bien en condiciones de trópico subhúmedo con periodos secos entre 5 y 6 meses con un promedio de lluvia anual de 1600 mm, y en localidades de trópico muy húmedo con precipitaciones anuales superiores a 3500 mm.

Aunque se desarrolla bien en suelos ácidos de baja fertilidad, su mejor desempeño se ha observado en localidades de mediana a buena fertilidad, altas temperaturas y tiempos largos de sequía.

3.2.2 Cobertura. Se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos, se determinó que T2 (-15 kPa por Cayman), T1 (-15 kPa por Mulato II), T7 (-30 kPa por Toledo) y T3 (-15 kPa por Toledo), son estadísticamente homogéneos entre sí y obtuvieron la mayor cobertura encontrándose por encima del promedio 40,3%.

Figura 9. Diagrama de barras para la variable cobertura



Los tratamientos T2(-15 kPa Cayman), T1(-15 kPa mulato II), T7(-30 kPa Toledo) Y T3(-15 kPa Toledo) con 67.44%, 64.44%, 62.78% y 57% de cobertura respectivamente presentaron los más altos valores, calificándose como buena cobertura para Olivera et al., (2006) las *Brachiarias* se caracterizan por su rápida adaptación y desarrollo, lo cual se presentó durante el establecimiento de este estudio, su buen comportamiento pudo ser influenciado por factores como los contenidos de humedad del suelo, luminosidad y temperatura alta, condiciones que incrementan los porcentajes de germinación, mejoran los rebrotes, e incrementan la cobertura del cultivo en el suelo.

Para el tratamiento T1 (-15 kPa mulato II) su buen comportamiento se pudo deber a su amplio rango de adaptación y su fácil establecimiento por semilla, ya que las plántulas crecen con excelente vigor, con coberturas superiores al 80% entre 90 y 120 días después de la siembra (Peters et al., 2011).

Para el mayor valor de *Brachiaria brizantha* - Toledo se puede observar en la figura 9 que no hubo afectación de su comportamiento al disminuirle a -30 kPa su potencial matricial.

En el estudio realizado por Carrillo y Galindez (2014) en el municipio de Patía que *Brachiaria brizantha* - Toledo presento buenos porcentajes de cobertura con 73.46% confirmando su buena capacidad de adaptación.

Brachiaria híbrido cv Cayman posee un sin número de ventajas entre los cuales se puede encontrar gran porcentaje de cobertura del suelo. De acuerdo con Pizarro, 2012 citado por Aguirre y Zavala, 2014 *Brachiaria* Híbrido cv Cayman posee un porcentaje de cobertura del 83%. Para el estudio se encontró que el cv Cayman tuvo una cobertura de 67.44% siendo la que mejor comportamiento presento con respecto a las otras tres especies.

Para los valores intermedios que varían de 25,56 hasta 39,67% y que se encuentran por debajo del promedio 40.3% se puede atribuir al potencial matricial al que estaban sometidos - 50 kPa y se ve reflejado en su baja cobertura, se puede resaltar de ese grupo al T4 (-15 kPa Monbasa) dado que tenía disponibilidad de agua pero su comportamiento no fue el más favorable. Peters et al, (2013) reporta que el cultivar Monbasa soporta encharcamientos temporales y cubre rápidamente el suelo.

Los tratamientos que presentaron un bajo comportamiento en cobertura fueron T12 (-50 kPa por monbasa) y T11 (-50 kPa por cayman), con promedios de 17.89% y 21.56% respectivamente, los cuales estan por debajo del promedio de la variable (40.3%).

En el Tratamiento 12(-50 kPa Monbaza) su baja cobertura se puede atribuir a que *Megathyrsus* requiere una precipitación entre 1000- 3500 mm (Peters et al, 2013) y debido a la poca disponibilidad de agua que tuvo el cv Monbasa pudo afectar su desarrollo lo que influencio negativamente en la baja área de cobertura.

Los resultados obtenidos por Segura y Legarda (2011), en la hacienda Versailles, Patía, reportan que la especie *M. maximus*, presento uno de los mejores valores con un 96.25%, para cobertura en la fase de establecimiento lo que difiere en los resultados obtenidos en el ensayo estas discrepancias se deben a que el estudio fue realizado en invernadero.

3.2.3 Altura. Se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos. Al observar los resultados que se presentan en la figura 10 se encontraron diferencias estadísticas en el comportamiento de las especies sometidas a cada uno de los potenciales de humedad del suelo.

Para el cultivar *Brachiaria brizantha*- Toledo sometida a los tres potenciales los valores promedios fueron de 24,44 cm en -50 kPa o periodo seco, 60 cm en -30 kPa o inicio de lluvias y 56,67 cm en -15 kPa o lluvias prolongadas. Esta especie sometida a -15 kPa y -30 kPa no presentó diferencia estadística mostrando los mejores comportamientos en etapa de establecimiento situación que confirma que esta gramínea tiene un amplio rango de adaptación a clima, suelos y soporta periodos cortos de encharcamiento (Peters et al.,

2013). Para el mayor valor de Toledo al disminuir a -30 kPa de humedad su comportamiento no fue afectado comprobando su rusticidad y resistencia a la sequía en periodos largos de acuerdo a lo sugerido por Toledo, 1982 refiriendo su potencial de producción para la zona de estudio de esta investigación. Para el menor valor que presento esta especie se puede atribuir al potencial matricial al que fue sometida -50 kPa y el estrés hídrico ocasionado se vio reflejado en la reducción de la altura.

Para *Brachiaria* híbrido cv Cayman sometida a -15 kPa, -30 kPa y -50 kPa se presentó diferencia estadística en cada potencial. A -15 kPa la especie presento los mejores resultados con 54,11 cm y su establecimiento no fue afectado confirmando lo dicho por Peters et al., 2013 que este cultivar se desarrolla en regiones húmedas y subhúmedas. Cuando esta especie fue sometida a -30 kPa o capacidad de campo presento una baja de 19,67 cm esto pudo deberse a la disminución del agua. Al someter el cultivar a -50 kPa tuvo una disminución notable en altura con 16,33 cm, según Peters et al., 2013 este cultivar soporta periodos largos de sequía en producción y su baja respuesta pudo deberse al estrés hídrico al que fue sometida la planta después de su emergencia, etapas de establecimiento y crecimiento lo cual se reflejó en su aspecto general de desarrollo.

Aguirre y Zavala, 2014 al Sudeste de Tegucigalpa, Honduras a una altura de 800 msnm con una temperatura promedio de 24°C y una precipitación anual de 1100 mm reportan información de comportamientos favorables para el cultivar *Brachiaria* híbrido cv Cayman con valores de altura de 121 cm a las 7 semanas los que difiere en los resultados obtenidos en el ensayo, estas diferencias se deben a que el estudio fue desarrollado en invernadero y en condiciones de humedad controlada.

Para *Brachiaria* híbrido cv Mulato II se presentó un comportamiento similar a *Brachiaria* híbrido cv Cayman debido al grado de cercanía con su origen y presento valores a -15 kPa, -30 kPa y -50 kPa de 52,78 cm, 34,28 cm y 15,22 cm en su orden, su mejor comportamiento se reflejó a -15 kPa o lluvias continuas, Peters et al., (2011) afirma que este cultivar crece bien en el trópico húmedo con altas precipitaciones y en condiciones subhúmedas ratificando su buen desempeño en este estudio.

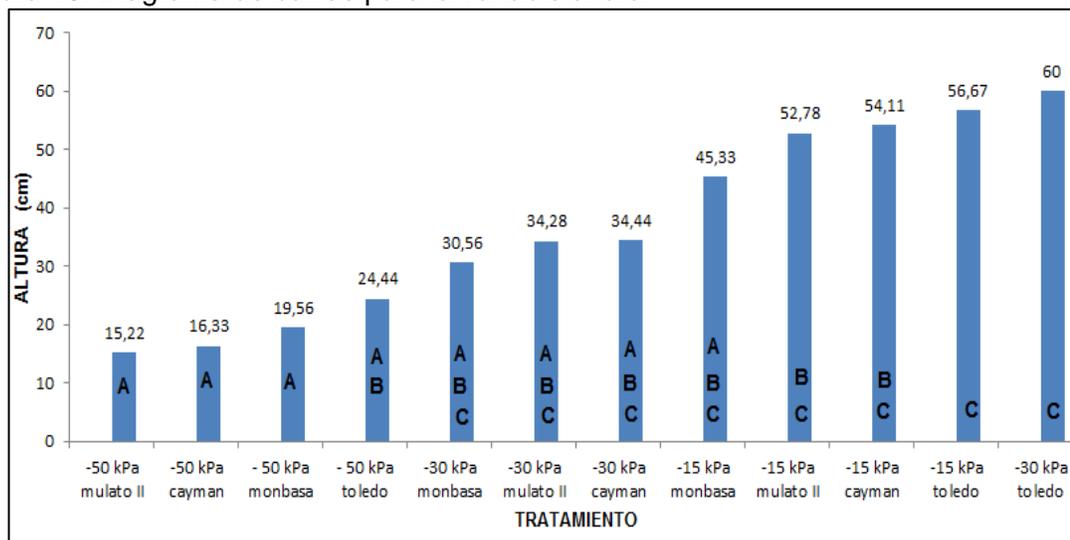
La disminución de altura en los potenciales de -30 kPa y -50 kPa se vio reflejada en la medida en que los contenidos de humedad del suelo disminuían. Betancur y Valencia (2011) reportaron comportamiento similar en el municipio de Popayán, donde los resultados fueron poco favorables en esta instancia para el cultivar Mulato II. Debido a estas condiciones adversas desde la fase de establecimiento incidieron en una atrofia radicular (Toledo, 1982), a causa de cambios moderados de humedad hasta la fase de producción.

Olivera et al. (2006) afirman que las *Brachiarias* se caracterizan por su rápida adaptación y desarrollo, lo cual se presentó durante el establecimiento de este estudio, su buen comportamiento pudo ser influenciado por el contenido de humedad del suelo siendo mayor que el desarrollo que presento Monbasa.

Megathyrus maximus cv Monbasa con 45,33 cm a -15 kPa presento la menor altura, Peters et al., 2013 afirman que este cultivar no tolera suelos inundables por esta razón se pudo ver afectado el desarrollo de esta especie en comparación con las demás especies evaluadas, Carrillo y Galindez, 2014 confirman comportamientos favorables para este cultivar en el municipio de Patia donde presento una altura de 134,73 cm valor que se acerca a lo expresado por Peters, et., al (2013), donde asegura que genéticamente *Megathyrus maximus* por su morfología y crecimiento erecto forman macollas con una altura promedio de 1,5 m y pueden alcanzar hasta 3 m en sus mejores condiciones lo que difiere de los resultados obtenidos en este ensayo estas discrepancias se deben a que el desarrollo de las plantas fue en invernadero y con condiciones de humedad controladas.

Con una humedad de -30 kPa y - 50 kPa Monbasa presento una altura de 30,56 cm y 19,56 cm respectivamente Peters et al., 2013 confirman que este cultivar presenta raíces fibrosas, largas y ocasionalmente tiene rizomas características que le otorgan cierta tolerancia periodos largos de sequía lo cual no se reflejó en este estudio, la disminución en el desarrollo se pudo deber al bajo contenido de humedad del suelo a la que se sometió después de la emergencia.

Figura 10. Diagrama de barras para la variable altura



3.2.4 Producción. Se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) entre los tratamientos para producción de materia seca, los valores fluctuaron entre 17,5 gr/matera a 9,67 gr/ materia destacándose los tratamientos T2 (-15 kPa por Cayman) T1 (-15 kPa por Mulato II), T3 (-15 kPa por Toledo) y T7 (-30 kPa por Toledo) que superan el promedio de 6,70 gr/matera obtenido según el análisis de varianza.

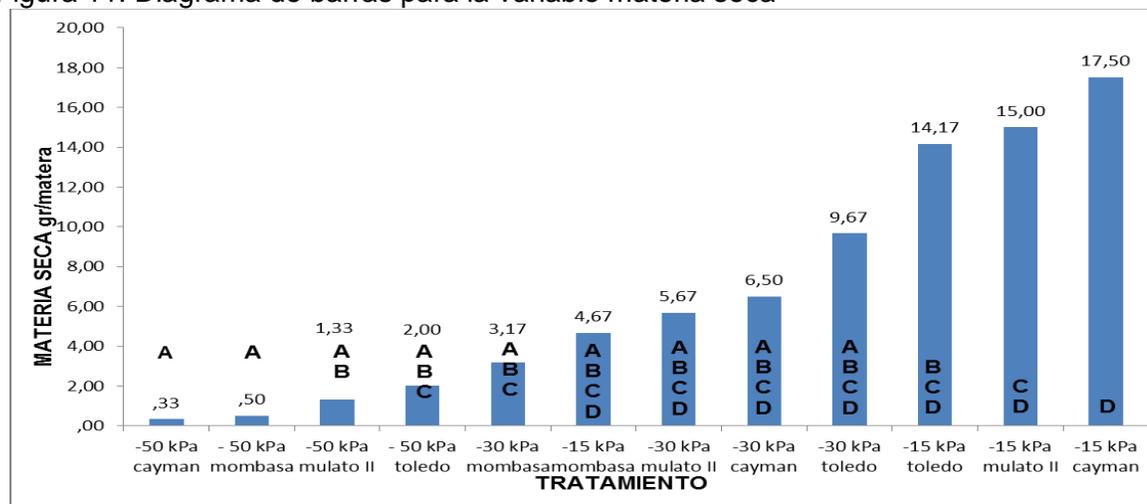
Al observar los resultados que se presentan en la figura 11 se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) donde los tratamientos T1(-15 Kpa mulato II) y T2 (-15 kPa

Cayman) obtuvieron valores promedios entre 15 gr/materia y 17,5 gr/materia ambas sometidas a -15 kPa situación que confirma que estas gramíneas se adaptan bien a regiones húmedas y subhúmedas, con suelos bien drenados de mediana fertilidad y altura hasta los 1800 m.s.n.m., condiciones similares a las que presentaron en el ensayo respondiendo bien al establecimiento de estas dos variedades según (Peters et. al, 2013). Para este mayor valor el *Brachiaria* híbrido – Cayman se adaptó muy bien teniendo una humedad de -15 kPa y se pudo observar que su comportamiento en la etapa establecimiento no fue afectado, con este resultado se pudo confirmar lo que reporto Pizarro, (2013) en Oaxaca, México donde presentó producciones de 15 ton/ms para este cultivar en periodo lluvioso.

Lara (2005) reporta que Mulato II presentó mayor rendimiento de materia seca a diferencia de los datos obtenidos en este estudio donde esta especie obtuvo 15 gr/materia en producción de materia seca mientras que el cayman presentó una mayor producción de materia seca con 17,5 gr/materia de estas sometidas a las mismas condiciones de humedad -15 kPa.

En el ensayo de Segura y Legarda (2011) realizado en la hacienda Versailles, Patía, reportan comportamientos favorables para el cv. Mulato II y la especie Toledo valores superiores que en esta investigación, debido al conjunto de factores adafoclimáticos que optimizaron el desarrollo de las gramíneas.

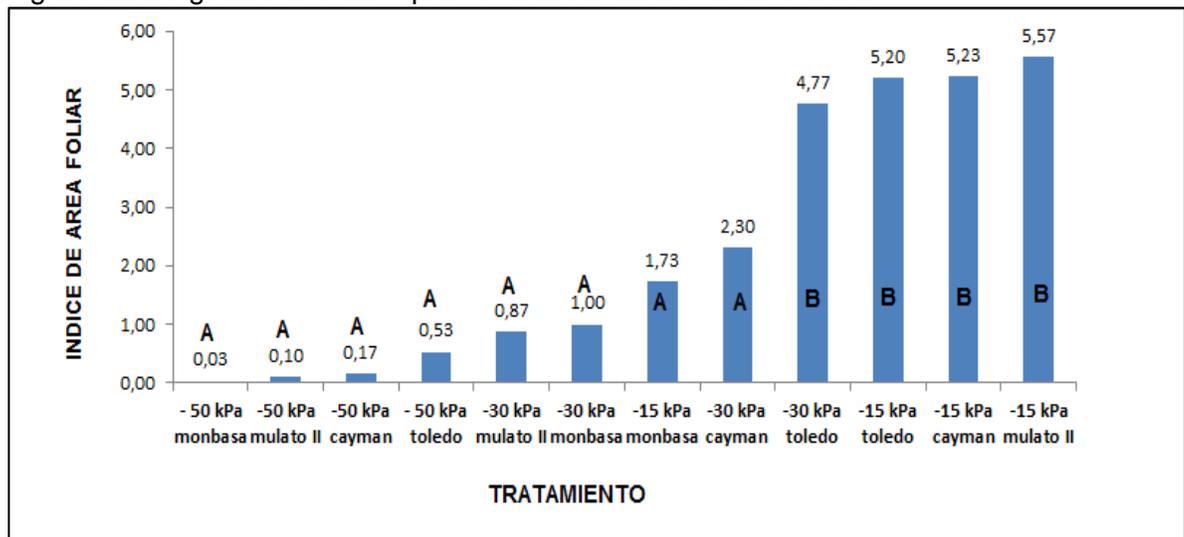
Figura 11. Diagrama de barras para la variable materia seca



Finalmente la menor producción de materia seca la obtuvo *Brachiaria* híbrido – Cayman sometido a -50 kPa lo cual indica que esta especie no tiene buen comportamiento o no se adapta bien a condiciones de humedad muy baja ya que se refleja el resultado en su establecimiento y producción lo cual difiere con lo reportado por (Peters et. al, 2013) quienes afirman que este cultivar es resistente a sequías prolongadas y presenta buena producción de forraje en época crítica.

3.2.5 Índice de área foliar. Se encontraron diferencias estadísticas ($Pr \leq 0.05$) entre los tratamientos, se determinó que T1 (-15 kPa por Mulato II), T2 (-15 kPa por Cayman), T3 (-15 kPa por Toledo) y T7 (-30 kPa por Toledo) son estadísticamente homogéneos entre sí y obtuvieron el mayor índice de área foliar encontrándose por encima del promedio de 2,29.

Figura 12. Diagrama de barras para la variable Índice de área foliar



Para los valores que varían de 0,03 hasta 2,30 se puede atribuir al potencial matricial al que estaban sometidos - 50 kPa y se ve reflejado en bajo IAF, se resalta el T4 (-15 kPa por mombasa) el cual no presentó una buena respuesta al tener buena disponibilidad de agua. De acuerdo a Colabelli et al. (1998). Los efectos del déficit hídrico sobre las variables morfogénicas a nivel de macollamiento y variables estructurales de las pasturas, determina una fuerte incidencia sobre el desarrollo del IAF. Por consiguiente, una parte importante de la reducción de la tasa de crecimiento de una pastura puede ser explicada a partir de la menor cantidad de energía lumínica interceptada por cultivos carenciados en agua en comparación con cultivos alimentados a niveles no limitantes.

Guenni et al. (2006) Ofrece respuestas sobre el déficit hídrico en especies forrajeras de *Brachiaria* afirma que las diferencias entre especies en términos de producción de biomasa aérea fue más marcada bajo condiciones favorables de humedad del suelo, así mostrando que las parcelas sometidas a riego continuo tuvieron mayor biomasa aérea que las parcelas sin riego y por consiguiente una relación directa con el índice de área foliar, a mayor producción de biomasa mayor IAF.

Al comparar los resultados de los tratamientos de menor comportamiento con los de mayor se confirman que la humedad del suelo influye directamente sobre el porcentaje de germinación y cobertura lo que permite un mejor desarrollo de las plantas en el periodo de establecimiento, Brito et al. (2014), evaluó el desarrollo y crecimiento inicial de la

Higuerilla (*Ricinus cummunis*) sometida a diferentes tensiones de agua en el suelo y cultivadas en macetas, los resultados muestran que la higuerilla es sensible al aumento de la tensión de agua en el suelo y las condiciones de mayor estrés conducen a un crecimiento reducido, e índices de transpiración y periodo vegetativo menores.

3.3 CONTENIDOS NUTRICIONALES ESPECIE POR POTENCIAL

Cuando se compararon los resultados de los tratamientos en diferentes potenciales de humedad los valores de proteína cruda (PC) encontrados varían de 2,20 % de Mombasa sometido a un estrés hídrico de -30 kPa hasta 5,2 % de Toledo a -30kPa en etapa de establecimiento. El promedio general de los tratamientos teniendo en cuenta los potenciales hídricos fue de 3,48 % PC.

Al observar los resultados que se presentan en el cuadro 7 se encontraron diferencias estadísticas en el contenido nutricional de las especies sometidas a cada uno de los potenciales de humedad del suelo.

Cuadro 7. Análisis bromatológico de los tratamientos evaluados

Tratamiento	%PC	%DIVMS	FDA	FDN	%P	MS(gr/matera)
-30 kPa Mombasa	2,20	51,99	21,43	42,23	0,04	3,17
-15 kPa Mombasa	2,54	51,81	22,21	43,29	0,23	4,67
-30 kPa mulato II	2,92	26,33	11,64	21,69	0,04	5,67
-50 kPa Toledo	3,02	26,29	10,92	22,28	0,05	2
-15 kPa Toledo	3,24	77,60	32,76	63,32	0,16	14,17
-15 kPa Cayman	3,50	78,11	32,98	63,73	0,14	17,50
-15 kPa mulato II	3,89	78,01	32,93	63,66	0,18	15
-30 kPa Cayman	4,85	78,68	33,21	64,20	0,07	6,50
-30 kPa Toledo	5,20	77,47	32,70	63,20	0,12	9,67

Teniendo en cuenta que la capacidad de campo o -30 kPa es el punto de humedad favorable para el desarrollo y nutrición de las plantas Muñoz, 2009 afirma que el exceso de agua o el déficit en la zona radicular afectan la forma química en la que están presentes los nutrimentos en el suelo por ende los contenidos nutricionales y desarrollo de las gramíneas, situación concordante con los resultados obtenidos referente al mayor porcentaje de proteína, DIVMS, FDA, FDN cuando se sometieron las especies Cayman y Toledo a un estrés hídrico de -30 kPa.

Para la especie *Brachiaria brizantha* cv Toledo sometida a los tres potenciales los valores promedios de proteína cruda (PC) fueron a -15 kPa de 3,24 %, -30 kPa de 5,20 % y a -50 kPa de 3,02 %. Tomando el potencial -30 kPa como el 100% del contenido de proteína cruda (PC) observamos que a -50 kPa la proteína cruda tuvo un valor de 58,07% mientras que a -15 kPa el valor encontrado fue de 62,30% teniendo una disminución de 41,93% y

37,7% respectivamente. Destacando que la especie Toledo cuando fue sometida a capacidad de campo (-30 kPa) presento el mejor índice de absorción de nutrientes y por ende la mejor calidad forrajera, además la especie Toledo corroboró su eficiencia de absorción de nutrimentos cuando fue sometida a sequía prolongada simulada a -50kPa (cuadro 7) confirmando lo expresado por Peters, et al (2011) cuando manifiesta que la especie Toledo se destaca por rusticidad y adaptabilidad a diferentes medios edafoclimáticos.

Los resultados obtenidos son menores que los reportados por Argel et al., 2006 en Santander de Quilichao para la especie Toledo en producción evaluada en dos épocas diferentes del año, presentado de valores de 9,1% de PC en prefloración época de lluvia y de 7,4% de PC en prefloración época de sequía reafirmando que las gramíneas expresan sus máximos rendimientos y se obtiene calidad de forraje cuando en el suelo se mantiene condiciones de humedad un poco más que capacidad de campo, este comportamiento se presentó en la etapa de establecimiento para Toledo y Cayman para las variables de rendimiento, calidad y contenidos nutricionales en el estudio realizado.

Brachiaria híbrido cv Cayman presento diferencias estadísticas cuando fue sometida a -15 kPa y -30 kPa, exceptuando a -50 kPa donde su desarrollo no fue óptimo para su análisis. A -30 kPa o capacidad de campo presento su valor más alto de con 4,85 % de PC, tomando a -30 kPa como el 100 % se observa que a -15 kPa se produjo una disminución de 27,8 % en PC. El cultivar Cayman presento resultados por debajo de los promedios para especie, Peters et al, 2013 afirman que este cultivar alcanzan porcentajes de proteína cruda entre 10% y 15 % cuando se encuentran en las condiciones edafoclimáticas adecuadas. Pizarro, 2013 reporta que en estudios realizados en la Universidad de Florida- EEUU, en ensayos de pastoreo muestran el alto valor nutritivo en el contenido de proteína bruta con un promedio de 17,3 % y además confirman una alta tolerancia a inundaciones lo que difiere en los resultados obtenidos en este ensayo estas discrepancias se deben a que el ensayo fue realizado en invernadero y la humedad aplicada fue en su establecimiento, lo que pudo haber afectado su calidad forrajera.

El cultivar *Brachiaria* híbrido cv Mulato II presento valores de proteína cruda de 3,89 % cuando fue sometido a -15 kPa teniendo un aumento de 33,2 % de PC que cuando se sometió a -30 kPa o capacidad de campo corroborando su amplio rango de adaptación y su buen crecimiento en trópico húmedo con altas precipitaciones Peters et al., 2011 asegura que el cv mulato II se adapta mejor que los cv Marandu y Mulato a suelos con deficiente drenaje. Estos resultados estuvieron por debajo de los reportados por Argel et al., 2007 en Santander de Quilichao para Mulato II en dos épocas diferentes del año, reportando valores de 9,1% de PC en prefloración lluvia y de 7,4% de PC en prefloración sequía lo cual pudo haber sido influenciado por las condiciones humedad que se presentaron en el ensayo.

Sobre los resultados obtenidos por Argel et al. (2007) afirma que la calidad de una gramínea medida en términos de porcentaje de proteína cruda (PC) y digestibilidad in vitro de materia seca (DIVMS), depende de la edad, la parte aprovechable de la planta, la

época del año y las condiciones de fertilidad del suelo para la producción del cultivo, condiciones que los resultados del estudio lo confirman cuando fueron sometidos a estrés hídrico simulando sequías prolongadas en la etapa de establecimiento.

Megathyrus maximus - Monbasa presentó resultados por debajo de los promedios para la especie presentando valores de 2,54 % y 2,20 % de PC cuando estuvo sometida a -15 kPa y -30 kPa presentando un aumento en 15 % cuando se estuvo sometida a 15 kPa. Peters et al, 2013 afirman que el cultivar Monbasa alcanza porcentajes de proteína cruda entre 10% y 14 % cuando se encuentran en las condiciones edafoclimáticas adecuadas, además este cultivar no soporta suelos inundables condición a la que fue expuesta durante su establecimiento lo cual pudo haber afectado su desarrollo.

Morillo (1994) manifiesta que la época seca ejerce también una marcada influencia sobre la calidad de los forrajes que las sequías intermitentes y de corta duración tienden a mejorar la calidad, debido al retraso de la madurez de la planta y al menor desarrollo de los tallos pero si la sequía es prolongada el cultivo entra en un estrés hídrico entonces el secado del suelo reduce la mineralización del N, absorción por la planta, así el N de las partes aéreas se moviliza hacia el sistema radicular y hasta la fijación simbiótica de N, este proceso afecta directamente la calidad forrajera disminuyendo en ciertos porcentajes los niveles de proteína y demás nutrientes contenidos en la materia seca aprovechable, confirmándose esta apreciación en los resultados encontrados en el estudio en etapa de establecimiento cuando el cultivo se sometió a un estrés hídrico mayor se presentó menor absorción de nutrientes y los valores referentes a porcentajes de proteína menores.

Pasturas de América (2009) describe las temperaturas ambientales altas traen como consecuencia el incremento en la lignificación de la pared celular de las plantas y disminuye la digestibilidad. Por otro lado, se debe recordar que los productos generados en la fotosíntesis, son rápidamente convertidos en componentes estructurales. Esta actividad reduce nitratos, proteínas, carbohidratos solubles e incrementa los componentes de la estructura de la pared celular confirmando los bajos contenidos nutricionales que se presentaron en este estudio. Los efectos de la temperatura parecen actuar en forma uniforme en todas las especies, aunque puede variar según los diferentes componentes de la planta y de las especies.

En gramíneas, la calidad de hojas y tallos se reduce con la temperatura, siendo el efecto más pronunciado en gramíneas tropicales. La calidad en las hojas se reduce como resultado de la lignificación de la nervadura central, la cual contiene el mayor porcentaje de lignina en las hojas de las gramíneas. Dado que los tallos sufren el mismo proceso con el aumento de la temperatura ambiente, esto trae como resultado una reducción total en la calidad de la gramínea.

La misma publicación, asegura que a mayor incremento lumínico se promueve la acumulación de azúcares y el metabolismo del nitrógeno. Los nitratos requieren energía fotosintética para su reducción en amoníaco y la síntesis de aminoácidos. Los

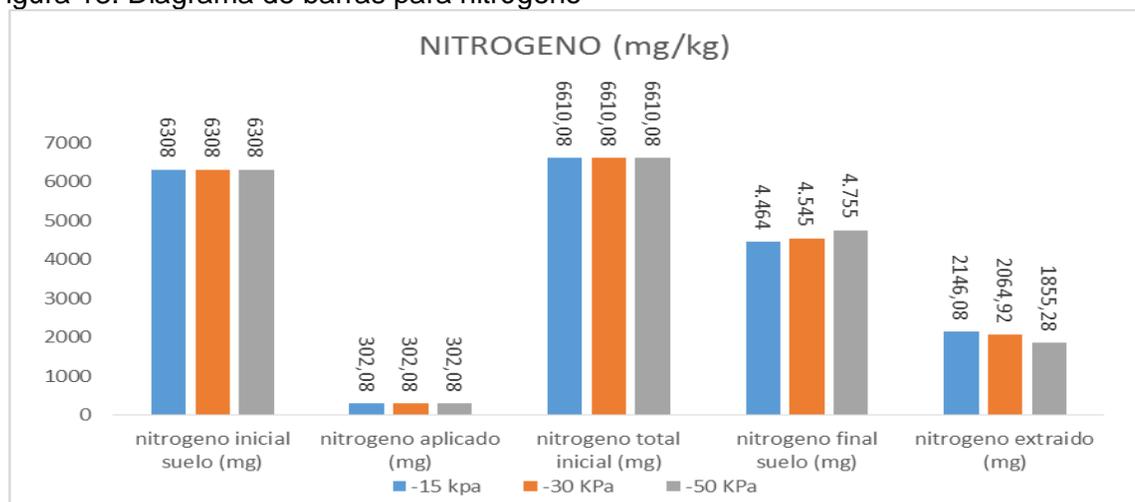
componentes de la pared celular se reducen al aumentar la luz, probablemente a través de la dilución de carbohidratos no estructurales, aminoácidos y los ácidos orgánicos formados. Cielo cubierto y sombra, afectan la cantidad de luz que reciben las plantas y en consecuencia tienden a reducir el valor nutritivo de los forrajes afirmando que el brillo solar directo sobre las plantas pudo haber influenciado negativamente en la calidad de los forrajes.

3.4 EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DE NUTRIENTES EUN

Los resultados de cada uno de los nutrientes analizados presentaron el mismo comportamiento de extracción, donde al aumentar la humedad del suelo se incremento el consumo de nutrientes por el cultivo, se evidencio un mejor aprovechamiento de los mismo optimizando calidad del forraje, siendo el magnesio el que presento la mayor extracción por las especies forrajeras sometidas a -30 kpa. Según Muñoz (2010), el deficit de humedad del suelo disminuye la disponibilidad de nutrimentos a pesar de que estos se encuentren en cantidades suficientes.. El exceso de agua o el deficit en la zona radicular afectan la forma quimica en la que estan presentes los nutrimentos en la solucion del suelo para ser tomado por la planta.

3.4.1 Nitrógeno. Este elemento es el nutrimento que mas limita la produccion de las gramineas las cuales dependen del nitrógeno proveniente de la mineralizacion de la materia organica del suelo y de los fertilizantes aplicados como complemento del nitrógeno disponible en la MO. El nitrógeno es adsorvido por las plantas en la forma quimica de amonio o en forma de nitrato y el efecto quimico de absorverlo puede afectar el desempeño fisiologico y productivo de los pastos. Muñoz (2010). Los valores de absorcion son un total donde no se tuvo en cuenta las perdidas por lixiviacion y volatilizacion según IPNI, 2009 las perdidas por volatilizacion pueden ser superiores al 45% cuando se aplica al suelo en condiciones de alta temperatura y humedad.

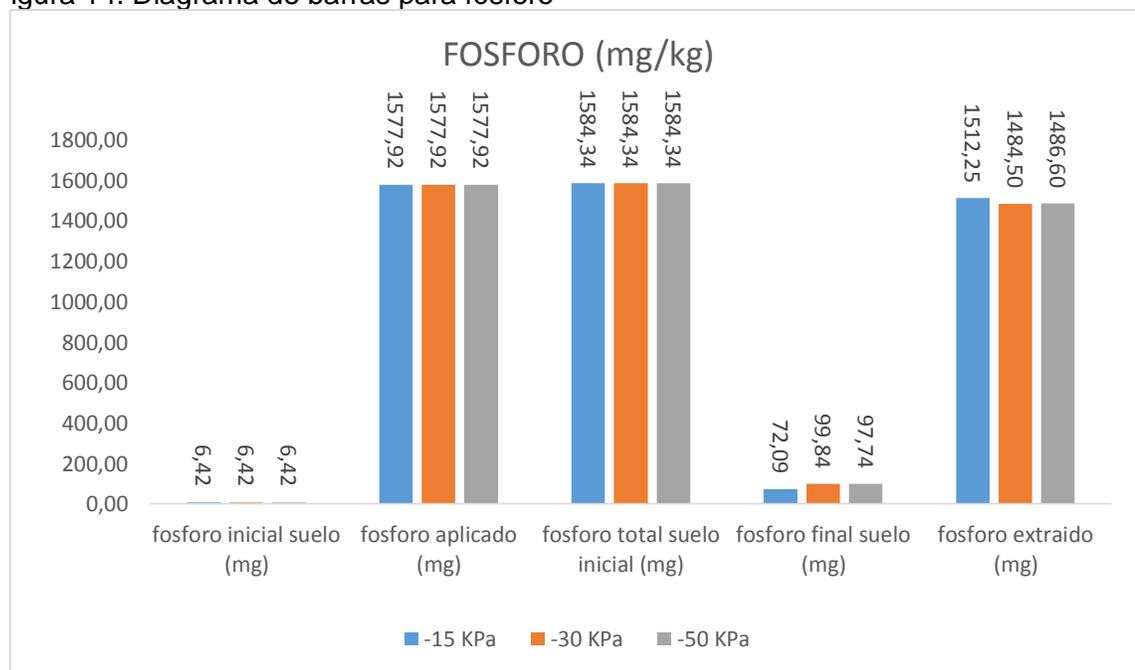
Figura 13. Diagrama de barras para nitrógeno



Los resultados obtenidos expresado en valores sobre las bajas producciones de materia seca y bajos contenidos de nutrientes de las especies sometidas a déficit hídrico (-50kPa), confirma que sigue siendo esencial el factor agua para el establecimiento de las gramíneas. En esta etapa, la humedad presente en el suelo (-15 kPa) y la forma predominante del nitrógeno y del fósforo son fundamentales para la etapa de establecimiento. Es así como en suelos con aireación limitada por exceso de humedad se restringe la nitrificación debido a que este proceso es realizado por bacterias aeróbicas exclusivas. Debido a lo anterior se puede afirmar que las gramíneas requieren de suelos bien aireados para tener una nutrición nitrogenada balanceada en términos de la relación nitrato/amonio que le permita alcanzar su máximo rendimiento y el mejor establecimiento de un cultivo a largo plazo con buenas condiciones de humedad en el suelo (Fageria y Baligar, 2005).

3.4.2 Fósforo. El N y P en los cultivos se absorben en mayores cantidades (Morris y Garrity, 1993), por lo que el requerimiento es mayor en la etapa de establecimiento. El adecuado nivel y disponibilidad de estos nutrientes, eleva la eficiencia en el uso del agua (EUA) consecuencia del aumento en el tamaño del dosel vegetal, el cual provoca mayor y más temprana cobertura del suelo, reducción de la evapo-transpiración y mayor relación de carbono fijado por unidad de agua disponible (Caviglia et al., 2004). Además, a medida que avanza la época seca (-50kPa) las concentraciones en el forraje de P y K, tienden a disminuir mientras que la relación Ca:P puede ser hasta 10:1.

Figura 14. Diagrama de barras para fósforo



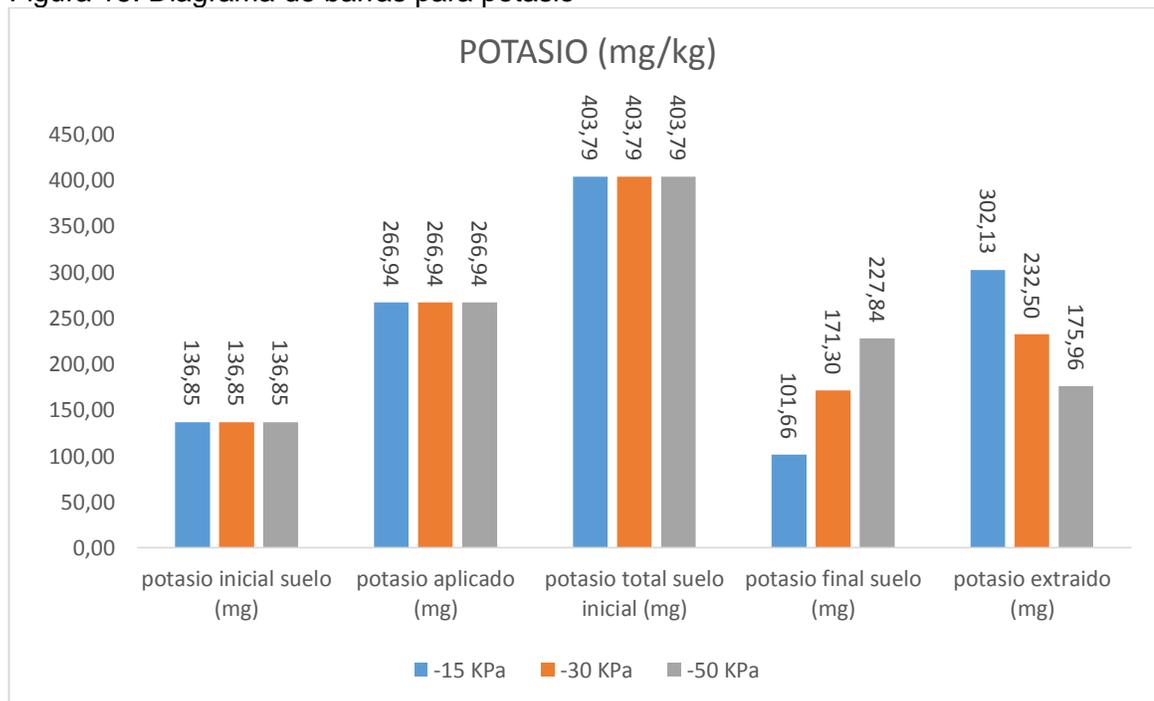
Según publicaciones del International Plant Nutrition Institute (IPNI) El fósforo está relacionado con muchas funciones vitales de la planta; las bajas de producción pueden

ocurrir sin presentar deficiencia visible, lo que es conocido como “hambre oculta” así, las plantas utilizarán el agua disponible pero de una manera muy ineficiente, tendiendo a bajar su producción, con mala calidad y con un bajo valor nutricional del producto cosechado. Son más susceptibles a enfermedades y a bajas temperaturas, además tardan más en madurar confirmando la importancia de la fertilización fosfatada para suelos ácidos y con bajos contenidos en fósforo, que fueron factores determinantes para llegar a los resultados obtenidos en el presente estudio como lo muestra la figura 14.

El IPNI también comenta que la fertilización con P durante las primeras etapas de desarrollo está relacionada con la obtención de buenos resultados en el incremento de la producción cuando hay una correlación con la humedad del suelo. El crecimiento rápido en las primeras etapas ayuda a proteger al suelo de la erosión. Además la cantidad de N no utilizado al final de la etapa de crecimiento es por lo general menor cuando se utiliza suficiente P. esto confirma los bajos y altos valores de absorción de fósforo encontrado en el análisis de materia seca de los pastos sembrados en suelos con aplicación de fósforo uniformemente distribuido y sometidos a diferentes niveles de estrés hídrico como lo muestra la figura 14.

3.4.3 Potasio. De acuerdo con el IPNI, 1996 el manejo eficiente de los nutrientes para las plantas debe de considerar el óptimo aprovechamiento del recurso agua. Dentro de los nutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos, el elemento que más influye en la eficiencia del uso del agua es el potasio. El manejo racional de este elemento es fundamental si se quiere obtener el máximo rendimiento con el menor gasto de agua.

Figura 15. Diagrama de barras para potasio



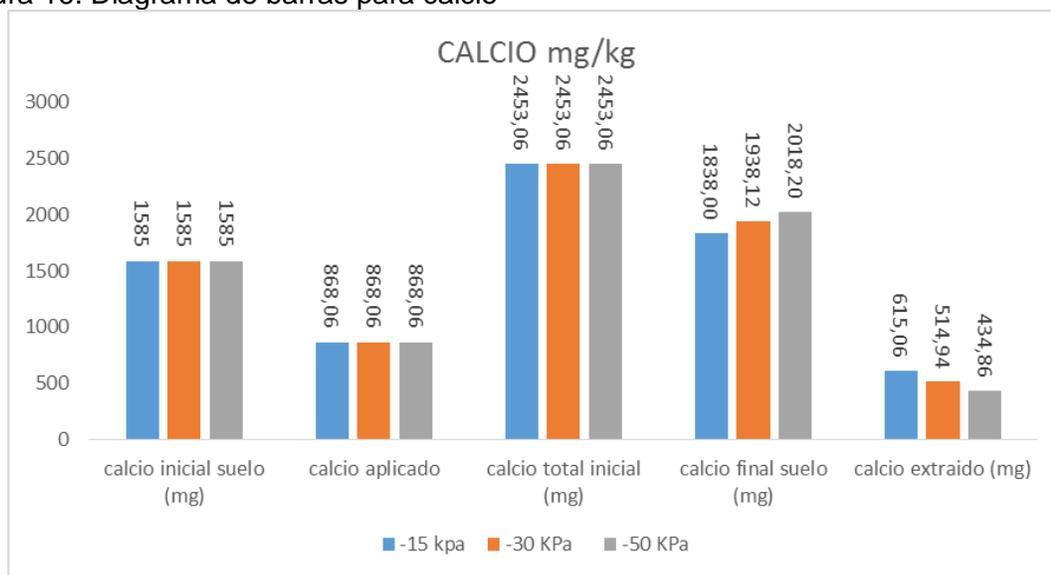
Las plantas usan miles de litros de agua para producir la materia seca que da valor al producto del agricultor. De hecho, para la mayoría de los cultivos, son necesarios cientos de litros de agua para producir un kilo de materia seca. Debido a esto se busca implementar nuevas técnicas de producción o la búsqueda de variedades que se adapten a condiciones de estrés hídrico y puedan producir buenas cantidades de materia seca que sirvan como alimento para la ganadería en épocas críticas de sequía como las del valle del Patía y Mercaderes.

La predominancia del potasio sobre otros cationes dentro de la planta hace que la función de este elemento en el mantenimiento y regulación de los niveles de agua sea muy importante. El potasio provee mucha de la “fuerza” necesaria para que el agua entre a la raíz desde el suelo. Las plantas con deficiencia de potasio son más susceptibles a los daños por sequía, principalmente debido a que no son capaces de utilizar toda el agua disponible en el suelo (IPNI, 1996).

Bajo condiciones de estrés de humedad (sequía o inundaciones), la adición de potasio puede incrementar los rendimientos en suelos pobres en este elemento. La respuesta puede ser aún mayor que en suelos bien irrigados o con muy buenas condiciones de humedad. Las anteriores consideraciones precisan el resultado encontrado referente al potasio como lo muestra la figura 15.

3.4.4 Calcio. Según Feagley y Fenn, (1999) El agregar calcio suplementario ha acelerado hasta en un 100% la velocidad con que las plantas absorben el amonio. A medida que parte del amonio se convierte en nitrato, el calcio previamente precipitado se vuelve a solubilizar gradualmente, aumentando la concentración del calcio soluble disponible que aumenta el rendimiento de los cultivos.

Figura 16. Diagrama de barras para calcio



El aumento en la capacidad de absorción de amonio causado por el calcio tiene resultados interesantes. La fotosíntesis aumenta y la planta absorbe cantidades mayores de dióxido de carbono del aire, lo que aumenta los componentes orgánicos básicos de la planta. Cuando las plantas absorben más amonio, queda menos nitrógeno en la tierra y queda sujeto a la filtración. Además, las plantas guardan el exceso de nitrógeno que absorben y lo utilizan para estimular el crecimiento durante todo su ciclo (Feagley y Fenn, 1999).

Esto confirma los resultados encontrados en el estudio según la figura 16, la absorción de este elemento fue menor por las especies cuando se sometieron a las simulación de sequía a -50kPa y la absorción fue incrementando cuando se aumentó el contenido de humedad del suelo a -30 y -15 kPa.

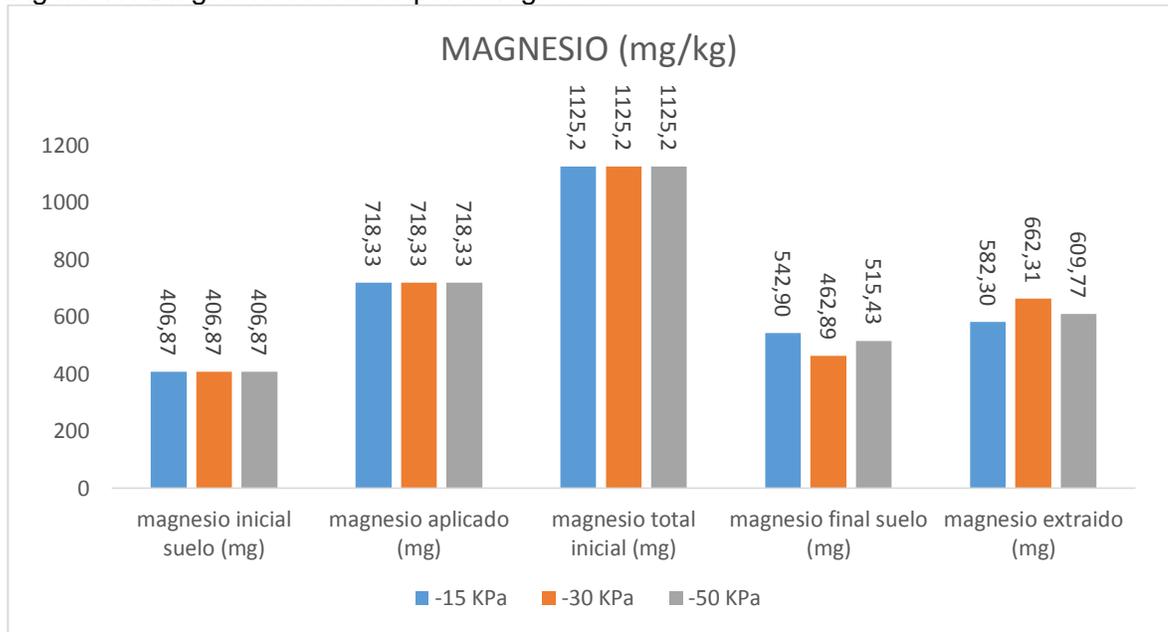
Al hablar del elemento calcio la investigación ha mostrado que la mejor cantidad de calcio para aplicar es de 1/2 a 1 libra de cloruro cálcico por 1 libra de urea. Esta proporción aumenta los rendimientos del 14 al 50 por ciento sobre la producción. Sin embargo, es difícil calcular la cantidad precisa de calcio que se necesita porque cuando la planta absorbe el amonio, despiden una cantidad equivalente de hidrógeno. Este hidrógeno, a su vez solubiliza la cal (carbonato cálcico) precipitada si ésta está presente. La urea incorporada al suelo precipita el calcio aun en tierra ácida. Así que hay cierta cantidad de calcio natural presente en el suelo y se combina con el calcio suplementario aplicado en forma de enmiendas se estimula el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Feagley y Fenn, 1999).

3.4.5 Magnesio. El Magnesio (Mg) es el constituyente central de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que funciona como un aceptador de la energía provista por el sol a pesar del conocido papel del magnesio en varias funciones vitales en las plantas es sorprendente la poca investigación conducida sobre el papel de este nutriente en el rendimiento y en la calidad de los pastos. Por esta razón se ha conocido el Mg como el elemento olvidado. Sin embargo ha pasado a ser un elemento importante en suelos fertilizados con nitrógeno, fósforo y potasio (Cakmak y Yazici, 2010).

En la figura 17 se puede observar los resultados del magnesio inicial, aplicado y residual del suelo después de la etapa de establecimiento para las especies utilizadas en el estudio confirmándose que los cultivos a capacidad de campo poseen alto índice de extracción, humedad que permite mantener una solución nutritiva viable y disponible para las plantas, mientras que a medida que el agua del suelo empieza a escasearse la disponibilidad de nutrientes merma y por ende las plantas declinan su absorción bajando su rendimiento.

Según Yang et al., 2007, La deficiencia de magnesio es crítica en suelos ácidos. Se ha documentado ampliamente de que se requiere de magnesio para que la planta pueda liberar efectivamente los iones orgánicos ácidos para modificar una rizosfera cargada de aluminio tóxico.

Figura 17. Diagrama de barras para magnesio



Con respecto a lo anterior se puede confirmar que el magnesio es un elemento esencial para que las plantas se adapten a suelos ácidos, mejoren el desarrollo radicular e incrementen la absorción de nutrientes disponibles en la solución del suelo. Como complemento a esta necesidad Espinosa y Mite (2008) afirman que para incrementar la eficiencia de uso de nutrientes se deben mejorar las practicas de manejo en la nutricion de cultivos entre las cuales se encuentran cuatro practicas fundamentales que son las aplicación de dosis correcta, fuentes adecuadas , epoca y localizaciones correctas las cuales optimizaran la eficiencia de nutrientes.

3.5 CORRELACIONES

En el cuadro 8 aparecen las correlaciones entre variables vigor, cobertura, altura, produccion de materia seca e indice de área foliar.

La correlacion indice de area foliar (IAF) y materia seca (MS) es altamente positiva con un valor de 0.933, debido a que el IAF influye directamente sobre la produccion de materia seca, las correlaciones altamente positivas se presentaron entre las variables IAF y vigor, IAF y cobertura, IAF y altura, igualmente se vio una relación positiva entre vigor y cobertura (0,412), vigor y altura (0,519),vigor y MS (0,644), altura y cobertura (0,466) , cobertura y MS (0,550), altura y MS(0,609).

Este efecto se explica en razón a que las especies de alguna manera soportan ciertos grados de humedad durante la etapa de establecimiento.

Cuadro 8. Correlación Pearson

		Vigor	Cobertura	Altura	MS	IAF
Vigor	Correlación de Pearson	1	,412**	,519**	,644**	,667**
	Sig. (bilateral)		,000	,000	,000	,000
	N	108	108	108	72	36
Cobertura	Correlación de Pearson	,412**	1	,466**	,550**	,707**
	Sig. (bilateral)	,000		,000	,000	,000
	N	108	108	108	72	36
Altura	Correlación de Pearson	,519**	,466**	1	,609**	,688**
	Sig. (bilateral)	,000	,000		,000	,000
	N	108	108	108	72	36
MS	Correlación de Pearson	,644**	,550**	,609**	1	,933**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000		,000
	N	72	72	72	72	36
IAF	Correlación de Pearson	,667**	,707**	,688**	,933**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	
	N	36	36	36	36	36

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Aunque se ve reflejado los efectos positivos en todas las correlaciones de las variables, las producciones de las especies estuvieron por debajo de los promedios con respecto a otras investigaciones realizadas en campo, los factores como brillo solar, humedad del suelo, temperatura y altitud pudieron influir directamente sobre los rendimientos y los contenidos nutricionales, Brito et al., (2014), confirma que el desarrollo y crecimiento inicial de la Higuera (Ricinus communis) es afectado cuando se aumenta la tensión de agua en el suelo y condiciones de mayor estrés conducen a un crecimiento reducido, índices de transpiración y periodo vegetativo menores y por ende disminución en la producción.

4. CONCLUSIONES

La capacidad de recuperación después del corte de estandarización presentó la mejor respuesta a la instalación en un potencial de -15 kPa para todas las especies evaluadas y Toledo fue el que presentó la mejor adaptación y resistencia a la sequía a -50 kPa en la etapa de establecimiento.

La eficiencia de nutrientes durante el periodo de establecimiento de las gramíneas en condiciones simuladas de humedad y temperatura fue mayor a un potencial de -15 kPa donde se presentó la mayor extracción de nutrientes y la menor eficiencia cuando se sometieron a una sequía de -50 kPa.

La especie que presentó los mejores contenidos nutricionales en materia seca fue *B. brizantha* (Toledo CIAT 26110) seguida de *B. híbrido* (Cayman CIAT 1752) sometidas a -30 kPa o a simulación de capacidad de campo.

Bajo las simulaciones de humedad utilizando potenciales de -15 kPa, -30 kPa, -50 kPa y la siembra en suelos haplustolls con aplicación de fósforo uniformemente distribuido la especie, *B. híbrido* (Cayman CIAT BR02/1752) a -15 kPa presentó el mejor comportamiento agronómico de vigor y cobertura con 4,56 y 67,44% respectivamente y el de menor comportamiento fue *P. maximum* (Monbaza CIAT 6962) a -50 kPa con 3 y 17,89%.

En el periodo de establecimiento a una humedad de -50 kPa o época seca, la variedad *B. brizantha* (Toledo CIAT 26110) presentó el mejor comportamiento para las variables agronómicas vigor, cobertura, altura, materia seca, índice de área foliar y contenidos nutricionales.

Respecto a la variable altura, el tratamiento de mejor comportamiento fue *B. brizantha* (Toledo CIAT 26110), sometido a una humedad de -30 kPa con 60 cm y para materia seca fue *B. híbrido* (Cayman CIAT BR02/1752) sometido a -15 kPa con 17,50 gr/cm² y *B. híbrido* (Cayman CIAT 1752) sometido a -50 kPa con 0,33 gr/cm² fue la de menor comportamiento.

Dentro de los diferentes contenidos de humedad o potenciales matriciales, -15 kPa se presentaron los mejores comportamientos agronómicos así como el mejor aprovechamiento de nutrientes y desarrollo fisiológico de las plantas.

5. RECOMENDACIONES

Según la evaluación de las cuatro gramíneas mejoradas, bajo condiciones críticas de sequía del valle del patia se recomienda la instalación de praderas con *Brachiaria brizantha*- Toledo CIAT 26110 que fue la de mejor comportamiento en condiciones simuladas bajo invernadero.

Para incrementar la eficiencia de uso de nutrientes se debe tener en cuenta en las prácticas de manejo resultado de análisis de suelo, época de aplicación y formas de aplicación para lograr una mayor eficiencia de nutrición.

Para el establecimiento de praderas con las especies evaluadas se recomienda tener en cuenta la humedad del suelo mayor a capacidad de campo que permita una buena instalación, macollamiento y desarrollo de cultivo.

Fortalecer la investigación evaluando otras especies forrajeras tolerantes a las condiciones de sequía y que generen alternativas para el desarrollo de las ganaderías del valle del Patía y Mercaderes.

Hacer la socialización de los resultados de esta investigación a los productores de la región.

Contribuir con más información a través de la investigación para determinar las especies de mejor comportamiento en periodos de recuperación y pastoreo.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE, J y ZAVALA, A. Establecimiento y evaluación de la germinación, crecimiento y respuesta en la producción de leche de los pastos Mulato II (*Brachiaria* híbrido cv. CIAT 360S7) y Cayman (*Brachiaria* híbrido cv. Cf.&T BR 0211752) bajo condiciones del trópico seco. Escuela Agrícola Panamericana; Zamorano, Honduras: 2014.

ALCALDÍA MERCADERES, CAUCA. Nuestro municipio. Información general [En línea]. Mercaderes: 2009 [citado agosto, 2015]. Disponible en internet en: <http://www.mercaderes-cauca.gov.co>

ALCALDÍA PATÍA, CAUCA. Nuestro municipio. Información general [en línea]. Patía: 2009 [citado: agosto, 2015]. Disponible en internet en: <http://www.patia-cauca.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=m11l--&m=f&s=m#geografia>

APÁEZ, P; ESCALANTE, E; SALVADOR, J; RAMÍREZ, P; OLT, D; SOSA, E; V, OLALDE. Eficiencia agronómica de nitrógeno y fósforo en la producción de frijol chino es espaldera de maíz .*Terra Latinoamericana*, vol. 31, núm. 4, octubre-diciembre, pp. 285-293. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México: 2013.

ARGEL, P. J. MILES, J. W.; GUIOT, J. D. Y LASCANO, C. E. Cultivar Mulato (*Brachiaria* híbrido CIAT 36061): Gramínea de alta producción y calidad forrajera para los trópicos. Cali, Colombia. Centro de Agricultura Tropical (CIAT), 2006. Boletín. 28 p.

ARGEL, P.; MILES, J.; GUIOT, J.; CUADRADO, H. y LASCANO, C. Cultivar Mulato II (*Brachiaria* híbrido CIAT 36087): Gramínea de alta calidad y producción forrajera, resistente a salivazo y adaptada a suelos tropicales ácidos. Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT). Cali, Colombia: 2007.

BRITO, M.; REISSER, C.; TIMM, C.; FRANKE, G.; DOS ANJOS E SILVA, S.; HELWIG, L. Desarrollo y crecimiento inicial de la higuierilla (*ricinus communis*) sometida a diferentes tensiones de agua en el suelo. *Agrociencia*: 2014. Disponible en internet: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v48n5/v48n5a4.pdf>

BRUULSEMA, T.W.; FIXEN, P.E. and SNYDER, C.S. Fertilizer nutrient recovery insustainable cropping systems. 2004. En: *Better Crops*, vol. 88, no. 4, pág.15-17.

CAKMAK, I YAZICI, A. Instituto internacional de nutrición de las plantas (IPNI). Magnesio: elemento olvidado en la producción de cultivos. 2010. [Citado 20 agosto de 2015]. Disponible en internet en: [https://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/901DD92BAE8EF8F60525777D0074FDAA/\\$file/2.+Magnesio.+El+elemento+olvidado.pdf](https://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/901DD92BAE8EF8F60525777D0074FDAA/$file/2.+Magnesio.+El+elemento+olvidado.pdf)

CARRILLO, S. y GALINDEZ, J. Evaluación en la fase de establecimiento de parcelas demostrativas con asociaciones forrajeras para sistemas de pastoreo en el valle del Patía. Trabajo de grado Ingeniería Agropecuaria. Universidad del Cauca; Facultad de Ciencias Agropecuarias Popayán. Cauca: 2014.

CAVIGLIA OP, SADRAS VO, ANDRADE FH .Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat–soybean.2004.

CASTRO, H y GOMEZ, M. Ciencia del suelo, principios básicos. Fertilidad de suelos y fertilizantes. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo. 2013. 2da ed., p. 217.

CLIMATE ACTION NETWORK CAN INTERNACIONAL. Degradación del suelo. 2008. Disponible en internet: www.climatenetwork.org

COLABELLI, M., AGNUSDEI, M., MAZZANTI, A. y LABREVEUX, M. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de la defoliación. 1998 [citado 4, agosto, 2015]. Disponible en internet en: <http://www.vet.unicen.edu.ar/html/Areas/Introduccion%20a%20los%20Sistemas%20Prod/Documento/2009/LecRecom/crecimiento%20y%20desarrollo%20de%20GRAM%C3%8DN EAS.pdf>

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. Dirección de metodología y producción estadística. Encuesta nacional agropecuaria- ENA. 2012 disponible en internet en: <http://www.dane.gov.co/index.php/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria>

DOBERMANN, A. Nutrient use efficiency-measurement and management. Proc. of International Fertilizer Industry Association (IFA) Workshop on Fertilizer Best Management Practices. Brussels, Belgium: 2007, pág. 7-9.

FEAGLEY, S. y FENN, L. El uso del calcio soluble para estimular el crecimiento vegetal [en línea]. Texas A&M Agrilife extensión. Bookstore ®: 1999. [Citado: agosto, 2015]. Disponible en internet en: http://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/86849/pdf_1121.pdf

GARCIA, J. El uso eficiente de nutrientes- una necesidad mundial. Congreso Nacional de cerealistas y leguminosas (21: Fenalce. Bogotá, D.C.).

GRUPO DE INVESTIGACIÓN NUTRICIÓN AGROPECUARIA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS UNIVERSIDAD DEL CAUCA (NUTRIFACA). Proyecto Aplicaciones

de tecnologías para la transformación de sistemas ganaderos de carne en el departamento del Cauca. Popayán, Colombia: 2012.

GRUPO DE INVESTIGACIÓN NUTRICIÓN AGROPECUARIA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS UNIVERSIDAD DEL CAUCA (NUTRIFACA), COOPERATIVA AGROPECUARIA DE USUARIOS CAMPESINOS DE PATÍA (COAGROUSUARIOS), ASOCIACIÓN DE GANADEROS DE MERCADERES (ASOGAMER). Proyecto Aplicaciones de tecnologías para la transformación de sistemas ganaderos de carne en el departamento del Cauca. Popayán, Colombia: 2013.

GUENNI, O., *et al.* Repuestas al déficit hídrico en especies forrajeras de *Bracchiaria* (TRIN) GRISEB (POACEAE) [en línea]. En: Revista Interciencia, vol. 31, no. 7. Venezuela: 2006 [citado: agosto, 2015] Disponible en internet en <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=33911806>.

HEIKE VIBRANS (ed.),. (2009). Malezas de Mexico. 25 de septiembre de 2015, de CONABIO Sitio web: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/panicum-maximum/fichas/ficha.htm#9>.

INSTITUTO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS (IPNI). Las aplicaciones de potasio pueden ahorrar mucha agua.1996. [Citado 20 agosto de 2015]. Disponible en internet: [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/C4873584502908EB06256B800067B723/\\$file/LAS+APLICACIONES+DE+POTASIO+PUEDEN+AHORRAR+MUCHA+AGUA.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/C4873584502908EB06256B800067B723/$file/LAS+APLICACIONES+DE+POTASIO+PUEDEN+AHORRAR+MUCHA+AGUA.pdf)

INSTITUTO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS (IPNI).eficiencia de uso del nitrógeno: desafíos mundiales, tendencias futuras.2009. [Citado 20 agosto de 2015]. Disponible en internet: http://www.nutricaodeplantas.agr.br/site/downloads/eficienciadeuso_snyder.pdf

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, IGAC. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento del Cauca. Popayán: 2009. ISBN: 978-958-8323-31-2, 556p.

IVONNE, G. y VALENZUELA, A.T. Ciencia del Suelo, Principios Básicos. Editorial sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Bogotá: 2013.

LARA, M.E. Evaluación de adaptación y producción de biomasa de nueve gramíneas forrajeras mejoradas. Tesis Ingeniero Agrónomo Zootecnista. Universidad de San Carlos de Guatemala. Centro universitario de Petén. Petén, Guatemala: 2005, pág. 31-32-33-39-41-43-45-47-48. Disponible en Internet en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/26/26_0036.pdf

LASCANO, C.; PEREZ, R.; PLAZAS, C.; MEDRANO, J. y ARGEL, P. Cultivar Toledo – *Brachiaria brizantha* (Accesion CIAT 26110): gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería Colombiana. Villavicencio, Colombia: CORPOICA: Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2002.

MONTENEGRO, G.H. y MALAGÓN, C.D. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Subdirección Agrológica. Santafé de Bogotá, D.C.: 1990. 812 p.

MORILLO, D. Efectos de la época seca sobre la producción forrajera y bovina. 1994. En: Revista de Agronomía (LUZ), vol. 11, no. 2.

MORRIS, R y GARRITY, D. Resource capture and utilization in intercropping. *Water Field*.1993. Res .34:303 -317

MUÑOZ, F. Importancia del agua en la nutrición de los cultivos. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia CENICAÑA. Carta Trimestral. 2009, vol.31, pág.16-18.

NAVARRO, O.M. Evaluación de diferentes frecuencias de corte en guinea (*Panicum maximum*, Jacq), bajo condiciones de sol. En: Rev. Colombiana de Ciencia Animal. 2012.

OCAMPO, O. El cambio climático y su impacto en el agro. Universidad de Los Andes. Bogotá D.C.: 2011. En: Revista de ingeniería, vol. 33, pág. 115-123.

OLIVERA, Y.; MACHADO, R. y DEL POZO P.P. Características botánicas y agronómicas de especies forrajeras importantes del genero *Brachiaria*. Pastos y Forrajes. 2006.

PASTURAS DE AMÉRICA. Planta y medio ambiente [en línea]. Pasturas de América. Metabolismo plantas tropicales. Publicaciones de desarrollo rural sustentable, 2009. [Citado 14, agosto, 2015]. Disponible en internet: www.pasturasdeamerica.com/main.asp

PETERS, M; FRANCO, L.H.; SCHMIDT, A. e HINCAPIÉ, B. Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores del trópico americano. Cali: 2011.

_____; VIVAS, N.; RENDÓN, E.; MORALES, S.; HINCAPIÉ, B y ORDOÑEZ, K. Alternativas forrajeras para el trópico bajo. Cauca, Colombia: 2013.

PIZARRO, A. Un nuevo híbrido para el mundo tropical - *Brachiaria* híbrida cv. CIAT BR02/1752 "Cayman".2013. 29 de Septiembre de 2015, de Pasturas de América Sitio

web: <http://www.pasturasdeamerica.com/articulos-interes/notas-tecnicas/brachiaria-hibrida-cayman/>

PORTA, J. Agenda de campo de suelos. Ed. - Mundiprensa. Madrid: 2005, p. 289-299.
ROMA/DAEGU, 2050: la escasez de agua en varias zonas del mundo amenaza la seguridad alimentaria y los medios de subsistencia. 2015.

SEGURA, D. y LEGARDA, J. Respuesta agronómica de ocho variedades de gramíneas en tres ambientes del valle del Patía-Cauca. Trabajo de grado Ingeniería Agropecuaria. Universidad del Cauca; Facultad de Ciencias Agropecuarias Popayán, Cauca: 2011.

SEMILLAS SÁENZ. BRACHIARIA HÍBRIDO CULTIVAR CAYMAN (CIAT BR02/1752). 2013. Semillas Sáenz. Disponible en internet en: <http://semillas.com.co/wp-content/uploads/2013/07/FICHA-TECNICA-CAYMAN.pdf>

SIERRA, J. Fundamentos para el establecimiento de pasturas y cultivos forrajeros. Ed. Universidad de Antioquia. Medellín: 2005.

SIMON, B & JACOBS, S. *Megathyrus maximus* (JACQ) [en línea]. s.f. [citado agosto, 2015]. Disponible en internet en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/panicum-maximum/fichas/ficha.htm>

SISTEMA DE NACIONES UNIDAS, El cambio climático en Colombia y en el sistema de naciones unidas. Revisión de riesgos y oportunidades asociadas al cambio climático. Editorial ARKO, Bogotá, Colombia: 2010.

STEWART, W. Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. 2015.

TOLEDO, J. Manual para la evaluación Agronómica. CIAT. Red Internacional de Pastos Tropicales. Cali: 1982.

UNIGARRO, A.; INSUASTY, R. y CHAVEZ, G. *Manual de prácticas de laboratorio fertilidad de suelos. Practica 2. Primera edición, 2009.* Universidad de Nariño.

VALENZUELA, I y TORRENTE, A. Ciencia del suelo, principios básicos. Física de suelos. 2 ed. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo: 2013, pág. 144, 154, 159, 161, 167, 173.

ANEXOS

ANEXO A. ANÁLISIS DE VARIANZA

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Vigor	Inter-grupos	31,806	11	2,891	4,542	,000
	Intra-grupos	61,111	96	,637		
	Total	92,917	107			
Cobertura	Inter-grupos	31525,556	11	2865,960	6,273	,000
	Intra-grupos	43862,444	96	456,900		
	Total	75388,000	107			
Altura	Inter-grupos	26511,748	11	2410,159	5,879	,000
	Intra-grupos	39356,444	96	409,963		
	Total	65868,192	107			
MS	Inter-grupos	2386,042	11	216,913	4,650	,000
	Intra-grupos	2798,833	60	46,647		
	Total	5184,875	71			
IAF	Inter-grupos	166,454	11	15,132	23,350	,000
	Intra-grupos	15,553	24	,648		
	Total	182,008	35			
PC	Inter-grupos	106,325	11	9,666	1,196	,341
	Intra-grupos	194,031	24	8,085		
	Total	300,356	35			
P	Inter-grupos	,201	11	,018	3,544	,005
	Intra-grupos	,124	24	,005		
	Total	,325	35			
FDN	Inter-grupos	24503,502	11	2227,591	4,678	,001
	Intra-grupos	11427,816	24	476,159		
	Total	35931,318	35			
FDA	Inter-grupos	6559,755	11	596,341	4,800	,001
	Intra-grupos	2981,533	24	124,231		
	Total	9541,288	35			
Porcentajes	Inter-grupos	52767,405	11	4797,037	4,994	,000
	Intra-grupos	23054,294	24	960,596		
	Total	75821,699	35			
DIVMS	Inter-grupos	36908,228	11	3355,293	4,913	,001
	Intra-grupos	16391,954	24	682,998		
	Total	53300,182	35			

ANEXO B. PRUEBA DE TUKEY

Vigor

HSD de Tukey^a

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
- 50 kPa monbaza	9	3,00	
-50 kPa cayman	9	3,11	
-30 kPa monbaza	9	3,44	3,44
-50 kPa mulato II	9	3,44	3,44
- 50 kPa toledo	9	3,56	3,56
-15 kPa monbaza	9	3,78	3,78
-30 kPa cayman	9	3,78	3,78
-30 kPa mulato II	9	4,22	4,22
-15 kPa toledo	9		4,44
-30 kPa toledo	9		4,44
-15 kPa mulato II	9		4,56
-15 kPa cayman	9		4,56
Sig.		,066	,139

Cobertura

HSD de Tukey^a

tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
-50 kPa cayman	9	17,89			
-50 kPa mulato II	9	21,56			
-30 kPa mulato II	9	25,56	25,56		
- 50 kPa monbaza	9	26,33	26,33		
-30 kPa cayman	9	32,22	32,22	32,22	
- 50 kPa toledo	9	33,78	33,78	33,78	33,78
-30 kPa monbaza	9	35,33	35,33	35,33	35,33
-15 kPa monbaza	9	39,67	39,67	39,67	39,67
-15 kPa mulato II	9		57,00	57,00	57,00
-15 kPa toledo	9			62,78	62,78
-15 kPa cayman	9			64,44	64,44
-30 kPa toledo	9				67,44
Sig.		,581	,092	,076	,051

Altura

HSD de Tukey^a

tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
-50 kPa mulato II	9	15,22		
-50 kPa cayman	9	16,33		
- 50 kPa monbaza	9	19,56		
- 50 kPa toledo	9	24,44	24,44	
-30 kPa monbaza	9	30,56	30,56	30,56
-30 kPa mulato II	9	34,28	34,28	34,28
-30 kPa cayman	9	34,44	34,44	34,44
-15 kPa monbaza	9	45,33	45,33	45,33
-15 kPa mulato II	9		52,78	52,78
-15 kPa cayman	9		54,11	54,11
-15 kPa toledo	9			56,67
-30 kPa toledo	9			60,00
Sig.		,085	,095	,101

MS

HSD de Tukey^a

tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
-50 kPa cayman	6	,33			
- 50 kPa monbaza	6	,50			
-50 kPa mulato II	6	1,33	1,33		
- 50 kPa toledo	6	2,00	2,00	2,00	
-30 kPa monbaza	6	3,17	3,17	3,17	
-15 kPa monbaza	6	4,67	4,67	4,67	4,67
-30 kPa mulato II	6	5,67	5,67	5,67	5,67
-30 kPa cayman	6	6,50	6,50	6,50	6,50
-30 kPa toledo	6	9,67	9,67	9,67	9,67
-15 kPa toledo	6		14,17	14,17	14,17
-15 kPa mulato II	6			15,00	15,00
-15 kPa cayman	6				17,50
Sig.		,443	,073	,065	,073

IAF
HSD de Tukey^a

tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
- 50 kPa monbaza	3	,033	
-50 kPa mulato II	3	,100	
-50 kPa cayman	3	,167	
- 50 kPa toledo	3	,533	
-30 kPa mulato II	3	,867	
-30 kPa monbaza	3	1,000	
-15 kPa monbaza	3	1,733	
-30 kPa cayman	3	2,300	
-30 kPa toledo	3		4,767
-15 kPa toledo	3		5,200
-15 kPa cayman	3		5,233
-15 kPa mulato II	3		5,567
Sig.		,070	,982

PC
HSD de Tukey^a

tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
-50 kPa mulato II	3	,0000
-50 kPa cayman	3	,0000
- 50 kPa monbaza	3	,0000
-30 kPa monbaza	3	2,1967
-15 kPa monbaza	3	2,5433
-30 kPa mulato II	3	2,9185
- 50 kPa toledo	3	3,0200
-15 kPa toledo	3	3,2448
-15 kPa cayman	3	3,5011
-15 kPa mulato II	3	3,8853
-30 kPa cayman	3	4,8511
-30 kPa toledo	3	5,2025
Sig.		,539

P
HSD de Tukey^a

tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
-50 kPa mulato II	3	,0000	
-50 kPa cayman	3	,0000	
- 50 kPa monbaza	3	,0000	
-30 kPa mulato II	3	,0367	,0367
-30 kPa monbaza	3	,0433	,0433
- 50 kPa toledo	3	,0467	,0467
-30 kPa cayman	3	,0667	,0667
-30 kPa toledo	3	,1233	,1233
-15 kPa cayman	3	,1433	,1433
-15 kPa toledo	3	,1567	,1567
-15 kPa mulato II	3	,1767	,1767
-15 kPa monbaza	3		,2300
Sig.		,165	,095

FDN
HSD de Tukey^a

tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
-50 kPa mulato II	3	,0000
-50 kPa cayman	3	,0000
- 50 kPa monbaza	3	,0000
-30 kPa mulato II	3	21,6867
- 50 kPa toledo	3	22,2833
-30 kPa monbaza	3	42,2300
-15 kPa monbaza	3	43,2900
-30 kPa toledo	3	63,2000
-15 kPa toledo	3	63,3167
-15 kPa mulato II	3	63,6567
-15 kPa cayman	3	63,7333
-30 kPa cayman	3	64,1967
Sig.		,050

FDA

HSD de Tukey^a

tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
-50 kPa mulato II	3	,0000	
-50 kPa cayman	3	,0000	
- 50 kPa monbaza	3	,0000	
- 50 kPa toledo	3	10,9200	10,9200
-30 kPa mulato II	3	11,6400	11,6400
-30 kPa monbaza	3	21,4333	21,4333
-15 kPa monbaza	3	22,2133	22,2133
-30 kPa toledo	3	32,7033	32,7033
-15 kPa toledo	3	32,7567	32,7567
-15 kPa mulato II	3		32,9333
-15 kPa cayman	3		32,9767
-30 kPa cayman	3		33,2133
Sig.		,051	,413

porcentajes

HSD de Tukey^a

tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
-50 kPa mulato II	3	,0000	
-50 kPa cayman	3	,0000	
- 50 kPa monbaza	3	,0000	
- 50 kPa toledo	3	30,6267	30,6267
-30 kPa mulato II	3	31,1500	31,1500
-30 kPa monbaza	3	61,5233	61,5233
-15 kPa monbaza	3	62,7433	62,7433
-30 kPa cayman	3		92,2467
-15 kPa cayman	3		92,9200
-15 kPa mulato II	3		93,0433
-15 kPa toledo	3		93,5367
-30 kPa toledo	3		93,6933
Sig.		,396	,389

DIVMSHSD de Tukey^a

tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
-50 kPa mulato II	3	,0000	
-50 kPa cayman	3	,0000	
- 50 kPa monbaza	3	,0000	
- 50 kPa toledo	3	26,2867	26,2867
-30 kPa mulato II	3	26,3267	26,3267
-15 kPa monbaza	3	51,8067	51,8067
-30 kPa monbaza	3	51,9933	51,9933
-30 kPa toledo	3		77,4667
-15 kPa toledo	3		77,5967
-15 kPa mulato II	3		78,0067
-15 kPa cayman	3		78,1100
-30 kPa cayman	3		78,6833
Sig.		,421	,410