

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

Título de la tesis

Evaluación del rendimiento y calidad de pastos mejorados en asocio con árboles dispersos de *Guazuma ulmifolia* en sistemas doble propósito, Los Santos, Panamá

Tesis sometida a consideración de la División de Educación y la Escuela de Posgrado como requisito para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

en Agroforestería y Agricultura Sostenible

Nombre del estudiante

Leonel Alberto Ríos Gutiérrez

Turrialba, Costa Rica

2021

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA Y
AGRICULTURA SOSTENIBLE**

FIRMANTES:



Cristóbal Villanueva Najarro, M.Sc.
Codirector de tesis



Danilo Pezo Quevedo, Ph.D.
Codirector de tesis



Domiciano Herrera Domínguez, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.
Miembro Comité Consejero/Decano, Escuela de Posgrado



Leonel Alberto Ríos Gutiérrez
Candidato

Dedicatoria

Sean estas primeras líneas para agradecerle a Dios todo poderoso por haberme dado la oportunidad de llegar a la parte final de mi posgrado, por protegerme y dado la fuerza para superar este reto lejos de casa.

A mis padres, Leonel y Anays, por apoyarme y estar siempre pendiente de mi bienestar.

A mi esposa, Librada Aneth por ser ese motor que me sostuvo en todo este período lejos de casa. Gracias por tu espera, dedicación y apoyo.

A mis hermanos, tíos, primos y amigos por haber creído en mí y darme fortaleza en todo este proceso.

Agradecimiento

Agradezco al Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá, por el apoyo brindado para estudiar mi especialidad; a nuestro Director General, Dr. Arnulfo Gutiérrez, y todo el equipo que hizo posible esta meta. A mis compañeros de trabajo de la estación experimental de El Ejido, en especial al Ing. Luis Barahona, por todo su apoyo.

A la Secretaría de Ciencia y Tecnología (SENACYT), por haberme otorgado la beca de estudio de mi posgrado en el Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza (CATIE), mil gracias.

Al CATIE, por abrirme las puertas de este hermoso centro de estudios, al director general, Dr. Muhammad Ibrahim, por estar siempre pendiente de sus estudiantes del área silvopastoril. A todo el personal técnico y administrativo. A mis profesores consejeros, Dr. Cristóbal Villanueva y Dr. Danilo Pezo, gracias por su tiempo, disciplina y dedicación en todo este proceso. A los miembros del comité asesor, Ing. Domiciano Herrera, por sus consejos y seguimiento en todas las fases de mi tesis, al Dr. Roberto Quiroz, por su apoyo en todo el proceso de la maestría, gracias por sus enseñanzas.

Contenido

1. Evaluación del rendimiento y calidad de pastos mejorados en asocio con árboles dispersos de <i>Guazuma ulmifolia</i>, en sistemas doble propósito, Los Santos, Panamá. ...	1
2. Resumen	1
3. Introducción	2
4. Metodología	3
4.1 Ubicación	3
4.3 Establecimiento de jaulas de evaluación	4
4.4 Manejo de potreros seleccionados.....	5
4.5 Caracterización del sitio de muestreo	5
4.5.1 Características meteorológicas.....	5
4.5.2 Análisis de suelo.....	6
4.6 Variables a medir	6
4.6.1 Producción de biomasa forrajera en kg de MS ha ⁻¹	6
4.6.2 Valor nutritivo	6
4.6.3 Porcentaje de hojas.....	6
4.6.4 Altura de la planta.....	6
4.6.5 Radiación fotosintéticamente activa (RAFA).....	7
4.7 Diseño experimental	7
4.8 Análisis estadístico.....	7
5. Resultados y discusión.....	7
5.1 Caracterización del sitio de muestreo	7
5.1.1 Variables dasométricas.....	7
5.1.2 Variables de suelo	8
5.2 Disponibilidad y valor nutritivo de los pastos	9
5.2.1 Producción de biomasa.....	9
5.2.2 Valor nutritivo	12
5.3 Variables morfológicas.....	14
5.3.1 Porcentaje de hojas.....	14
5.3.2 Altura de los pastos (m).....	15
5.4 Radiación fotosintéticamente activa (RAFA)	16
6. Conclusión	17
7. Recomendaciones	17

Índice de cuadros

Cuadro 1. Variables meteorológicas en la localidad de Macaracas, Los Santos, Panamá ...	5
Cuadro 2. Variables dasométricas de la especie arbórea <i>Guazuma ulmifolia</i> en asocio con pastos <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandú y <i>Megathyrsus maximus</i> cv Mombasa Los Santos, Panamá	8
Cuadro 3. Medias y (EE) de variables de suelo en parcelas de pastos bajo la copa y fuera de la copa en sistemas doble propósito, Los Santos, Panamá.	8
Cuadro 4. Rendimiento en (kg MS ha ¹) en la posición de a pleno sol y bajo la copa según fecha de corte y precipitación pluvial en potreros de árboles dispersos de <i>Guazuma ulmifolia</i> , Los Santos, Panamá.	9
Cuadro 5. Rendimiento en (kg MS ha ¹) de los pastos Mombasa y Marandú según fecha de corte y precipitación pluvial en potreros de árboles dispersos de <i>Guazuma ulmifolia</i> , Los Santos, Panamá	11
Cuadro 6. Valor nutritivo de los pastos Mombasa y Marandú bajo sombra y a pleno sol en potreros con árboles dispersos de <i>Guazuma ulmifolia</i> , Los Santos, Panamá.....	13
Cuadro 7. Porcentaje de hojas para Sombra y sol según fecha de corte en los pastos Mombasa y Marandú, Los Santos, Panamá	14
Cuadro 8. Porcentaje de hojas en los pastos Mombasa y Marandú según fecha de corte, Los Santos, Panamá.	15
Cuadro 9. Porcentaje de hojas en las posiciones bajo la copa y a pleno sol en los pastos Mombasa y Marandú, Los Santos, Panamá	18
Cuadro 10. Altura de los pastos Mombasa y Marandú en la interacción según fecha de corte, en Los Santos, Panamá.	16
Cuadro 11. Radiación fotosintética activa (RAFA) en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a pleno sol y bajo la copa del árbol de <i>Guazuma ulmifolia</i> , en función de la fecha de muestreo.	16

Índice de figuras

Figura 1. Mapa que muestra la zona de vida del área de estudio. Fuente: adaptado de Holdridge (1967).	4
Figura 2. Relación entre la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y humedad de suelo bajo la copa del árbol en jaulas de evaluación, Los Santos, Panamá.	10
Figura 3. Relación entre la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y humedad de suelo fuera de la copa del árbol en jaulas de evaluación, Los Santos, Panamá.	11
Figura 4. Relación del rendimiento en kg MS ha ⁻¹ y el déficit de presión de vapor en pastos Mombasa y Marandú, Los Santos, Panamá.	12

Lista de acrónimos

Sigla	Definición
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, Panamá
UA	Unidad animal
SSP	Sistemas silvopastoriles
RAFA	Radiación fotosintéticamente activa
IC	Intervalo de corte
MS	Materia seca
ANAM	Autoridad Nacional del Ambiente, Panamá
DAP	Diámetro a la altura del pecho
IDIAP	Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá
AIC	Criterio de información akaike
BIC	Criterio de información bayesiano
NIRS	Espectrofotometría por infrarrojo cercano
PC	Proteína cruda
ET	Extracto etéreo
FDN	Fibra detergente neutra
FDA	Fibra detergente ácida
TDN	Total de nutrientes digestibles
VPD	Déficit de presión de vapor

1. Evaluación del rendimiento y calidad de pastos mejorados en asocio con árboles dispersos de *Guazuma ulmifolia* en sistemas doble propósito, Los Santos, Panamá

Leonel Alberto Ríos Gutiérrez¹

¹ Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, Costa Rica. Leonel.Rios@catie.ac.cr

2. Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar la disponibilidad y calidad de pastos en potreros con árboles dispersos de *Guazuma ulmifolia* en fincas de doble propósito en la provincia de Los Santos, Panamá. El diseño utilizado fue en parcelas divididas en el tiempo, completamente aleatorizado, con un arreglo trifactorial donde el tipo de pastura (pastos *Urochloa brizantha* cv. Marandú, *Megathyrus maximus* cv. Mombasa), corresponde a la parcela principal, la posición bajo la copa y a pleno sol a la subparcela, y el tiempo (cortes 1, 2, 3, 4) a la sub-subparcela. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de materia seca, valor nutritivo, altura de planta, porcentaje de hojas y radiación fotosintéticamente activa. La variable biomasa en kg MS ha⁻¹ presentó diferencia significativa ($p < 0,05$) para las interacciones posición*corte y pasto*corte. En cuanto al valor nutritivo, los porcentajes de proteína cruda, cenizas y lignina para el pasto Marandú fueron superiores cuando creció bajo la copa del árbol; mientras que los contenidos de FDA y FDN fueron superiores a pleno sol. En cambio, para el pasto Mombasa, los valores de proteína cruda, FDN, cenizas y TDN fueron superiores cuando creció bajo la copa, pero la FDA y la lignina fueron superiores a pleno sol. Para las variables morfológicas, las interacciones posición*pasto y corte*pasto y corte*posición, existió significancia ($p < 0,05$); el porcentaje de hojas; y solo la interacción corte*pasto tuvo diferencia significativa ($p < 0,05$) para la altura de planta. Para la radiación fotosintéticamente activa (RAFA), la sombra de los árboles de *G. ulmifolia* produjo una reducción del 60 % durante los meses de diciembre y enero, respectivamente; mayor a la observada para los meses de febrero y abril (39,77 y 40,15 %, respectivamente). La reducción de la RAFA resultó en una disminución en disponibilidad de biomasa (27,0, 27,2 y 16,4%, en los meses de diciembre, enero y febrero, respectivamente); en contraste en el mes de abril, el rendimiento bajo la copa fue un 7,0% superior con respecto al sol. En términos generales, los resultados obtenidos sugieren que estos pastos pueden producir potencialmente menos forraje cuando crecen bajo sombra, pero con mejor valor nutritivo en términos de proteína cruda.

Palabras claves: *Urochloa brizantha* cv. Marandú, *Megathyrus maximus* cv. Mombasa, porcentaje de hojas, radiación fotosintéticamente activa (RAFA).

Abstract

The objective of this study was to evaluate the availability and quality of grasses in paddocks with scattered *Guazuma ulmifolia* trees present in dual-purpose cattle farms Los Santos Province, Panama. The experimental design used was a completely randomized Split-split plot with a trifactorial arrangement with the type of pastures (Marandú and Mombasa grasses) in the main plots, the position inside and outside the tree as the subplot, and the four harvest times as the sub-subplot. The variables evaluated were biomass availability, nutritive value, plant height, percentage of leaves, and photosynthetically active radiation. For biomass availability in kg DM ha⁻¹, significant differences ($p < 0,05$) were detected for the position * harvest, and grasses * harvest interactions. For nutritional value, in the case of Marandú grass, the crude protein, ash and lignin contents were higher when it grew under the tree canopy, while the FDA and FDN contents were higher when grown in full sun. For Mombasa grass, the crude protein, NDF, ash and TDN percentages were higher when it grew under the tree canopy, whereas the ADF and lignin contents were higher when grown in full sun. For the morphological variables, the position * grass, harvest * grass and harvest * position interactions were significant ($p < 0,05$) for the percentage of leaves, whereas, for plant height only the interaction harvest * grass was significant ($p < 0,05$). The shade of *Guazuma ulmifolia* resulted in photosynthetically active radiation (PAR) reductions of 59.77 and 59.7% in December and January, respectively, which was greater than the one observed for February and April (39.77 and 40.15%, respectively). The RAFA reduction resulted in a decline in forage availability (27,0, 27,2 and 16,39%, for December, January, and February, respectively); whilst in April the forage availability under the canopy was 7% higher. Based on the results obtained, we suggest that Marandú and Mombasa grasses could produce less biomass growing under tree shade, but of better nutritional value.

Key words: *Urochloa brizantha* cv. Marandú, *Megathyrus maximus* cv. Mombasa, percentage of leaves, photosynthetically active radiation (RAFA).

3. Introducción

La ganadería es una actividad que representa el mayor uso de la tierra en América Latina, la cual con frecuencia se ha establecido en áreas con suelos poco aptos para la agricultura intensiva. Además, la ganadería bovina contribuye de forma directa al producto interno bruto de varios países (Argel 2006; FAO 2008). En Panamá, el sector agropecuario en general es de gran importancia para la seguridad alimentaria del país; existen 5338 fincas dedicadas a la producción de leche, de las cuales el 91% corresponden al sistema bovino de doble propósito (INEC 2012).

Por años se ha considerado el sistema doble propósito como una actividad ganadera tradicional, en donde los productores mayormente pequeños, trabajan con los requerimientos básicos para la producción. Este sistema es a su vez una fuente de ahorro ya que capitalizan sus recursos con diferentes actividades realizadas en la finca; pero, por lo general presentan baja productividad, la que suele asociarse con factores tales como la ubicación de la finca en suelos pobres y baja disponibilidad de agua especialmente durante la canícula y el período seco, lo cual se ha visto exacerbado por el cambio climático, los que en su conjunto afectan el crecimiento de los forrajes.

Además, en estas fincas a menudo hay un mal manejo de los pastos, lo que resulta en una baja disponibilidad y pobre calidad de los forrajes, que además es acompañado por la baja calidad genética de los animales (Argel 2006; Ríos *et al.* 2015).

Los sistemas silvopastoriles (SSP), se han convertido en una alternativa importante para mejorar la sostenibilidad de la ganadería debido a sus ventajas comparativa con los sistemas pastoriles convencionales (Medinilla *et al.* 2013). A los sistemas ganaderos que incorporan opciones silvopastoriles se le atribuye mayor resiliencia, sobre todo en época seca, cuando algunos árboles presentes en las pasturas son fuente de alimento y contribuyen a mejorar la calidad del forraje, brindan sombra al ganado reduciendo el estrés calórico y contribuyen al reciclaje de nutrientes, favoreciendo la producción de forraje aún en parte del período seco, lo cual permite mantener la carga animal y optimizar la producción de leche y la ganancia de peso de los animales. Además, se han observado cambios positivos en el contenido de proteína del forraje que crece en estos sistemas (Obispo *et al.* 2008; Dohn *et al.* 2013, Pezo *et al.* 2018).

Dentro de este mismo orden, las estrategias para el mejoramiento de estos sistemas bovinos incluyen la utilización de especies forrajeras mejoradas, adaptadas a diferentes condiciones edafoclimáticas, que a su vez tengan una mayor producción de biomasa y mejor calidad nutritiva para lograr así el aumento de la productividad de las fincas (Argel 2006). Entre estas especies mejoradas hay genotipos con mayor tolerancia a la sombra (Pezo 2017), lo cual los hace más adecuados para mejorar la productividad del hato manejado en sistemas silvopastoriles. Además, estas especies mejoradas, en asociación con presencia de los árboles dispersos, son una estrategia de mayor rentabilidad económica, ya que es un método barato y eficiente que logra reducir la temperatura ambiente hasta en 3°C y mejorar el confort animal (Pezo y Ibrahim 1999).

La provincia de Los Santos, donde se desarrolló el presente estudio, es una de las zonas con menor cobertura boscosa en Panamá (34,5 %) (SINIA 2019). Por ese motivo, nos planteamos como objetivo evaluar la disponibilidad y calidad de pastos que crecen en asocio con árboles dispersos de *Guazuma ulmifolia* en sistemas de doble propósito. De esa manera, se espera que los resultados sobresalientes de dicho estudio puedan contribuir al mantenimiento o incremento de la cobertura arbórea en pasturas y en áreas liberadas como producto de la intensificación sostenible de la actividad ganadera.

4. Metodología

4.1 Ubicación

El estudio se realizó durante los meses de noviembre 2020 a marzo 2021, durante el final de la época lluviosa, transición a la época seca y parte de la época seca, en una finca con sistema de producción doble propósito ubicada en la localidad de Macaracas, provincia de Los Santos, República de Panamá, a 7°42'12.4" latitud norte, 80°30'41.3" longitud oeste. La altitud es de 150 msnm, la temperatura promedio de 26,5°C y la precipitación anual de 1800 mm, que se extiende de mayo de diciembre (Batista 2021). Según la clasificación de Holdridge (1967), corresponde a

la zona de vida de bosque húmedo tropical (Figura 1) y en la clasificación de Mackay (2002), al clima tropical con estación seca prolongada (Aguilar *et al.* 2016).

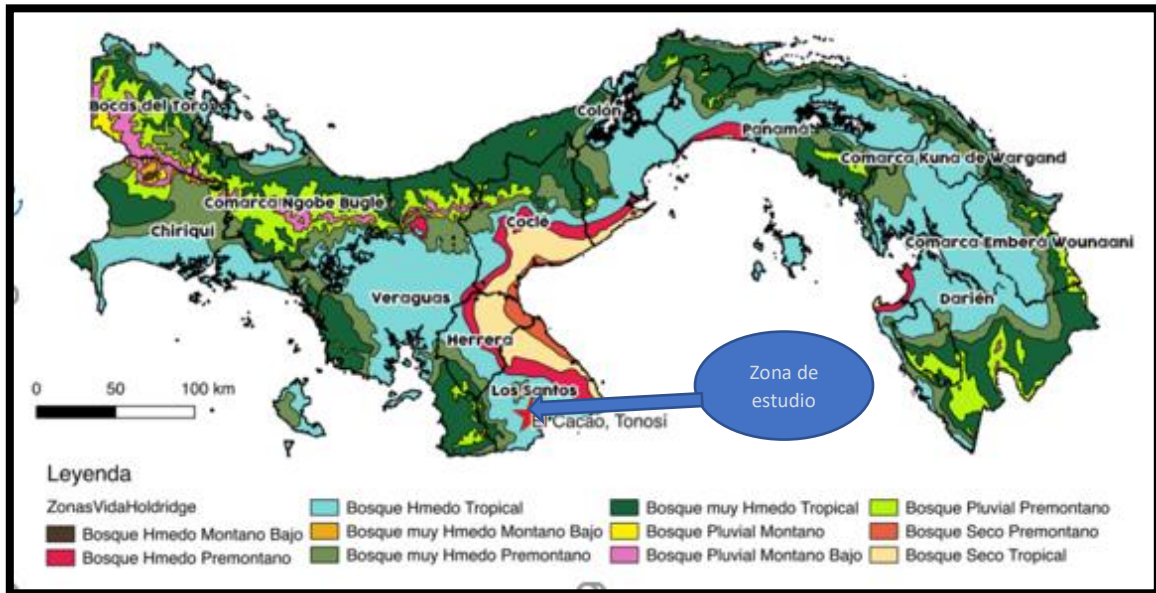


Figura 1. Mapa de Panamá que muestra la zona de vida del área de estudio, Los Santos, Panamá
Fuente: Adaptado de Holdridge (1967).

4.2 Descripción y selección de especies

En los potreros de la región del Arco Seco de Panamá predomina la especie *Guazuma ulmifolia*, asociada con pastos naturalizados y mejorados. Domínguez (2014) encontró que el 63% de los árboles inventariados en potreros eran de esta especie. Por lo tanto, para la presente investigación se visitaron varias fincas en donde existieran potreros con pastos mejorados (*Megathyrsus maximus* cv Mombasa y *Urochloa brizantha* cv. Marandú) en asocio con *G. ulmifolia*. Como resultado de ese recorrido se seleccionó una finca que cumplía con los criterios establecidos para el ensayo, y que además el productor estuviera anuente a colaborar. En la finca seleccionada¹, se eligieron cuatro potreros en donde se realizó una preselección de 40 árboles de la especie en referencia y se procedió a medir las variables dasométricas con los criterios siguientes (diámetro a la altura del pecho (DAP), altura (HT), diámetro de copa (DC) de árboles sanos). A partir de esta preselección se seleccionaron 16 árboles con variables dasométricas similares. Luego, el 1 de noviembre 2020 se procedió a realizar el corte de uniformización de las pasturas.

4.3 Establecimiento de jaulas de evaluación

Se seleccionaron un total de 16 árboles, ocho en asocio con *Megathyrsus maximus* cv Mombasa y los otros ocho con *Urochloa brizantha* cv. Marandú. Se utilizaron un total de 32 jaulas metálicas de 1 metro de largo x 1 metro ancho x 1 metro de alto, la mitad de ellas bajo la copa de los árboles

¹ Productor: Darinel Barría, Finca Los Higos, Macaracas, Provincia de Los Santos

de *Guazuma ulmifolia* y la otra mitad colocadas a una distancia de 20 m del fuste de esos árboles en dirección al oeste. El propósito de las jaulas era evitar el pastoreo en el periodo de evaluación en los puntos de muestreo definidos con base en la metodología descrita por Ribaski y Meneses (2002). La altura de corte utilizada para el pasto *M. maximus* cv Mombasa fue a 30 cm del suelo (Schnellmann *et al.* 2019, y para *Urochloa brizantha* cv. Marandú a 15 cm del suelo (Difante *et al.* 2011). El intervalo de corte para las dos gramíneas fue cada 35 días (Schnellmann *et al.* 2019); por tanto, se realizaron cuatro cortes en el mismo punto a lo largo del estudio.

4.4 Manejo de potreros seleccionados

El área de pastoreo del módulo de producción de leche en la finca donde se desarrolló el estudio es de 25 ha, la cual está dividida en 10 potreros de 2,5 ha cada uno. El manejo de los pastos fue el siguiente: 3 y 27 días de ocupación y descanso, respectivamente; una carga animal de 2 UA ha⁻¹ y la fertilización es producto del reciclaje de nutrientes por medio de las heces, descomposición de hojarasca y raíces de árboles y pastos. Los potreros presentan una topografía ondulada, con divisiones con cercas vivas de balo (*Gliricidia sepium*) y piñón (*Jatropha curcas*); y con árboles dispersos de *Guazuma ulmifolia*, con una densidad de 15 a 20 árboles ha⁻¹. La edad de los potreros seleccionados fue de 5 años aproximadamente.

4.5 Caracterización del sitio de muestreo

4.5.1 Características meteorológicas

Los datos de clima se tomaron de los registros de una estación meteorológica ubicada a 3 km del sitio donde se desarrolló el experimento; se consideraron los valores obtenidos en el periodo en el que se desarrolló el experimento, del 1 de noviembre al 23 de marzo. En el Cuadro 1 se presentan las variables climáticas medidas tales como temperatura media (°C), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), humedad relativa (%), velocidad del viento (m/s), radiación (w/m²) y precipitación (mm). Para determinar el déficit de presión de vapor (VPD), se utilizó los valores de precipitación y humedad relativa y este se estimó utilizando la siguiente ecuación $VPD = e_s - e_a$, en donde VPD (déficit de presión de vapor (Kpa), e_s (presión de vapor de saturación), e_a (presión de vapor real), (Gonçalves y Ribeiro (2020).

Cuadro 1. Variables meteorológicas en la localidad de Macaracas, Los Santos, Panamá

Fecha	T-Media (°C)	HR (%)	VV (m/s)	Radiación (w/m ²)	T-min (°C)	T-max (°C)	PTT (mm)
1 al 15 nov	24,9	87,6	0,47	14,3	22,3	31	115
16 al 30 nov	25	87,9	0,37	132,9	22,4	31,0	231
1 al 15 dic	25,1	83,6	0,81	174,1	21,3	31,1	150
16 al 31 dic	25,3	81,9	1,01	184,3	21,1	31,7	23
1 al 15 ene	25,4	79,6	0,98	179,3	20,9	32	16
16 al 31 ene	25,6	75,8	2,4	196,3	21,2	31,7	8
1 al 15 feb	26,4	73,8	1,9	219,1	21,1	33,8	24
16 al 28 feb	26,4	72,4	2,4	227,8	21,6	33,4	10
1 al 14 mar	26,8	59,9	2,7	258,7	21,3	34,4	2
14 al 23 mar	27,5	63,9	1,4	258,7	22,1	35,7	10

T-media: temperatura media, HR: humedad relativa, VV: velocidad del viento, T-min: temperatura mínima, T-max: temperatura máxima, PTT: precipitación.

4.5.2 Análisis de suelo

Para los análisis de suelo se tomaron un total de 32 muestras: 16 por especie de pasto, 8 debajo de la copa y 8 a pleno sol; en las muestras de suelo fueron determinadas la fertilidad y densidad aparente. Se utilizó la metodología descrita por Villarreal y Name (1996), la cual describe los siguientes pasos: i) selección del sitio abajo y fuera de la copa de los árboles; limpieza del sitio. Las muestras se tomaron con un palín a una profundidad de 0 – 30 cm y fueron llevadas frescas al Laboratorio de Suelos del IDIAP (Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá), para realizar los análisis. La humedad de suelo se midió tomando muestras a una profundidad de 0 - 30 cm y se determinó utilizando el método gravimétrico. Para la capacidad de campo y punto de marchitez permanente se utilizó el *software* (SPAW), el cual fue elaborado por el departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

4.6 Variables a medir

4.6.1 Producción de biomasa forrajera en kg de MS ha⁻¹

El material fresco en toda la superficie de la jaula (1 m²) se cosechó con machete y luego se procedió al pesaje para obtener el peso fresco. Luego se tomó una submuestra de 100 g de cada jaula, la cual se secó en horno de aire forzado a 65°C por 48 h. Con base en ello se estimó la producción de biomasa seca de cada tratamiento (Cruz *et al.* 2017).

4.6.2 Valor nutritivo

Del material cosechado también se separó una muestra de cada pasto y cada posición con un peso de 1 kg de forraje fresco. Estas fueron enviadas al laboratorio de bromatología de COOLECHE² Chiriquí, Panamá, donde fue secada y molida previamente al análisis con Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo cercano (NIRS). El laboratorio de COOLECHE usa como referencia ecuaciones de calibración, similares a las desarrolladas por Molano *et al.* (2016) y Ariza *et al.* (2018), utilizando un R² >0,95. Las variables resultantes del NIRS fueron: materia seca (MS) (%), proteína cruda (PC) (%), cenizas (%); fibra detergente neutro (FDN) (%) y fibra detergente ácido (FDA) (%).

4.6.3 Porcentaje de hojas

En una muestra de 100 g en fresco de cada jaula, se hizo una separación en hojas y tallos. Cada fracción fue pesada y puesta en el horno a 65°C por 48 horas para determinar el porcentaje de hojas en base seca (Rojas *et al.* 2017; Cruz *et al.* 2018).

4.6.4 Altura de la planta

La altura del pasto se determinó considerando la distancia entre el nivel de superficie del suelo y las hojas extendidas hacia arriba a través de una regla métrica (De Souza *et al.* 2017).

² Cooperativa de productores de leche de Panamá

4.6.5 Radiación fotosintéticamente activa (RAFA)

La RAFA se midió con un ceptómetro³ en posiciones bajo la copa (a dos metros del fuste) y fuera de la copa del árbol, con orientación hacia el oeste; estas mediciones se realizaron entre las 12:00 y 13:00 horas con cielo completamente despejado. Se realizaron cuatro mediciones a lo largo del ensayo, en cada árbol se midió 6 veces cada 10 minutos. Esta medición se realizó para cada pasto, con la finalidad de ver la reducción de luz al pasar de pleno sol a la sombra y que cantidad es interceptada por la copa alrededor del mediodía (Serrano *et al.* 2014). Es importante mencionar que la sombra de los árboles puede cambiar a lo largo del año y tiene relación con la fenología de la hoja, lo cual influye en la RAFA interceptada por la copa de los árboles (Zapata (2010; Sandoval (2006).

4.7 Diseño experimental

Para el muestreo se utilizó un diseño completamente aleatorizado con estructura factorial de tratamientos dadas por las combinaciones de dos pasturas y dos posiciones. Este experimento es trifactorial en parcelas divididas, donde el tipo de pastura se encuentra en la parcela principal, la posición dentro y fuera del árbol es la subparcela y el tiempo (cortes 1, 2, 3, 4), es la sub-subparcela. Los cortes se realizaron en el mismo sitio durante todo el periodo utilizando el intervalo en un periodo de 35 días. Los tratamientos evaluados fueron:

T1: *Urochloa brizantha* cv. Marandú con sombra

T2: *Urochloa brizantha* cv. Marandú sin sombra

T3: *Megathyrsus maximus* cv Mombasa con sombra

T4: *Megathyrsus maximus* cv Mombasa sin sombra

4.8 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza usando modelos lineales generales y mixtos con el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2019). En este análisis se probaron distintas estructuras de correlación para encontrar la que mejor explique las medidas repetidas en el tiempo, utilizando los criterios más bajos de AIC (criterio de información Akaike) y BIC (criterio de información Bayesiano). Para detectar posibles diferencias entre tratamientos se utilizó la prueba de comparación de medias LSD de Fisher con un nivel de confianza del 5 %.

5. Resultados y discusión

5.1 Caracterización del sitio de muestreo

5.1.1 Variables dasométricas

En el Cuadro 2 se indican los valores obtenidos en la caracterización de los 16 árboles muestreados de *Guazuma ulmifolia* en asocio con *Urochloa brizantha* cv. Marandú (n=8) y *Megathyrsus maximus* cv Mombasa (n=8). Solo existió diferencia para la altura total de los árboles (HT) ($p < 0,05$). Las otras variables como diámetro a la altura del pecho (DAP) y diámetro de copa (DC) no

³ Model LP 80. Decagon Devices, Inc., Pulmann, Washington, USA.

presentaron diferencias ($p>0,05$), lo cual refleja que los árboles seleccionados fueron similares. También se constató en campo que los árboles fueran sanos y que tuvieran una distribución que no causara interferencia con la distancia definida para las jaulas a plenos sol. Los productores manejan esta especie arbórea por medio de regeneración natural y la mantienen principalmente con fines de sombra y alimentos para el ganado. Sandoval (2006) menciona que la deposición de hojarasca (hojas y flores) está fuertemente influenciada por el viento, las concentraciones de nutrientes en las zonas bajo la copa son superiores en calidad del suelo con respecto al sol.

Cuadro 2. Variables dasométricas de la especie arbórea *Guazuma ulmifolia* en asocio con los pastos *Urochloa brizantha* cv. Marandú y *Megathyrsus maximus* cv Mombasa, Los Santos, Panamá

Variable	Pasto Marandú	Pasto Mombasa	Prueba de t
DAP (cm)	65,5 ± (1,3)	67,5 ± (1,02)	0,244
DC (m)	13,6 ± (0,46)	14,6 ± (0,23)	0,081
HT (m)	13,2 ± (0,27)	14,6 ± (0,23)	0,020

*En paréntesis error estándar; DAP (diámetro a la altura del pecho); DC (diámetro de copa); HT (altura total)

5.1.2 Variables de suelo

En el Cuadro 3 se muestran los valores obtenidos en la prueba de t de las variables de suelo tomadas a pleno sol y bajo de la copa ($n = 32$), las cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p>0,05$). Los resultados obtenidos sugieren que el contenido de materia orgánica tendió a ser mayor bajo la copa que a pleno sol, lo cual puede atribuirse a la cantidad de hojarasca que se acumula bajo la copa (Romero *et al.* 2020). Los valores de pH (potencial de hidrogeniones) de ambas posiciones fueron similares, los niveles de fósforo bajo la copa de los árboles fueron ligeramente superiores que a pleno sol. El suelo presenta menos saturación de aluminio en las parcelas bajo la copa que a las de pleno sol; la capacidad de intercambio catiónico fue menor bajo la copa que a pleno sol; la capacidad de campo mostró valores mayores a pleno sol, pero el punto de marchitez permanente fue más bajo en las parcelas bajo la copa; la densidad aparente fue similar en ambas posiciones.

Cuadro 3. Medias de las variables de suelo en parcelas bajo pasto bajo la copa y fuera de la copa de árboles de *Guazuma ulmifolia* en sistemas ganaderos doble propósito, Los Santos, Panamá

Variable	Bajo la copa	A pleno sol	Prueba de t
MO (%)	2,6 ± (0,5)	2,3 ± (0,9)	0,208
pH	6,3 ± (0,2)	6,35 ± (0,2)	0,979
P (mg/l)	2,5 ± (1,7)	2,44 ± (1,9)	0,925
Sat_Al (%)	4,1 ± (2,8)	5,08 ± (8,4)	0,602
CICE (cmol/kg)	13,2 ± (6,3)	16,47 ± (8,7)	0,208
PMP (%)	22,7 ± (4,6)	21,4 ± (3,5)	0,393
CC, %	32,9 ± (3,4)	33,7 ± (4,8)	0,313
Densidad, g/cm ³	1,4 ± (0,1)	1,4 ± (0,1)	0,823

*En paréntesis error estándar; MO (%): porcentaje de materia orgánica; pH potencial hidrogeniones; P (mg/l): fósforo; Sat_Al: saturación de aluminio; CICE: capacidad de intercambio catiónico; PMP (%): punto de marchitez permanente; CC: capacidad de campo

5.2 Disponibilidad y valor nutritivo de los pastos

5.2.1 Producción de biomasa

En el Cuadro 4 se observa que la variable biomasa, expresada en kg MS ha⁻¹ corte⁻¹, mostró diferencias (p<0,05) para la interacción posición*fecha de corte. En los cortes de diciembre y enero la disponibilidad de biomasa fue mayor a pleno sol que bajo la copa de los árboles (1528,66 y 1521,99 *versus* 1115,57 y 1104,30 kg MS ha⁻¹ corte⁻¹ respectivamente). La precipitación acumulada para estos dos cortes fue alta, lo cual favoreció un buen potencial de rendimiento, independientemente de la posición con respecto a la copa (figuras 2 y 3). Estos resultados coinciden con lo observado por Ramírez *et al.* (2010) y Cerdas y Vallejos (2012), quienes encontraron que el rendimiento del pasto fue afectado por la reducción en el contenido de humedad en el suelo.

En las figuras 2 y 3 se aprecia también la relación de la capacidad de campo, punto de marchitez permanente y contenido de humedad en el suelo para las diferentes fechas de muestreo, bajo copa y a pleno sol, respectivamente. La tendencia de variación del contenido de humedad en el suelo en función de la fecha de muestreo fue similar, pero en los dos primeros muestreos, este fue superior bajo la sombra de las copas que a pleno sol. Ribaski y Meneses (2002), encontraron tendencias similares a las obtenidas en esta investigación, con mayor disponibilidad de pasto (en kg MS ha⁻¹) a pleno sol, en un sistema silvopastoral de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*), con árboles de algarrobo (*Ceratonia siliqua*). Lo mismo fue observado por Romero *et al.* (2020), en sistemas con pasto guinea (*Megathyrsus maximus*) en asocio con árboles de faique (*Acacia macracantha*). Esta tendencia de disminución del rendimiento bajo la copa de los árboles se atribuye a que los pastos tropicales -de ciclo fotosintético tipo C4- alcanzan una mayor producción con altos niveles de luz (Obispo *et al.* 2008).

Cabe anotar que, durante los primeros dos muestreos, el contenido de humedad en el suelo estuvo por encima del punto de marchitez, independientemente de la posición con respecto a la copa. En cambio, en los dos últimos la humedad del suelo estuvo por debajo del punto de marchitez, pero con valores más altos debajo de la copa. Esto posiblemente explique por qué las diferencias en disponibilidad de pasto se redujeron a un mínimo en el tercer muestreo, y que, en el cuarto, la disponibilidad de pasto bajo sombra superó a pleno sol (Cuadro 4).

Cuadro 4. Rendimiento de pasto (kg MS ha⁻¹ corte⁻¹) en potreros con árboles dispersos de *Guazuma ulmifolia* a pleno sol y bajo la copa según fecha de corte y precipitación pluvial, Los Santos, Panamá

Fecha de corte	A pleno sol	Bajo la copa	Precipitación acumulada el previamente (mm)
06/12/2020	1528,66 ± (80,6) a	1115,57 ± (80,6) b	346
10/01/2021	1521,98 ± (127,7) a	1104,30 ± (127,7) b	173

14/2/2021	561,60 ± (20,4) a	469,07 ± (20,4) b	48
21/3/21	257,54 ± (17,6) a	264,29 ± (17,6) a	22

*En paréntesis error estándar; medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), prueba de comparación de medias LSD Fisher

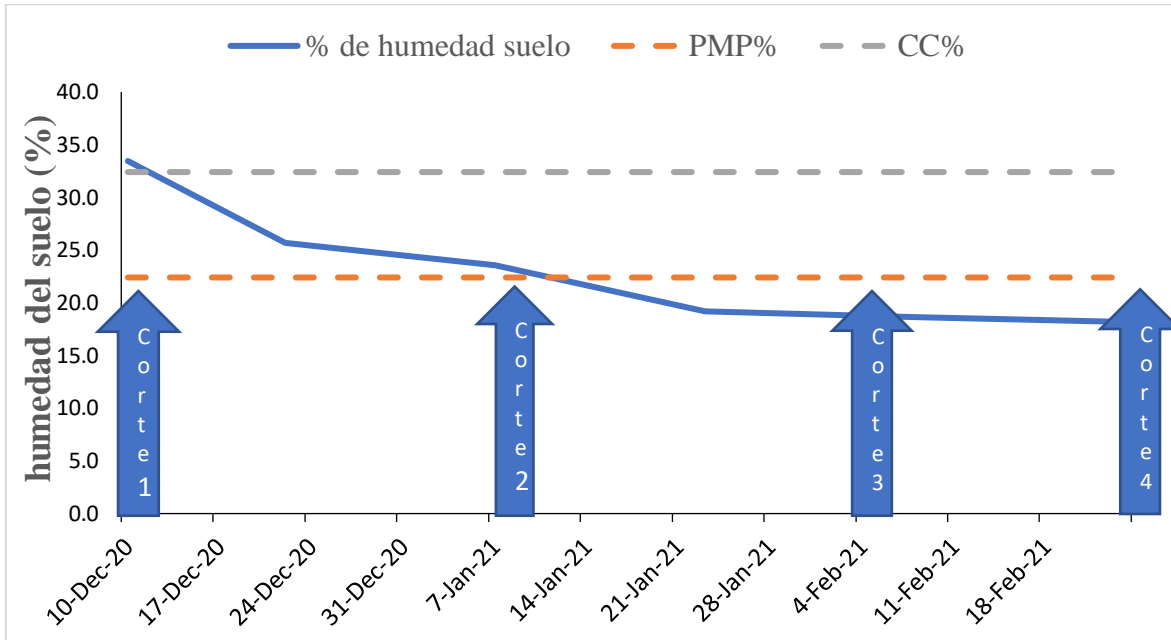


Figura 2. Relación entre la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y humedad de suelo (%) bajo la copa de árboles de *Guazuma ulmifolia* en potreros con jaulas de evaluación, Los Santos, Panamá

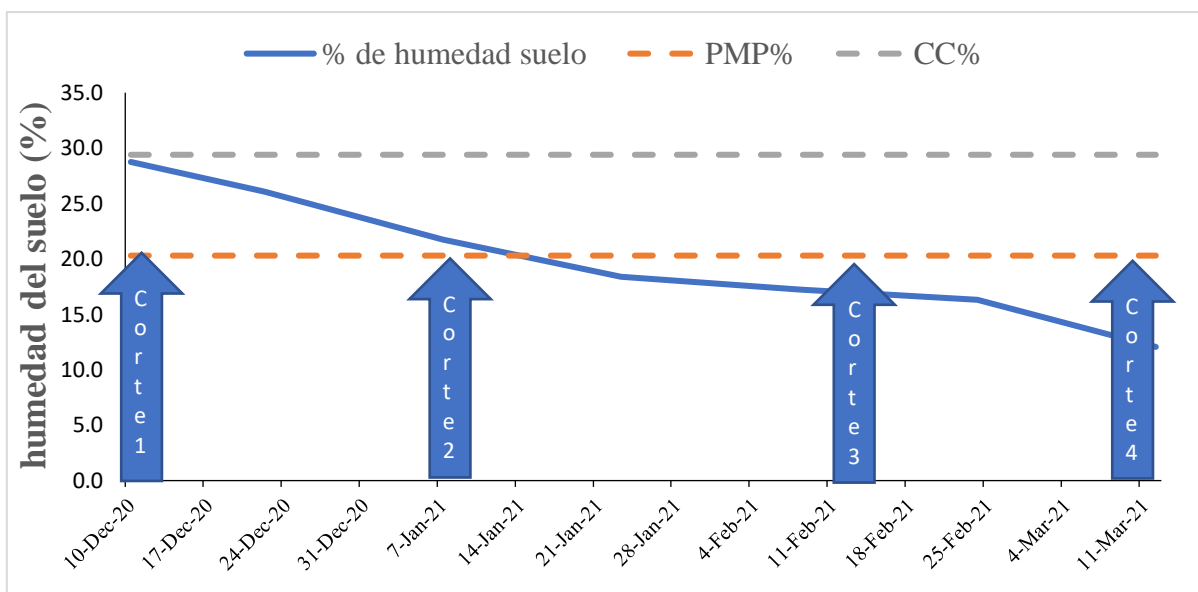


Figura 3. Relación entre la capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y humedad de suelo fuera de la copa de árboles de *Guazuma ulmifolia* en potreros con en jaulas de evaluación, Los Santos, Panamá

La interacción pasto*corte fue significativa ($p < 0,05$) (Cuadro 5), lo cual se evidencia por el cambio de comportamiento de los pastos en función de los muestreos. Así, en la primera fecha de corte el pasto Mombasa alcanzó rendimientos superiores al pasto Marandú (1371,44 y 1272,79 kg MS ha⁻¹, respectivamente); sin embargo, en el segundo y tercer muestreo el pasto Marandú superó al Mombasa, lo cual sugiere que este último es menos tolerantes al estrés por sequía. Pero en el cuarto muestreo, los dos pastos presentaron valores similares, lo que indica que el nivel de estrés de humedad estuvo por encima de lo que puede tolerar el Marandú. En la provincia de Los Santos existen pastos naturalizados como *Bothriochloa pertusa* (pasto comunista). Autores como Sierra *et al.* (1986), mencionan que dentro de las características fisiológicas de esta especie se presenta un desarrollo inicial lento y que alcanza su productividad hasta los 42 días aproximadamente, fecha que coincide con su floración. Por otra parte, Piñeros *et al.* (2011), evaluando el pasto comunista en un sistema silvopastoril con *Leucaena* sp., mencionan que este pasto presenta una baja tolerancia a la sombra y esta se ve reflejada en una baja producción de biomasa para el ganado.

Cuadro 5. Rendimiento (kg MS ha⁻¹ corte⁻¹) de los pastos Mombasa y Marandú según fecha de corte y precipitación pluvial en potreros con árboles dispersos de *Guazuma ulmifolia*, Los Santos, Panamá

Fecha de corte	Mombasa	Marandú	Precipitación acumulada (mm)	previam
06/12/2020	1371,4 (81,3) a	1272,7 (81,3) b	346	
10/01/2021	1209,3 (128,1) a	1417,2 (128,1) b	173	
14/2/2021	493,2 (22,8) a	537,4 (22,8) b	48	
21/3/2021	290,1 (20,3) a	231,7 (20,3) a	22	

*En paréntesis error estándar; medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), prueba de comparación de medias LSD Fisher

En la Figura 4 se muestra la relación del rendimiento bajo el déficit de presión de vapor (VPD), para los pastos Mombasa y Marandú; como se observa, el VPD varió de 0,38 kPa en noviembre a 1,42 kPa en marzo. Es decir, pasó de una condición óptima a una sequía atmosférica baja. Es notorio que el rendimiento de ambos pastos se vio afectado por el cambio en el déficit de presión de vapor (VPD), aún con un cambio de sólo 1 kPa en VPD. Al hacer un ajuste exponencial se evidencia que ambos pastos reducen su producción de biomasa, en el periodo muestreado y de manera constante o monotónica, en aproximadamente 20% por cada 0,1 kPa de aumento en VPD. Asumiendo que el modelo exponencial usado describe adecuadamente el comportamiento de los pastos en las condiciones experimentales ($R^2 > 0,94$), se puede hipotetizar que el rendimiento potencial para las condiciones de la zona de estudio con una buena humedad – es decir cero VPD o estrés hídrico cero – alcanzaría valores de 5196,3 para el pasto Marandú y 3972,5 kg MS ha⁻¹ corte⁻¹ para el pasto Mombasa. Cardoso *et al.* (2018) estudiaron los efectos negativos del crecimiento con un contenido moderado de agua en el suelo con la gramínea Guinea y encontraron la misma tendencia, es decir, a medida que el VPD aumenta, se reduce el porcentaje de humedad y aumenta el estrés hídrico de los pastos. Estos mismos autores mencionan que el déficit de presión de vapor atmosférico (VPD), ha sido ampliamente reconocido como la fuerza que impulsa la transpiración en las plantas, lo que influye en su eficiencia en el uso del agua.

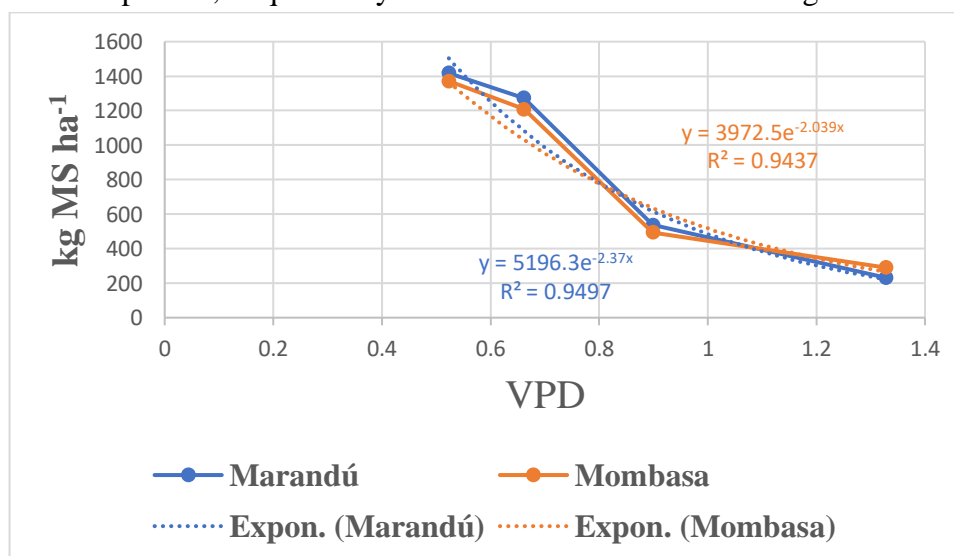


Figura 4. Relación del rendimiento (kg MS ha⁻¹) y el déficit de presión de vapor en pastos Mombasa y Marandú, Los Santos, Panamá.

5.2.2 Valor nutritivo

En el Cuadro 6 se presentan datos de valor nutritivo para los pastos *Megathyrus maximus* cv Mombasa y *Urochloa brizantha* cv. Marandú que crecen a pleno sol y bajo la copa de los árboles de *Guazuma ulmifolia*. Para el pasto Marandú los porcentajes de proteína cruda (PC), cenizas y lignina fueron superiores cuando creció bajo la copa; mientras que los contenidos de FDA y FDN fueron superiores a pleno sol. Los datos de valor nutritivo encontrados para Marandú que crece a

pleno sol son similares a los obtenidos por Balseca *et al.* (2015), trabajando en condiciones similares de cielo abierto en el trópico húmedo ecuatoriano. Por otra parte, el mayor contenido de proteína cruda en pastos que crecen bajo la copa de los árboles coincide con lo reportado por Moreira *et al.* (2009), quienes examinaron el valor nutritivo de *Urochloa brizantha* cv. Marandú en Brasil, bajo dos cubiertas de árboles nativos de *Zeyheria tuberculosa*.

Dentro de este mismo orden, para el pasto Mombasa los valores de PC, FDN, cenizas y TDN fueron superiores bajo la copa de los árboles que a pleno sol. Lo opuesto sucedió para FDA y lignina; la tendencia más marcada fue en la proteína cruda la cual fue muy superior bajo la copa del árbol. Los valores encontrados en nuestra investigación están en el rango de los encontrados por Dibalá *et al.* (2021), quienes también utilizaron el método de NIRS. Este método es importante validarlo con métodos directos para reducir la incertidumbre y con ello ofrecer más confianza a los usuarios por ser un método rápido y de bajo costo. En este sentido, autores como Medinilla *et al.* (2013) y Obispo *et al.* (2008), realizaron una investigación similar a la nuestra evaluando el efecto de la sombra sobre el crecimiento, productividad y calidad de *Megathyrus maximus*, observando tendencias similares en cuanto al efecto de la sombra sobre el valor nutritivo de pastos tropicales, por otra parte, mencionan que el menor valor nutritivo en pastos que crecen a pleno sol se atribuye a que en esas condiciones se acelera su tasa de crecimiento y de maduración, comparado con condiciones bajo sombra, y por ello se tienen pastos de menor valor nutritivo fuera de la copa de los árboles. Xavier *et al.* (2014) y East y Felker (1993), argumentan que el alto contenido de proteína cruda en las gramíneas bajo la copa de los árboles se atribuye a un aumento del flujo de nitrógeno en el suelo, en muchos casos como consecuencia de la contribución de la caída de hojas; pero cuando los árboles son leguminosas, también favorece la fijación de nitrógeno del aire y la eventual transferencia de ese nitrógeno a las gramíneas acompañantes. Los aumentos en la proteína cruda más altos bajo la copa de los árboles pueden estar asociados con adaptaciones fisiológicas y bioquímicas. En este sentido, Pentón y Blanco (1997) mencionan que, bajo las condiciones de sombreado, la acumulación de nitratos puede ocurrir en ausencia de carbohidratos necesarios para la reducción del amoniaco; esta acumulación de nitratos conduce a un aumento de la proporción de proteína en la materia seca. Por otra parte, Días-Filho (2002) indica que las gramíneas C4 puede aumentar la clorofila bajo la copa con respecto a pleno sol; este aumento de clorofila está influenciado por el nitrógeno para la producción de moléculas de proteínas ligadas a los pigmentos fotosintéticos. Aunque *Guazuma ulmifolia* no es leguminosa, Romero (2010) menciona que esta especie aporta gran porcentaje de nitrógeno al suelo a través del reciclaje de nutrientes con potencial de influir en el crecimiento y calidad de los pastos.

Cuadro 6. Valor nutritivo de los pastos Mombasa y Marandú bajo la copa y a pleno sol en potreros con árboles dispersos de *Guazuma ulmifolia*, Los Santos, Panamá

Valor nutritivo (%)	Pasto Mombasa		Pasto Marandú	
	Bajo la copa	A pleno sol	Bajo la copa	A pleno sol

Proteína (PC)	11,3 ± (0,84)	8,2 ± (0,36)	11,1 ± (1,08)	8,1 ± (0,72)
FDA	38,1 ± (0,63)	38,2 ± (0,85)	42,5 ± (1,13)	42,6 ± (1,14)
FDN	72,8 ± (0,67)	73,4 ± (1,36)	74,8 ± (1,32)	74 ± (1,35)
Cenizas	10,1 ± (0,43)	9,3 ± (0,51)	12,9 ± (0,72)	11,8 ± (0,69)
Lignina	4,9 ± (0,20)	4,8 ± (0,52)	3,9 ± (0,26)	4,9 ± (0,54)

*En paréntesis error estándar; FDA (fibra detergente acida), FDN (fibra detergente neutra), TND (total de nutrientes digeribles)

5.3 Variables morfológicas

5.3.1 Porcentaje de hojas

En la interacción corte*posición existió diferencias ($p < 0,05$). En la primera y segunda fecha de muestreo, los valores obtenidos a la sombra fueron superiores a los obtenidos a pleno sol, con valores que superan el 70 % de hojas. Lo anterior se puede asociar a que en las dos primeras fechas de muestreos existía una mayor humedad en el suelo (figuras 2 y 3). Para la tercera y cuarta fecha de muestreo se dio la misma tendencia en los valores, el porcentaje de hojas fue superior bajo la copa que a pleno sol. La tendencia fue menor en los dos últimos cortes, lo cual se podría deber a la falta de humedad en suelo que ocasionó una disminución de hojas y un aumento de los tallos (Cuadro 7). Esto se puede explicar por la respuesta de las plantas a las condiciones climáticas, ya que los procesos fisiológicos tales como la fotosíntesis, respiración, fotorespiración y evapotranspiración en las plantas, y la elongación de hojas están influenciados por la temperatura, régimen de precipitación y su distribución, por lo que cualquier variación de estos se refleja en la productividad (Verdecia *et al.* 2009).

Cuadro 7. Porcentaje de hojas bajo la copa y a pleno sol según fecha de corte en potreros con pastos Mombasa y Marandú, Los Santos, Panamá

Fecha de corte	Bajo la copa	A pleno sol
06/12/2020	75,44 ± (0,68) a	71,31 ± (0,68) b
10/01/2021	73,13 ± (0,56) a	68,88 ± (0,56) b
14/2/2021	67,69 ± (0,33) a	64,13 ± (0,33) b
21/3/2021	63,56 ± (0,27) a	61,13 ± (0,27) b

*En paréntesis error estándar. Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) según la prueba de comparación de medias LSD Fisher

También se detectó significancia ($p < 0,05$) para la interacción corte*pasto. En los dos primeros cortes los valores más altos para el porcentaje de hojas se detectaron para el pasto Mombasa (74,19 y 71,75 % de hojas); para las fechas de corte tres y cuatro, los valores obtenidos fueron similares entre ambos pastos con un leve aumento del Marandú en el último corte (Cuadro 8). Nuevamente esto puede estar reflejando la mayor tolerancia al estrés de humedad del pasto Marandú. Los porcentajes de hojas encontrados en el pasto Mombasa son similares a los obtenidos por Verdecia *et al.* (2009) y Villalobos y Wing Ching (2019) en pastos que crecían a pleno sol.

Cuadro 8. Porcentaje de hojas en los pastos Mombasa y Marandú según fecha de corte, Los Santos, Panamá

Fecha de corte	Mombasa	Marandú
06/12/2020	74,19 ± (0,70) a	72,19 ± (0,70) b
10/01/2021	71,75 ± (0,58) a	70,25 ± (0,58) b
14/2/2021	65,44 ± (0,36) a	65,44 ± (0,36) a
21/3/2021	62,31 ± (0,31) a	62,38 ± (0,31) a

*En paréntesis error estándar. Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), prueba de comparación de medias LSD Fisher

La interacción posición*pasto resultó significativa ($p < 0,05$) para el porcentaje de hojas. El pasto Marandú bajo la copa fue superior al pasto Mombasa, pero esto no ocurrió a pleno sol en donde el pasto Mombasa fue superior al Marandú (Cuadro 9). El aumento de la tasa de elongación y longitud de las hojas bajo la copa que se verificó en este estudio es una respuesta común de la planta para permitir una mayor capacidad de captura de luz en condiciones de poca luz (Guenni *et al.* 2008). Paciullo *et al.* (2011) mencionan que para los cultivares del pasto *Megathyrsus maximus* cv Tanzania y cv Massai, el sombreado estimuló la tasa de elongación de la hoja, la cual es una tendencia que ocurre en plantas cultivadas bajo la copa.

Cuadro 9. Porcentaje de hojas de pastos Mombasa y Marandú bajo la copa y a pleno sol en potreros con *Guazuma ulmifolia*, Los Santos, Panamá

Posición	Mombasa	Marandú
Bajo la copa	69,84 ± (0,39) a	70,06 ± (0,39) a
A pleno sol	67,0 ± (0,39) a	65,72 ± (0,39) b

*En paréntesis error estándar. medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), prueba de comparación de medias LSD Fisher

5.3.2 Altura de los pastos (m)

Para la variable altura, solo la interacción corte*pasto presentó diferencias ($p < 0,05$) (Cuadro 10), con valores más altos para el pasto Mombasa en los cuatro cortes; pero las diferencias se redujeron significativamente en los dos últimos cortes cuando el pasto enfrentó problemas de estrés de humedad. García *et al.* (2008), evaluaron el comportamiento del *Megathyrsus maximus* cv Mombasa a pleno sol con una edad rebrote igual a la del presente estudio; encontraron que los valores para la época de mayor y menor precipitación fueron similares a los encontrados en esta investigación. Por otra parte, Viafara *et al.* (1997), midieron el efecto del sombreado de samán (*Pithecelobium samán* Jacq) sobre la altura de la planta bajo la copa y a pleno sol en pasto Guinea (*Panicum maximum* Jacq), obteniendo una respuesta similar a la observada en este estudio; es decir sin diferencia en la altura bajo y fuera la copa. Xu *et al.* (2011), sugieren que bajo la copa de los árboles las gramíneas experimentan una reducción del número de raíces, disminución del tamaño de rizomas, reducción del número de macollas, tallos más delgados, hojas más finas y claras, hojas con ángulos más planos y una reducción de la tasa de crecimiento de los pastos. Sin embargo, esto es diferente a lo observado por Rodríguez da Cruz *et al.* (2021) en el pasto *Brachiaria híbrido* cv. Mavuno, el cual presentó elongación de la hoja cuando creció bajo la copa.

Cuadro 10. Altura de los pastos Mombasa y Marandú en la interacción corte*pasto según fecha de corte, Los Santos, Panamá

Fecha de corte	Mombasa (m)	Marandú (m)
06/12/2020	0,85 ± (0,02) a	0,66 ± (0,02) b
10/01/2021	0,73 ± (0,02) a	0,47 ± (0,02) b
14/2/2021	0,35 ± (0,02) a	0,29 ± (0,02) b
21/3/2021	0,29 ± (0,02) a	0,22 ± (0,02) b

*En paréntesis error estándar. Medias con una letra común en filas no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), prueba de comparación de medias LSD Fisher

5.4 Radiación fotosintéticamente activa (RAFA)

En el Cuadro 11 se muestran los valores de RAFA fuera y debajo de la copa de los árboles de *Guazuma ulmifolia* y la reducción de esta variable por interferencia de la copa del árbol. Aunque los valores de RAFA fueron menores en diciembre que en enero, el nivel de reducción debido a la copa de los árboles fue similar (59,77 y 59,7 %, respectivamente). Es posible que esto pueda relacionarse con los valores más altos de humedad en el suelo que puede haber favorecido la mayor presencia de hojas en los árboles en esos meses. Durante el periodo de febrero-abril, la reducción en la RAFA fue menor en febrero y abril (39,77 y 40,15 %, respectivamente), meses con menor humedad en el suelo lo cual puede haber promovido la caída de hojas de los árboles de *Guazuma ulmifolia*.

Caballé *et al.* (2011) sostienen que la eficiencia de conversión entre la radiación que es interceptada por el estrato herbáceo y su consecuente fotosíntesis depende de la distribución, tanto temporal como espacial, de la radiación sobre la pastura. Medinilla *et al.* (2008) mencionan que la variación en la disponibilidad de RAFA está relacionada con la fenología del follaje de los árboles. Los valores en reducción en la disponibilidad de biomasa del pasto en los dos primeros cortes atribuibles a la interferencia de luz ejercida por la copa de los árboles fueron más altos (27,0 y 27,2%), que para el tercer corte (16,39 %), mientras que en cuarto corte el rendimiento bajo la copa fue superior en un 7% comparado con el pasto a pleno sol, lo cual puede deberse a que la presencia del árbol ayuda a una mayor retención de humedad en el suelo (Figura 2). Paciullo *et al.* (2007), trabajando con *Brachiaria decumbens* encontraron que bajo un nivel de 65% de sombreado, la productividad total de la pastura se redujo en un 47%. Varios autores como Paciullo *et al.* (2007), evaluando *Brachiaria decumbens*, y Andrade *et al.* (2004), gramíneas y leguminosas subtropicales, coincidieron con los efectos negativos de la sombra sobre la producción y rendimiento de las especies forrajeras con un sombreado igual o superior al 50%. Por otra parte, Martuscello *et al.* (2009), recomiendan que el nivel de sombreado no exceda del 60%.

Cuadro 11. Radiación fotosintética activa (RAFA) a pleno sol y bajo la copa de árboles de *Guazuma ulmifolia*, en función de la fecha de muestreo, Los Santos, Panamá

Mes	RAFA sol ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	RAFA sombra ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	reducción de la RAFA (%)
diciembre	435	175	59,77
enero	1582	637,5	59,70
febrero	1886	1136	39,77

6. Conclusiones

Las especies Mombasa y Marandú tienen cierto nivel de tolerancia a la sombra, lo cual las hace buenas candidatas para mejorar la producción ganadera en sistemas silvopastoriles, reemplazando los pastos naturalizados *Bothriochloa pertusa* y *Hyparrhenia rufa* predominantes en la zona de Los Santos, los cuales presentan limitaciones para adaptarse a cierto grado de sombra, además de que poseen un nivel bajo de tolerancia a sequía y productividad de materia seca.

La sombra causó un efecto negativo en la disponibilidad de biomasa de los pastos alcanzando una reducción del 27% en sus dos primeros cortes con respecto a pleno sol, cuando el suelo presentó suficiente humedad; a medida que se acentuó la época de baja precipitación, el efecto del árbol ayudó a retener humedad y la biomasa de los pastos fue superior bajo la copa que a pleno sol en un 7%. Por otra parte, la sombra de la especie *Guazuma ulmifolia* dentro de los potreros mejoró el valor nutritivo de los pastos en términos de proteína para Mombasa (3,1%) y Marandú (3%).

En la variable morfogenética, el porcentaje de hoja desarrolló una tendencia a valores superiores bajo la copa que a pleno sol; esto indica que el efecto de la sombra ayuda a mantener un mayor porcentaje de estas hasta en los periodos con baja precipitación, lo cual es importante porque se busca que los pastos sean productores de hojas y mantener su valor nutritivo en la época de poca humedad en el suelo.

El déficit de presión de vapor (VPD), nos indicó que es un excelente predictor de rendimiento en los pastos evaluados, pues relaciona la fotosíntesis utilizando los valores climáticos. El VPD ha sido ampliamente reconocido como la fuerza que impulsa la transpiración en las plantas, lo que influye en su eficiencia en el uso del agua.

7. Recomendaciones

Este trabajo deberá extenderse hasta completar dos años de toma de datos y considerar así los efectos posibles de variación interanual. Además, se recomienda determinar el umbral de cobertura arbórea con *Guazuma ulmifolia* y otras especies leñosas que pueden tolerar la *Urochloa brizantha* cv. Marandú y el *Megathyrsus maximus* cv. Mombasa, sin reducir de manera significativa su productividad.

Los árboles de *Guazuma ulmifolia* que crecen por regeneración natural y que se adaptan bien a las condiciones de la provincia de Los Santos, Panamá, constituyen un componente valioso para la implementación de sistemas silvopastoriles con los árboles dispersos. Estos pueden ayudar no solo a alargar la fase de crecimiento de pastos en estadios tempranos de la época seca y además contribuyen con la producción de frutos para la alimentación de los animales. El rediseño de sistemas silvopastoriles intensivos con esta especie y otras leñosas tienen un potencial para

mantener e incrementar la cobertura arbórea en potreros y en bosques; así como en la conservación de la biodiversidad y en la generación de diversos servicios ecosistémicos.

Para reducir la incertidumbre de los resultados de los análisis químicos en pastos y forrajes utilizando el método NIRS, es importante realizar métodos de análisis directos. Esta validación ofrecerá más confianza a los usuarios porque este método es más económico y rápido.

8. Bibliografía

- Aguilar Oro, GG; Salazar Figueroa, LI; Pérez Fernández, J. 2016. Una nueva Regionalización Climática de Panamá como aporte a la seguridad hídrica. Panamá CATHALAC. 17 p
- Andrade, C; Valentim, J; da Costa; Vaz, F. 2004. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. Pesquisa Agropecuária Brasileira 39(3):263-270.
- Argel, P. 2006. Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganadera de los sistemas doble propósitos (en línea). Archivos Latinoamericanos Producción Animal14(2):65-72. Consultado 2 jun. 2021. Disponible en <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/44266>.
- Ariza, C; Mayorga, O; Mojica, B; Parra, D; Afanador, G. 2018. Use of local algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia (en línea) Journal of Near Infrared Spectroscopy 2(1) 44-52. Consultado 3 sep. 2020. Disponible en doi: 10.1177/0967033517746900
- Balseca, D; Cienfuegos, E; Lopez, H; Guevara, H; Martínez, J. 2015. Nutritional value of *Brachiarias* and forage legumes in the humid tropics of Ecuador (en línea). Cien. Inv. Agr. 42(1):57-63. Consultado 2 ago. 2021. Disponible en <http://ijanr.cl/index.php/ijanr/article/view/1457>
- Batista, A. 2021. Boletín de las variables climáticas en la Región de Azuero. s. l., IDIAP-CIA.
- Caballé, G; Fernández, M; Gyenge, J; Aparicio, A; Schlichter, T. 2011. Modeling leaf maximum net photosynthetic rate of *Festuca pallezensis*, the dominant perennial grass of Patagonian pine-based silvopastoral systems (en línea). Agroforest Systems 83:13–24. Consultado 10 jul. 2021. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-011-9382-7>
- Cardoso, J; Notenbaert, A; Mwendia, S. W; Peters, M. 2018. Efectos negativos en el crecimiento de pasto Guinea con un contenido moderado de agua en el suelo y exacerbados por alta

- sequía atmosférica. Congreso Internacional de Producción Animal Tropical 2018. (VI), 2018, Habana, Cuba.
- Cerdas, R; Vallejos, E. 2012. Comportamiento productivo de varios pastos tropicales a diferentes edades de cosecha en Guanacaste (en línea). InterSedes 13(26):6-22. Consultado 7 jul. 2021. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/intersedes/article/view/2987>
- Cruz, A; Hernández, A; Chay, A; Mendoza, S; Ramírez, S; Rojas, A; Ventura, R. 2017. Components of the yield and nutritional value of *Brachiaria humidicola* cv Chetumal to different grazing strategies (en línea). Rev. Mex. Cienc. Agríc 8 (3):599-610. Consultado 3 sep. 2020. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342017000300599&script=sci_arttext&tlng=en.
- De Souza, F; Miranda, D; Rozalino, M; Mezquita, V. 2017. Altura inicial e período de diferimento em pastos de capim-braquiária. Cienc. Anim. Bras 18:1-13 (en línea). Consultado 3 sep. 2020. Disponible en <https://www.revistas.ufg.br/vet/article/view/43744>.
- Di Rienzo, J. Casanoves, F. Balzarini, M. Gonzalez, L. Tablada, M. Robledo, C. InfoStat versión 2019 (en línea). Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba. Consultado 2 ago. 2020. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>
- Dias-Filho. 2002. Photosynthetic light response of the c4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade (en línea). Scientia Agricola 59(1):65-68. Consultado 25 de ago. 2021. Disponible en <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/373202>
- Dibala, R; Shibu, J; Gold, M; Hall, J; Kallenbach, R. 2021. Tree density effects on soil, herbage mass and nutritive value of understory *Megathyrus maximus* in a seasonally dry tropical silvopasture in Panama (en línea). Agroforest Systems 95:741–753. Consultado 25 ago. 2021. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-021-00628-4>.
- Difante, S; Júnior, N; Carneiro, S; Euclides, PB; Montagner, DB; Cristina, M; Pena, S. 2011. Características morfológicas e estruturais do capim-Marandú submetido a combinações de alturas e intervalos de corte Morphogenetic and structural characteristics of Marandú palisadegrass subjected to combinations of cutting heights and cutting intervals (en línea). R. Bras. Zootec 40(5):955-963 Consultado 28 ago. 2020. Disponible en <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/42582/1/valeria1.pdf>.
- Dohn, J; Dembele, F; Karembé, M; Moustakas, A; Amévor, K; Hanan, N. 2013. Tree effects on grass in savannas: competition, facilitation, and the stress-gradient hypothesis (en línea).

- Journal of Ecology 101:202–209). Consultado 18 jun. 2021. Disponible en <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1365-2745.12010>.
- Domínguez, Y. 2014. Caracterización del componente arbóreo y arbustivo en poteros en fincas ganaderos de la Cuenca del Río La Villa, Panamá. Tesis de Licenciatura. Chiriquí, Panamá, Universidad de Panamá. 54p. Disponible en <http://kohasibiup.up.ac.pa/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=158941>
- East, RM; Felker P. 1993. Forage production and quality of 4 perennial grasses grown under and outside canopies of mature *Prosopis glandulosa* Torr. var. *glandulosa* (mesquite) (en línea). Agroforestry Systems 22(2):91-110. Consultado 26 ago.2021. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00705139>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2008. Ayudando a desarrollar una ganadería sustentable en América Latica y El Caribe, lecciones a partir de casos exitosos. (en línea). Consultado 2 ago. 2020. Disponible en <http://www.fao.org/3/i0082s/i0082s00.htm>
- García, C; Martínez, R; Tuero, R; Romero, A; Estanquero, A; Torres, A. 2008. Agronomical assessment of Mombasa (*Panicum maximum* Jacq) on a typical red ferralitic soil of Havana province (en línea). Consultado 7 jul. 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/299216691_Agronomical_assessment_of_Mombasa_Panicum_maximum_Jacq_on_a_typical_red_ferralitic_soil_of_Havana_province
- Gonçalves, M; Ribeiro, A. 2020. Conversion factors and general equation applied in agricultural and forest meterogy (en línea). Agrometeoros Passo Fundo 27(2):227-258. Consultado 25 ago. 2021. Disponible en <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26527>
- Guenni, O; Seiter, S; Figueroa, R. 2008. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply (en línea). Tropical Grasslands 42:75–87. Consultado 8 jul. 2021. Disponible en <https://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/search>.
- Holdridge, L. 1967. Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. Ecología basada en zonas de vidas. San José, Costa Rica, IICA. 206 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo, Panamá). 2012. VII Censo Nacional Agropecuario. Resultados Finales Básicos, 2011 (en línea). Volumen 4. Características de la Actividad Pecuaria, Panamá. Consultado 30 may. 2021. Disponible en <http://www.contraloria.gob.pa/inec/>

- Martuscello, J; Jank, L; Neto, M; Laura, V; Cunha, D. 2009. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento (en línea) R. Bras. Zootec 38(7):1183-1190. Consultado 12 jul. 2021. Disponible en <https://www.scielo.br/j/rbz/a/SsNW5jHDkZMFdGFJbzqYtFh/abstract/?lang=pt&format=html>
- Medinilla, L; De la Cruz, M; López, S; Ávila, C; Bruce, W; Gutierrez, M. 2013. Growth, productivity, and quality of *Megathyrus maximus* under cover from *Gliricidia sepium* (en línea) Agroforest Syst 87:891–899. Consultado 15 jun. 2021. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-013-9605-1>
- Molano, M; Cortes, M; Ávila, P; Martens, S; Muñoz, L. 2016. Near infrared spectroscopy (NIRS) calibration equations to predict nutritional quality parameters of tropical forages (en línea). Tropical Grasslands 4(3):139–145. Consultado 10 sep. 2020. Disponible en <https://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/view/24>
- Moreira, R; Saliba, E; Mauricio, E; Sousa, F; Figueriredo, M; Goncalves, Rodriguez, N. 2009. Avaliação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandú em sistemas silvipastoris (en línea). Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinaria e Zootecnia 61(3):706-713 Consultado 2 ago. 2021. Disponible en <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/9CsMvWGqyLYgFyrdqGLZCdH/?lang=pt#>
- Obispo, N; Espinoza, Y; Gil, Y; Ovalles, F; Rodríguez, M. 2008. Effect of shaded on the production and quality of guinea grass (*Panicum maximun*) in a silvopastoril system (en línea). Zootecnia Tropical 26(3):285-288. Consultado 15 jun. 2021. Disponible en <http://www.bioline.org.br/abstract?zt08047>
- Paciullo, D; De Carvalho, C; Aroeira, L; Frota, J; Ferraz, C; Rosiello, R. 2007. Morphophysiology and nutritive value of signalgrass under natural shading and full sunlight (en línea). Pesq. Agropec.Bras 42(4):572-579. Consultado 10 jul. 2021. Disponible en <https://www.scielo.br/j/pab/a/hCpktSmgfnRqZ36F7xX7Jhj/?lang=pt>
- Paciullo, D; Fernández, P; Gomide, C; Castro, C; Souza F; Carvalho, C. 2011. The growth dynamics in *Brachiaria* species according to nitrogen dose and shade (en línea). R. Bras. Zootec 40(2):270-276. Consultado 7 jul. 2021. Disponible en <https://www.scielo.br/j/rbz/a/L4ZKH7KrszGw7HHLZk3bRhN/?lang=en>
- Pentón, G; Blanco, F. 1997. Influencia de la sombra de los árboles en la composición química y el rendimiento de los pastos. Pastos y Forrajes. 20:101

- Pezo, D. 2017. Tecnologías forrajeras para la intensificación sostenible de la ganadería frente al cambio climático. *Revista UTN* 78:18-25.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. *Sistemas silvopastoriles*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 276 p. (Materiales de Enseñanza no. 2).
- Pezo, D; Ríos, N; Ibrahim, M; Gómez, M. 2018. *Silvopastoral Systems for Intensifying Cattle Production and Enhancing Forest Cover: The Case of Costa Rica*. Washington DC, United States of America, PROFOR - World Bank, 76 p. (Policy Brief).
- Piñeros, R; Tobar, V; Mora, D. 2011. Evaluación agronómica y zootécnica del pasto colosoana (*Bothriocloa pertusa*) en el trópico seco de Tolima (en línea). *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 4(1):36-40. Consultado 26 ago. 2021. Disponible en <http://revistas.ut.edu.co/index.php/ciencianimal/article/view/141>.
- Ramírez, O; Hernández, A; Carneiro, S; Pérez, J; Jacauna, S; Castro, R; Enríquez, J. 2010. Morphogenic characteristics and their influence on the herbage yield of Mombasa grass, harvested to different cutting intervals (en línea). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 12(2):303-311 Consultado 7 jul. 2021. Disponible en <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/394>
- Ribaski, J; Meneses, E. 2002. Disponibilidad y calidad del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) en un sistema silvopastoril con algarrobo (*Prosopis juliflora*) en la región semi-árida brasileña (en línea). *Agroforestería en las Américas* 9:(33-34):8-13. Consultado 25 ago. 2020. Disponible en <http://201.207.189.89/handle/11554/6066>.
- Ríos, L; Espinosa, J; Hassan, J. 2015. Caracterización del manejo en el ordeño de sistemas doble propósito del distrito de Los Santos (en línea). *Invest.pens. crit* 3(2):5-19. Consultado 20 may. 2021. Disponible en <http://ipc.org.pa/ojs/index.php/ipc/article/view/47/46>.
- Rodrigues da Cruz PJ; Borges CE; Santos MV; Magalhães MA; Martuscello JA; da Fonseca DM; da Silva LD. 2021. Shade effects on the hybrid Mavuno brachiariagrass (*Urochloa* spp.) as potential grass in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 95:1105–1108.
- Rojas, A; Torres, N; Cancino, S; Hernández, A; Maldonado, M; Sánchez, P. 2017. Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) (en línea). *Agrociencia* 51(7):697-708. Consultado 2 sep. 2020. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140531952017000700697&script=sci_abstract&tlng=pt
- Romero, G; Echeverría, M; Trillo; Hidalgo, V; Aguirre, L; Robles, R; Núñez, J. 2020. Efecto del faique (*Acacia macracantha*) sobre el valor nutricional del pasto guinea (*Panicum*

- maximum Jacq.) en un sistema silvopastoril (en línea). Rev. investig. vet. Perú 31(1). Consultado el 8 sep. 2021. Disponible en <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i1.17562>
- Romero, J. 2010. El efecto de cuatro especies arbóreas en sistemas silvopastoriles sobre las características de suelo en Matiaguas y Muy Muy, Nicaragua. Tesis Mag. SC. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 185 p.
- Sandoval, I. 2006. Producción de hojarasca y reciclaje de nutrientes de dos especies arbóreas y dos gramíneas en pasturas de Muy Muy, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 160 p.
- Schnellmann, L; Verdoljak, J; Bernardis, A; Martínez, J. 2019. Cutting frequency and height on the quality of *Megathyrsus maximus* (cv. Gatton panic) (en línea). Agron Mesoam 30(2):553-562. Consultado 28 ago. 2020. Disponible en <http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1402/708>
- Serrano, J; Andrade, H; Mora, J. 2014. Caracterización de la cobertura arbórea en una pastura del trópico seco en Tolima, Colombia (en línea). Agron. Mesoam 25 (1):99-110. Consultado 2 sep. 2020. Disponible en https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S165913212014000100010&script=sci_arttext&tlng=en
- Sierra, O; Bedoya, J; Monsalve, D; Orozco, J. 1986. Observaciones sobre colosuana (*Bothriochloa pertusa* (L.) Camus) en la Costa Atlántica de Colombia (en línea). Pastos Tropicales 8(1):6-9. Consultado 25 ago. 2021. Disponible en <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=catalco.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=029201>
- SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental, Panamá). 2019. Diagnóstico de cobertura de bosques y otras tierras boscosas por provincias, en la República de Panamá (en línea, sitio web). Consultado 5 ago. 2021. Disponible en <https://www.sinia.gob.pa/index.php/cobertura-boscosa/ano-2019/por-provincia>
- Verdecia, D; Ramírez, J; Leonard, I; García, F. 2009. Agroproductive potentialities of two cultivars of *Panicum maximum* (cv Mombasa and Uganda) in Granma province (en línea). 10(5):1-9. Consultado 8 jul. 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63611393003>
- Viafara, B; Clavero, T, Araujo, O. 1997. Efecto del sombreado de samán (*Pithecelobium saman* jacq. (Benth)) sobre el crecimiento y desarrollo del pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq) (en línea). Arch Latinoam Prod Anim 5(1): 39-41. Consultado 5 jul. 2021. Disponible en https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/view/65/67.

- Villalobos, L; WingChing-Jones, R. 2019. Mechanical removal of senescent material for pasture recovery (en línea). *Agronomía Mesoamericana* 30(3):821-840. Consultado 7 jul. 2021. Disponible en https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212019000300821&script=sci_arttext&tlng=en.
- Villarreal, J; Name, B. 1996. técnicas analíticas del laboratorio de suelos. Divisa, Panamá, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá.
- Xavier, F; Da Silva, J; Paciullo, C. 2014. Nitrogen cycling in a *Brachiaria*-based silvopastoral system in the Atlantic Forest region of Minas Gerais, Brazil (en línea). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 99:45–62. Consultado 2 ago. 2021. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-014-9617-x>.
- Xu, Y; Chen, H; Zhou, H; Jin, J; Ming, T. 2011. Acclimation of morphology and physiology in turf grass to low light environment (en línea). *African Journal of Biotechnology* 10(48):9737-9742. Consultado 8 jul. 2021. Disponible en <http://www.academicjournals.org/AJB>
- Zapata, P. 2010. Efecto del guácimo (*Guazuma ulmifolia*), carao (*Cassia grandis*) y roble (*Tabebuia rosea*) sobre la productividad primaria neta aérea y composición florística de pasturas naturales en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 153 p.