

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**



**“ESTADO NUTRICIONAL DEL PASTO GUINEA (*Panicum maximum*  
Jacq) ASOCIADO CON FAIQUE (*Acacia macracantha*) EN UN  
SISTEMA SILVOPASTORIL EN JAÉN - CAJAMARCA”**

**Presentada por:  
GELVER, ROMERO DELGADO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN NUTRICIÓN**

**Lima – Perú  
2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**

**“ESTADO NUTRICIONAL DEL PASTO GUINEA (*Panicum maximun*  
Jacq) ASOCIADO CON FAIQUE (*Acacia macracantha*) EN UN  
SISTEMA SILVOPASTORIL EN JAÉN - CAJAMARCA”**

**Presentada por:**

**GELVER, ROMERO DELGADO**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN NUTRICIÓN**

**Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:**

.....  
**Ph.D. Lucrecia Aguirre Terrazas**

**PRESIDENTE**

.....  
**Ph.D. Mariano G. Echevarría Rojas**

**PATROCINADOR**

.....  
**Ph.D. Julio C. Alegre Orihuela**

**CO-PATROCINADOR**

.....  
**Mg.Sc. Víctor Hidalgo Lozano**

**MIEMBRO**

.....  
**Mg.Sc. Alejandrina Sotelo Méndez**

**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A Dios

A mis padres: Jaime y Adela

A mis hermanos: Jaime y Mellberg

A todas las personas y amigos que de una u otra forma contribuyeron en el logro de este objetivo y que hacen que este trabajo más que un mérito personal sea la suma de muchos esfuerzos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Jaime y Adela, porque sin ellos no hubiese podido realizar mi sueño de aprendizaje y superación profesional.

Al Ph.D. Mariano Echevarría R., agradezco sus enseñanzas, confianza y apoyo constante, así como la oportunidad y el aprendizaje que representó para mí, realizar este trabajo.

Al Ph.D. Julio Alegre O., agradezco sus valiosos aportes en todo el proceso de enseñanza y conocer de cerca los sistemas silvopastoriles.

A los miembros del comité: Ph.D. Lucrecia Aguirre T., agradezco sus valiosos aportes en todo el proceso; Mg.Sc. Víctor Hidalgo L., quien como profesor y consejero siempre estuvo dispuesto a leer, escuchar y debatir mis argumentos; Mg.Sc. Alejandrina Sotelo M., por su valiosa ayuda en esta investigación.

A todo el equipo L.U.P. y L.E.N.A. de la U.N.A.L.M., por brindarme todas las facilidades mientras estuve allí.

A la Familia Delgado Pérez por el cariño, estadía y además por las facilidades y apoyo logístico para la realización del estudio.

A mis amigos y compañeros Mg.Sc. Jimny Núñez D., Mg.Sc. Fritz Trillo Z., y Mg.Sc. Marco Gutierrez T., agradezco sus consejos y su valiosa ayuda en el análisis estadístico de los datos e interpretación de los resultados.

# ÍNDICE GENERAL

Pag.

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>2</b>
2.1.	Sistemas silvopastoriles (SSP).....	3
2.2.	Características físicas y químicas de los suelos en los sistemas tropicales .....	4
2.3.	Efecto de la ganadería sobre las características del suelo.....	5
2.4.	La especie forrajera: <i>Panicum maximum</i> .....	5
2.5.	Clasificación botánica y características agronómicas del pasto Guinea .....	6
2.6.	Valor nutricional y productividad del pasto Guinea.....	6
2.7.	Crecimiento y disponibilidad del pasto .....	7
2.8.	Composición química y digestibilidad del pasto Guinea.....	8
2.9.	Árbol Faique ( <i>Acacia macracantha</i> ) .....	10
2.10.	Interacción árbol/pastura.....	11
2.11.	Efectos microclimáticos sobre el estrato herbáceo .....	12
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
3.1.	Ubicación y características del área experimental .....	13
3.2.	Unidades experimentales: especies vegetales .....	14
3.3.	Variables medidas en el pasto guinea .....	14
3.4.	Definiciones operacionales .....	15
3.4.1.	Del muestreo parte vegetal .....	15
3.4.1.	Métodos de determinación de las características químicas y físicas del suelo .....	17
3.5.	Análisis estadístico .....	19
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>20</b>
4.1.	Tasa de crecimiento del pasto Guinea .....	21
4.2.	Proteína cruda del pasto Guinea .....	22
4.3.	Fibra Detergente Neutro del pasto Guinea.....	23
4.4.	Calcio en el pasto Guinea .....	24
4.5.	Fósforo en el pasto Guinea .....	25
4.6.	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca del pasto.....	25
4.7.	Características del suelo experimental.....	26
4.8.	Temperatura y humedad del suelo experimental .....	28

4.9.	Resistencia mecánica Kg/cm <sup>2</sup> .....	30
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>32</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>33</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>34</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>46</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Variables medidas en el pasto Guinea.....	14
Tabla 2. Los valores en las ubicaciones del pasto Guinea y significaciones estadísticas de los análisis de varianza de las variables evaluadas.....	20
Tabla 3. Características fisicoquímicas del suelo, fuera la copa de los árboles y bajo la copa del árbol joven y mediano.....	27
Tabla 4. Variables climáticas por ubicación del área experimental y época del año. ....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pag.

Figura 1. Variación de la tasa de crecimiento (kg MS/ha/día) según las épocas del año.....	8
Figura 2. Evolución de la proteína bruta y la digestibilidad de la materia orgánica en <i>Panicum maximum</i> cv. Tanzania a diferentes edades.....	9
Figura 3. Tasa de crecimiento (KgMS/ha/día) del pasto Guinea según su ubicación y las épocas evaluadas. ....	21
Figura 4. Valores de proteína cruda del pasto Guinea según su ubicación y las épocas evaluadas. ....	22
Figura 5. Valores de fibra detergente neutro del pasto Guinea según su ubicación y las épocas evaluadas. ....	23
Figura 6. Valores de calcio en el pasto Guinea según su ubicación y las épocas evaluadas. ....	24
Figura 7. Valores de fósforo en el pasto Guinea según su ubicación y las épocas evaluadas. ....	25
Figura 8. Valores de digestibilidad in vitro de la materia seca en el pasto Guinea según su ubicación y las épocas evaluadas. ....	26
Figura 9. Variación de la precipitación en la zona evaluada. ....	30
Figura 10. Variación de la resistencia mecánica en el suelo en época lluviosa fuera de la copa del árbol (FCA), bajo la copa del árbol joven (BCAj) y bajo la copa del árbol mediano (BCAm). ....	31
Figura 11. Variación de la resistencia mecánica en el suelo en época lluviosa fuera de la copa del árbol (FCA), bajo la copa del árbol joven (BCAj) y bajo la copa del árbol mediano (BCAm). ....	31



## ÍNDICE DE ANEXOS

Pag.

<b>Anexo 1.</b> Base de datos de los promedios de la tasa de crecimiento kg MS/ha/día y fibra detergente neutro (%) en base seca. ....	47
<b>Anexo 2.</b> Análisis de varianza para tasa de crecimiento kg MS/ha/día. ....	47
<b>Anexo 3.</b> Análisis de varianza para fibra detergente neutro %. ....	48
<b>Anexo 4.</b> Base de datos de proteína cruda (%) en base seca. ....	48
<b>Anexo 5.</b> Análisis de varianza para proteína cruda en base seca. ....	49
<b>Anexo 6.</b> Base de datos de los promedios de calcio y fósforo (% en base seca) .....	50
<b>Anexo 7.</b> Análisis de varianza de calcio.....	51
<b>Anexo 8.</b> Análisis de varianza para fósforo. ....	51
<b>Anexo 9.</b> Base de datos de los promedios de digestibilidad de la materia seca (% en base seca). ....	53
<b>Anexo 10.</b> Análisis de varianza para digestibilidad in vitro de la materia seca.....	53
<b>Anexo 11.</b> Base de datos del promedio por potrero de la temperatura ambiental.....	54
<b>Anexo 12.</b> Análisis de varianza para temperatura ambiental. ....	54
<b>Anexo 13.</b> Base de datos del promedio de temperatura del suelo. ....	56
<b>Anexo 14.</b> Análisis de varianza para temperatura ambiental .....	56
<b>Anexo 15.</b> Base de datos del promedio de humedad del suelo. ....	57
<b>Anexo 16.</b> Análisis de varianza para la humedad del suelo. ....	58

## RESUMEN

En la Ceja de Selva del Perú, los sistemas silvopastoriles (SSP), ofrecen como alternativa un incremento de calidad y cantidad de pasturas. Sin embargo, es necesario estudiar e identificar especies arbóreas con características de crecimiento y arquitectura favorables a la integración con pastos, principalmente especies nativas como el faique (*Acacia macracantha*), para lo cual se evaluó, tasa de crecimiento, contenido de proteína cruda, fibra detergente neutro, calcio y digestibilidad *in vitro* de la materia seca, en tres ubicaciones (fuera de la copa de los árboles, bajo la copa del árbol faique joven y mediano) del pasto Guinea (*Panicum máximum* Jacq) en época seca y lluviosa, el estudio se realizó en el distrito de Bellavista, provincia de Jaén, región Cajamarca, utilizando un diseño completo al azar con arreglo factorial 3 x 2, donde los factores fueron ubicación del pasto y épocas. El efecto del árbol en el valor nutritivo del pasto fue positivo bajo la copa de los árboles, aumentando los contenidos de proteína cruda, calcio y fósforo, en 32%, 25% y 13% respectivamente, respecto al pastos fuera de la copa de los árboles; en tanto que el efecto de los árboles para tasa de crecimiento, fibra detergente neutro y digestibilidad *in vitro* de la materia seca no presentaron diferencias significativas entre las ubicaciones del pasto. Los análisis en suelo indicaron incrementos de materia orgánica, calcio, fósforo, potasio y humedad bajo la copa de los árboles.

Palabras claves: Pasto, sistema silvopastoril, valor nutritivo.

## **ABSTRACT**

In the high Peruvian jungle, the silvopastoral system (SSP) offer an alternative to increase the quality and quantity of pastures. However, it is necessary to study and identify arboreal species with growth and architecture characteristics favorable to the integration with pastures, mainly native species such as the Faique (*Acacia macracantha*), for which growth rate, crude protein content, neutral detergent fiber, calcium and in vitro digestibility of the dry matter were assessed in three locations (external part of the tree crown, under the crown of the young and medium Faique tree) of the Guinea grass (*Panicum maximum* Jacq) in the dry and rainy season, the study was conducted in the district of Bellavista, province of Jaén, Cajamarca region, using a completely randomized design with factorial arrangement 3x2, where the factors were pasture location and seasons. The effect of the three on the nutritive value of the pasture was positive under the crown of the trees, increasing the contents of crude protein, calcium and phosphorus in 32%, 25% and 13% respectively, with respect to the pasture outside the crown, while the effect of the trees for growth rate, neutral detergent fiber and in vitro digestibility of the dry matter did not present a significant difference between the locations of the pasture. Soil analysis indicated increases in organic matter, calcium, phosphorus, potassium and moisture under the tree crowns.

Key words : Pasture , silvopastoral system , nutritive value.

## I. INTRODUCCIÓN

En las regiones tropicales existe un creciente interés por encontrar alternativas que mejoren la calidad nutritiva de los pastos e incrementar la productividad del ganado. En el trópico, con el propósito de instalar áreas de pastizales se talan y queman los bosques, causando grandes desequilibrios en el medio ambiente, surgiendo como una alternativa los sistemas silvopastoriles (SSP) que ofrecen ventajas para el desarrollo de la ganadería con menor impacto ambiental, una de las bondades de este sistema silvopastoril es la obtención de una mejor calidad y cantidad de pasto.

En las zonas tropicales del país existen pocos estudios que evalúen el efecto de los árboles en el impacto de la calidad nutricional de los pastos, en especial del pasto Guinea (*Panicum maximum* Jacq.) que es la especie predominante y fuente de alimento para el ganado; muchas de estas pasturas son manejadas bajo el esquema de silvopasturas muchas veces con el uso de árboles nativos como el faique (*Acacia macracantha*) del cual no se conoce su efecto en el suelo y pasto. Los SSP son de mucha utilidad por que permiten mejorar la calidad nutritiva del pasto como también las condiciones físicas y químicas del suelo, además brindan protección al ganado mediante la sombra que los árboles generan, permitiendo un mayor rendimiento en los sistemas ganaderos que se traducen en mejores ingresos económicos debido al componente arbóreo (FAO 2012).

El **objetivo** del estudio es determinar el efecto de dos edades del árbol faique (joven y mediano) sobre la tasa de crecimiento, calidad nutricional del pasto Guinea (*Panicum maximum* Jacq.) y las características física y químicas del suelo en un SSP en dos épocas del año (seca y lluviosa). Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos: (1) Comparar tasa de crecimiento y la composición química en cuanto a proteína cruda, fibra detergente neutro, calcio, fósforo y digestibilidad *in vitro* de la materia seca del pasto guinea. (2) Evaluar la calidad del suelo dentro de la influencia y no influencia de los árboles.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

En los sistemas de producción pecuaria, generalmente, para establecer superficies de pastoreo se procede la deforestación, tala y quema indiscriminada de los bosques tropicales, para el uso de cultivos temporales, donde, posteriormente se instala las pasturas. causando una disminución de su calidad, productividad y diversidad de la vegetación (Alegre y Lara 1991; Oliva 2016). Los sistemas de producción ganadera en los trópicos están generalmente basados en el manejo de pasturas sin árboles, debido a que existen poco conocimiento del efecto de los árboles en mejorar la calidad del pasto y suelo. En esta zona la alimentación del ganado es en base a pasturas, la cual es afectada directamente por la distribución de las precipitaciones en las épocas del año. Adicionalmente, la calidad nutricional de la pastura es afectada por el mal manejo agronómico y un uso deficiente del potencial productivo de las praderas.

Por eso uno de los retos más grandes que enfrenta la investigación en los trópicos es la necesidad de desarrollar una producción agrícola sostenible; esto consiste en la integración de cultivos anuales con árboles, pastos y animales en sistemas de producción, de modo que la inevitable competencia por la luz, el agua y los nutrientes, tenga como resultado una producción sostenible, sin desequilibrios del medio ambiente. Estos sistemas también ofrecen, alternativas para mitigar los gases de efecto invernadero por la diversidad de plantas y secuestro de carbono (ICRAF 1998 y ASB 2005). En las zonas tropicales del país existen pocos estudios sobre la calidad nutricional de los pastos y menos aún los pastos que se manejan bajo el esquema de silvopasturas muchas veces con el uso de árboles nativos como el faique (*Acacia macracantha*). Los SSP son de mucha utilidad por que permiten mejorar las pasturas y las condiciones físicas y químicas del suelo, además brindan sombra para el ganado, permitiendo un mayor rendimiento en los sistemas ganaderos que se traducen en mejores ingresos económicos debido al efecto del componente arbóreo (FAO 2012).

## **2.1. Sistemas silvopastoriles (SSP)**

Un SSP es una opción de producción agropecuaria que involucra la presencia de árboles o arbustos perennes, leñosos e interactuando con los componentes tradicionales (pasto y animales), todo bajo un sistema de manejo integral (Pezo e Ibrahim 1996). El efecto de la sombra de los árboles en estos sistemas se refleja en una reducción del 33% en la cantidad del pasto producido. Sin embargo, este efecto mejora la calidad nutritiva de los pastos (Obispo *et al.* 2008). La metodología para la producción de cultivos arbóreos es la producción máxima del producto comercial, en un emprendimiento de pequeña escala se intercala varios tipos explotación para minimizar las inversiones en la preparación del área y diversificar la producción. En los primeros 3 a 4 años de la siembra de los árboles, el área no es ocupada totalmente por estos, posibilitando la utilización del espacio libre con cultivos temporales (maíz y yuca principalmente) o pasturas. Los SSP han despertado mayor interés en los investigadores, en razón de la necesidad de concebirse nuevas alternativas de explotación agropecuaria que sean biológica, económica y ecológico más sustentables que los sistemas tradicionales, en comparación con monocultivo de pastos gramíneos.

Los SSP presentan también un gran potencial para recuperación de áreas de pasturas degradadas, sin embargo, es necesario tener en cuenta que el éxito de su funcionamiento lo condiciona el conocimiento que se logre de las interacciones entre sus componentes y entre estos, el medio ambiente, ya que permite la generación de estrategias de manejo acordes con la ecología del sistema y por lo tanto conduce a mejorar las características como productividad y sostenibilidad, así como también diversos beneficios ambientales (Burley y Speedy 1998). Los sistemas agroforestales, incluyendo a los SSP, son sistemas de uso de la tierra diversificados y multiestratificados en los cuales los cultivos arbóreos son explotados en asociación planificada o no, con cultivos agrícolas anuales o perennes, de manera simultánea o secuencial. Los SSP asocian el componente arbóreo con pastos que permiten la integración de animales y cuando se incorpora cultivos temporales, son llamados sistemas agrosilvopastoriles. Estos sistemas agrosilvopastoriles aumentan la eficiencia de la utilización de los recursos naturales por presentar una complementariedad entre las diferentes explotaciones involucradas (Montagnini 1992).

En las regiones de ceja de selva, la integración del ganado con cultivos arbóreos intenta reproducir los beneficios ecológicos proporcionados por el bosque original contribuyendo a

disminuir la contaminación ambiental y la destrucción de los recursos naturales (Giraldo 1996). La interacción árbol-pastura-animal genera condiciones de confort, en la que es posible encontrar áreas sombreadas para el mayor desenvolvimiento animal y el desarrollo de la pastura. El efecto de la luz solar sobre las características morfo-estructurales del *Panicum maximum* han demostrado que la bajas intensidad de luz sobre este pasto, ocasiona cambios en el esclerénquima y el contenido celular con mejoras en la calidad nutritiva y producción de biomasa (Deinum *et al.* 1996).

## **2.2. Características físicas y químicas de los suelos en los sistemas tropicales**

Las características físicas de un suelo determinan la relación entre suelo, aire, agua, materia orgánica y plantas por lo que proporcionan información relativa de la aireación y al estado hidrológico del suelo, tal como entrada de agua y capacidad de almacenamiento en la zona de raíces. Las propiedades físicas también proporcionan información relacionada con la capacidad del suelo para soportar esfuerzos físicos asociados con la salpicadura de gotas de lluvia o entradas rápidas de agua que contribuyen a la desagregación, dispersión y erosión. La degradación de la fertilidad física del suelo en las pasturas hace referencia a las acciones de sobrepastoreo que causan compactación del suelo, que pueden provocar un deterioro de las propiedades físicas que afectan directamente el crecimiento de los pastos. Agua disponible, suministro de oxígeno, temperatura y resistencia mecánica, estos factores de control directo son afectados por otras cuyas acciones es indirecta sobre el crecimiento del pasto: densidad aparente, compactación, textura, estructura, porosidad, distribución de tamaño de huecos e interconexiones entre ellos (Porta *et al.* 2003).

En pasturas arborizadas, la sombra y la biomasa de los árboles tienen potencial para mejorar la fertilidad del suelo, el efecto de los árboles en el aumento del contenido de Nitrógeno (N) y Materia Orgánica (MO), Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y pH, encontrado por diversos autores que muestran mayores valores en los suelos de los sistemas silvopastoriles, con respecto a los monocultivos de gramíneas (Crespo 2008), bajo este sistema se genera microclimas especiales, mejora el reciclaje de nutrientes y la relación suelo-agua, incrementa el secuestro del carbono, reduce la emisión de gases de invernadero, protege y proporciona hábitat para la vida (Blanco y Lal 2008).

### **2.3. Efecto de la ganadería sobre las características del suelo**

La ganadería puede jugar un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, en particular los sistemas de producción bovina, gracias a sus excretas, pueden renovar una fracción primordial de los nutrientes del suelo, en consecuencia, disminuye la necesidad de aplicar fertilizantes inorgánicos (Sadeghian *et al.* 2004). Sin embargo, es difícil estimar los beneficios económicos. Se considera importante, el aumento en la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y el mejoramiento de la retención de agua (Young 1989). Aunque varios autores han demostrado que el pisoteo del ganado y las condiciones de manejo ocasiona cambios en las propiedades físicas del suelo. Amézquita y Pinzón (1991) encontraron una disminución en la porosidad y cambios en la relación suelo-agua-aire debido a una mayor compactación en los primeros 15 cm del suelo debido al excesiva presión de pastoreo. Este efecto fue más drástico en praderas de *Homolepis aturensis* que en praderas de *Brachiaria decumbens* (Sánchez *et al.* 1989). Martínez (2013) encontró que la densidad aparente puede ser un buen indicador del estado de compactación del suelo, los valores para este parámetro fueron más bajos a medida que se disminuyó el número de animales por hectárea.

### **2.4. La especie forrajera: *Panicum maximum***

El pasto Guinea, *Panicum máximo* Jacq, es de origen africano, se introdujo a América en 1967, para luego ser liberado en 1993 por el Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (CNPQ), en Brasil. Es una especie productiva en ambientes tropicales (Ramírez *et al.* 2009). Las especies del género *Panicum*, posee un mayor potencial de rendimiento forrajero, debido a que presenta un sistema fotosintético de gran efectividad. Por otro lado, los *Panicum* toleran el pisoteo y la sequía, es un alto productor de pasto de buena calidad, palatabilidad y digestibilidad; así mismo, presenta alta capacidad de rebrote con períodos de descanso de 35 días (Lobo y Díaz 2001). Son especies perennes, con una altura (hasta 250 cm) y vigorosa. La raíz es adventicia, el tallo posee generalmente pelos largos en los nudos, las hojas son alternas, dispuestas en 2 hileras sobre el tallo, la inflorescencia es una panícula grande, las flores son muy pequeñas y presenta una sola semilla fusionada a la pared del fruto (Pita 2010). El pasto Guinea se desarrolla muy bien en sistemas silvopastoriles tiene una clara ventaja sobre otras especies de pasto, porque su producción de biomasa se ve ligeramente afectada por la sombra (Ledesma 2006).



## **2.5. Clasificación botánica y características agronómicas del pasto Guinea.**

El pasto guineo se clasifica de la siguiente forma: familia: Gramineae, subfamilia: Panicoideas, tribu: Paniceas, género: *Panicum*, especie: *máximum*, nombre científico: *Panicum maximum* Jacq, nombres comunes: Castilla, Guinea, chilena, coloniae (Benitez 1999). Así también que la nomenclatura taxonómica de la especie *Panicum maximum*, ha venido modificándose con el paso de los años, conociéndose actualmente como *Megathyrsus maximus* Jacq (Simon y Jacobs 2003).

Pertenece a la familia de las gramíneas perennes, este tipo de pasto necesita suelos de media a alta fertilidad, bien drenados con pH de 5 a 8 y no tolera suelos inundables. Alturas en la cual se desarrolla se encuentra entre 0 – 1500 m.s.n.m. y con precipitación de 1000 mm y 3500 mm por año, crece muy bien en temperaturas altas con un valor nutritivo de 10 -14 % de proteína cruda y digestibilidad de 60 – 70%. Se desarrolla bien bajo la copa de los árboles y tolera la sombra (Loayza 2008). El corte debe ser hasta los 15 centímetros debido a que si la defoliación es intensa y frecuente, el área foliar remanente será mínimo lo que ocasiona que las sustancias de reserva para el inicio del rebrote no se acumulen (González 2013). Cada especie de pasto, dependiendo del sitio donde acumula los nutrientes de reserva, permite pastorearse hasta cierta altura sobre el nivel del suelo. Los pastos de porte erecto como el pasto Guinea acumulan los nutrientes de reserva por debajo de los 20 cm, por lo tanto, deben ser cosechados o pastoreados hasta esa altura (Valencia 2010).

## **2.6. Valor nutricional y productividad del pasto Guinea**

El valor nutricional se refiere a una serie de conceptos, entre los cuales se pueden mencionar: la composición química, digestibilidad, eficiencia energética entre otros. La calidad de los forrajes y alimentos fibrosos varía de acuerdo a diversos factores. La planta conforme crece y madura declina su valor nutritivo, estas alteraciones son causadas por cambios en su composición química incrementando su lignificación, reduciendo sus nutrientes como proteína cruda (García 2002). Los porcentajes de proteína cruda pueden llegar de 14 – 16 % y con una digestibilidad de 60 - 70 % a 30 días de rebrote de acuerdo a la época del año (Nuñez 2017).

El pasto *Panicum maximum*, se conocen con el nombre común de Guinea, especie macollada de alto crecimiento por lo que podrían ser utilizada en pastoreo o en corte, este presenta buenos rendimientos en condiciones de trópico húmedo, pero requieren suelos de moderada a alta fertilidad y de no presentar suelos fértiles, se necesita implementar adecuados programas de fertilización para no tener problemas de pérdida de vigorosidad, aunque se han dado casos de algunas líneas que presentan tolerancia a baja fertilidad (Villareal 1998). En climas tropicales, el crecimiento y productividad de las pasturas es influenciada por las condiciones climáticas ambientales. En Brasil reportan que la especie *Panicum* puede llegar a producir entre 10 y 30 TM de MS/ha año; el alto valor nutritivo de esta especie resulta en alta producción animal, donde las ganancias de peso en toretes de acabado en una pradera bien manejada oscilaron entre 700 g/animal/día durante época de lluvias y 170 g/animal/día en época seca (CIAT 2000).

## **2.7. Crecimiento y disponibilidad del pasto**

La tasa de crecimiento del pasto es el incremento en tamaño y peso de nuevo tejido de hojas y tallos por unidad de tiempo, frecuentemente por día (Korte 1987). La tasa de crecimiento se incrementa rápidamente después del pastoreo debido a la fotosíntesis compensatoria que presenta esta especie de plantas C<sub>4</sub> y luego es más lento a medida que la masa vegetal, el área foliar y la intercepción de luz aumentan. La biomasa vegetal aérea se refiere a las partes de las plantas que están por encima del suelo, incluyendo la pastura viva y muerta, expresada como KgMS/ha en cualquier época del año (Korte 1987). El crecimiento se reduce cuando el área foliar es insuficiente para interceptar con eficiencia la luz incidente.

Ramírez *et al.* (2009) evaluaron la acumulación de forraje, el crecimiento y las características estructurales del pasto Mombaza (*Panicum maximum* Jacq.) cosechado a diferentes intervalos de corte, encontró, diferentes niveles de acumulación y crecimiento de forraje a medida que la edad del pasto avanzaba, repercutiendo directamente sobre las características estructurales del pasto aumentando los niveles de lignificación. Nuñez (2017) al realizar evaluaciones de tasa de crecimiento (kg MS/ha/día) en *Panicum maximum* Jacq. en ceja de selva en 3 épocas del año (inicio de lluvia, lluviosa y seca), encontró diferencias altamente significativas entre épocas (Figura 1).

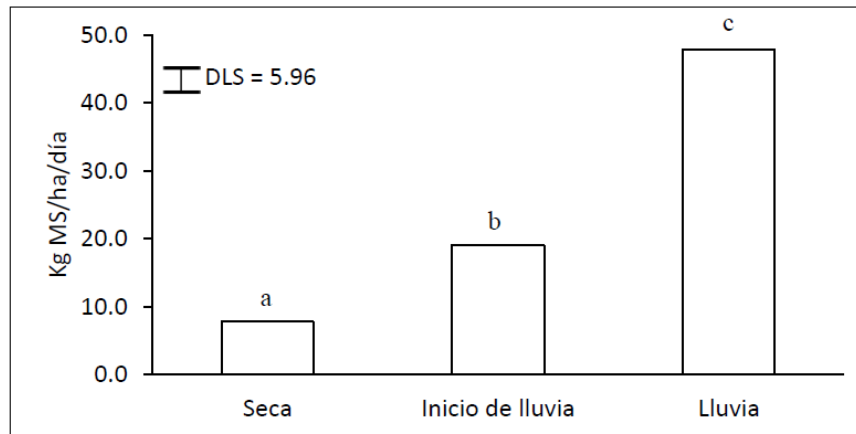


Figura 1. Variación de la tasa de crecimiento (kg MS/ha/día) según las épocas del año.  
Fuente: Nuñez (2017)

Como se puede observar en la Figura 1, los rendimientos de *Panicum maximum* Jacq, están influenciados con el régimen de lluvias a lo largo del año, mostrando así niveles muy inferiores en épocas secas, este mismo comportamiento también fue encontrado por Fernandez (2004). Los principales factores limitantes para el crecimiento de pasturas en sistemas silvopastoriles es la precipitación y el nivel de sombra ejercido por los árboles y arbustos, en la mayoría de situaciones la tasa de crecimiento de la pastura es menor cuando crece bajo la copa de los árboles que a pleno sol (Paciullo *et al.* 2007).

El sombreado también puede provocar cambios morfológicos y fenológicos en la especie forrajera, las cuales funcionan como mecanismo de adaptación a la baja incidencia de energía lumínica y la consiguiente reducción en el potencial fotosintético de la planta, para compensar esto, la especie forrajera que crece bajo la sombra tiende a desarrollar hojas largas, pero menos gruesas, lo primero les ayuda a incrementar su habilidad competitiva para interceptar la luz, mientras que lo segundo les ayuda a reducir su tasa de respiración (Wilson y Ludlow 1991). Es evidente que estos mecanismos de compensación no son suficientes, por lo que la actividad fotosintética normal disminuye bajo condiciones de sombra si comparamos con los pastos fuera de la copa de los árboles.

## 2.8. Composición química y digestibilidad del pasto Guinea

El compuesto nitrogenado más importantes de las gramíneas se encuentran en forma de proteína. La degradación ruminal de los compuestos nitrogenados de las gramíneas suele ser elevado en forrajes tiernos, aunque disminuyen a medida que los forrajes maduran. El contenido de nitrógeno no proteico varía con el estado fisiológico de las plantas, cuanto más

favorables son las condiciones para el crecimiento, mayor es el contenido en nitrógeno no proteico y nitrógeno total.

El contenido de proteína cruda en los pastos puede variar entre 3% en un pasto maduro y hasta más de 30% en una pastura muy tierna con suelos óptimos para el crecimiento o en suelos fertilizados. En términos generales, el contenido de pared celular está inversamente relacionado con el contenido de proteína, el contenido de celulosa suele ser de 20 a 30% de la materia seca, en tanto que las hemicelulosas pueden variar entre 10 y 30 %. Los carbohidratos solubles de las gramíneas incluyen fructanos y azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa, rafinosa y estaquiosa), su contenido es muy variable y puede fluctuar entre 2.5 y 30 % de la materia seca (Church 1984). Verdecia (2008) demuestra que la proteína cruda y la digestibilidad en *Panicum maximum* cv. Tanzania disminuye a medida avanza su estado fenológico de 12 - 14% de proteína cruda a 30 días de edad y el más bajo a 105 días de edad con 6 -7%. La digestibilidad de la materia orgánica disminuye a medida que la edad del pasto avanza; Verdecia *et al.* (2008) encontró que tenía mayor digestibilidad a los 30 días de edad con 63.5 y 68.74% y el más bajo a los 105 días de edad con 49.83 y 51.86% respectivamente (Figura 2).

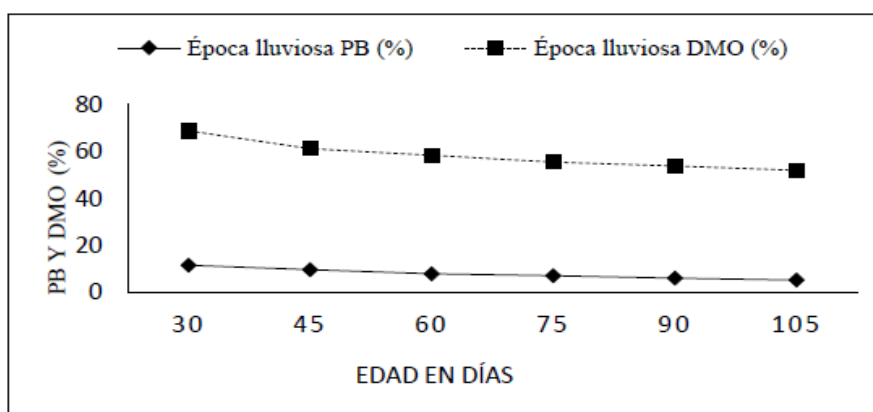


Figura 2. Evolución de la proteína bruta y la digestibilidad de la materia orgánica en *Panicum maximum* cv. Tanzania a diferentes edades.

Fuente: Verdecia *et al.* (2008)

El contenido de minerales en los pastos es muy variable ya que dependen del tipo de planta, salud, propiedades del suelo, de la cantidad y distribución de la precipitación y de las prácticas de manejo de los pastizales. El requerimiento de los minerales para los pastos son los mismos que los requeridos por los animales para su crecimiento y producción, a pesar que, las concentraciones normales de algunos elementos en las plantas pueden resultar

insuficientes para satisfacer los requerimientos de los animales, mientras que, en otros casos, ciertos minerales se encuentran en niveles que pueden resultar tóxicos para los animales, pero sin causar ningún daño a las plantas (Pirela 2005).

## **2.9. Árbol Faique (*Acacia macracantha*)**

Los ganaderos, aunque siempre han reconocido el valor de los árboles en sus potreros, de los cuales pueden obtener madera y postes para sus cercas, entre otros usos directos que se les da, igualmente entienden de los beneficios directo, indirectos e importantes que tienen sobre la productividad ganadera (Villacis *et al.* 2003). La *Acacia macracantha*, es una especie arbórea de seis metros de alto, de ramas y tallos de glabros a estrigulosos. Hojas de hasta 15 centímetros (cm) de largo; estípulas hasta 9 cm de largo, transformadas en espinas aplanadas, blanquecinas, persistentes; pecíolo 2 – 2.5 cm de largo. La leguminosa arbórea es un ejemplo de especie exótica que presenta una excelente adaptación y tiene varias utilidades, lo que la hace apropiada para la utilización en sistemas agrosilvopastoriles (Carvalho *et al.* 1996).

En Perú se distribuye por valles interandinos secos como Cajamarca, Cusco, Arequipa y La Libertad, por la costa de Lambayeque, Lima y en el Ecuador es muy común, se encuentra en Galápagos y por los valles secos interandinos de la sierra norte y sur, en la costa desde Manabí, Guayas, El Oro y Loja (Casado 2001). Algunos estudios realizados en América Central mostraron la importancia de la biomasa de las leguminosas arbóreas en la producción de materia seca de los pastos. Se realizaron asociaciones de *Brachiaria humidicola* con la leguminosa arbórea *Acacia mangium* donde se demostró que contribuyó a aumentar la productividad de la gramínea en un 28%, en comparación con el pasto en monocultivo (Bolívar *et al.* 1999). En otro experimento se examinó el efecto de la asociación de "King grass" (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*) con la leguminosa arbórea *Erythrina poeppigiana* sobre la productividad y calidad nutritiva de la gramínea (Libreros *et al.* 1994). El pasto "King grass" fue cultivado tanto en monocultivo como asociado con la especie arbórea, la cual era sometida a podas en 0, 33, 66 y 100% de los árboles y el follaje depositado sobre el suelo la producción de materia seca de la gramínea aumentó considerablemente con esta asociación, inclusive en el tratamiento sin poda, pero, con el follaje depositado en el suelo de la biomasa de los árboles, la productividad de la gramínea fue aún más alta.

En los trópicos, para el establecimiento de pastura para la producción animal o para utilizarlo para otro tipo de cultivos agrícolas, talan y quema los bosques, quebrando así el delicado equilibrio que torna el ecosistema sustentable, por lo tanto, para no quebrar el equilibrio, se propone la utilización de sistemas agroforestales, donde el uso de la tierra (agroecosistema) deberá restablecer, por lo menos en parte, aquellos mecanismos o servicios que garantizaban el equilibrio anterior, como por ejemplo, el ciclaje de nutrientes y la conservación del suelo. Por un lado, las copas pueden disminuir el impacto de las lluvias que provoca erosión y compactación del suelo. Por el otro, el sistema radicular de los árboles, generalmente denso y profundo, además de evitar el arrastre de las partículas del suelo, tiene el potencial de absorber los nutrientes en las capas más profundas del suelo a través del bombeo de minerales de las capas más profundas del suelo (Montagnini 1992). Sin embargo, Young (1989) menciona que los procesos por los cuales los árboles mantienen o mejoran los suelos se debe a que, aumenta la entrada de materia orgánica, en leguminosas arbóreas reduce las pérdidas de materia orgánica y nutrientes a través del reciclaje y control de la erosión, mejora las propiedades físicas del suelo y retención de agua y un efecto benéfico sobre los procesos microbiológicos.

## **2.10. Interacción árbol/pastura**

Las interacciones que involucran el árbol y la pastura son las más importantes, existiendo estudios donde demuestran que los árboles leguminosos podría favorecer el crecimiento de las pasturas (Olmos *et al.* 1993), de inicio, estos componentes presentan marcadas diferencias morfológicas, tanto en la parte aérea como en el sistema radicular y por estar compartiendo el mismo espacio, satisfacen sus necesidades explorando las mismas fuentes de los recursos luz, agua y nutrientes. Por esto, es importante conocer los mecanismos básicos de esta competencia, buscando maximizar la producción biológica.

### **Competencia por luz, agua y nutrientes**

En sistemas multi-especies, la competencia por luz sólo pasa a ser de mayor relevancia cuando la disponibilidad de agua y nutrientes no es limitante (Connor 1983). Pero sistemas multi-estrato favorecen plenamente a los árboles en la competencia por luz, quedando la producción de la vegetación herbácea sujeta a la densidad o espaciamiento del componente arbóreo y a su adaptación fisiológica a la baja intensidad de energía solar (Tieszem 1983).

En regiones secas con déficit hídrico, las asociaciones entre árboles y pasturas son afectadas por la competencia por agua, principalmente si los árboles tienen raíces superficiales (Humphreys 1981). En épocas críticas, el suelo presenta un mayor contenido de humedad bajo la copa de los árboles que en áreas expuestas directamente al sol y al viento, contribuyendo en algunos casos en mejorar el desempeño de las pasturas (Anderson *et al.* 1988).

Los árboles más productivos son aquellos que pueden extraer nutrientes o que posean un eficiente sistema de ciclaje de nutrientes (Connor 1983). Sin embargo, el potencial de los sistemas agroforestales (incluyendo los SSP) mejora la forma química y física de los suelos tropicales esto está ampliamente enfatizada, pero poco documentada, tanto que algunas pocas evidencias en ese sentido han sido conseguidas en regiones de suelo más fértiles o extrapoladas de sistemas naturales o plantaciones forestales (Sánchez 1981). La sombra moderada estimula la absorción de Nitrógeno en las gramíneas. El resultado es, el crecimiento de las gramíneas se ve menos afectado en condiciones de baja radiación solar. En incluso que algunas gramíneas cultivadas bajo sombra han producido más biomasa que aquellas que crecen a pleno sol, este efecto también explica el mayor contenido de proteína cruda detectado en plantas cultivadas bajo sombra (Zelada 1996).

### **2.11. Efectos microclimáticos sobre el estrato herbáceo**

La presencia de árboles en un sistema silvopastoril mitiga los efectos de las altas temperaturas a los que puede estar sometidos el suelo y la vegetación herbácea, la temperatura bajo la copa de los árboles a nivel del estrato herbáceo, difiere en 2 o 3 °C con respecto a la temperatura medidas a campo abierto (Wilson y Ludlow 1991). Se sabe que la temperatura óptima para el crecimiento de gramíneas tropicales (plantas C<sub>4</sub>) es de 35 °C. Por lo tanto, cuando la temperatura ambiental supere este nivel de umbral, el efecto de enfriamiento provocado por la presencia de árboles favorece la actividad fotosintética del estrato herbáceo, especialmente si se presenta cambios de temperatura altos como los 9.5 °C de diferencia entre el pasto bajo la copa de los árboles y a campo abierto (Reynolds 1995).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación y características del área experimental

El presente estudio se llevó a cabo en la unidad productiva “San Antonio” distrito de Bellavista, provincia de Jaén, región Cajamarca, es una unidad productiva de mediano tamaño, encontrándose similares en ceja de selva peruana, el lugar de experimentación presenta una pendiente ligeramente inclinada. Está ubicada a una altitud de 729 msnm. La temperatura media anual fue 28.7°C, la humedad relativa media anual del ambiente fue 76.5% variando de 71.0 y 82.1% entre las épocas seca (agosto) y lluviosa (marzo) respectivamente.

La unidad productiva se maneja bajo un sistema silvopastoril, donde el componente pasto es el monocultivo de *Panicum maximum* Jacq, y el componente arbóreo es la especie nativa *Acacia macracantha*, conocido comúnmente como faique, los cuales se encuentran dispersos en los potreros, con una densidad promedio de 81 árboles por hectárea, para la categorización del tamaño de los árboles, se realizó la medición del Diámetros a la Altura del Pecho (DAP) y se utilizó una cinta métrica, para medir la circunferencia (C) a la altura del pecho (1.3 m), obteniendo el diámetro del árbol con la ayuda de la siguiente formula:

$$D = C/\pi; \text{ donde, } D: \text{ diámetro (cm) } C = \text{ circunferencia (cm) y } \pi = 3.1416$$

El diámetro de los árboles se determinó en función a lo recomendado por FAO (2012); en consecuencia, se encontraron las siguientes categorías del tamaño de los árboles por hectárea: Árboles en regeneración (DAP < 7.5 cm) 13.41%, jóvenes (7.5 – 24 DAP) 50.62%, pequeños (25-37 DAP) 17.28 % y medianos (38-49 DAP) 18.52%. La unidad productiva cuenta con 54 hectárea representadas en 14 potreros divididos con alambre de púas. Los muestreos de pasto y suelo se realizaron en la sexta semana de rebrote del pasto, en dos épocas; el primero en la época lluviosa (marzo) y el segundo muestreo se realizó en la época seca (agosto).



### 3.2. Unidades experimentales: especies vegetales

Se utilizaron cuatro potreros en el cual se instalaron 12 excluidores (unidades experimentales) de 4 m<sup>2</sup> para prevenir el pastoreo del pasto a ser medido siendo el área de muestreo 1 m<sup>2</sup> eliminando el efecto del borde (ASRM 1962), se instalaron tres excluidores con alambre de púas distribuidos al azar en cada potrero, ubicadas de la siguiente manera: (1) excluidor, fuera la copa del árbol de *Acacia macracantha* (FCA), (2) excluidor, bajo la copa del árbol joven de *Acacia macracantha* (BCAj), (3) excluidor, bajo la copa del árbol mediano de *Acacia macracantha* (BCAm). El análisis de pasto y suelo se realizó a las seis semanas de rebrote del pasto en época seca y lluviosa. Los árboles de *Acacia macracantha* a emplearse se encuentran distribuidas al azar en los potreros y se utilizó dos categorías sobre el tamaño de los árboles, según DAP: árbol joven, los cuales tienen un DAP de 7.5 – 24 cm. y árboles medianos de DAP de 38 – 49 cm (FAO 2012).

x

### 3.3. Variables medidas en el pasto guinea

Tabla 1. Variables medidas en el pasto Guinea

<b>Variables</b>	<b>Unidad</b>	<b>Épocas</b>	<b>Método</b>	<b>Referencia</b>
<b>Crecimiento</b>	Kg MS/ha/d	2	Corte y separación	Geenty y Rattray (1987)
<b>Proteína Cruda</b>	%	2	Kjeldahl	AOAC (2016)
<b>Fibra Detergente Neutro (FDN)</b>	%	2	Van Soest	Van Soest (1985)
<b>Calcio</b>	%	2	Titulación	AOAC (2016)
<b>Fósforo</b>	%	2	Espectrofotometría	AOAC (2012)
<b>Digestibilidad <i>in vitro</i> de la Materia Seca</b>	%	2	Tilley y Terry modificado	ANKOM (2005)

### **3.4. Definiciones operacionales**

#### **3.4.1. Del muestreo parte vegetal**

##### **A) Procedimiento de muestreo**

Se colectó muestras de pasto en las épocas: lluviosa (abril) y seca (agosto), el muestreo se realizó bajo la copa de los árboles y fuera de la copa de los árboles, tomándose muestras para enviarse al laboratorio para sus respectivos análisis. Las muestras de pasto de seis semanas de rebrote tomadas bajo la copa de los árboles, se recogieron tres muestras a tres distancias diferentes, es decir, 1, 2, 4 m del tronco de los árboles para tener muestras representativas. En todos los casos se eliminó las contaminaciones de polvo y tierra del forraje evitando muestrear las áreas cercanas a las carreteras/pasadizos de los potreros. La parte del pasto muestreado se evitó cortar en ciertos casos demasiado bajo (15 cm del suelo) para no incurrir en error de contaminación con tierra o materia orgánica en descomposición y se emplearon tijeras de podar de acero inoxidable para la toma de muestras.

##### **B) Tratamiento y preparación de las muestras.**

Las muestras obtenidas en el campo, fueron secadas al aire en los respectivos lugares de muestreo, con la finalidad de lograr eliminar la mayor cantidad posible de agua en el pasto, evitando de esta manera errores en el trabajo de laboratorio por deterioro de las muestras, una vez realizado este paso las muestras fueron empacadas y enumeradas individualmente en bolsas de papel previamente rotuladas. El análisis se realizó en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) del Departamento de Nutrición, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria la Molina. En el laboratorio las muestras se secaron en una estufa de aire caliente a una temperatura más o menos constante de 60 - 65 °C por un lapso de 48 horas, posteriormente fueron molidas en un molino Willey de acero inoxidable y con una criba también de acero inoxidable de 1 mm de luz. Estas muestras después de ser cuidadosamente homogenizadas, se almacenaron individualmente y en cantidades suficientes dentro de frascos de vidrio de tapa hermética con capacidad aproximadamente de 100 gramos para posteriormente ser analizados químicamente.

## **C) Métodos de análisis**

### **a) Oferta del pasto: Tasa de crecimiento y producción del pasto Guinea**

El crecimiento del forraje fue medida en las unidades experimentales, utilizando cercos de protección para prevenir el pastoreo del forraje, siendo estos cercos más grandes del área a cortar para eliminar el efecto del borde (ASRM 1962). La tasa de crecimiento es el forraje disponible dentro de la jaula de seis semanas después del corte. Una vez colectadas las muestras fueron llevadas al laboratorio y secadas a 105°C por un tiempo de 24 horas (AOAC 2016), expresándose el crecimiento en kilogramos de forraje seco por hectárea y por día (kg MS/ha/día).

### **b) Proteína Cruda del pasto**

Se determinó por el método Kjeldahl, donde, el tejido vegetal (pasto) se ataca con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado para convertir el nitrógeno orgánico en iones de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), obteniéndose como resultado sulfato de amonio, el cual después es combinado con álcali fuerte (NaOH) con la consiguiente liberación de amoniaco el que es destilado por arrastre de vapor y recibido en una solución de ácido bórico formándose borato de amonio en cantidad proporcionales al nitrógeno liberado de la muestra original (AOAC 2016).

### **c) Fibra Detergente Neutro (FDN) del pasto**

Se determinó por el método de Van Soest (1985). El porcentaje de fibra detergente neutro (FDN) realmente representa el porcentaje de paredes celulares, formada por celulosa, hemicelulosa y lignina.

$$\% \text{ Contenido celular} = 100\% - \% \text{ FDN}$$

### **d) Calcio en el pasto**

El contenido de calcio se determinó por el método de titulación con permanganato de potasio (AOAC 2016).

### **e) Fósforo en el pasto**

El contenido de fósforo se determinó por el método de Espectrofotometría con molibdato de amonio (AOAC 2012).

## **f) Digestibilidad *in vitro* de la materia seca del pasto guinea**

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se determinó empleando el método de Tilley y Terry modificado (ANKOM 2005).

### **3.4.1. Métodos de determinación de las características químicas y físicas del suelo**

**Análisis químico:** Se tomó muestras en cada unidad experimental a profundidades de 30 cm debido que la mayor proporción del sistema radicular del *Panicum maximun* Jacq se encuentra en esta profundidad. Una vez realizado este paso las muestras se empacaron, enumeraron individualmente en bolsas de plástico, previamente rotuladas para enviarse al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes, Universidad Nacional Agraria la Molina.

#### **Contenido de materia orgánica en el suelo**

El contenido de materia orgánica (MO) del suelo fue determinado por el método de Walkley y Black y sus variantes (Bazán 1996). Se basa en la oxidación de una muestra para determinar el contenido de carbono orgánico (CO) cuya ecuación es:

$$\text{MO (\%)} = \% \text{CO} \times 1.724$$

#### **Medida del pH**

Medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 o suspendió en suelo: KCl N, relación 1:2.5 (Bazán 1996).

#### **Fósforo y potasio disponible**

El fósforo se determinó por el método de Olsen modificado. Extracto  $\text{NaHCO}_3$  0.5 M, pH 8.5 y el potasio se determinó por el método de extracción con acetato de amonio ( $\text{CH}_3\text{-COONH}_4$ ) N, pH 7.9 (Bazán 1996).

#### **Determinación de la capacidad de intercambio catiónico**

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se determina a partir de la cantidad adsorbida de un catión índice, al hacer atravesar una solución que contenga dicho catión a través de una muestra de suelo a través del método de saturación con acetato de amonio ( $\text{CH}_3\text{-COOCH}_4$ ) N; pH 7.0 (Rodríguez *et al.* 2011).

### **Determinación de Ca<sup>+2</sup> Mg<sup>+2</sup>Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> Cambiables**

Se determino por el método de reemplazamiento con acetato de amonio (CH<sub>3</sub>-COOOCH<sub>4</sub>) N; pH 7.0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica (Bazán 1996).

### **Determinación de Al<sup>+3</sup>+H<sup>+</sup>**

Se determinó por el método de Yuan. Extracción con KCl, N. (Soil Survey Staff 1999).

### **Determinación la textura del suelo**

Con la ayuda de una espátula se muestreó una alícuota de suelo a 3 profundidades (0-10, 11-20 y 21-30 cm), luego se agregó agua hasta formar una masa con la mano. Por la técnica del tacto se clasificó la muestra según su textura. La temperatura del suelo se tomó con un geotermómetro en un radio de 2 metros alrededor de los cercos de crecimiento, esto nos permite conocer el gradiente térmico al interior del suelo y analizar la influencia que esta variable ejerza sobre el crecimiento del forraje. En tanto la humedad nos permite conocer el porcentaje de saturación del suelo en relación a la capacidad del campo para estimar el grado de estrés hídrico que la pradera reciba como consecuencia de las variaciones en precipitaciones que normalmente ocurren en ecosistemas tropicales.

### **La humedad del suelo (ecuación 1)**

En la calicata, se muestreó a niveles de 0-10, 10-20 y 20-30 cm con el cilindro muestreador (5.55 de altura x 4.81 de diámetro), se colocaron en bolsas muestreadoras para posteriormente llevarlas al LUP de la UNALM; luego se pesaron antes de colocar en la estufa a una temperatura de 105 °C x 48 horas.

$$H = \left( \frac{Psh - Pss}{Pss} \right) \times (100) \text{ ----- (1)}$$

Dónde

H : Porcentaje de humedad del suelo  
Pss : Peso del suelo seco  
Psh : Peso del suelo húmedo

## Resistencia Mecánica

La resistencia mecánica que ofrece el suelo a la penetración se evaluó en una calicata de 1.0 m largo x 0.8 m de ancho x 0.6 m de profundidad, se utilizó un penetrómetro de bolsillo (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25 y 25-30 cm de profundidad). La Compactación desde el punto de vista agrícola, tiende a disminuir las cantidades de agua y nutrientes disponibles para las raíces.

### 3.5. Análisis estadístico

Los resultados experimentales se evaluaron utilizando análisis de variancia. Los valores de tasa de crecimiento, proteína cruda, fibra detergente neutro, Calcio, Fósforo y digestibilidad *in vitro* de la materia seca del pasto se analizaron individualmente bajo un diseño completo al azar con arreglo factorial 3 x 2 donde, los factores fueron: ubicación del pasto y épocas del año (Calzada 1982).

El modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + U_i + E_j + (UE)_{ij} + B_k + e_{ijk}$$

Dónde:

$Y_{ijk}$  : Contenido de tasa de crecimiento, PC, FDN, Ca, P y DIVMS (variable respuesta)

$\mu$  : Media global

$U_i$  : Efecto del i-ésimo primer factor U (ubicación del pasto)

$E_j$  : Efecto del j-ésimo segundo factor E (época del año)

$(UE)_{ij}$  : Efecto de la interacción del i-ésimo primer factor U y del j-ésimo segundo factor E

$B_k$  : Efecto del k-ésimo repetición (potreros)

$e_{ijk}$  : Error aleatorio

Para la evaluación de comparaciones individuales de los efectos se utilizó Duncan para la comparación de medias a un nivel de significancia de 0.05 a fin de detectar diferencias estadísticas entre los promedios analizados (Calzada 1982). Los datos se analizarán en el paquete estadístico SAS.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las principales variables mostró que el efecto del árbol faique, presentó diferencia significativa ( $p < 0.01$ ) en el promedio de proteína cruda, calcio y fósforo (Tabla 2), mejorando el contenido de estos nutrientes en el pasto a seis semanas de rebrote, mientras que los valores de tasa de crecimiento, fibra detergente neutro y digestibilidad *in vitro* de la materia seca no evidenció diferencias significativas entre las ubicaciones del pasto evaluado.

Tabla 2. Los valores en las ubicaciones del pasto Guinea y significaciones estadísticas de los análisis de varianza de las variables evaluadas.

Variable	Ubicación del pasto	Promedio	E.E.M.	Mínimo	Máximo
Tasa de crecimiento (kgMS/ha/día)	FCA	53.41 <sup>a</sup>	6.22	33.61	83.34
	BCAj	42.71 <sup>a</sup>	8.22	8.16	78.62
	BCAm	36.19 <sup>a</sup>	7.44	5.20	68.72
Proteína cruda (%)	FCA	9.75 <sup>c</sup>	0.32	7.96	12.63
	BCAj	11.52 <sup>b</sup>	0.42	9.50	14.92
	BCAm	12.94 <sup>a</sup>	0.33	10.94	14.99
FDN (%)	FCA	64.96 <sup>a</sup>	1.56	58.88	70.47
	BCAj	65.64 <sup>a</sup>	0.94	62.61	70.95
	BCAm	65.30 <sup>a</sup>	0.73	61.11	67.54
Calcio (%)	FCA	0.72 <sup>c</sup>	0.02	0.66	0.77
	BCAj	0.85 <sup>b</sup>	0.03	0.72	0.98
	BCAm	0.98 <sup>a</sup>	0.03	0.88	1.10
Fósforo (%)	FCA	0.14 <sup>b</sup>	0.02	0.08	0.22
	BCAj	0.15 <sup>ab</sup>	0.02	0.08	0.21
	BCAm	0.17 <sup>a</sup>	0.03	0.08	0.25
DIVMS (%)	FCA	60.74 <sup>a</sup>	2.31	52.14	70.71
	BCAj	56.57 <sup>a</sup>	1.45	50.29	61.31
	BCAm	60.55 <sup>a</sup>	1.73	55.23	68.65

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes en cada fila revelan, la diferencias entre valores con distinto superíndice de la variable es estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ).

Pasto fuera de la copa del árbol (FCA), pasto bajo la copa del árbol joven (BCAj), pasto bajo la copa del árbol mediano (BCAm), error estándar del promedio (E.E.M.), Fibra detergente neutro (FDN), digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS).

#### 4.1. Tasa de crecimiento del pasto Guinea

Al comparar la tasa de crecimiento a 6 semanas de rebrote en las ubicaciones del pasto Guinea no fue significativa, presentando mayor valor aritmético fuera de la copa de los árboles, 53.41 KgMS/ha/d respecto a los valores, bajo la copa del árbol joven y mediano 42.71 y 36.19 KgMS/ha/d respectivamente. No presentó diferencia estadística debido a la alta variabilidad de las muestras. (Figura 3). Así mismo la tasa de crecimiento fue mayor en la época lluviosa, 59.94 KgMS/ha/d, superando significativamente ( $p < 0.01$ ) a la época seca, 28.27 kgMS/ha/d (Figura 3).

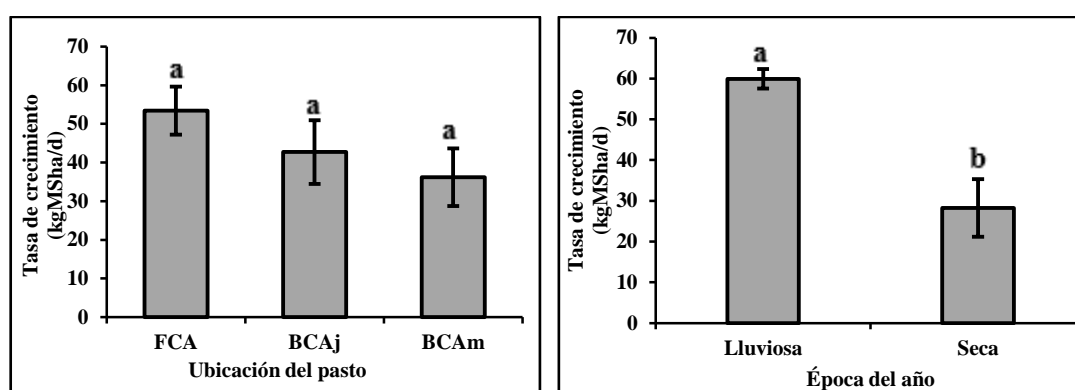


Figura 3. Tasa de crecimiento (KgMS/ha/día) del pasto Guinea según su ubicación y las épocas evaluadas.

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes revelan diferencias ( $p < 0.05$ ) entre variables.

En la Figura 3, se presentan los resultados de las variables estudiadas, se observa que el pasto fuera de la copa de los árboles presentó mayor rendimiento de 47%, respecto a los pastos bajo la copa de los árboles. Soares *et al.* (2009) observaron reducciones significativas en crecimiento en un estudio de nueve gramíneas  $C_4$  cuando el nivel de sombra aumentó por un aumento de la densidad del *Pinus taeda*. En general, las pasturas como el pasto Guinea con ciclo fotosintético tipo  $C_4$ , alcanza su máxima producción con altos niveles de intensidad lumínica. Debido a que los árboles grandes tienen una mayor sombreamiento, la tendencia observada de tasa de crecimiento es menor en la medida que el árbol es más grande, lo que repercute en una menor actividad fotosintética. En general, las pasturas como el pasto Guinea con ciclo fotosintético tipo  $C_4$ , donde el crecimiento del pasto depende principalmente de la transferencia de energía solar, temperatura, humedad y régimen de lluvias a lo largo del año. La disminución de la tasa de crecimiento bajo la copa de los árboles está relacionada con un retraso en el desarrollo de plantas cultivadas bajo sombra intensa.



En las épocas evaluadas la diferencia pudo deberse a la mayor precipitación pluvia, generando mejores condiciones ambientales en la época lluviosa, la que favorece, generalmente, el desarrollo de las especies vegetales. Las tasas de crecimiento encontradas para las dos épocas son similares a las reportadas por Nuñez (2017) en época lluviosa de 46.28 kg MS/ha/día y época seca 8.16 kg MS/ha/día a 30 días de rebrote. Evaluaciones realizadas por Ramírez *et al.* (2009) en pasto *Panicum máximum* Jacq determinó que existen diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre épocas (seca y lluviosa).

#### 4.2. Proteína cruda del pasto Guinea

La concentración de proteína cruda (PC) en las ubicaciones del pasto evaluado, fue mayor ( $p < 0.01$ ) en los pastos bajo la copa del árbol mediano, 12.94% superando al pasto bajo la copa del árbol joven y fuera de la copa, 11.53 y 9.76% respectivamente, así mismo las épocas evaluada también presentaron diferencias significativas ( $p < 0.01$ ), con valores de 12.41% en época lluviosa y 10.40% en época seca (Figura 4).

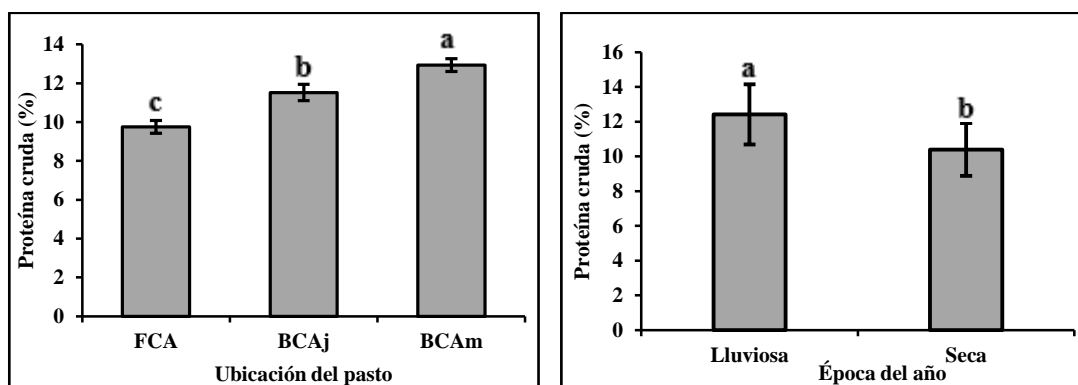


Figura 4. Valores de proteína cruda del pasto Guinea según su ubicación y las épocas evaluadas.

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes revelan diferencias ( $p < 0.05$ ) entre variables.

En la Figura 4, se observó una tendencia aritmética mayor en el contenido PC al incrementar el tamaño del árbol y el nivel de sombreado, mejora el porcentaje de proteína bajo la copa de los árboles de 32% respecto al pasto fuera de la copa de los árboles. posiblemente también por el mayor contenido de materia orgánica en el suelo bajo la copa del árbol (Tabla 3). Bajo la sombra, los pastos tienden a ser fisiológicamente más jóvenes, que prolonga la fase vegetativa juvenil y permite el mantenimiento de niveles metabólicos más altos por un período de tiempo más largo (Neel *et al.* 2016). Los altos contenidos de PC en los pastizales bajo la copa de los árboles podrían estar asociados con un aumento flujo de nitrógeno en el

suelo, especialmente cuando la especie arbórea es una leguminosa que tiene potencial para contribuir a la fijación biológica de nitrógeno (Xavier *et al.* 2014). Juárez *et al.* (2006) al estudiar el contenido nutricional del *Panicum maximum* var. Tanzania, encontraron contenidos de proteína de 13.3% a los 40 días después del rebrote. De igual forma para las épocas evaluadas Nuñez (2017) encontró valores de proteína 13.76% época lluviosa y 10.49% en época seca en *Panicum maximum* Jacq a los 30 días después del rebrote en ceja de selva.

### 4.3. Fibra Detergente Neutro del pasto Guinea

Al comparar la fibra detergente neutro (FDN) en las ubicaciones del pasto no presentó diferencia significativa, mostrando promedios de 64.96, 65.54 y 65.30% para el pasto fuera de la copa de los árboles, bajo la copa de los árbol joven y mediano respectivamente. Las épocas del año influyeron significativamente ( $p < 0.01$ ) en el porcentaje de FDN en época lluviosa, 67.55% y en época seca, 63.05% (Figura 5).

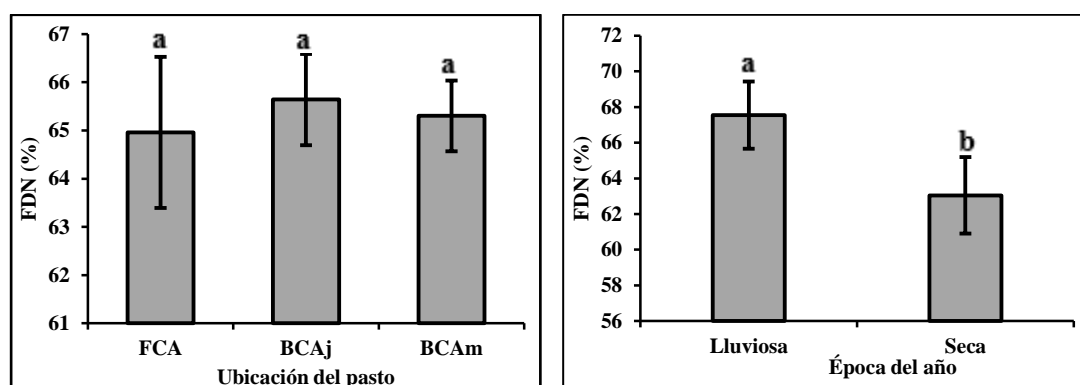


Figura 5. Valores de fibra detergente neutro del pasto Guinea según su ubicación y las épocas evaluadas.

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes revelan diferencias ( $p < 0.05$ ) entre variables.

Similar comportamiento encontró Paciullo *et al.* (2016) en niveles de sombra de 0, 37 y 58% donde los valores fueron 65.18, 64.23 y 64.21% de FDN. Los valores encontrados, guardan relación con lo reportado por Juárez *et al.* (2006) que reporta 67% de FDN a una edad promedio de 40 días de rebrote en *Panicum maximum* var. Tanzania. La ligera disminución de FDN registrada en este estudio bajo sombra de los árboles podría estar asociada con las paredes celulares más delgadas del esclerénquima en plantas que se cultivan en sombra que en condiciones de pleno sol (Deinum *et al.* 1996). Estos valores tienen similar comportamiento a los encontrados por Kephart y Buxton (1993).

#### 4.4. Calcio en el pasto Guinea

La concentración de calcio (Ca) presentó diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) en las ubicaciones del pasto, obteniéndose mayor valor bajo la copa del árbol mediano, 0.98% respecto al pasto bajo la copa del árbol joven, 0.85% y fuera de la copa de los árboles, 0.72%. Así mismo el contenido de Ca en las épocas evaluadas presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) el contenido de calcio en el pasto en época lluviosa, 0.81% y en época seca 0.88% (Figura 6).

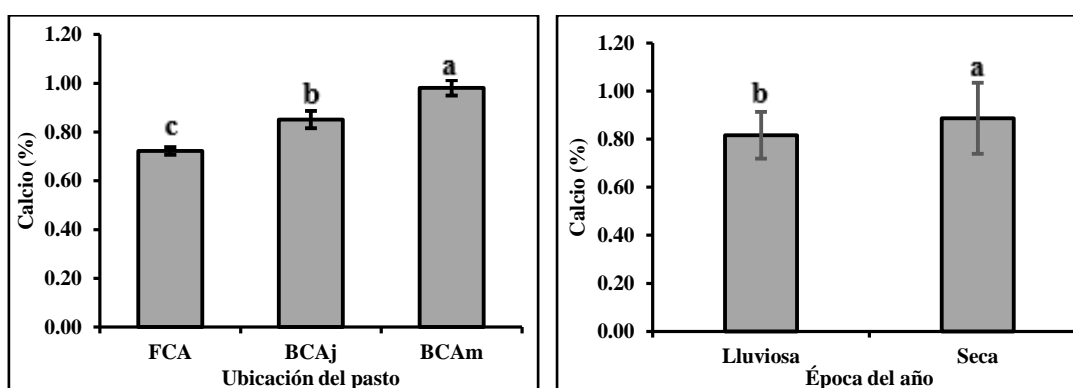


Figura 6. Valores de calcio en el pasto Guinea según su ubicación y las épocas evaluadas. <sup>a,b,c</sup> Letras diferentes revelan diferencias ( $p < 0.05$ ) entre variables.

Como se observa en la Figura 6, la concentración de Ca en los pastos bajo la copa del árbol aumentó en 25% respecto al pasto fuera de la copa de los árboles. Esta tendencia favorable es debido a que los niveles de calcio en el suelo bajo la copa de los árboles son mayores en su forma de carbonato, presentando valores de 20.50 y 19.77% para el suelo bajo la copa del árbol joven y mediano respectivamente y fuera de la copa de los árboles fue 13.95%, este comportamiento se debe a que las raíces profundas de los árboles (*Acacia macracantha*) tienen la capacidad de extraer mayor cantidad de nutrientes del suelo. Para los pastos el calcio es un elemento fundamental para aumentar el pH y disminuir los efectos de otros iones.

Al respecto Casanova *et al.* (2006) encontraron que el contenido de Ca en hojas de los pastos disminuye a medida que aumenta la edad de rebrote del pasto. El calcio es un mineral importante en el contenido celular de las plantas, su contenido en las gramíneas se encuentra entre 0.30 a 0.90 % (Molina 2006). Por lo que en este estudio se demuestra que los contenidos obtenidos de calcio en el pasto bajo la copa del árbol son mayores debido a que la mayor cantidad de calcio en el suelo y el pasto es más joven fisiológicamente con respecto

a las gramíneas que se encuentra fuera de la copa de los árboles 42 días de edad. El comportamiento del porcentaje de calcio en las épocas estudiadas tiene diferencia ( $p < 0.05$ ). Según Sánchez *et al.* (2006), los cambios de época en la composición química del pasto en sistemas silvopastoriles originan menores variaciones en el contenido de Ca, si se compara con respecto a las gramíneas en monocultivo.

#### 4.5. Fósforo en el pasto Guinea

La concentración de fósforo (P) en las ubicaciones del pasto presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), obteniéndose bajo la copa del árbol mediano, 0.17%, bajo la copa del árbol joven, 0.15% y 0.14% fuera de la copa de los árboles. Así mismo el contenido de P fue mayor en la época lluviosa, 0.21% superando significativamente ( $p < 0.01$ ) a la época seca, 0.09% (Figura 7).

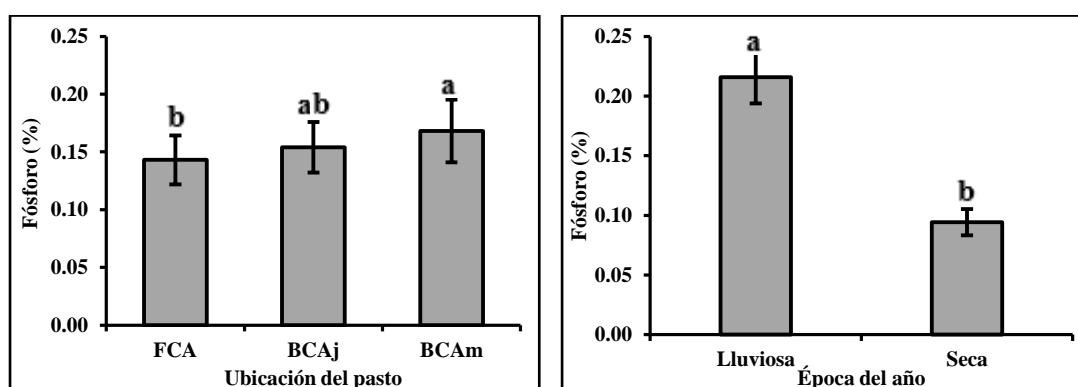


Figura 7. Valores de fósforo en el pasto Guinea según su ubicación y las épocas evaluadas. <sup>a,b,c</sup> Letras diferentes revelan diferencias ( $p < 0.05$ ) entre variables.

La disminución de Fósforo en la época seca se puede interpretar, debido a que el agua constituye un vehículo natural para el movimiento de los iones del suelo, actuando en la absorción de este elemento y su disponibilidad en el suelo (Casanova y Eduardo 2005). Este mismo comportamiento estacional en este sistema fue encontrado por Nuñez (2017). El fósforo es un mineral importante en la alimentación de los rumiantes, sin embargo, la concentración de fósforo en el pasto puede estar alrededor de 0.2 % (Tejos 2001).

#### 4.6. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca del pasto

El contenido de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) del pasto encontrados en las ubicaciones del pasto no presentó diferencias significativas, los valores de DIVMS del

pasto bajo la copa del árbol joven y mediano fueron 56.57 y 60.55% respectivamente y 60.74% para el pasto fuera de la copa de los árboles. En las épocas evaluadas no presentaron diferencias significativas, con valores de 57.85% en la época lluviosa y 60.73% DIVMS para la época seca (Figura 8).

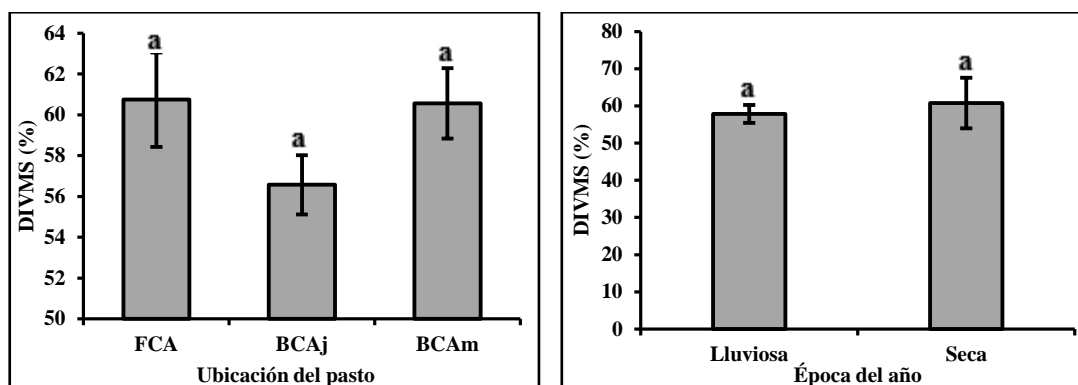


Figura 8. Valores de digestibilidad in vitro de la materia seca en el pasto Guinea según su ubicación y las épocas evaluadas.

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes revelan diferencias ( $p < 0.05$ ) entre variables.

Debido a que el crecimiento y maduración del pasto está influenciado por la precipitación, la cual acelera su desarrollo, la comparación de la DIVMS entre la época seca y lluviosa no presentó diferencia significativa entre los pastos bajo la copa de los árboles, similar comportamiento reportó Campos *et al.* (2010) al comparar la DIVMS de los pastos en sistemas silvopastoriles en época seca y lluviosa, los pastos del género *Panicum* reportan que el mayor porcentaje de DIVMS es a los 30 días con 68.74%, disminuyendo a medida que madura la pastura a los 105 días, 51.86% (Verdecia 2008).

#### 4.7. Características del suelo experimental

La Tabla 3, indica que el suelo de las tres áreas fue moderadamente alcalino con valores de pH 8.24, 8.19 y 8.01 para las áreas fuera de la copa del árbol, bajo la copa del árbol joven y bajo la copa del árbol mediano de faique (*Acacia macracantha*) respectivamente. Estos valores están dentro del rango tolerable (5.0 a 8.0) para la especie *Panicum maximum* (CIAT 2000); para el crecimiento de la mayoría de las especies, debido que la mayor parte de nutrientes se encuentra disponible en este rango de pH (USDA 1999).

Tabla 3. Características fisicoquímicas del suelo, fuera la copa de los árboles y bajo la copa del árbol joven y mediano

Indicador	Fuera de la copa	Bajo la copa del árbol joven	Bajo la copa del árbol mediano
pH	8.23	8.18	8.01
Textura	Fr, Ar, A	Fr, Ar, A	Fr, Ar, A
MO (%)	2.81	3.62	3.73
CaCO <sub>3</sub> (%)	13.95	20.50	19.77
P (ppm)	6.35	10.95	9.40
K (ppm)	339.25	278.5	607.5
CIC(meq/100g)	16.64	22.88	22.40
Ca <sup>+2</sup> (meq/100g)	12.98	19.56	18.17
Al <sup>+3</sup> H <sup>+</sup> (meq/100g)	0.00	0.00	0.00

En la Tabla 3, se observa que la textura del suelo fue la misma para las tres áreas evaluadas (fuera y bajo la copa de los árboles), con lecturas Franco-Arcillo-Arenoso; esto demuestra que son suelos de textura moderadamente fina con buena aireación y disponibilidad de agua, ayudando a los microorganismos en el suelo a sobrevivir, beneficiando la absorción de nutrientes y favoreciendo el desarrollo del pasto (Navarro 2013). La cantidad de materia orgánica evaluada en las tres ubicaciones, fueron medio según tabla de interpretación de la FAO (2012), fuera de la copa de los árboles, 2.81% y dentro de la copa de los árboles joven y mediano fue 3.62 y 3.73 %, respectivamente; presentando mayores valores bajo la copa de los árboles, debido a que esta especie de árbol es de tipo caducifolia (reciclaje de hojarasca) sumando también las podas frecuentes, lo hace que exista mayor cantidad de materia orgánica bajo la copa de los árboles. Andrade (2000), reportó que la especie de *Acacia mangium* deposita la mayor cantidad de material vegetal formador de hojarasca, al compararla con otro grupo de plantas arbóreas.

El valor de fósforo (P) disponible fue bajo, en el suelo fuera de la copa de los árboles según tabla de interpretación de la FAO (2012) y presentaron valores medios, en el suelo bajo de la copa del árbol joven y mediano con valores de 10.95 y 9.40 ppm respectivamente. Este comportamiento coincide con los reportados por Carranza y Ledesma (2004) al estudiar los algarrobos, reportando que existe una mayor cantidad de fósforo y potasio en el suelo bajo

la copa de los árboles (en los perfiles superficiales del suelo) ya que éstos tienen la capacidad de redistribuir los nutrientes desde las capas profundas independientemente de los rangos de pH. Por su parte Nair (1993), menciona que los árboles en los sistemas agroforestales tienen el efecto de bombeo de nutrientes de los horizontes más bajos para hacerlos eventualmente disponibles a los pastos a través de la mineralización de hojas, ramas y raíces superficiales que alcanzan la fase de senescencia. Esto indica que el P posiblemente ha sido transferido desde las profundidades del suelo a la parte superior. Se obtuvieron resultados similares en bosque tropical seco de Colombia, especialmente en sistemas silvopastoriles usando árboles *Gliricidia sepium* (Sadeghian *et al.* 1998).

Por otro lado, los niveles de potasio (K) en el suelo fue alto, según la tabla de interpretación de la FAO (2012), los valores de K fuera de la copa de los árboles, bajo la copa de los árbol joven y mediano fueron 339.25, 278.5 y 607.5 ppm respectivamente. No se detectaron niveles de aluminio en los suelos debido que son suelos ligeramente alcalinos. Este elemento se encuentra generalmente en las arcillas y bajo ciertas condiciones se puede volver tóxico para las plantas ya que inhibe el desarrollo de las raíces, esto ocurre generalmente en suelos con pH menor a 5 (Zapata 2004), en este estudio el pH fue 8 la presencia de aluminio implica una reducción de la fertilidad debido a que producen fenómenos de degradación de la materia orgánica y pérdida de nutrientes (Acevedo 2007). Así mismo Obispo *et al.* (2008) reportaron que la fertilidad, porosidad y capacidad de almacenamiento de agua se mejoran bajo árboles.

#### **4.8. Temperatura y humedad del suelo experimental**

La temperatura óptima para la producción máxima de materia seca del *Panicum máximum* es de 30°C. El crecimiento del pasto depende principalmente de la temperatura ambiental, humedad del suelo, temperatura del suelo y régimen de lluvias a lo largo del año. En la Tabla 4, indica que la temperatura ambiental en las ubicaciones experimentales presentó diferencias significativas ( $p < 0.01$ ), fuera de la copa de los árboles, 30.8°C, bajo la copa del árbol joven, 28.7°C y bajo la copa del árbol mediano 27.3°C la disminución de la temperatura ambiental tiene beneficios para mejorar el bienestar animal.

Tabla 4. Variables climáticas por ubicación del área experimental y época del año.

Variables		T° ambiente (°C)	T° del suelo (°C)	H° del suelo (%)
Ubicación del pasto	FCA	30.82 <sup>a</sup>	31.20 <sup>a</sup>	12.98 <sup>b</sup>
	BCAj	28.17 <sup>b</sup>	28.90 <sup>b</sup>	13.87 <sup>ab</sup>
	BCAm	27.23 <sup>c</sup>	27.96 <sup>c</sup>	15.23 <sup>a</sup>
Época	Lluviosa	27.43 <sup>b</sup>	26.63 <sup>b</sup>	17.06 <sup>a</sup>
	Seca	30.05 <sup>a</sup>	32.08 <sup>a</sup>	10.99 <sup>b</sup>

<sup>a,b,c</sup> Letras diferentes en cada fila revelan diferencias ( $p < 0.01$ ) entre variables

Así mismo la temperatura ambiental en las épocas presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) con valores de 27.4°C en época lluviosa y 30°C en época seca. La temperatura ambiental promedio anual fue 28.73°C variando a lo largo del año inversamente a la tasa de precipitación (Figura 9). La temperatura del suelo presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre las áreas evaluadas a lo largo del año, mostrando mayor valor fuera de la copa de los árboles, 31.2°C que, bajo la copa del árbol joven y mediano, 28.9 y 27.9 °C, respectivamente. La temperatura del suelo en las épocas fue significativamente diferente ( $p < 0.01$ ) con valores de 26.8°C y 32.8°C en época lluviosa y seca respectivamente. Bajo la copa de los árboles disminuye la temperatura del suelo debido que el dosel impide la radiación solar que influye en la biomasa del pasto sobre el suelo (Ludwig *et al.* 2001), presentando una temperatura promedio anual del suelo de 29.3°C.

La humedad del suelo presentó diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) entre las áreas evaluadas a lo largo del año, mostrando su mayor valor, bajo la copa de los árboles mediano, 15.27%, bajo la copa del árbol joven, 13.87% y fuera de la copa alcanzo 12.99%. La *Acacia macacrantha* aumenta los contenidos de humedad en el suelo. Similar resultado encontraron Bolívar *et al.* (1999) en *Acacia mangium*. La humedad del suelo en las épocas fue significativamente diferente ( $p < 0.01$ ) con valores de 17.06% y 10.99% en época lluviosa y seca respectivamente (Tabla 4). La humedad del suelo aumenta a medida que el árbol es más grande. La cantidad de humedad en el suelo depende de cuanta lluvia cae y de la capacidad de infiltración del suelo. En las condiciones tropicales y de secano, la cantidad de agua que entra al suelo depende directamente del porcentaje que se desvía de la superficie como



escorrentía. Típicamente aumenta la humedad disponible en el suelo por la disminución de la evaporación del suelo y la evapotranspiración de la planta (Ludwig *et al.* 2001), el aumento humedad del suelo, mejora la degradación de la materia orgánica y reciclaje de nitrógeno en el suelo bajo condiciones sombreadas (Paciullo *et al.* 2014).

La producción del pasto en la región de selva alta es afectada principalmente por la distribución de la precipitación anual, factor que afecta el crecimiento estacional del pasto. En la Figura 9, se observa la precipitación anual, 810.80 mm presentándose la mayor precipitación en el mes de marzo de 196.66 mm y la menor precipitación durante el mes de noviembre de 15.65 mm (SENAMHI 2018).

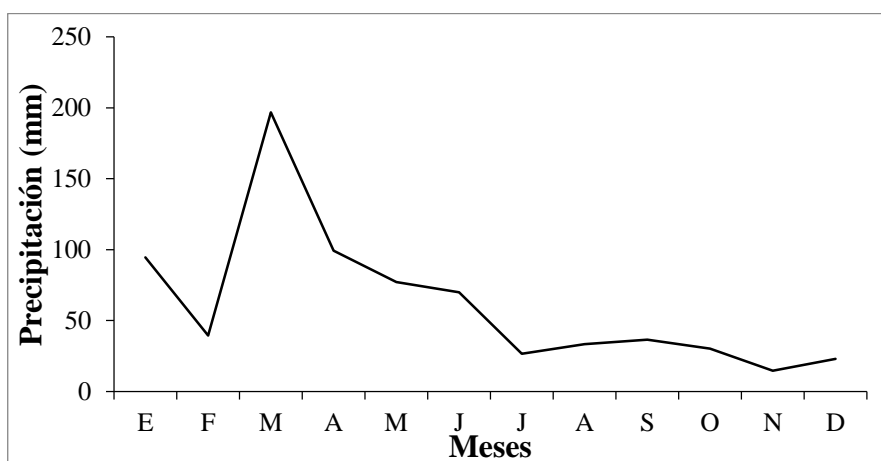


Figura 9. Variación de la precipitación en la zona evaluada.

#### 4.9. Resistencia mecánica Kg/cm<sup>2</sup>

Los cambios en el balance de la temperatura atmosférica, causan el estrés de calor en los animales, que se refleja en la búsqueda de lugares frescos y sombreados favoreciendo el pisoteo de los animales bajo la copa de los árboles presentando mayor compactación del suelo, ubicado en el horizonte superior del suelo bajo la copa de los árboles, la Figura 10, muestra que el suelo bajo la copa de los árboles presenta mayor compactación que el suelo fuera de la copa de los árboles.

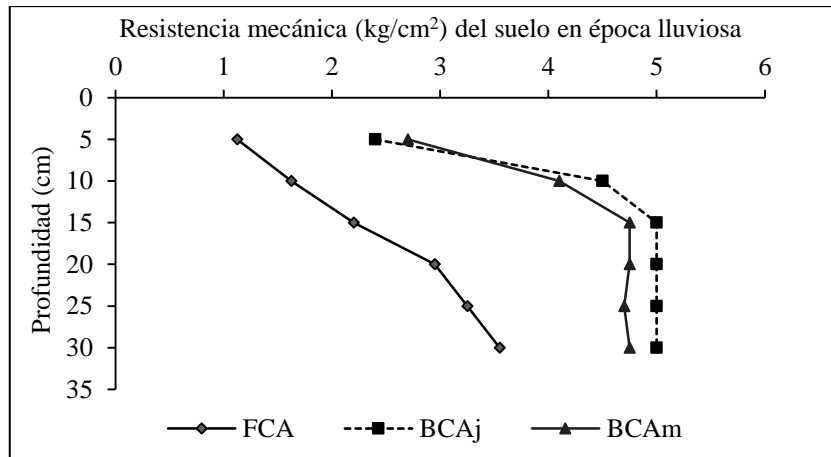


Figura 10. Variación de la resistencia mecánica en el suelo en época lluviosa. Fuera de la copa del árbol (FCA), bajo la copa del árbol joven (BCAj) y bajo la copa del árbol mediano (BCAm).

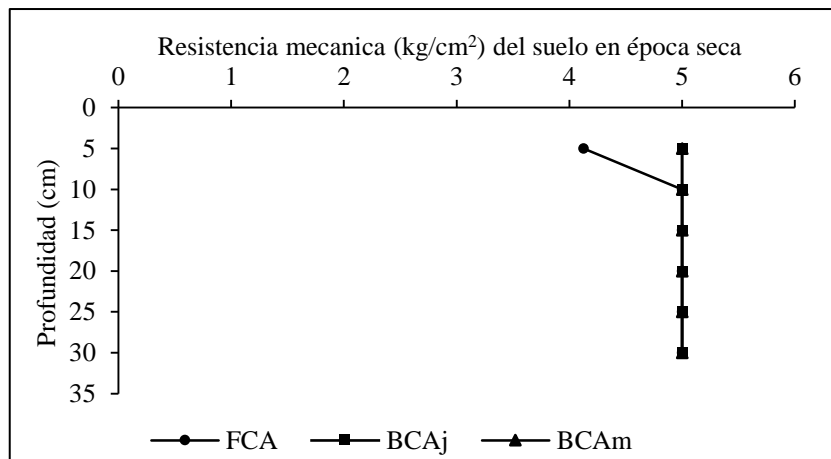


Figura 11. Variación de la resistencia mecánica en el suelo en época seca. Fuera de la copa del árbol (FCA), bajo la copa del árbol joven (BCAj) y bajo la copa del árbol mediano (BCAm).

En la Figura 11, la resistencia a la penetración en el suelo bajo la copa de los árboles y fuera de la copa de los árboles en la época seca no mostró diferencias y se mantienen hasta los 30 centímetros de profundidad, en incluso a profundidad de 0 a 15 cm, que puede ser la más influenciada por el pisoteo animal. Evaluaciones realizadas por Lok *et al.* (2006) en suelo de sistemas silvopastoriles reportó comportamientos similares. Este resultado no pudo deberse a la presencia de los árboles en el sistema, debido a que sus raíces pueden mejorar las condiciones físicas y químicas por que los árboles contribuyen a mejorar las propiedades físicas del suelo.

## V. CONCLUSIONES

1. El *Panicum maximum* Jacq. presentó mayor valor nutritivo bajo la copa de los árboles, con un contenido de proteína cruda de 32% significativamente superior al pasto fuera de la copa de los árboles, el calcio presentó el mismo comportamiento mejorando en 25%, respecto al pasto fuera de la copa de los árboles y el fósforo también presentó aumentos significativos ( $p < 0.05$ ) bajo la copa de los árboles.
2. No se encontró diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en tasa de crecimiento, fibra detergente neutro y digestibilidad *in vitro* de la materia seca del pasto guinea en las tres ubicaciones evaluadas.
3. El árbol de *Acacia macracantha* aumentó el contenido de MO,  $\text{CaCO}_3$ , P y Ca en el suelo, resultado importante, debido a que el crecimiento de las pasturas tropicales se ve limitadas por la deficiencia de estos elementos, mayores contenidos de MO se refleja en mayores concentraciones de proteína cruda.
4. El árbol de *Acacia macracantha* tiene efecto significativo en el mantenimiento humedad relativa del suelo. Este efecto toma mayor importancia en la época seca, cuando el contenido de humedad es bajo que limita la producción de la pastura.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda utilizar este sistema silvopastoril para la ganadería y evaluar su producción primaria, comparando con los pastos en monocultivo.
2. Evaluar las tasas de crecimiento mensual del *Panicum maximum* en condiciones de pastoreo intensivo.
3. Evaluar la capacidad de incorporación de carbono al suelo del *Panicum maximum* y *Acacia macracantha* por separado.
4. Evaluar el potencial productivo de leche y carne del sistema silvopastoril *Panicum maximum* – *Acacia macracantha*, en condiciones de selva alta.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, S. 2007. Aluminio, un indicador de calidad ambiental en suelos de carga variable. Tesis para obtener el grado de doctor en Química. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

AMÉZQUITA, E. Y PINZÓN, A. 1991. Compactación de suelos por pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. *Pasturas Tropicales*. Vol. 13, No. 2. 21 - 26 p.

ANKOM TECHNOLOGY CORPORATION (ANKOM) 2005. Operator's manual: technology method 3 – In Vitro True Digestibility using the DAISY INCUBATOR, NY, USA.

ANDERSON, G.; MODRE, R. Y JENKINS, P. 1988. The integration of pasture, livestock and widely-space pine in South West Western Australia. **Agroforestry Systems**, 6: 195-211.

ANDRADE, H. 2000. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis MSc CATIE, Turrialba, Costa Rica. 70 p.

ALEGRE, J. Y LARA, P. 1991. Efecto de los Animales en Pastoreo sobre las Propiedades Físicas de Suelos en la Región Tropical Húmeda de Perú. *Pasturas Tropicales CIAT* Volumen 13 (1): 18-23. }

ALTERNATIVES TO SLASH AND BURN IN PERÚ (ASB). 2005. Summary report and synthesis of phase edited: D White, S Velarde, Alegre J, and Tomich T ASB programme ICRAF 329 pp.

AMERICAN SOCIETY OF RANGE MANAGEMENT AND AGRICULTURE BOARD (ASRM). 1962. Basic Problems and Techniques in Range Research. Report of a Joint Comitte of the American Society of Range management and Agriculture Board. Pub. N°. 890. Washington D.C. p. 45-81.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST (AOAC). 2016. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. 975.03 Cap. 3, Pág. 5-6, 20th, Edition 2016.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMIST (AOAC). 2012. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. 986.24 Cap. 50, Pág. 13-14, 19th, Edition 2012.

BAZAN, R. 1996. Manual para el análisis químico de suelos, plantas y aguas. Lima-Peru. Consultado en línea el 12 de diciembre del 2017. Disponible en línea en: <https://es.scribd.com/doc/121876082/Manual-de-Analisis-de-Suelos>

BENÍTEZ, A. 1999. Pastos y forrajes. Tercera edición. Quito-Ecuador. Pp126 156. Disponibles en línea en <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10228/1/T-ESPE-002720.pdf>

BLANCO, H.; LAL, R. 2008. Principles of Soil Conservation and Management. Springer. Ohio-USA. 617pp.

BOLIVAR, D.; IBRAHIM, M.; KASS, D.; JIMENEZ, F.; CAMARGO, J. C. 1999. Productividad y calidad forrajera de *Brachiaria humidicola* en monocultivo y en asocio con *Acaciamangium* en un suelo ácido en el trópico húmedo. Agroforestería en las Américas, Turrialba, 6 (23):,48-50.

BOTERO, R. 1997. Fertilización racional y renovación de pasturas mejoradas en los suelos ácidos tropicales.En: */// Seminario sobre manejo y utilización de pastos y forrajes.* UNELLEZ, 1-14 (Colombia)

BURLEY, J. y SPEEDY, A. 1998. Investigación Agroforestal - Perspectivas Globales. En: Conferencia Electrónica de la FAOCIPAV sobre Agroforesterra para la Producción Animal en Latinoamérica. Artículo No.3.

CALZADA, B. 1982. Métodos estadísticos para la investigación. Quinta edición. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

CAMPOS, D.; TAVARES DE CASTRO, C.; DE MIRANDA, C.; MARTINS, R.; ÁVILA, M.; DIAS, M.; FERREIRA, D. 2010. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. journal home. Federal University of São João Del Rey, Praça Frei Orlando, N°170, CEP 36307-352 São João Del Rei, Minas Gerais, Brazil.

CARRANZA, C. LEDEZMA, M. 2004. Sistemas silvopastoriles en el Chaco Árido. INTA. Villa Dolores, Córdoba. Argentina. En línea:  
<http://www.biblioteca.org.ar/libros/210139.pdf>. Revisado 13/09/2017.

CARVALHO, M.; XAVIER, D.; FREITAS, V.P. 1996. Efecto de dos especies de árboles forrajeros sobre la adición de nutrientes a la *Brachiaria decumbens* Stapf. In: TALLER INTERNACIONAL "LOS ÁRBOLES EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCION GANADERA". Matanzas, Cuba, 26-29 de noviembre de 1996. Resúmenes: Matanzas. p. 48. Uso de leguminosas arbóreas en la recuperación y sustentabilidad de pasturas cultivadas.

CASADO, C. 2001. Evaluación del bosque deciduo como recurso alimenticio para bovinos en los llanos centrales de Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 19(2): 139-150.

CASANOVA, O. y EDUARDO, F. 2005. Introducción a la ciencia del suelo/ Caracas: U.C.V. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Colección estudios. p 482.

CASANOVA, E. FIGUEREDO, Y. SOTO, R. NOVOA, R. VALERA, R. 2006. Efecto de la frecuencia de corte en el comportamiento de *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT – 115 en el periodo poco lluvioso. *Rev. Cubana Cienc.Agric.* 40:465

CHURCH, D. 1984. Alimentos y alimentación del ganado. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur S. R. L. Uruguay.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT). 2000. *Panicum maximum*. Consultado 3 diciembre del 2017. En línea: <http://ciat.cgiar.org/es/>. Brasil.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT) 2000. *Panicum maximum*. Consultado 26 enero del 2018. En línea: <http://ciat.cgiar.org/es/>. Brasil.

CONNOR, D. 1983. Plants stress factors and their influence on production of agroforestry plant associations. In: P.A. Huxley (ed.). Plant Research and Agroforestry. ICRAF, Nairobi. p. 401-24.

CRESPO, G. 2008. Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 42, núm. 4, pp. 329-335. Instituto de Ciencia Animal. La Habana – Cuba.

DEINUM B., R.D. SULASTRI, M.H.J. ZEINAB Y A. MAASSEN. 1996. Effects of light intensity on growth, anatomy and forage quality of two tropical grasses (*Brachiaria brizantha* and *Panicum maximum* var. *trichoglume*). Netherlands J. Agric. Sci., 44:111-124.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2012. Guía para la descripción de suelos. Roma. 99 p.

ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAD PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2008. [www/fao.org](http://www/fao.org). Fondo Documentario. El proceso de desertificación en las tierras de pastoreo y su reversión.

ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAD PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2012. Manual de Evaluación de Recursos Forestales (ERF). Consultado el 04 de enero del 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/ae578s/AE578S06.htm>

FERNÁNDEZ, J.L. BENÍTEZ, D.E. GÓMEZ, I. DE SOUZA A. Y ESPINOSA R. 2004. Rendimiento de materia seca y contenido de proteína bruta del pasto *Panicum maximum* vc likoni en un suelo vertisol de la provincia Granma. Instituto de Investigaciones



Agropecuarias “Jorge Dimitrov”, Carretera Bayamo-Manzanillo, km 16 ½, Bayamo, Granma.

GARCÍA, I. 2002. Nutrición de rumiantes. Disponible en: <http://www.angelfire.com/ar/iagg101/images/vansoest2.PDF>. pág 4.

GEENTY, G. y RATTRAY, P. 1987. The energy requirements of grazing sheep and cattle. In Livestock Feeding on Pasture. Occasional publication N° 10. 145 p.

GIRALDO, L. 1996. El papel de la Agroforestería en la Producción Animal y el Medio Ambiente. Memorias Primer Seminario Nacional Agroambiental. El manejo ecológico de la producción y la sanidad agropecuaria. Medellin, Agosto 21 al 23 de 1996. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. pp: 51-67.

GONZÁLEZ, L. 2013. Evaluación de la composición nutricional de microsilos de King grass “*Pennisetum purpureum*” y pasto saboya “*Panicum máximum* Jacq” en dos estados de madurez con 25% de contenido ruminal de bovinos faenados en el camal municipal del cantón Quevedo. Latacunga, Cotopaxi. Pp 35 – 56

HUMPHREYS, L. 1981. Environmental adaptation of tropical pasture plants. Mcmillan Publishers, London. 216p.

INTERNACIONAL CENTRE FOR RESEARCH IN AGROFORESTY (ICRAF). 1998. Respuesta a nuevas demandas tecnológicas, fortalecimiento de la investigación en agroindustria y el manejo de recursos naturales. Reporte final enero del 96 a Junio 1998. Banco Interamericano de Desarrollo.

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES (INRENA). 1995. Mapa Ecológico del Perú. Ministerio de Agricultura. Lima. 271 p.

JUÁREZ, H.; BOLAÑOS, E.; VARGAS, V. y MEDINA, P. 2006. Contenido de proteína por unidad de materia seca acumulada en diferentes especies de pastos tropicales. Avances en la Investigación Agrícola, Pecuaria, Forestal y Acuícola en el Trópico Mexicano. INIFAP, UV, CP, UACH, ITUG, ITBR y UNAM. Veracruz: 299–320.

KEPHART K.D. and BUXTON D.R. 1993. Forage quality responses of C3 and C4 perennial grasses to shade. *Crop Science*, 33, 831–837.

KORTE, C.; CHU A. y FIELD, T. 1987. Pasture production. In.- livestock feeding on pasture. Occasional publication Nro. 10. 145 p.

LEDESMA, R. 2006. Desarrollo de sistemas ganaderos: una alternativa de manejo en ecosistemas degradados del Chaco semiarido. Masters Tesis, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero, p 134

LUDWIG F.; DE KROON H.; PRINS H. and BERENDSE F. 2001. Effects of nutrients and shade on tree-grass interaction in an East African savanna. *Journal of Vegetation Science*, 12, 579–588.

LIBREROS, H.; BENAVIDES, J.; KASS, D.; PEZO, D. 1994. Productividad de una plantación asociada de poró (*Erythrina poeppigiana*) y King grass (*Pennisetum purpureum* x *P. typhoides*). I. Efecto de la adición de follaje al suelo sobre la producción y calidad de la biomasa. In: BENAVIDES, J.E. ed. Árboles y arbustos forrajeros en América Central. Turrialba: CATIE – Programa de Agricultura Sostenible, v. 2, p. 453-473.

LOAYZA, J. 2008. Evaluación del pasto saboya (*Panicum maximum* Jacq.) en el periodo de mínima precipitación, sometido a tres sistemas de pastoreo, en el acabado de toretes y vaconas charbray, en la hacienda San Antonio. Consultado en Línea el 28 de Noviembre del 2017. Disponible en: [repositorio.espe.edu.ec/bitstream/.../4/T-ESPE-IASA%20II-002059.pdf](http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/.../4/T-ESPE-IASA%20II-002059.pdf)

LOBO, M. Y DIAZ, O. 2001. Manual de Agrostología. EUNED, San José, Costa Rica. 176 p. Machado, R. 2012. Comportamiento de 19 accesiones de *Panicum máximum* Jacq. Bajo condiciones de pastoreo en un suelo de mediana fertilidad. Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”, Universidad de Matanzas. Cuba. p. 204, 207.

LOK, S.; CRESPO, G.; FRÓMETA, E. y FRAGA, S. 2006. Estudio de indicadores de estabilidad del pasto y el suelo en un sistema silvopastoril con novillas lecheras. Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, La Habana - Cuba.

MARTÍNEZ, J. 2013. Producción y descomposición de hojarasca caen en sistemas silvopastoriles de estratos múltiples y su efecto sobre propiedades biorgánicas del suelo en el valle medio del Río Sinú. Consultado el 04 de noviembre del 2017. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11621/1/64557713.2014.pdf>

MOLINA, J. 2006. Evaluación del comportamiento del Taiwán morado (*Pennisetum purpureum*) con dos niveles de fertilización nitrogenada y tres edades de corte. Tesis Ing. En producción Animal. Universidad Nacional Experimental del Táchira, DIPA, San Cristóbal, VE. P44.

MONTAGNINI, F. 1992. Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos, 2a ed. San José, CR. Organización para Estudios Tropicales. 622 p. 1992. Consultado el 04 de Noviembre del 2017. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/11621/1/64557713.2014.pdf>

NAVARRO, G. 2013. Química agrícola – Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Tercera edición. España. Pp 51-78.

NAIR, P. 1993. An introduction to agroforestry. Dordrescht, the Netherlands Kluwer Academic.

NEEL, J.; FELTON, E.; SINGH, S.; SEXTONE, A.; and BELESKY D. 2016. Open pasture, silvopasture and sward herbage maturity effects on nutritive value and fermentation characteristics of cool-season pasture. *Grass and Forage Science*, 71, 259–269.

NUÑEZ, J. 2017. Perfil alimentario y plan de pastoreo para la producción lechera con pasturas *panicum maximum* jacq. Tesis para optar el grado de magister scientiae en producción animal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú.

OBISPO, N.; ESPINOZA, Y.; GIL, J.; OVALLES, F.; CABRERA, E. y PÉREZ, M. 2008. Relación de la proporción de sombra en el potrero con el rendimiento, calidad del forraje y ganancia diaria de peso en novillos. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP). Maracay, Aragua. Venezuela.

OBISPO, N.; ESPINOZA, Y.; GIL, J.; OVALLES, F.; RODRIGUEZ, M. 2008. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril. *Zootecnia Tropical* 26:285–288

OLIVA, S. 2016. Influencia de factores socioeconómicos y ambientales sobre la adopción de tecnologías silvopastoriles por productores ganaderos, Distrito de Molinopampa, Amazonas. Tesis para obtener el grado de Mg. Sc. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 102 p.

OLMOS F.; BALMELLI, G.; PÉREZ GOMAR, E. 1993. Estudios para la implementación de sistemas agro-silvo-pastoriles. En: *Pasturas en Suelos Arenosos. Día de Campo*. INIA Tacuarembó. 22p.

PACIULLO, D.; DE CARVALHO, C.; AROEIRA, L.; MORENZ, M.; LOPES, F.; ROSSIELLO, R. 2007. Morfofisiología y valor nutritivo de capim- braquiária en sombreado natural y a pleno sol. *Pesq. Agrop. Bras.*, 42(4): 573-579.

PACIULLO, D.; PIRESM, F.; AROEIRA, L.; MORENZ, M.; MAURICIO R. and GOMIDE C. 2014. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grass-legume pastures shaded by tropical trees. *Animal*, 8, 1264–1271.

PACIULLO, D.; GOMIDE, C.; CASTRO, C.; MAURICIO, R.; FERNANDES, P. and MORENZ M. 2016. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. Embrapa Dairy Cattle, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil, Federal University of Sao Joao Del Rei, Sao Joao del Rei, Minas Gerais, Brazil

PEZO, D., KASS, D., BENAVIDES, J., ROMERO, F. 1990. Potencial of legume tree fodders as animal feed in central America. En *Devendra, C. (ed). Shrubs and tre fodders for farm animals*. Ottawa, Canada. IDRC. Pp. 163-175

PEZO, D., IBRAHIM, M. 1996. Sistemas silvopastoriles, una opción para el uso sostenible de la tierra en sistemas ganaderos. En Pastoreo intensivo en zonas tropicales. 1er Foro internacional. FIRA/Banco de México. Veracruz, México. 35p. Consultado el 14 de noviembre del 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4435S/y4435s07.htm>

PITA, P. 2010. La importancia de la ganadería. Consultado en línea el 1 de enero del 2018. Disponible en: [www.dspace.espol.edu.ec/.../9.%20CAPÍTULO%201%20IMPORTANCIA.html](http://www.dspace.espol.edu.ec/.../9.%20CAPÍTULO%201%20IMPORTANCIA.html).

PIRELA, F. 2005. Manual de Ganadería Doble Propósito. Valor nutritivo de los pastos tropicales. Cap. 6. p. 177.

PORTA, J.; LOPES, M. y ROQUERO, C. 2003. Edafología para la Agricultura y el medio ambiente. 3era edición. Mundi- prensa. Barcelona. Madrid. 929 p.

RAMÍREZ. O., HERNÁNDEZ, A., CARNEIRO, S., PÉREZ, J., FRANCISCO, J., RAYMUNO, A., GUADALUPE, J. y CERVANTES, A. 2009. Acumulación de forraje, crecimiento y características estructurales del pasto Mombaza (*Panicum máximum* Jacq.) cosechado a diferentes intervalos de corte. Universidad Autónoma de Guerrero. Revista Técnica Pecuaria. Vol. 47 N° 2. p. 203-213. México.

REYNOLDS. S. 1995. Pasture – castle – coconut systems, Bangkok, thailand. FA, regional office for Asia and the Pacific.

RODRÍGUEZ, O.; SÁNCHEZ, A.; MENDOZA, B.; RODRÍGUEZ, Z.; RODRÍGUEZ, M.; RODRÍGUEZ, V. y GUERRA, E. 2011. Capacidad de extracción de cationes mediante acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. Interciencia, Vol. 36 N° 3: 219 – 223

SADEGHIAN, S. 2004. Impacto de la ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. Agroforestería para la producción animal en América Latina. Roma, FAO. p.123-41. Consultado el 14 de noviembre del 2017  
Disponible en: <http://www.fao.org/wairdocs/lead/x6343s/x6343s00.htm>

SADEGHIAN, S.; RIVERA, L. and GOMEZ, M. 1998. Impacto de sistemas de Idilladerfa sobre las. características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. In FAO Conf. Electrónica AGROFOR 1 *Agroforestería para la producción animal en latinoamerica tropical*.

SÁNCHEZ, P. 1981. Suelos del trópico. Características y manejo. Edit. IICA. San José - Costa Rica.

SÁNCHEZ, P.1987. Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. In: H.A. Steppler & P.K.R. Nair (eds.). *Agroforestry - A decade of development*. Nairobi. ICRAF. p. 205-23.

SÁNCHEZ, P.; CASTILLA, C.; ALEGRE, J. 1989. Grazing pressure effects on the pasture degradation process. Documento N° 42511 CIAT. 182-187 p

SÁNCHEZ, T., PEDRAZA, R. & BENÍTEZ, M. 2006 Caracterización de la composición química y la degradación de la materia seca de la comunidad vegetal en un sistema silvopastoril. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería Pecuaria para la Producción Pecuaria Sostenible. Varadero, Cuba. (CDROM)

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI). 2018. Consultado el 14 de noviembre del 2017. Disponible en: <http://www.senamhi.gob.pe/?p=monitoreo-decadal-precipitación>

SIMON, K. y JACOBS, S. 2003. *Megathyrus*, a new generic name for *Panicum* subgenus *Megathyrus*. Rev. Austrobaileya. The Catalogue of New World Grasses.vol. 1. 6(3): 571–574. Brisbane. Australia.

SOARES, A.B., L.R. SARTOR, P.F. ADAMI, A.C. VARELLA, L. FONSECA, AND J.C. MEZZALIRA. 2009. Influence of luminosity on the behavior of eleven perennial summer forage species. Rev. Bras. Zootec. 38(3):443–451.

TEJOS, R. 2001. alternativas de manejo de pasturas para bovinos post destete. XII Jornadas Técnicas de Ganadería en el estado de Táchira, p. 19-35.

TIESZEM, L.L. 1983. Photosynthetic systems: Implications for agroforestry. **In:** P.A. Huxley (ed.). Plant research and agroforestry. ICRAF, Nairobi. p.323-46.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. USA.

VALENCIA, E. 2010. Manual de Manejo de Parcelas en Pastoreo. Consultado en línea el 2 de diciembre del 2017. Disponible en:

[http://avalon.cuautitlan2.unam.mx/vaquillas/manuales/manual\\_pastoreo.pdf](http://avalon.cuautitlan2.unam.mx/vaquillas/manuales/manual_pastoreo.pdf)

VAN SOEST, P. 1985. Composition, Fiber Quality and Nutritive Value of Forages. En: Forages the Science of Grassland and Agriculture. Iowa State University Press. Ames. USA.

VAN SOEST, P. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2d. Edition. Cornell University Press. Ithaca and London.

VERDECIA, M. 2008. Rendimiento y componentes del valor nutritivo del *Panicum maximum* cv. Tanzania. Revista electrónica de Veterinaria. Volumen IX. N°5.

VILLACIS, J.; HARVEY, C.A.; IBRAHIM, M.; VILLANUEVA, C. (2003). Relaciones entre la cobertura arbórea y el nivel de intensificación de las fincas ganaderas en Río Frío, Costa Rica. Agrofor. Amér. 10: 17-23.

VILLAREAL, M. 1998. Alternativas forrajeras para el mejoramiento de los sistemas de producción ganadera. M. Sc. Alajuela, Costa Rica. ITCR. P 8

WILSON, J y LUDLOW, M. 1991. The environment and potential growth of herbage under plantations. Shelton, H.M. y W.W. Stur (eds). Forages for plantations crops. ACIAR Proceedings N° 32, Gambera, Australia. ACIAR. Pp 10-24

WONG, C. y WILSON, J. 1987. Effects of shading on the growth and nitrogen content of Green panic and siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. Australia journal of Agricultural Research 31: 269 – 285

XAVIER, D.F.; LEDO, F.J.S.; PACIULLO, D.S.C., URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R. and BODDE, R. 2014. Nitrogen cycling in a Brachiaria-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 99, 45–62.

YOUNG, A. 1989. *Agroforestry for soil conservation*. C.A.B. International, Wallingford. ICRAF.

ZELADA, E. 1996. Tolerancia a la sombra de especies forrajeras herbáceas en la zona atlántica de Costa Rica. Tesis Mg.Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE.88 p.

ZAPATA, H. 2004. *Química de la acidéz del suelo*. Medellín. Colombia. p 127.



## **VIII. ANEXOS**

**Anexo 1.** Base de datos de los promedios de la tasa de crecimiento kg MS/ha/día y fibra detergente neutro (%) en base seca.

Potrero	Tratamientos	Tasa de crecimiento (kgMS/ha/día)		FDN (%)	
		Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca
1	FCA	53.18	37.92	68.56	59.57
	BCAj	51.98	39.21	64.38	63.95
	BCAm	41.55	30.33	65.47	62.02
2	FCA	69.23	34.80	68.48	59.45
	BCAj	64.93	26.22	66.54	65.86
	BCAm	47.85	24.14	66.23	62.84
3	FCA	83.34	33.62	70.47	61.36
	BCAj	49.65	22.90	70.95	62.69
	BCAm	55.10	16.66	67.55	65.26
4	FCA	78.63	12.08	68.38	63.45
	BCAj	68.72	8.16	67.79	63.01
	BCAm	60.11	5.21	65.91	67.13

FCA : Fuera de la copa de los árboles.

BCAj : Bajo la copa del árbol joven.

BCAm : Bajo la copa del árbol mediano.

**Anexo 2.** Análisis de varianza para tasa de crecimiento kg MS/ha/día.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Probabilidad	Significancia
Ubicación	2	1208.988	604.4941	3.24	0.0677	NS
Época	1	6016.218	6016.218	32.24	<.0001	**
(Ubicación*Época)	2	203.7058	101.8529	0.55	0.5905	NS
Repetición	3	42.46960	14.15653	0.08	0.9721	NS
Error	39	2799.179	186.6119			
Total	47	10270.56				

NS : No significativo

\* : Significativo (p<0.05)

\*\* : Altamente significativo (p<0.01)

Promedio

Tratamientos	Época	
	Lluviosa	Seca
FCA	71.09 <sup>a</sup>	29.60 <sup>c</sup>
BCAj	58.82 <sup>ab</sup>	24.13 <sup>c</sup>
BCAm	51.15 <sup>b</sup>	19.08 <sup>c</sup>

Coefficiente de determinación (R <sup>2</sup> )	0.7274
Coefficiente de variabilidad (%)	30.9719
Promedio	44.1066

**Anexo 3.** Análisis de varianza para fibra detergente neutro %.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Probabilidad	Significancia
Ubicación	2	1.854923	0.927462	0.26	0.7769	NS
Época	1	122.1975	122.1975	33.83	<.0001	**
(Ubicación*Época)	2	39.45985	19.72992	5.46	0.0165	*
Repetición	3	2.381007	0.793669	0.22	0.8812	NS
Error	39	54.18739	3.612492			
Total	47	220.0807				

NS : No significativo

\* : Significativo (p<0.05)

\*\* : Altamente significativo (p<0.01)

Promedio:

Tratamientos	Época	
	Lluviosa	Seca
FCA	68.97 <sup>a</sup>	60.96 <sup>c</sup>
BCAj	67.41 <sup>a</sup>	63.88 <sup>b</sup>
BCAm	66.28 <sup>a</sup>	64.31 <sup>b</sup>

Coefficiente de determinación (R <sup>2</sup> )	0.7537
Coefficiente de variabilidad (%)	2.9105
Promedio	65.3017

**Anexo 4.** Base de datos de proteína cruda (%) en base seca.

Potrero	Tratamiento	Repetición	Proteína (%)	
			Época lluviosa	Época seca
1	FCA	1	10.15	7.97
		2	10.02	8.08
	BCAj	1	12.32	9.51
		2	12.35	9.64
	BCAm	1	13.61	11.35
		2	13.75	10.94
2	FCA	1	9.26	8.80
		2	9.21	8.97
	BCAj	1	11.95	9.95
		2	11.59	9.99
	BCAm	1	13.74	11.32
		2	13.50	11.66
3	FCA	1	12.53	9.68
		2	12.64	9.67
	BCAj	1	14.70	11.69
		2	14.93	11.88
	BCAm	1	14.83	13.54
		2	14.99	13.93
4	FCA	1	10.60	9.15
		2	10.24	9.16
	BCAj	1	12.25	9.69
		2	12.26	9.73
	BCAm	1	13.24	11.36
		2	13.43	11.85

FCA : Fuera de la copa de los árboles.

BCAj : Bajo la copa del árbol joven.

BCAm : Bajo la copa del árbol mediano.

**Anexo 5.** Análisis de varianza para proteína cruda en base seca.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Probabilidad	Significancia
Ubicación	2	81.39716	4098580	210.68	<.0001	**
Época	1	49.14850	49.14850	254.43	<.0001	**
(Ubicación*Época)	2	1.675253	0.837626	4.34	0.0199	*
Repetición	3	37.03687	12.34562	63.91	<.0001	**
Error	39	7.533805	0.193174			
Total	47	176.7916				

NS : No significativo

\* : Significativo ( $p < 0.05$ )

\*\* : Altamente significativo ( $p < 0.01$ )

Promedio:

Tratamientos	Época	
	Lluviosa	Seca
FCA	10.58 <sup>c</sup>	8.93 <sup>d</sup>
BCAj	12.79 <sup>b</sup>	10.26 <sup>c</sup>
BCAm	13.88 <sup>a</sup>	11.99 <sup>b</sup>

Coefficiente de determinación ( $R^2$ )	0.9574
Coefficiente de variabilidad (%)	3.8527
Promedio	11.4075

**Anexo 6.** Base de datos de los promedios de calcio y fósforo (% en base seca)

Potrero	Tratamientos	Ca (%)		P (%)	
		Época	Época	Época	Época
		Lluviosa	Seca	lluviosa	seca
1	FCA	0.68	0.70	0.18	0.09
	BCAj	0.90	0.95	0.21	0.11
	BCAm	0.91	1.10	0.22	0.11
2	FCA	0.67	0.69	0.18	0.09
	BCAj	0.93	0.99	0.22	0.11
	BCAm	0.92	1.11	0.22	0.11
3	FCA	0.77	0.76	0.22	0.08
	BCAj	0.75	0.78	0.22	0.08
	BCAm	0.91	1.00	0.26	0.09
4	FCA	0.75	0.78	0.21	0.08
	BCAj	0.72	0.78	0.20	0.09
	BCAm	0.89	1.02	0.25	0.09

FCA : Fuera de la copa de los árboles.

BCAj : Bajo la copa del árbol joven.

BCAm : Bajo la copa del árbol mediano

**Anexo 7.** Análisis de varianza de calcio.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Probabilidad	Significancia
Ubicación	2	0.267035	0.133517	27.30	<.0001	**
Época	1	0.029626	0.029962	6.13	0.0257	*
Ubicación*Época	2	0.019605	0.009802	2.00	0.1693	NS
Repetición	3	0.016833	0.005611	1.15	0.3622	NS
Error	39	0.073365	0.004891			
Total	47	0.406802				

NS : No significativo

\* : Significativo (p<0.05)

\*\* : Altamente significativo (p<0.01)

Promedio:

Tratamientos	Época	
	Lluviosa	Seca
FCA	0.20 <sup>b</sup>	0.08 <sup>c</sup>
BCAj	0.21 <sup>b</sup>	0.10 <sup>c</sup>
BCAm	0.23 <sup>b</sup>	0.10 <sup>c</sup>

Coefficiente de determinación (R <sup>2</sup> )	0.8197
Coefficiente de variabilidad (%)	8.2132
Promedio	0.8517

**Anexo 8.** Análisis de varianza para fósforo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Probabilidad	Significancia
Ubicación	2	0.002512	0.001256	5.23	0.0189	*
Época	1	0.088950	0.088695	369.48	<.0001	**
(Ubicación*Época)	2	0.001122	0.000561	2.34	0.1307	NS
Repetición	3	0.000036	0.000012	0.05	0.9844	NS
Error	15	0.003600	0.000240			
Total	23	0.095966				

NS : No significativo

\* : Significativo ( $p < 0.05$ )

\*\* : Altamente significativo ( $p < 0.01$ )

Promedio:

Tratamientos	Época	
	Lluviosa	Seca
FCA	0.72 <sup>c</sup>	0.73 <sup>c</sup>
BCAj	0.83 <sup>b</sup>	0.87 <sup>b</sup>
BCAm	0.91 <sup>b</sup>	1.06 <sup>a</sup>

Coefficiente de determinación ( $R^2$ ) 0.9624

Coefficiente de variabilidad (%) 9.9878

Promedio 0.155427

**Anexo 9.** Base de datos de los promedios de digestibilidad de la materia seca (% en base seca).

Potrero	Tratamiento	Digestibilidad (%)	
		Época lluviosa	Época seca
1	FCA	54.74	60.50
	BCAj	57.51	50.29
	BCAm	60.81	55.23
2	FCA	52.14	59.13
	BCAj	58.53	50.61
	BCAm	60.80	55.52
3	FCA	58.92	70.71
	BCAj	56.02	61.31
	BCAm	58.29	68.65
4	FCA	59.95	69.88
	BCAj	58.08	60.22
	BCAm	58.41	66.73

FCA : Fuera de la copa de los árboles.

BCAj : Bajo la copa del árbol joven.

BCAm : Bajo la copa del árbol mediano

**Anexo 10.** Análisis de varianza para digestibilidad in vitro de la materia seca.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Probabilidad	Significancia
Ubicación	2	88.89990	44.44995	3.20	0.0697	NS
Época	1	49.82401	49.82401	3.58	0.0778	NS
(Ubicación*Época)	2	113.7731	56.88657	4.09	0.0382	*
Repetición	3	212.6703	70.89011	5.10	0.0125	*
Error	39	208.4995	13.89997			
Total	47	673.6669				

NS : No significativo

\* : Significativo (p<0.05)

\*\* : Altamente significativo (p<0.01)



Promedio:

Tratamientos	Época	
	Lluviosa	Seca
FCA	56.44 <sup>b</sup>	65.06 <sup>a</sup>
BCAj	57.54 <sup>ab</sup>	60.61 <sup>ab</sup>
BCAm	59.58 <sup>ba</sup>	61.53 <sup>ab</sup>

Coeficiente de determinación ®	0.6905
Coeficiente de variabilidad (%)	6.2880
Promedio	59.29083

**Anexo 11.** Base de datos del promedio por potrero de la temperatura ambiental

Potrero	Tratamientos	Temperatura (°C)	
		Lluviosa	Seca
1	FCA	29.1	32.5
	BCAj	27.2	29.5
	BCAm	26.0	28.7
2	FCA	29.7	32.8
	BCAj	27.6	29.3
	BCAm	25.6	28.9
3	FCA	28.8	32.9
	BCAj	27.5	30.2
	BCAm	25.3	29.6
4	FCA	29.6	31.2
	BCAj	26.5	27.6
	BCAm	26.3	27.4

FCA : Fuera de la copa de los árboles

BCAj : Bajo la copa del árbol joven.

BCAm: Bajo la copa del árbol mediano

**Anexo 12.** Análisis de varianza para temperatura ambiental.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Probabilidad	Significancia
Ubicación	2	55.6933	27.84666	64.78	<.0001	**
Época	1	41.08166	41.08166	95.56	<.0001	**
(Ubicación*Época)	2	1.373333	0.686666	1.60	0.2350	NS
Repetición	3	3.441666	1.147222	2.67	0.0852	NS
Error	15	6.44833	0.429888			
Total	23	108.038				

NS : No significativo

\*: Significativo (p<0.05)

\*\*: Altamente significativo (p<0.01)

Promedios:

Tratamientos	Época	
	Lluviosa	Seca
FCA	29.2 <sup>b</sup>	32.3 <sup>a</sup>
BCAj	27.2 <sup>c</sup>	29.1 <sup>b</sup>
BCAm	25.9 <sup>d</sup>	26.6 <sup>b</sup>

Coefficiente de determinación (R <sup>2</sup> )	0.9403
Coefficiente de variabilidad (%)	2.2812
Promedio	28.7418

**Anexo 13.** Base de datos del promedio de temperatura del suelo.

Potrero	Tratamientos	Temperatura (°C)	
		Lluviosa	Seca
1	FCA	28.2	34.2
	BCAj	26.4	32.1
	BCAm	25.0	31.8
2	FCA	28.6	34.5
	BCAj	26.6	31.5
	BCAm	24.9	31.3
3	FCA	28.8	34.5
	BCAj	26.6	32.4
	BCAm	24.8	31.7
4	FCA	28.4	32.4
	BCAj	26.2	29.4
	BCAm	25.1	29.1

FCA : Fuera de la copa de los árboles.

BCAj : Bajo la copa del árbol joven.

BCAm: Bajo la copa del árbol mediano.

**Anexo 14.** Análisis de varianza para temperatura ambiental

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Probabilidad	Significancia
Ubicación	2	44.40083	22.20041	49.17	<.0001	**
Época	1	177.670	177.6704	393.49	<.0001	**
(Ubicación*Época)	2	1.27083	0.635416	1.41	0.2753	NS
Repetición	3	6.96458	2.321527	5.14	0.0121	*
Error	15	6.77291	0.451527			
Total	23	237.079				

NS : No significativo

\* : Significativo (p<0.05)

\*\* : Altamente significativo (p<0.01)

Promedios

Tratamientos	Época	
	Lluviosa	Seca
FCA	28.5 <sup>c</sup>	33.9 <sup>a</sup>
BCAj	26.5 <sup>d</sup>	31.3 <sup>b</sup>
FCAm	24.9 <sup>e</sup>	30.9 <sup>b</sup>

Coefficiente de determinación (R <sup>2</sup> )	0.9714
Coefficiente de variabilidad (%)	2.2891
Promedio	29.3541

**Anexo 15.** Base de datos del promedio de humedad del suelo.

Potrero	Tratamientos	Humedad (%)	
		Lluviosa	Seca
1	FCA	17.81	10.36
	BCAj	17.05	11.01
	BCAm	19.97	12.54
2	FCA	13.42	11.94
	BCAj	17.47	12.44
	BCAm	17.34	13.18
3	FCA	14.15	8.82
	BCAj	15.48	9.03
	BCAm	18.31	9.61
4	FCA	16.98	10.37
	BCAj	17.66	10.83
	BCAm	19.10	11.77

FCA: Fuera de la copa de los árboles

BCAj: Bajo la copa del árbol joven.

BCAm: Bajo la copa del árbol mediano

**Anexo 16.** Análisis de varianza para la humedad del suelo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F-Valor	Probabilidad	Significancia
Ubicación	2	20.47240	10.23622	7.48	0.0056	**
Época	1	221.0694	221.06940	161.58	<.0001	**
(Ubicación*Época)	2	2.8485750	1.4242875	1.04	0.3773	NS
Repetición	3	17.81223	5.9374111	4.34	0.0217	*
Error	15	20.52267	1.3681811			
Total	23					

NS : No significativo

\* : Significativo ( $p < 0.05$ )

\*\* : Altamente significativo ( $p < 0.01$ )

Promedio:

Tratamientos	Época	
	Lluviosa	Seca
FCA	15.6 <sup>b</sup>	10.4 <sup>c</sup>
BCAj	16.9 <sup>ab</sup>	10.8 <sup>c</sup>
BCAm	16.7 <sup>a</sup>	11.8 <sup>c</sup>

Coeficiente de determinación ( $R^2$ )	0.9274
Coeficiente de variabilidad (%)	8.3390
Promedio	14.0262