

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CAMPUS TECNOLÓGICO LOCAL SAN CARLOS

**ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA DETERMINACIÓN DEL
TAMAÑO DE MARCO DE MUESTREO DE LA BIOMASA AÉREA EN
PASTO *Megathyrsus maximus*, CONOCIDO COMO *Panicum
maximum* CV MOMBAZA**

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía
como requisito parcial para optar al grado de
Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

CARLOS ANDRÉS MARTÍNEZ MOLINA



Carrera de Ingeniería en Agronomía
Campus Tecnológico Local
San Carlos
2019 - 2023

SANTA CLARA, SAN CARLOS

2021

**ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA DETERMINACIÓN DEL
TAMAÑO DE MARCO DE MUESTREO PARA LA ESTIMACIÓN DE
LA BIOMASA AEREA EN PASTO *Megathyrsus maximus*,
CONOCIDO COMO *Panicum maximum* CV MOMBAZA**

CARLOS ANDRÉS MARTÍNEZ MOLINA

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

Ing. Agr. Milton Villarreal Castro, Ph. D.

Asesor Principal

Ing. Agr. Julio Rodríguez González M. Sc.

Jurado

Ing. For. Marlen Camacho Calvo M. Sc.

Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA.

Coordinadora

Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Milton Villarreal Castro, Ph. D.

Director

Escuela de Agronomía

2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a las personas que siempre han estado para darme su apoyo emocional y económico, mis padres Carlos Alberto Martínez Rojas y Mirey Molina Amores, quienes a pesar de las situaciones y lo complicado de la vida siempre han dado todo por sus hijos y a mi abuela Alicia Rojas Chacón, quien ha sido la persona que más ha confiado en mí durante este proceso de aprendizaje.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Milton Villareal Castro PhD, por brindarme su guía y apoyo en este proyecto con su conocimiento tan especializado en pasturas y nutrición animal para promover un aprendizaje más profundo y técnico.

Al Ing. Agr. Fabián Quesada Ramírez por colaborar en la logística de las fincas del Colegio Agropecuario de San Carlos y permitirme desarrollar la investigación con insumos y materiales necesarios en campo.

Al señor Alonso Aguilar por permitirme desarrollar parte del trabajo en su finca y poner a mi disposición del personal de su finca.

A la Ing. Marlen Camacho por asesorarme en temas de diseño experimental y análisis estadístico con mucho cariño y disposición para hacer el trabajo de la mejor manera posible.

A mi novia Raquel Pérez Salazar por apoyarme en cada momento de este trabajo y motivarme a ser siempre excelente en cualquier cosa de mi vida.

Al personal del Laboratorio de Análisis de Agrónomos por la disposición y colaboración en el análisis de muestras de este proyecto.

A mis compañeros que han sido verdaderos amigos quienes me han ayudado y acompañado tanto en este proyecto como en la carrera de agronomía, Luis Roberto Guzmán, María Vargas, María Berrocal, Alejandra Fernández, Daniel Obando, Anthur Cruz, Lizy Vargas, Jorge Gómez, Pablo Carranza.

A la Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez MGA, por darme su apoyo y guía en la elaboración de este proyecto y la Escuela de Agronomía del Tecnológico de Costa Rica por haberme preparado con herramientas muy valiosas y competitivas en el sector.

Finalmente, agradezco al Tecnológico de Costa Rica, por brindarme los elementos necesarios para el desarrollo de la carrera, todas las facilidades con que se cuenta en las instalaciones. Además, gracias a la beca por excelencia académica y participación en grupo cultural Ensamble Acústico a cargo de Lorna Quirós Salazar, donde además de ser una experiencia muy bonita me ayudó para sacar la carrera adelante.

TABLA DE CONTENIDO

Dedicatoria	i
Agradecimientos.....	ii
Tabla de Contenido	iii
Índice de Cuadros	vi
Índice de Figuras	vi
Índice de Anexos	i
Resumen	iii
Abstract	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	2
1.2 Objetivo general.....	3
1.3 Objetivos específicos	3
1.4 Hipótesis de la investigación.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Pasto Mombaza (<i>Megathyrsus maximus</i> , también conocido como <i>Panicum máximum</i> CV. Mombaza)	4
2.1.1 Descripción morfológica	4
2.1.2 Adaptabilidad.....	5
2.1.3 Características Agronómicas.....	5
2.2 Técnicas de muestreo y estimación de biomasa en pasturas.....	6
2.2.1 Método destructivo	6
2.2.2 Método no destructivo	8
2.2.3 Método mixto.....	9
2.3 Factores que afectan la precisión y exactitud en la estimación de forrajes	9
2.3.1 Localización de las unidades muestrales	9
2.3.2 Número de unidades muestrales.....	9

2.3.3	Tamaño de la unidad muestral	10
2.3.4	Horario de muestreo	10
2.3.5	Conservación de la muestra	11
2.3.6	Número de personas que procesan las muestras	11
2.4	Estimación de biomasa en <i>Megathyrus maximus</i> cv Mombaza	11
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1	Descripción del lugar de estudio	18
3.2	Periodo de estudio	20
3.3	Área experimental	20
3.4	Unidad experimental	20
3.5	Descripción de procedimientos	20
3.5.1	Determinación del tamaño mínimo del “marco de muestreo”	21
3.5.2	Determinación del número mínimo puntos o sitios de muestreo	24
3.5.3	Caracterización de la arquitectura de las cepas	24
3.6	Variables de respuesta	24
3.7	Método para toma de datos	25
3.8	Modelos estadísticos	25
3.9	Análisis Estadístico	26
3.10	Aspectos organizacionales	27
3.11	Recursos materiales	28
3.11.1	Materiales y herramientas para la construcción de las estaciones de muestreo	28
3.11.2	Material para medición de variables	28
3.11.3	Material de laboratorio	28
4.	RESULTADOS	29

4.1 Determinación del tamaño mínimo del marco de muestreo para estimación de la producción de biomasa aérea (forrajera) en pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza.....	29
4.1.1 Tamaño mínimo de marco de muestreo en finca La Vega.....	29
4.1.2 Tamaño mínimo de marco de muestreo en finca San Lorenzo.....	30
4.1.3 Tamaño mínimo de marco de muestreo en finca Lechería Agropecuario.....	31
4.1.4 Tamaño mínimo de marco de muestreo en finca Alonso Aguilar.	32
4.1.5 Tamaño mínimo de marco de muestreo: Evaluación global en las cuatro fincas.....	33
4.2 Determinación del número mínimo de puntos de muestreo requeridos para la estimación de biomasa aérea en pasto Mombaza (<i>Megathyrsus maximus</i>) por finca	36
5. DISCUSIÓN	37
6. CONCLUSIONES	44
7. RECOMENDACIONES	45
8. BIBLIOGRAFÍA	46
9. ANEXOS	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Descripción	Pág.
1	Características morfológicas varietales de <i>Megathyrus maximus</i> cv Mombaza, Brasil, 1994.	4
2	Características agronómicas de cv Mombaza (liberado por EMBRAPA – CNPGC) Brasil, 1995.	5
3	Peso de las muestras correspondientes a los valores visuales estimados por doble muestreo en pasto Mombaza (<i>Megathyrus maximus</i>) en la unidad de ganado de carne El Zamorano, Honduras, 2019.	11
4	Productividad del pasto Mombaza (<i>Megathyrus maximus</i>) estimada mediante la metodología de doble muestreo en la unidad de ganado de carne El Zamorano, Honduras, 2019.	12
5	Tamaño de marco de muestreo utilizado en estimación de biomasa del pasto Mombaza (<i>Megathyrus maximus</i>), reportado por varios autores en Los últimos años en Costa Rica y Honduras.	17
6	Cuadrantes de muestreo y su respectivo tratamiento, según área total de muestreo (m ²), para la determinación de la curva área/masa, en las fincas en estudio, San Carlos, Costa Rica, 2020.	23
7	Programa de actividades para periodo experimental del proyecto determinación del tamaño de marco de muestreo y número de muestras para estimación de biomasa en pasto <i>Megathyrus maximus</i> cv mombaza, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.	27
8	Producción de biomasa forrajera promedio (kg MS/ha) del pasto Mombaza (<i>Megathyrus maximus</i>), según tratamientos (áreas de muestreo desde 0,25 m ² - 4,0 m ² , con incrementos de 0,25 m ²) en Finca La Vega, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.	30

9	Producción de biomasa forrajera promedio (kg MS/ha) del pasto Mombaza (<i>Megathyrsus maximus</i>), según tratamientos (áreas de muestreo desde 0,25 m ² - 4,0 m ² , con incrementos de 0,25 m ²) en Finca San Lorenzo, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.....	31
10	Producción de biomasa forrajera promedio (kg MS/ha) del pasto Mombaza (<i>Megathyrsus maximus</i>), según tratamientos (áreas de muestreo de 0,25 m ² - 4,0 m ² , con incrementos de 0,25 m ²) en Finca Lechería Agropecuario, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.	32
11	Producción de biomasa forrajera promedio (kg MS/ha) del pasto Mombaza (<i>Megathyrsus maximus</i>), según tratamientos (áreas de muestreo desde 0,25 m ² - 4,0 m ² , con incrementos de 0,25 m ²) en Finca Alonso Aguilar, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.	33
12	Número mínimo de puntos de muestreo por finca según el porcentaje de error aceptable en el muestreo de pasto Mombaza (<i>Megathyrsus maximus</i>) ($\alpha = 0,05$), San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.	36
13	Caracterización promedio por tipo de cepas de pasto Mombaza (<i>Megathyrsus maximus</i>) según su tamaño, en las cuatro fincas evaluadas fincas por cada sitio experimental, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.	38
14	Caracterización promedio de las variables de estructura de cepas en pasto Mombaza (<i>Megathyrsus maximus</i>) en las cuatro fincas evaluadas, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Descripción	Pág.
1	Relación entre la altura estimada en pasto BRS Tamani (<i>Panicum maximum</i>) por el VANT y la medición con regla en campo para establecer el modelo de superficie digital, Terenos — Mato Grosso do Sul (MS), Brasil. Fuente: (Adaptado de Batistoti <i>et al.</i> 2019).	14
2	Relación entre biomasa y altura medida con regla en campo en pasto BRS Tamani (<i>Panicum maximum</i>) para establecer el modelo de superficie digital, Terenos — Mato Grosso do Sul (MS), Brasil, 2019. Fuente: (Adaptado de Batistoti <i>et al.</i> 2019).....	15
3	Relación entre la altura estimada por el VANT y la biomasa forrajera del pasto BRS Tamani (<i>Panicum maximum</i>) para establecer el modelo de superficie digital, Terenos — Mato Grosso do Sul (MS), Brasil, 2019. Fuente: (Adaptado de Batistoti <i>et al.</i> 2019).	16
4	Esquema del muestreo realizado en las pasturas de las fincas en estudio para determinar la curva de área/masa para la variable de peso seco de biomasa del pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza, San Carlos, Costa Rica, 2020.....	22
5	Estimación de la producción de biomasa forrajera del pasto Mombaza (<i>Megathyrsus maximus</i>) según la finca, con aumentos de área en 0,25 m ² en las cuatro fincas evaluadas, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.	34
6	Fotografía aérea mostrando la cobertura del pasto Mombaza (<i>Megathyrsus maximus</i>) en cada estación de muestreo (sitio), después del muestreo a altura de corte (25 cm) en finca Lechería Agropecuario, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.	39

7	Estimación de la producción de biomasa forrajera por tratamiento en la estación de muestreo Lechería Agropecuario sitio uno, San Carlos, Alajuela Costa Rica, 2020.....	40
8	Estimación de la producción de biomasa forrajera por tratamiento en la estación de muestreo Lechería Agropecuario sitio dos, San Carlos, Alajuela Costa Rica, 2020.....	41
9	Estimación de la producción de biomasa forrajera por tratamiento en la estación de muestreo Lechería Agropecuario sitio tres, San Carlos, Alajuela Costa Rica, 2020.....	41
10	Fotografía aérea mostrando la cobertura del pasto Mombaza, antes y después del muestreo e interpretación gráfica de la importancia de la arquitectura de la cepa y sus implicaciones en las estimaciones de la producción de biomasa forrajera dependiendo de la ubicación del marco de muestreo, San Carlos, Costa Rica, 2020.....	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo No.	Descripción	Pág.
1	Análisis de varianza para la producción de biomasa forrajera en el pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza, en finca La Vega	49
2	Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza, en finca La Vega	49
3	Análisis de varianza para la producción de biomasa forrajera en el pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza, en finca San Lorenzo	50
4	Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza, en finca San Lorenzo.....	50
5	Análisis de varianza para la producción de biomasa forrajera en el pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza, en finca Lechería Agropecuario.	51
6	Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza, en finca Lechería Agropecuario.....	52
7	Análisis de varianza para la producción de biomasa forrajera en el pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza, en finca Alonso Aguilar.	52
8	Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza, en finca Alonso Aguilar.....	53
9	Análisis de varianza global (cuatro fincas), para la producción de biomasa forrajera en el pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza.....	53

10	Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza, según efecto simple AREA DE MUESTREO en el análisis global de cuatro fincas.	54
11	Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza, según efecto simple FINCA, en el análisis global de cuatro fincas.	54
12	Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto <i>Megathyrsus maximus</i> cv. Mombaza, según interacción AREA DE MUESTREO x FINCA, en el análisis global de cuatro fincas.....	55

RESUMEN

En este estudio se evaluó el efecto del área de marco de muestreo sobre la estimación de biomasa forrajera en pasto *Megathyrus maximus* cv Mombaza, se determinó el número de puntos de muestreo según la finca y se realizó una caracterización de la estructura de las cepas según su tamaño para cada finca. Esta investigación se llevó a cabo en la Región Huetar Norte en cuatro fincas diferentes, Finca San Lorenzo Colegio Agropecuario (San Ramón, Alajuela), Finca Lechería Colegio Agropecuario (Santa Clara, San Carlos, Alajuela), Finca La Vega (La Vega, San Carlos, Alajuela) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) y Finca Alonso Aguilar (Santa Clara, San Carlos, Alajuela). Se evaluó un total de 16 tratamientos donde cada tratamiento consiste en el aumento en 0,25 m² del área partiendo de 0,25 m² hasta 4 m² para la estimación de biomasa forrajera (kg MS/ha). También se determinó el número de puntos de muestreo mediante una ecuación que considera el coeficiente de variación de cada finca y un error aceptable de 5% y 9%. Por último, la caracterización se hizo para describir las condiciones que tiene cada cepa según su tamaño por finca en las variables: densidad de macollos por metro cuadrado, área de cepa, peso seco (g) a altura de corte (25 cm) y densidad de cepa (g MS/m²). En forma general se encontraron diferencias significativas en los efectos de tratamiento con excepción en la finca LV, donde no existió efecto ($P=0,661$) del tamaño de área muestreado en la estimación de la producción de biomasa forrajera respectiva, aunque se observó una tendencia de requerir un marco de muestreo de 2,25 m². En dos fincas se encontró que es necesario utilizar al menos 1,25 m² y en otra 1,50 m² de marco de muestreo para finca SL y AA respectivamente. También se determinó que en promedio de las cuatro fincas se requieren 40 o 13 puntos de muestreo con un porcentaje error aceptable de 5% y 9% respectivamente ($\alpha = 0,05$). Además, se identificó una tendencia en el comportamiento de rendimiento (g MS/m²) y densidad de macollos/m², donde conforme el tamaño de la cepa es más pequeño estas dos variables aumentan.

Palabras clave: estimación, muestreo, biomasa, macollado, Mombaza, heterogeneidad

ABSTRACT

In this study, the effect of the sampling frame area on the estimation of forage biomass in *Megathyrsus maximus* cv Mombaza grass was evaluated, the number of sampling points according to the farm was determined and a characterization of the structure of the strains according to their size for each farm. This research was carried out in Region Huetar Norte in four different farms, Finca San Lorenzo Colegio Agropecuario (San Ramón, Alajuela), Finca Lechería Colegio Agropecuario (Santa Clara, San Carlos, Alajuela), Finca La Vega (La Vega, San Carlos, Alajuela) of the Technological Institute of Costa Rica (TEC) and Finca Alonso Aguilar (Santa Clara, San Carlos, Alajuela). A total of 16 treatments were evaluated where each treatment consists of increasing the area by 0,25 m² from 0,25 m² to 4 m² for the estimation of forage biomass (kg DM / ha). The number of sampling points was also determined by an equation that considers the coefficient of variation of each farm and an acceptable error of 5% and 9%. Finally, the characterization was done to describe the conditions that each strain has according to its size per farm in the variables: density of tillers per square meter, strain area (m²), dry weight (g) at cutting height (25 cm) and strain density. (g MS / m²). In general, significant differences were found in the treatment effects, with the exception of the LV farm, where there was no effect (P= 0,661) of the sampled area size in the estimation of the respective forage biomass production, although a tendency to require a 2,25 m² sampling frame. In two farms it was found that it is necessary to use at least 1,25 m² and in another 1,50 m² of sampling frame for farms SL and AA respectively. It was also determined that on average of the four farms 40 or 13 sampling points are required with an acceptable error percentage of 5% and 9% respectively, ($\alpha = 0,05$). In addition, a trend was identified in the yield behavior (g DM / m²) and tiller density / m², whereas the size of the strain is smaller these two variables increase.

Keywords: estimation, sampling, biomass, tillering, Mombaza, heterogeneity

1. INTRODUCCIÓN

En Costa Rica la ganadería bovina utiliza aproximadamente un área de 1 250 000 hectáreas, representando así un 26 % del área total dedicada a la producción agropecuaria (Carrillo *et al.* 2014). Por otra parte, de acuerdo con Carrillo *et al.* (2014), este sector cuenta con el potencial de generar montos superiores a los 1500 millones de dólares anuales en empleo a más de 500 000 personas, además de tener un impacto positivo mediante la fijación de carbono en pastizales y árboles que se encuentran en las fincas.

Según la Encuesta Nacional Agropecuaria 2017, el hato ganadero bovino costarricense estaba compuesto por 1 497 551 animales para ese año, lo cual se divide en 52,3 % ganadería de carne, 16,2 % ganadería de leche y 31,3 % ganadería de doble propósito. Además, el 95 % de los sistemas de producción en ganadería de carne y doble propósito están basados en el uso de pastoreo, principalmente, mientras que en ganadería de leche esto corresponde al 82 %. En adición, el tipo de pasturas ronda el 50 % de pastos mejorados (Brachiarias, Guineas, Kikuyo, Estrella Africana, entre otros) (Instituto Nacional de Estadística y Censos , 2017). Por lo tanto, las pasturas representan un porcentaje muy importante en la alimentación para la ganadería, donde el manejo apropiado de éstas puede apoyar al productor en términos de eficiencia.

En cuanto al costo de alimentación con pasturas de mediano a alto valor nutritivo, en Costa Rica el costo promedio de pasto consumido ronda los 44 colones por kilogramo de materia seca (Arce *et al.* 2013). Además, se debe tomar en cuenta que debido a los volúmenes de forraje fresco tan altos que demandan los bovinos, los cuales rondan los 30 – 50 kilogramos por animal por día, las pasturas resultan en una opción económica en los sistemas de alimentación (Arce *et al.* 2013).

De acuerdo con MacDonald *et al.* (2008), una disponibilidad de forraje favorable y un aumento en la carga animal influyen directamente en la producción de leche o carne de los bovinos; el manejo eficiente de la pastura y el uso de la carga animal adecuada, redundarán en un aumento de la productividad por hectárea.

Es así como, la predominancia de los sistemas de pastoreo, la implicación económica y ecológica que esto significa y la necesidad de generar información técnica sobre la producción y el valor nutritivo de las pasturas, como elementos claves para el manejo eficiente de tales sistemas, conlleva al estudio de métodos de muestreo que permita estimaciones robustas de tales variables. Lo anterior ha sido considerado como un elemento clave para el análisis y ajuste de las dietas en los programas de alimentación del ganado (García 2014).

1.1 Justificación

La toma de decisiones sobre el manejo de una pastura (carga animal, asignación de forraje, tiempo de recuperación, tiempo de pastoreo, forraje residual), deben estar basadas en estimaciones confiables realizadas mediante muestreo de las pasturas.

Básicamente los métodos de muestreo se dividen en métodos destructivos y métodos no destructivos. No obstante, aun aquellos casos en los que la estimación del atributo de la pastura se haga con métodos no destructivos (ejemplo: espectroscopía NIR), los métodos destructivos seguirán siendo importantes en las fases de generación de las curvas de calibración respectivas.

Los métodos destructivos utilizan con frecuencia “marcos de muestreo”, estos son generalmente cuadrados o rectangulares, aunque también los hay circulares. Su uso en la práctica se ha generalizado a marcos de 1 m² o menos, siendo frecuente el uso de marcos de 0,25 m², es decir, marcos de 0,5 m x 0,5 m.

En pastura de porte postrado (rizomatosas, estolonífera o ambas), cuya arquitectura de planta permite describir una cobertura bastante homogénea, bien sea antes del pastoreo o cosecha, como después del mismo, el uso de marcos de 0,25 m² puede resultar apropiado. Sin embargo, en el caso de especies cuya arquitectura es cespitosa o macollada, a menudo la cobertura y distribución de las cepas es muy irregular; esta característica tiende a acentuarse conforme la pastura es más vieja. Por otra parte, la estructura misma de la cepa, aun dentro de una misma especie, puede variar debido al manejo de la pastura (carga animal, fertilización, altura de pastoreo, altura post-pastoreo, prácticas de chapia mecánica o manual). Así, el dosel y área cubierta por una cepa puede variar dificultando el uso de marcos de muestreo de 1 m² o menos.

Debido a la situación antes mencionada, se hace necesario conducir trabajos experimentales para definir áreas mínimas del marco de muestreo, así como el número mínimo de puntos o sitios de muestreo que deberían considerarse en el estudio de las características de producción de la biomasa aérea o forraje de especies macolladas, introducidas y comercializadas en los últimos años en el país y frecuentemente utilizadas en sistemas de pastoreo. Lo anterior, contribuirá a hacer estimaciones más robustas sobre la productividad de tales pasturas.

1.2 Objetivo general

Determinar el área mínima del “marco de muestreo” y número mínimo de sitios de muestreo, para la estimación de la producción de biomasa aérea forrajera, bajo las condiciones específicas de diferentes pasturas comerciales del pasto Guinea CV Mombaza (*Megathyrsus maximus*, conocido como *Panicum máximum*).

1.3 Objetivos específicos

- Determinar el tamaño mínimo del “marco de muestreo” para la estimación de la producción de biomasa aérea forrajera en pasturas de *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza, evaluando tamaños desde 0,25 m² hasta 4,0 m², mediante áreas de cosechas incrementales de 0,25 m².
- Determinar el número mínimo de puntos o sitios de muestreo requeridos para para la estimación de la producción de biomasa aérea forrajera de pasturas comerciales de *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza.
- Caracterizar la arquitectura de las cepas presentes en pasturas comerciales de *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza.

1.4 Hipótesis de la investigación

La estimación de la producción de biomasa forrajera de la especie macollada *Megathyrsus maximus*, también conocida como *Panicum maximum* cv. Mombaza, es afectada por el tamaño del “marco de muestreo” utilizado.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Pasto Mombaza (*Megathyrsus maximus*, también conocido como *Panicum máximum* CV. Mombaza)

2.1.1 Descripción morfológica

El pasto Mombaza posee un porte alto de aproximadamente 1,6 m de altura y su crecimiento se considera erecto o macollado; las hojas de este pasto son glabras (poca presencia de tricomas) y erectas (Carrillo 2017). Además, su inflorescencia es una panícula con espiguillas color morado-verdoso y tallos ligeramente morados con ausencia de tricomas (Jank 1995). Las principales características morfológicas utilizadas para describir el cultivar son: lámina foliar, lígula, vaina, nudo, inflorescencia, espiguilla y altura de la planta (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características morfológicas varietales de *Megathyrsus maximus* cv Mombaza, Brasil, 1994.

Fuente: (Adaptado de Souza 1994)

Características Morfológicas	
Lámina Foliar:	Ausencia de serosidad, coloración verde claro, ancho 3,2 cm, tricomas de 2-3 mm en área abaxial cerca de lígula.
Lígula:	Presenta pelos de entre 2 mm - 3 mm.
Vaina:	Ausencia de serosidad, puede presentar pelos de 3 mm, es glabra y de superficie áspera en área inferior.
Nudo:	En el área inferior presenta color rojizo, tiene densa micropilosidad.
Inflorescencia:	Coloración verde, de 30 cm de longitud y verticilos glabros.
Espiguilla:	Coloración verde – rojiza, densidad 810/ gramo.
Atura de la planta:	Aproximadamente 1, 6 m y en suelos de alta fertilidad hasta 2 m.

2.1.2 Adaptabilidad

La pastura Mombaza al igual que los demás cultivares de esta especie, requiere un nivel de fertilidad en suelo de medio a alto, aun cuando esta presenta una capacidad de extracción eficiente de fósforo en suelo (Jank 1995). Su desarrollo óptimo se da en un rango de alturas desde 0 msnm hasta 1100 msnm, además, requiere una precipitación anual superior a 1300 mm y temperatura en un rango de 20 °C - 35 °C (Carrillo 2017).

De acuerdo con Carrillo (2017), en Costa Rica las experiencias con este cultivar son muy favorables, permitiendo su producción en gran parte del país. Las regiones donde se ha utilizado más esta pastura corresponden a Región Huetar Norte, Pacífico Central y Sur y Guanacaste (Carrillo 2017).

2.1.3 Características Agronómicas

Las características más importantes de este cultivar son: alta producción total (toneladas de materia seca foliar / ha), alta producción de materia verde, alta relación hoja / tallo, alta producción de semillas puras y excelente capacidad de recuperación post pastoreo o después de ser cortada; por lo cual, el pasto Mombaza es considerado un material genético excelente (Jank 1995) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características agronómicas de cv Mombaza (liberado por EMBRAPA – CNPGC) Brasil, 1995.

Características Agronómicas
165 t/ha/año de producción de materia verde
33 t/ha/año de producción de materia seca foliar
82 % de hojas
2,9 en escala de rebrote después de corte (0-5 máximo)
72 kg/ha en producción de semilla
11 % de crecimiento en periodo seco
24 % de reducción sin fertilización
45 % de reducción al segundo año

Fuente: (Adaptado de Jank 1995)

En la Zona Huétar Norte se ha encontrado que las fincas que utilizan *Megathyrsus maximus* cv Mombaza, cuentan con alta producción de forraje/ha, recuperación rápida post-pastoreo, tolerancia intermedia a *Prosapia* spp., tolerancia a altos niveles de humedad temporal en suelo, cuentan con alta relación hoja/tallo y buen valor nutricional (Carrillo 2017).

Según Eusse (1990), al igual que otros *Megathyrsus maximus*, Mombaza requiere suelos fértiles que cuenten con buenos drenajes, pero, para mantener una alta producción de forraje es necesario un manejo adecuado de la fertilización del suelo. Por otro lado, las ventajas con las que cuenta este material genético es que es de fácil establecimiento, alto potencial de producción de biomasa de buen valor nutritivo, alta capacidad de recuperación post-pastoreo, resiste alta carga animal y se puede utilizar en sistemas de rotación intensivos (Carrillo 2017).

2.2 Técnicas de muestreo y estimación de biomasa en pasturas

La biomasa de pasturas corresponde al material herbáceo que se produce sobre el suelo, al cual se le conoce comúnmente como rendimiento de materia seca (M.S.) (Mannetje 2000). Los métodos para muestreo en pasturas se han estructurado con el fin de estimar lo ofrecido y rechazado en alimentación de ganado, análisis de la composición botánica y el valor nutritivo presente en el forraje (Bruno *et al.* 1995). Además, la estimación de biomasa es importante para la evaluación de efectos del manejo de las pasturas (fertilización, pastoreo y corte), así como evaluar nuevos germoplasmas y cultivares (Mannetje 2000).

Los procedimientos y la intensidad de muestreo puede variar dependiendo de los objetivos de las mediciones (Mannetje 2000). Respecto a la estimación de biomasa, se pueden clasificar tres tipos: destructivo, no destructivo y mixto.

2.2.1 Método destructivo

Este método consiste en corte y pesado de la muestra de forraje, donde la altura de corte dependerá del tipo de pastura en estudio:

- Leguminosas rastreras y gramíneas de porte bajo, corte al ras de suelo con tijeras de mano o segadoras.

- Leguminosas erectas, corte a 4 cm - 5 cm de altura desde la base del suelo con tijeras o segadora.

En el caso de estas pasturas cuando se esté utilizando tijeras para el corte, se puede tomar un área que va en un rango desde 0,10 m² hasta 1 m² por unidad de muestreo; cuando se ha localizado el marco de muestreo se debe delimitar adecuadamente el área por cortar. En el caso de utilizar segadora se requiere al menos tres metros de longitud por muestra, además de evitar el arrastre de suelo, materiales de desecho y otros elementos que no sean de interés en el muestreo (Bruno *et al.* 1995).

- Gramíneas de porte alto, el corte en este tipo de pasturas debe ser entre 10 cm - 15 cm desde el suelo; en este caso el área para cada unidad de muestreo deberá ser de una longitud de 1,43 m cuando son siembras en filas con distanciamientos entre plantas específicos. Por otro lado, cuando son plantaciones sembradas al voleo, se recomienda utilizar un área de 1 m², y se puede cortar con tijeras de podar o un cuchillo bien afilado (Bruno *et al.* 1995).

Dentro de los factores que intervienen en la exactitud y precisión del método destructivo se encuentran los siguientes: distribución, número, tamaño y forma de la unidad de muestreo.

Respecto a la distribución, las muestras pueden ser ubicadas aleatoriamente, en forma sistemática y estratificada (donde se divide la pastura en bloques con características similares y en estos, las muestras pueden ser tomadas aleatoriamente o de forma sistemática. Cuando las pasturas en estudio son homogéneas los métodos de muestreo apropiados son al azar o sistemático, mientras que, en el caso contrario, cuando se analizan pasturas heterogéneas, será necesario definir áreas homogéneas y muestrearlas al azar o sistemáticamente, posteriormente ponderar cada área según la proporción de área que abarca respecto al total (Bruno *et al.* 1995).

En cuanto al número de muestras, estas dependerán del tamaño, homogeneidad de pastura y el nivel de precisión buscado en la estimación. Conforme aumenta el tamaño de la muestra, esto permite disminuir el número de unidades de muestreo o marcos de muestreo. Por ejemplo, tomando de referencia un coeficiente de variación

de 5% se obtiene igual precisión con nueve muestras de 2,8 m² en comparación a 16 muestras de 0,7 m², aunque la superficie de muestreo es diferente (Bruno *et al.* 1995).

Para reducir los efectos del borde, el perímetro del marco debe ser lo más pequeño en cuanto sea posible en relación con el área de la unidad de muestreo (Mannetje. 2000). La relación más baja de perímetro/área se encuentra con marcos circulares (Van Dyne, Vogel, & Fisser 1963) citado por (Mannetje 2000). Un factor importante para considerar en el momento de cortar la muestra es si se corta según lo que se origina dentro del marco o si se corta estrictamente en plano vertical solamente lo que se encuentra dentro del marco. Mannetje (2000) recomienda diferenciar esto según el tipo de pastura a muestrear, en el caso de pasto rastrero estolonífero se debe cortar en plano vertical, dado que es difícil de conocer el punto de origen de la planta. En cambio, para pasto con crecimiento macollado resulta mucho más sencillo cortar lo que se origina dentro del marco de muestreo y contemplar el material que se salga de este porque forma parte de ese punto de origen (Mannetje 2000).

Posterior a la realización del corte de la unidad de muestreo, se debe efectuar el pesaje de forma inmediata y luego, cuando convenga, se tomará una submuestra para la determinación de materia seca y análisis nutricional, según corresponda (Bruno *et al.* 1995).

2.2.2 Método no destructivo

Este consiste en una estimación visual, en la cual se determina forraje disponible, en términos de densidad, altura y otros parámetros asociados a la calidad del forraje (Bruno *et al.* 1995). Por otro lado, también existen equipos con tecnologías NIRS (espectroscopía de infrarojo cercano), RGB (Filtro de Ondas de frecuencia Rojo, Verde y azul), cámaras espectrales y sistemas de análisis de imágenes digitales, tomadas desde aeronaves no tripuladas tipo “dron”, satélites tecnología LANDSAT entre otros, los cuales mediante algoritmos ajustados y correlacionados con variables nutricionales y productivas, permiten realizar estimaciones con mediciones del área total y en tiempo real, además de considerarse un tiempo corto (Anzola *et al.* 2018).

2.2.3 Método mixto

También llamado método de doble muestreo, este se realiza mediante la mezcla del método destructivo y el no destructivo, de forma que se logre generar una ecuación de regresión, que permite corregir las estimaciones visuales y reduce la subjetividad del método no destructivo (Bruno *et al.* 1995).

2.3 Factores que afectan la precisión y exactitud en la estimación de forrajes

2.3.1 Localización de las unidades muestrales

Al momento que se va a trabajar en una investigación en parcelas, áreas con pasturas o forrajes bajo condiciones específicas, se debe realizar un recorrido por el área en estudio, identificar las características y condiciones de la población en la cual se realizarán muestreos (Herrera 2014). En este primer acercamiento se puede determinar la selección del sistema y el método de muestreo que mejor se adapte para las condiciones que se cuentan (Senra & Venereo 1986), porque esto dependerá de la variabilidad de la población que se desea estudiar y la precisión con la que se pretende realizar la estimación; de forma que se obtenga un resultado representativo de la población en estudio (Torres 2005). Dentro de la pastura se presentan ubicaciones con mayor heterogeneidad, por ejemplo, en las entradas de los apartos, cercanías a caminos y los bordes de los apartos son altamente atípicos (Mannetje 2000). Además, de acuerdo con Mannetje (2000), la ubicación de las unidades de muestreo son más precisas cuando se ubican de forma sistemática, buscando que sea abarcada la mayor variabilidad presente en el área a muestrear.

2.3.2 Número de unidades muestrales

El número de muestras es clave para alcanzar resultados representativos de forma que se reduzca el error mediante fundamento estadístico tomando en cuenta: área a muestrear, tamaño de muestra y cantidad de personas que intervienen en el muestreo (Herrera 2014). Una forma no estadística para determinar el número y tamaño óptimo de unidades muestrales para un tipo de pasto específico consiste en hacer pruebas de muestreo con diferentes tamaños (Mannetje 2000). La fluctuación de la media disminuye con el aumento de número de unidades de muestreo (Greig-Smith 1964) citado por (Mannetje 2000). El número óptimo y tamaño de marco de

muestreo tienen una relación inversa con la densidad y homogeneidad de la pastura (Mannetje 2000). Una forma para determinar el número de puntos de muestreo es mediante prueba t para muestras apareadas, esta depende de la media y la varianza de las diferencias y del valor hipotético para el promedio de las diferencias en la población a estudiar (Balzarini *et al.* 2011), por otro lado, se puede utilizar el coeficiente de variación y el porcentaje de error aceptable en poblaciones infinitas con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{t_{\left(\frac{\alpha}{2}, n-1\right)}^2 * CV\% ^2}{\%E^2}$$

2.3.3 Tamaño de la unidad muestral

No existen reglas específicas para determinar el tamaño del marco a usar para muestreo. Un punto importante que se debe contemplar es que cada unidad muestral debe estar en capacidad de representar la vegetación o parte de la vegetación en el campo de pastura (Mannetje 2000). El tamaño de la muestra dependerá del objetivo de estudio, en el caso de análisis del comportamiento morfo-fisiológico de pasturas se pueden tomar muestras de 200 g de MS y se obtienen valores muy confiables (Del Pozo *et al.* 1998). Por otro lado, se debe considerar que el tamaño sea representativo respecto a la población muestreada, aunque también es importante considerar el trabajo de campo y trabajo de laboratorio, ya que el volumen de la muestra puede introducir errores, aumentar el tiempo de procesamiento, influir en la cantidad de recurso humano necesario y en la disponibilidad de herramientas e insumos (Herrera 2014).

2.3.4 Horario de muestreo

Según la hora del día las condiciones ambientales cambian en términos de humedad, temperatura, radiación, evaporación y velocidad del viento; estas variables causan un efecto en las estimaciones de forraje (Herrera 2014). De acuerdo con Hernández & Herrera (1985), durante las primeras horas de la mañana (6 am – 8 am) en periodo de poca precipitación se cuenta con mayores rendimientos ($P < 0.01$), en cambio para el periodo lluvioso, no se presentan efectos importantes sobre la hora en que sea realizado el muestreo.

2.3.5 Conservación de la muestra

En el caso de la recolección de las muestras existen recipientes, bolsas y demás, pero lo recomendable es empacar las muestras en bolsas de nylon cerradas herméticamente de forma que no sean expuestas a altas temperaturas o radiación solar por un periodo mayor a dos horas, lo que permitirá reducir al máximo cualquier alteración bioquímica de la muestra (Herrera 1974).

2.3.6 Número de personas que procesan las muestras

Según Del Pozo *et al.* (1998), el nivel de variación en el contenido de materia seca presenta diferencias significativas respecto al número de personas que realizan el procedimiento, con un valor hasta del 40% cuando se realiza por cuatro técnicos o 25% con dos técnicos. Como consecuencia se recomienda utilizar el número mínimo de técnicos y que la misma persona lleve el registro de una misma variable.

2.4 Estimación de biomasa en *Megathyrus maximus* cv Mombaza

De acuerdo con Allen (2019), el procedimiento de doble muestreo resulta efectivo en condiciones homogéneas del pasto Mombaza. En su estudio utilizó tres marcos de referencia donde tres corresponde al marco con mayor crecimiento, dos crecimiento intermedio y uno el crecimiento más bajo, luego se reportó su peso en fresco y posteriormente su corrección a peso en materia seca (Cuadro 3). El tamaño del marco utilizado fue de 1 m² a una altura de corte de 15 cm desde la base de la planta hacia arriba.

Cuadro 3. Peso de las muestras correspondientes a los valores visuales estimados por doble muestreo en pasto Mombaza (*Megathyrus maximus*) en la unidad de ganado de carne El Zamorano, Honduras, 2019.

Rangos de referencia	Materia Verde (g/m ²)	Materia Seca (g MS/m ²)
1	635	178,1
2	317	88,9
3	158	44,3

Fuente: (Allen 2019).

De los valores visuales asignados y el peso de la materia seca se determinó la ecuación de regresión ($y=66.895x - 30.012$) y el coeficiente de determinación ($R^2=0.9643$), lo que indicó que el valor visual asignado presenta una influencia muy importante sobre los gramos de materia seca de cada muestra. El muestreo se realizó de forma sistemática, a 4 m del borde caminando por el centro del potrero, se instaló un marco de muestreo cada 30 pasos y se asignó un número según el tipo de crecimiento, para realizar un total de 28 observaciones (Allen 2019).

El cálculo para la determinación de materia seca por hectárea utilizado por Allen (2019) correspondió al valor promedio de los estándares de referencia que se asignaron a las observaciones y los pesos de las tres muestras colectadas, luego se promedió el peso de las réplicas para obtener un valor de materia verde y materia seca por muestreo.

En sus resultados Allen (2019) reportó la producción de biomasa (t MS/ha) a lo largo de su estudio y la variación de MS%, desde el 17 de junio de 2019 dando un valor máximo de 2,2948 t MS/ha en el primer muestreo sin presión de pastoreo, hasta el 25 de julio de 2019 con una producción de 1.2823 t MS/ha con un intervalo entre pastoreo de 38 días (Cuadro 4).

Cuadro 4. Productividad del pasto Mombaza (*Megathyrsus maximus*) estimada mediante la metodología de doble muestreo en la unidad de ganado de carne El Zamorano, Honduras, 2019.

Fecha de muestreo	Tipo de muestreo	Materia seca (%)	Productividad (ton MS/ha)
17 de junio	Pasto disponible	27,23	2,2948
21 de junio	Pasto rechazo	16,38	0,8259
2 de julio	Intermedio	23,69	1,1751
15 de julio	Intermedio	23,70	1,2823
25 de julio	Pasto disponible	31,08	1,4270
27 de julio	Pasto rechazado	26,51	0,0846
15 de agosto	Intermedio	28,05	0,567

Fuente: (Adaptado de Allen 2019).

Por otra parte, Batistoti *et al.* (2019), estimaron la altura del dosel del pasto guinea *Panicum maximum* cv. BRS Tamani con fotografías aéreas mediante VANT (vehículo no tripulado – Phantom 4 Advanced) y propusieron una ecuación para la estimación de biomasa de las pasturas en sabana brasileña basado en la altura del dosel del pasto determinado por el VANT. Para esto, realizaron muestreo de masa y medición de altura del pasto en campo, simultáneamente tomando las fotografías con el VANT (Batistoti *et al.* 2019). Este fue volado a una altura de 50 m y las imágenes se generaron con una distancia media entre muestras de aproximadamente 1,55 cm (Batistoti *et al.* 2019).

La altura del dosel del forraje estimada por los VANT se calculó como la diferencia entre el modelo de superficie digital (MSD) y el modelo de terreno digital (MTD) ambos mediante el análisis de imágenes con el software Pix4D (Batistoti *et al.* 2019). El área experimental utilizada se compuso por cuatro parcelas experimentales de 3 m x 12 m que a su vez se subdividieron en subparcelas de 3 m x 3 m, en total se utilizaron 9 m² por cada edad de cosecha (21, 35, 49 y 63 días) y toda la biomasa presente en las unidades experimentales fue cuantificada por encima de una altura de corte respecto al suelo de 10 cm (Batistoti *et al.* 2019).

El R² determinado por Batistoti *et al.* (2019) entre la altura de la regla en campo y la altura del VANT fue de 0,80, un error cuadrático medio normalizado (NRMSE) de 10,99% y un coeficiente de correlación (CC) = 0,89, la diferencia entre las alturas tomadas por el VANT y las medidas en campo con regla fue de aproximadamente 8 cm (Figura 1). El modelo de superficie digital puede subestimar la altura en campos heterogéneos donde se presentan áreas con suelo descubierto (Geipel, Link, & Claupein 2014).

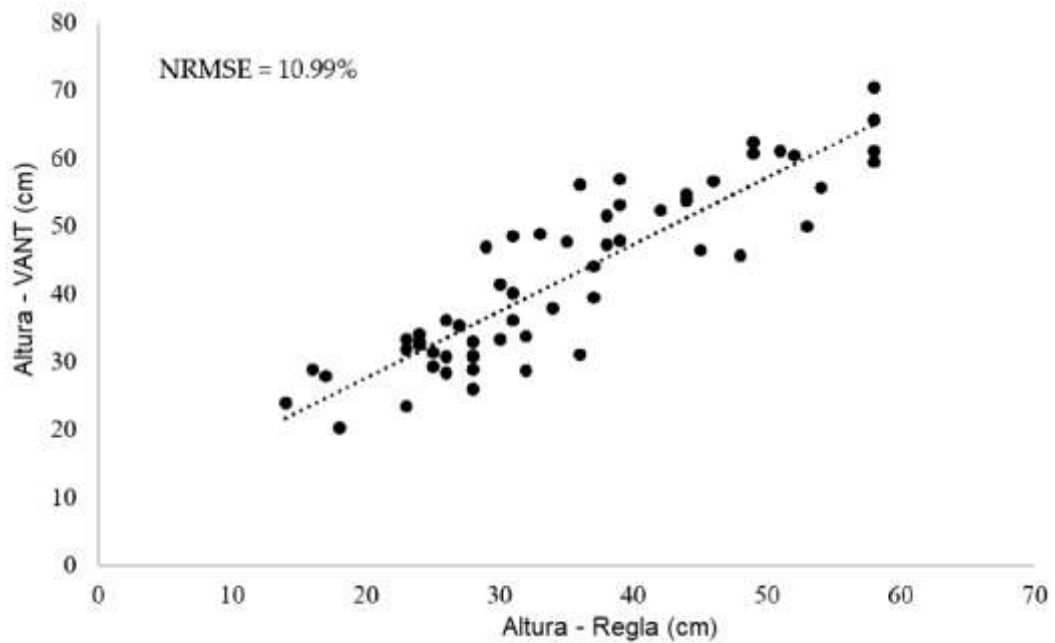


Figura 1. Relación entre la altura estimada en pasto BRS Tamani (*Panicum maximum*) por el VANT y la medición con regla en campo para establecer el modelo de superficie digital, Terenos — Mato Grosso do Sul (MS), Brasil. Fuente: (Adaptado de Batistoti *et al.* 2019).

Además, entre la biomasa (kg ha^{-1} GB — biomasa verde) y la altura de la regla en campo, el R^2 fue de 0,81, con coeficiente de correlación (CC) entre la altura medida con la regla y la biomasa de 0,90 (Figura 2), indicando que estas medidas estaban altamente correlacionadas y un NRMSE de aproximadamente 7,96% (Batistoti *et al.* 2019).

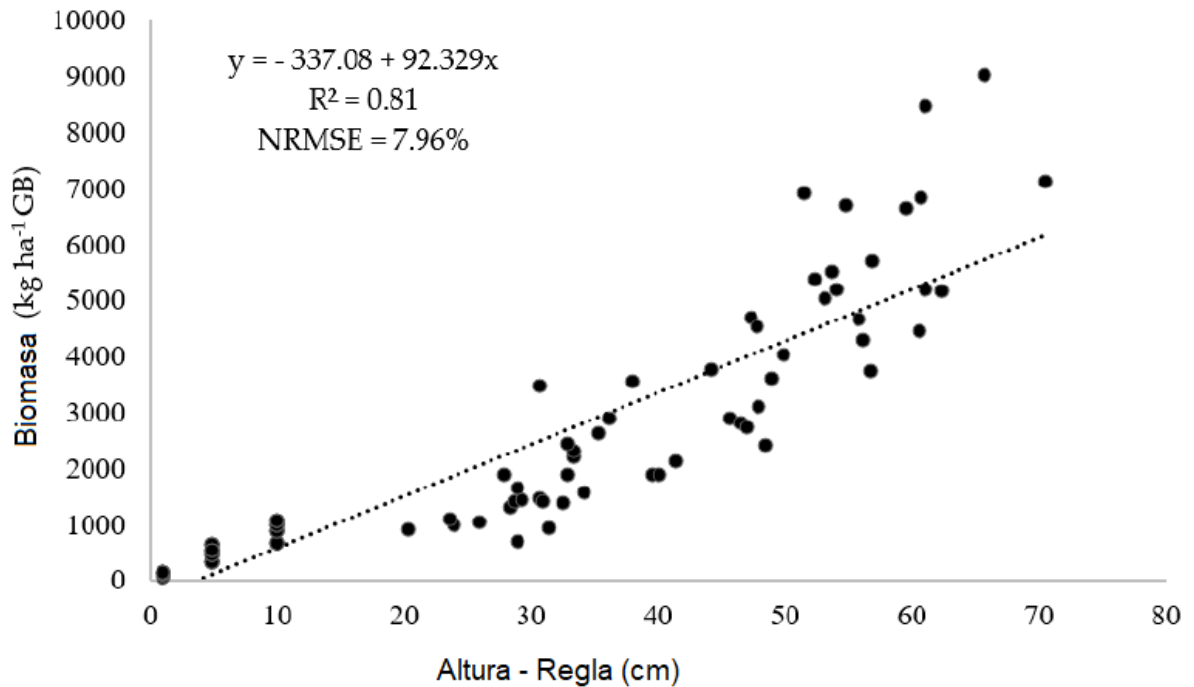


Figura 2. Relación entre biomasa y altura medida con regla en campo en pasto BRS Tamani (*Panicum maximum*) para establecer el modelo de superficie digital, Terenos — Mato Grosso do Sul (MS), Brasil, 2019. Fuente: (Adaptado de Batistoti *et al.* 2019).

El R^2 determinado por Batistoti *et al.* (2019) entre biomasa (kg/ha^{-1} BV) y altura del VANT fue de 0,74, el NRMSE de aproximadamente 12,5%. La correlación entre la altura del VANT y la biomasa forrajera fue $\text{CC}=0,86$ (Figura 3). Cada centímetro adicional en la altura medida con el VANT representó un incremento de aproximadamente 88 kg ha^{-1} en biomasa verde para cada parcela experimental, la biomasa forrajera aumentó proporcionalmente a la altura del dosel del pasto cuando se midió con el VANT (Batistoti *et al.* 2019).

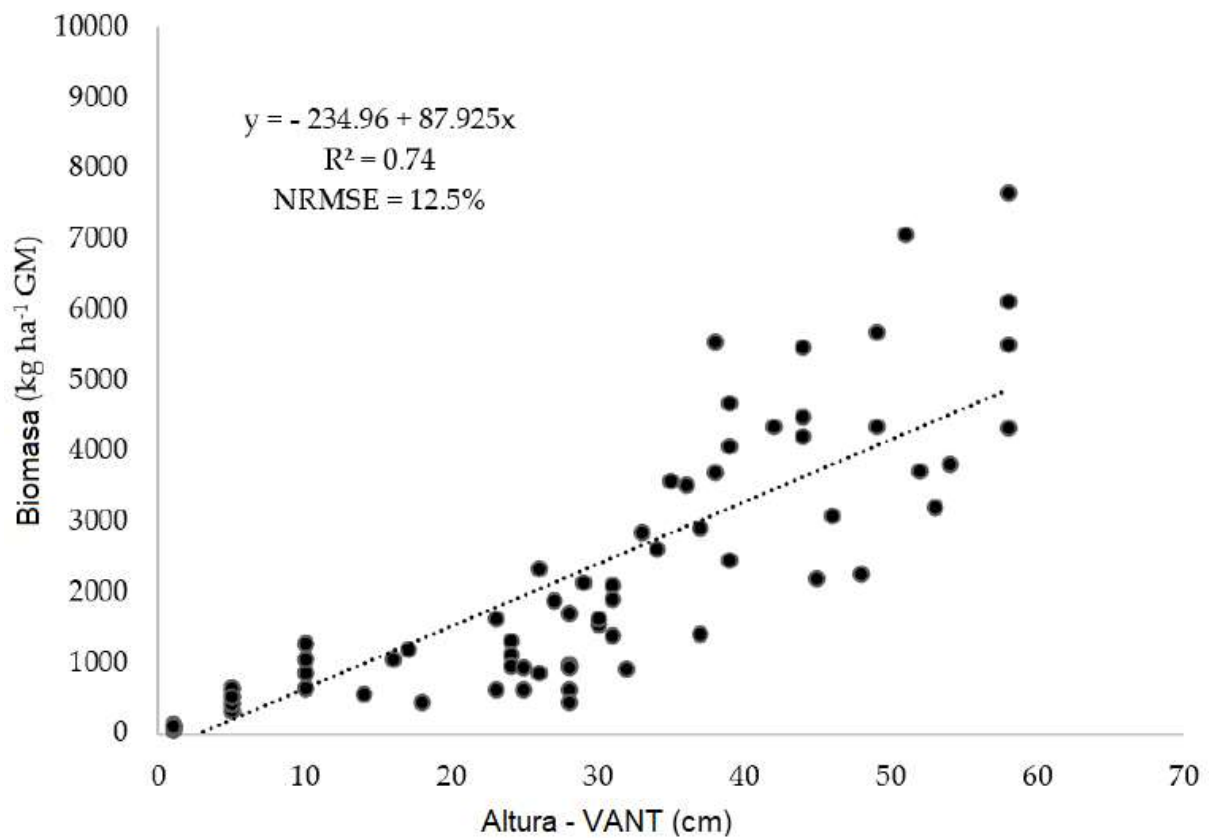


Figura 3. Relación entre la altura estimada por el VANT y la biomasa forrajera del pasto BRS Tamani (*Panicum maximum*) para establecer el modelo de superficie digital, Terenos — Mato Grosso do Sul (MS), Brasil, 2019. Fuente: (Adaptado de Batistoti et al. 2019).

En los últimos años se han reportado tamaños de marco de muestreo que va desde los 0,25 m² hasta los 16 m² para la estimación de biomasa forrajera de pasto Mombaza (Cuadro 5). Se encuentra un rango muy amplio de áreas de forma que no hay un valor fijo para este forraje.

Cuadro 5. Tamaño de marco de muestreo utilizado en estimación de biomasa del pasto Mombaza (*Megathyrus maximus*), reportado por varios autores en Los últimos años en Costa Rica y Honduras.

Autor:	Área de muestreo
Schnellmann <i>et al.</i> 2019	1 m ²
Cerdas & Vallejos 2011	16 m ²
Villalobos & WingChing 2019	0,56 m ²
Rodríguez 2009	0,25 m ²
Allen 2019	1 m ²

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del lugar de estudio

El trabajo se llevó a cabo en cuatro fincas: Finca San Lorenzo Colegio Agropecuario (San Ramón, Alajuela), Finca Lechería Colegio Agropecuario (Santa Clara, San Carlos, Alajuela), Finca La Vega (La Vega, San Carlos, Alajuela) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC) y Finca Alonso Aguilar (Santa Clara, San Carlos, Alajuela). Las distancias entre fincas no supera los 18 km respecto al Laboratorio de Análisis Agronómicos de la Escuela de Agronomía del TEC, Campus San Carlos (10,3631094, -84,5086555), donde se procesaron las submuestras para determinación de materia seca. El clima característico de la región corresponde a tropical húmedo, presenta una estación lluviosa de mayo a enero y una estación seca de febrero a abril, además, la temperatura promedio anual es de 26 °C, humedad relativa promedio de 88% y precipitación anual de 3500 mm (Tecnológico de Costa Rica 2017).

En el caso de la finca San Lorenzo (S.L.) (10°20'43.44"N, 84°31'31.06"O), presenta una elevación de 173 msnm, pasturas sin manejo de fertilización anual y en rotación de ganado de engorde, con dos días y medio de permanencia. Estas pasturas tienen una edad aproximada de cinco años, con carga animal variable rondando las tres unidades animal/ha. El bloque de la finca circundante al espacio experimental consiste en 15 apartos con un tamaño aproximado de 3500 m². El suelo presente en el área experimental es muy pedregoso con alta concentración de arena, además presenta una pendiente menor a 1%.

La finca Lechería Colegio Agropecuario (L.A.) (10°20'58.85"N, 84°30'30.09"O), cuenta con una elevación de 177 msnm, pasturas bajo manejo de fertilización mediante purinas una vez al mes y programa de fertilización química con dos aplicaciones anuales con las fórmulas Ferticrop Abopasto® (24-12-6 + 4,9MgO + 6S + 0,04Zn), Magnesamon (21-0-0 + 7,5 MgO) a una dosis de 92 kg/ha para cada fórmula. Esto da un aporte teórico de 41 kg N/ha/año, 11 kg P₂O₅/ha/año, 5,5 kg K₂O/ha/año, 11,4 kg MgO/ha/año, 5,5 kg S/ha/año. Estos catorce apartos son destinados para rotación de ganado bovino lechero en producción. Los apartos rondan los 3000 m², con divisiones en tres partes para aumentar el aprovechamiento

de la pastura de forma que concentra los animales en 1000 m² por un lapso de seis horas, posteriormente se pasan al segundo segmento y seis horas después se abre la totalidad del aparto. Se tiene una carga animal alta (rondando los 2,2 UA/ha) de vacas lecheras en producción. En esta finca el periodo de descanso de cada aparto ronda entre 27 días. El pasto mombaza en esta finca tiene edad aproximada de tres años y presenta asociaciones con pasto estrella. Además, el suelo es ligeramente pedregoso.

La finca La Vega del Tecnológico de Costa Rica (L. V.) (10°26'8.12"N, 84°31'58.73"O), presenta una elevación de 78 msnm, la pastura no cuenta con manejo de fertilización, solamente se fertilizó a la siembra hace aproximadamente cuatro años. Esta área se utiliza para rotación de vacas reproductoras del hatillo de ganado de cría, con carga animal promedio de 1,8 UA/ha. El área de cada aparto dentro de este bloque de la finca ronda 3 ha – 4,5 ha, en total está formado por doce apartos. La permanencia es de tres días según disponibilidad de forraje y tiempos de recuperación superiores a 30 días. El suelo en este aparto es principalmente arenoso, el relieve es plano con pendiente mínima.

La finca Alonso Aguilar (A. A.) (10°21'56.33"N, 84°30'14.19"O), cuenta con una elevación de 172 msnm. Esta unidad mantiene un rol de fertilización mediante purines, fertilización foliar y fertilización granulada según la época del año, a inicio de la época lluviosa se realizan dos aplicaciones con la fórmula 8-20-5-6(Ca)-2(Mg)-9,6(S) y luego se vuelve a aplicar al final de época lluviosa, durante la temporada de invierno se utilizan las fórmulas 20-5-8-31(S), 14-10-16-2(Mg)-9,6(S) y Urea Plus 46-0-0. En total se realizan diez aplicaciones por hectárea por año en forma granulada y cuatro aplicaciones foliares por hectárea por año y una aplicación de cal dolomita a 200 kg/ha en marzo. Con este manejo, en fertilización química se realiza un aporte de 200 kg N/ha/año, 90 kg P₂O₅/ha/año y 50 kg K₂O/ha/año. Los apartos son de aproximadamente 2500 m², se utiliza principalmente para rotación de vacas en producción con permanencias de cuatro horas a cinco horas y tiempo de recuperación aproximado de 30 días, una carga animal aproximada de 2,56 UA/ha. El suelo presente en este aparto es limoso-arenoso, con un relieve ligeramente ondulado con pendiente mínima.

3.2 Periodo de estudio

La fase experimental del proyecto se realizó desde el 3 de febrero de 2020 hasta el 1 de abril de 2020, en la temporada de menor precipitación “verano”. Durante este periodo se realizó la totalidad del trabajo en campo, desde demarcación y establecimiento de las estaciones de muestreo hasta culminar con los muestreos en la determinación de todas las variables.

3.3 Área experimental

Se establecieron tres estaciones de muestreo o “*enclosures*” de 4 m por 4 m (16 m²) por cada finca. Los puntos para el establecimiento de las estaciones se seleccionaron según la mayor homogeneidad dentro del apartado, de manera que cada estación estuvo representada por sitios con alta cobertura de pasto. Estas estaciones fueron delimitadas con cuatro hilos de alambre de púa. Dentro de cada estación se definió un área de muestreo que consistió en 2 m por 2 m. De esta manera, se trató de eliminar el efecto de borde causado por posible consumo de pasto cuando los animales entraran a pastorear en los apartos donde se encontraban ubicadas las estaciones seleccionadas para el trabajo.

3.4 Unidad experimental

Las unidades experimentales en esta investigación correspondieron a cada cuadrante de 0,25 m² que en forma acumulativa se fueron muestreando, desde solo un cuadrante (0,25 m²), hasta 16 cuadrantes (4 m²), para conformar así los tratamientos. Así, en cada área experimental de 2 m x 2 m, dentro de cada estación, se ubicaron 16 cuadrantes de 0,5 m x 0,5 m.

3.5 Descripción de procedimientos

Una vez cercada las estaciones, se realizó un corte de uniformación simulando el pastoreo a una altura entre 25 cm y 30 cm, con el objetivo de homogenizar la altura del forraje residual. A partir de ese momento, se permitió un período de rebrote de 35 días.

3.5.1 Determinación del tamaño mínimo del “marco de muestreo”

En este trabajo se utilizó una adaptación del método de área mínima específica (*sensu* Boudouresque 1971), la cual se denominó DCAM (determinación de la curva de área/masa) y consistió en la medición de puntos de muestreo en diferentes estaciones dentro de cada finca.

En cada una de las áreas demarcadas se determinó la curva de área/masa iniciando con un área de 0,25 m², dada por una cuadrícula de 50 cm por 50 cm, donde fue recortada la biomasa del pasto a una altura de 25 cm sobre el nivel del suelo. El peso fresco fue registrado. Este procedimiento se repitió con incrementos en el área de muestreo de 0,25 m² hasta alcanzar un área total de 4 m², obteniéndose un total de 16 tratamientos; para ello se utilizó un marco metálico construido con un total de 16 cuadrantes y con bases ajustables a la altura de corte deseada (Figura 4). Las muestras fueron tomadas en una sucesión de espiral, de adentro hacia afuera (Figura 4).

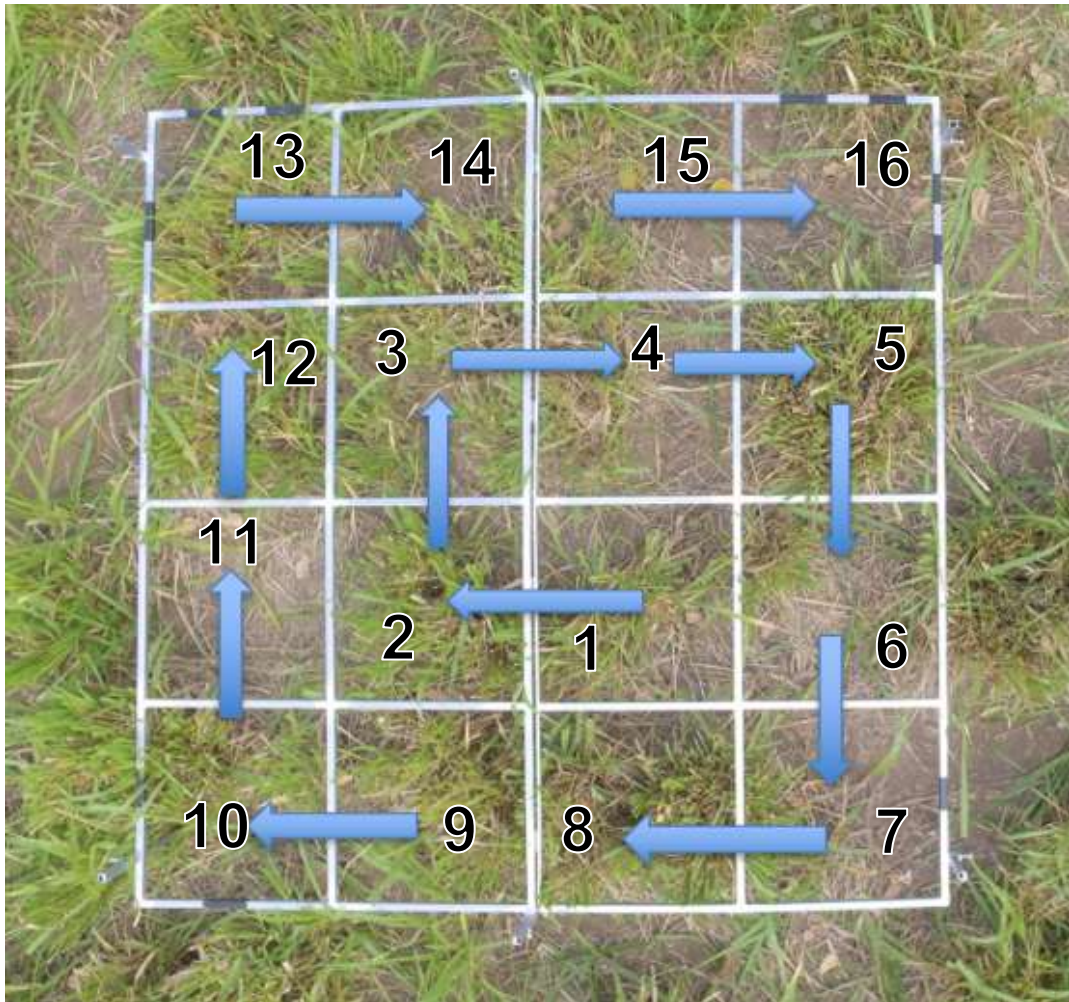


Figura 4. Esquema del muestreo realizado en las pasturas de las fincas en estudio para determinar la curva de área/masa para la variable de peso seco de biomasa del pasto *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza, San Carlos, Costa Rica, 2020.

El experimento contó con tres repeticiones en cada finca. A cada muestra se le tomó una submuestra para determinar materia seca. El valor obtenido para cada unidad experimental (área de muestreo desde 0,25 m² hasta 4,0 m²), se obtuvo calculando la producción de biomasa acumulada con forme cada unidad de muestreo incrementaba su área de cosecha en 0,25 m² (Cuadro 6). El dato resultante con base materia seca, fue referido a un área estándar (0,25 m²); a partir de este valor se hizo la extrapolación a kg MS/ha y este fue el valor utilizado en los análisis estadísticos.

Cuadro 6. Cuadrantes de muestreo y su respectivo tratamiento, según área total de muestreo (m²), para la determinación de la curva área/masa, en las fincas en estudio, San Carlos, Costa Rica, 2020.

Tratamiento (cuadrante)	Área total de muestreo (m ²)
1	0,25
2	0,50
3	0,75
4	1,0
5	1,25
6	1,50
7	1,75
8	2,0
9	2,25
10	2,50
11	2,75
12	3,0
13	3,25
14	3,50
15	3,75
16	4,0

El peso parcialmente seco se obtuvo a partir de una submuestra de aproximadamente 300 g peso fresco, secada a 55 °C en un horno de aire forzado, hasta peso constante (72 horas). Una vez secas, las submuestras se dejaron a temperatura ambiente, hasta alcanzar un peso estable, antes de registrar el peso seco. El porcentaje de materia seca (55 °C) se obtuvo a partir de la proporción de peso seco respecto al peso fresco. Este procedimiento se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Análisis Agronómicos en el Campus Tecnológico Local San Carlos.

3.5.2 Determinación del número mínimo puntos o sitios de muestreo

Una vez determinado el tamaño mínimo de marco de muestreo para la estimación de biomasa forrajera, el número de muestras necesarias fue calculado en función de un porcentaje de error de muestreo máximo (5% y 9% de error aceptable) requerido para la estimación de la media poblacional, ajustado al coeficiente de variación encontrado en cada finca, con un alfa = 0,05 (95% de intervalo de confianza).

3.5.3 Caracterización de la arquitectura de las cepas

El día de muestreo se realizaron tres procedimientos para la caracterización de las cepas. Primero se identificaron tres tamaños de cepa (grande, mediana y pequeña) según su área dentro del marco de muestreo (Figura 1). Después, se contabilizó el número de macollos/cepa para cada una de las tres categorías (grande, mediana y pequeña). Además, se midió la altura (cm) del pasto (desde la base hasta donde la hoja más alta se empieza a doblar hacia abajo). También, se pesó la masa correspondiente a cada una de las cepas, para obtener su peso fresco y posteriormente peso seco. Por otro lado, se tomaron fotografías aéreas mediante VANT (vehículo no tripulado) y el área de cada una de las cepas en estudio fue estimada utilizando el software Image J (Wayne 2020). Se calculó también la densidad de macollos por metro cuadrado (mc/m^2) y el rendimiento promedio de las cepas ($g MS/m^2$).

3.6 Variable de respuesta

Se evaluó la siguiente variable:

- Peso seco en kg MS/ha para cada unidad experimental, a una altura estandarizada de 0,25 m.

Además, se tomaron mediciones descriptivas de las siguientes variables:

- Densidad promedio de macollos por metro cuadrado, según el tamaño de cepa
- Área de cepa en metros cuadrados, a la altura de corte (25 cm).
- Peso seco/cepa para cada categoría de cepa, g MS, a una altura de corte estandarizada a 25 cm.

- Rendimiento de cepa, g MS/ m², para cada categoría de cepa

3.7 Método para toma de datos

En el proceso de muestreo y medición de las variables se utilizaron hojas de muestreo prediseñadas para los datos que se estaban registrando. Además, el protocolo de medición se realizó de la misma forma para cada una de las estaciones de muestreo analizadas en este proyecto. La hora de muestreo comprendió de las 6:15 am hasta las 11:30 am.

3.8 Modelos estadísticos

En la determinación del tamaño mínimo del marco de muestreo se realizó el diseño de muestreo no probabilístico discrecional, donde cada unidad de muestreo se ubicó en sitios homogéneos de la pastura evaluada, con tres repeticiones por cada finca.

La información obtenida por finca fue analizada mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + \epsilon_{ij}$$

Donde μ se refiere a la media general, A_i corresponde al efecto del tratamiento (área muestreada desde 0,25 m² hasta 4,0 m², con áreas incrementales de 0,25 m²), B_j el sitio (tres sitios en cada finca), como bloque y ϵ_{ij} es el error experimental.

Se ejecutó además un análisis global con todas las fincas, según el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + (A * C)_{ik} + E_{ijk}$$

Este se interpreta de la siguiente forma: μ es media general, A_i corresponde al efecto del tratamiento, B_j se refiere al efecto de sitio o bloque (efecto aleatorio); C_k corresponde al efecto de finca (efecto fijo) y $(A * C)_{ik}$ corresponde a la interacción entre tratamiento por finca; por último, E_{ijk} corresponde al error experimental.

Para la determinación del número de muestras se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{t_{\left(\frac{\alpha}{2}, n-1\right)}^2 * CV\%^2}{\%E^2}$$

Donde n corresponde al tamaño de muestra, $t_{\left(\frac{\alpha}{2}, n-1\right)}$ se refiere a la t de Student, con un nivel de probabilidad de $\alpha/2$ y n-1 grados de libertad, cv es el coeficiente de variación y E^2 es el error aceptable para la precisión en la estimación.

La caracterización de la arquitectura de la cepa (enfocada en caracteres de importancia productiva) se analizó para cada finca por separado y la información se utilizó para hacer una descripción cualitativa del material experimental.

3.9 Análisis Estadístico

El efecto de las variables fijas y otras fuentes de variación se realizó mediante la técnica de modelos lineales y mixtos (MLMix) con corrección de heterocedasticidad utilizando la función "VarIdent". Las diferencias entre medias fueron analizadas con la prueba de Di Rienzo, Guzmán y Casanoves (DGC), con un nivel de significancia del 0,05.

Todos los análisis se ejecutaron con el programa InfoStat/P (Di Rienzo *et al.* 2019).

3.10 Aspectos organizacionales

En el Cuadro 7 se muestra el programa de actividades llevado a cabo en la etapa experimental del proyecto. El periodo de recuperación del pasto mombaza se estandarizó para este experimento a 35 días, y se montaron las estaciones experimentales con una semana de diferencia para muestrear una finca por semana de modo que cada semana estuviera sincronizada para una fecha específica de muestreo. De esta manera se tomó 9 semanas para el desarrollo de las actividades.

Cuadro 7. Programa de actividades para periodo experimental del proyecto determinación del tamaño de marco de muestreo y número de muestras para estimación de biomasa en pasto *Megathyrsus maximus* cv mombaza, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.

Actividades	Periodo de febrero 2020 – abril 2020								
	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7	Sem 8	Sem 9
Establecimiento estaciones L.V.	X								
Establecimiento estaciones S.L.		X							
Establecimiento estaciones L.A.			X						
Establecimiento estaciones A.A.				X					
Monitoreo de Fincas	X	X	X	X	X	X	X	X	
Medición L.V.						X			
Medición S.L.							X		
Medición L.A.								X	
Medición A.A.									X

3.11 Recursos materiales

3.11.1 Materiales y herramientas para la construcción de las estaciones de muestreo

Para el establecimiento de las estaciones de muestreo de cada finca se utilizaron postes para cerca, palas, palines, cuerda para alinear los postes, martillo, tenaza, alambre de púas, grapas, cinta métrica, tijeras podadoras, entre otras cosas.

3.11.2 Material para medición de variables

Para la recolección de variables se utilizó una tijera podadora para recortar el pasto para su respectivo pesaje, bolsas plásticas para recolectar cada muestra que se sometió a pesaje, balanza, marcadores, cinta métrica, VANT (“dron”) DJI Phantom 3 Standard para tomar fotografías aéreas perpendiculares al suelo para medir el área de cepas; libreta de campo, Software ImageJ, lápices y lapiceros.

3.11.3 Material de laboratorio

El pesaje y secado (55 °C) de las muestras se llevó a cabo en laboratorio; para ello se utilizó una balanza digital, bolsas de papel, marcador, horno de aire forzado y una computadora portátil para la digitalización de los datos.

4. RESULTADOS

4.1 Determinación del tamaño mínimo del marco de muestreo para estimación de la producción de biomasa aérea (forrajera) en pasto *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza

4.1.1 Tamaño mínimo de marco de muestreo en finca La Vega

El análisis de varianza señala que no existió efecto ($P>0,05$) del tamaño de área muestreado en la estimación de la producción de biomasa forrajera respectiva (Anexo 1).

Áreas de muestreo inferiores a $2,25\text{ m}^2$, con excepción de la producción obtenida utilizando un área de muestreo de $1,25\text{ m}^2$, subestiman la producción de forraje. Por otra parte, la media correspondiente al área de muestreo de $0,25\text{ m}^2$, aunque no fue significativamente diferente a la estimación de biomasa forrajera con áreas de muestreo entre $2,50\text{ m}^2$ y $4,0\text{ m}^2$ ($P>0,05$), tendió a provocar una sobrestimación de la producción de forraje, siendo de hecho el mayor valor obtenido (1412 kg MS/ha) (Anexo 2). Pareciera que se requiere un área mínima de muestreo de $2,50\text{ m}^2$ para evitar sobre o subestimaciones de la producción de biomasa forrajera (Cuadro 8).

Cuadro 8. Producción de biomasa forrajera promedio (kg MS/ha) del pasto Mombaza (*Megathyrus maximus*), según tratamientos (áreas de muestreo desde 0,25 m² - 4,0 m², con incrementos de 0,25 m²) en Finca La Vega, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.

Tratamiento	Peso Seco (kg MS/ha)	E.E.	(*)
1	1412,29	255,13	A
2	1042,81	119,69	B
3	893,24	184,57	B
4	982,07	142,29	B
5	1125,50	11,98	A
6	984,60	127,89	B
7	1001,42	94,69	B
8	1041,71	97,03	B
9	1046,94	93,72	B
10	1112,36	124,84	A
11	1133,85	112,84	A
12	1140,50	106,04	A
13	1121,54	111,47	A
14	1097,17	103,34	A
15	1150,51	131,19	A
16	1145,03	133,47	A

(*) Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.1.2 Tamaño mínimo de marco de muestreo en finca San Lorenzo.

El ANDEVA respectivo reveló efecto significativo de tratamiento ($P < 0,05$) (Anexo 3). Según la prueba de medias, áreas de muestreo iguales o inferiores a 1.0 m², no serían convenientes dado la subestimación de la biomasa forrajera. El promedio para los tratamientos 1, 2, 3 y 4, fue de 1094 kg MS/ha, significativamente inferior ($P < 0,05$) al promedio de los tratamientos correspondientes a área de muestreo de 1,25 m² hasta 4,0 m² (1785 kg MS/ha) (Anexo 4 y Cuadro 9).

Cuadro 9. Producción de biomasa forrajera promedio (kg MS/ha) del pasto Mombaza (*Megathyrus maximus*), según tratamientos (áreas de muestreo desde 0,25 m² - 4,0 m², con incrementos de 0,25 m²) en Finca San Lorenzo, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.

Tratamiento	Peso Seco (kg MS/ha)	E.E.	(*)
1	884,91	505,99	B
2	1108,77	472,33	B
3	1233,82	449,83	B
4	1147,41	441,97	B
5	1532,6	545,93	A
6	1487,62	510,78	A
7	1721,83	383,15	A
8	1858,52	364,66	A
9	1888,78	364,75	A
10	1871,79	358,20	A
11	1842,06	358,58	A
12	1833,19	354,94	A
13	1882,01	355,66	A
14	1864,93	354,28	A
15	1857,11	354,05	A
16	1779,73	354,00	A

(*) Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.1.3 Tamaño mínimo de marco de muestreo en finca Lechería Agropecuario.

Se obtuvo efecto de tratamiento ó área de muestreo ($P < 0,05$) sobre la variable producción de biomasa forrajera (Anexo 5).

La prueba de medias es de difícil interpretación pues las medias estimadas para los tratamientos entre 0,25 m² hasta 2,0 m² fueron similares ($P > 0,05$) a las medias obtenidas utilizando las mayores áreas de muestreo (3,5 m²; 3,75m² y 4,0 m²) y significativamente inferiores ($P < 0,05$) a las medias de producción de biomasa forrajera obtenidas con marcos de muestreo entre 2,25 m² hasta 3,25 m². Por lo tanto, los resultados obtenidos en esta finca no fueron concluyentes, pues no se puede generalizar una tendencia en la estimación de la biomasa forrajera en función del área de muestreo utilizada (Anexo 6 y Cuadro 10). Además, en áreas de muestreo de 0,25 m² - 1,5 m² se presentaron las estimaciones de biomasa forrajera similares más bajas, sin embargo, se vuelven a presentar valores bajos en áreas que van de 3,50 m² - 4,00 m². Es probable que la finca LA sea muy heterogénea en la estructura de cepas. Por

consiguiente, puede considerarse que es aconsejable el uso de áreas de muestreo de al menos 2,25 m² porque en campo puede resultar impráctico trabajar con áreas mayores de marco de muestreo (Anexo 6 y Cuadro 10).

Cuadro 10. Producción de biomasa forrajera promedio (kg MS/ha) del pasto Mombaza (*Megathyrus maximus*), según tratamientos (áreas de muestreo de 0,25 m² - 4,0 m², con incrementos de 0,25 m²) en Finca Lechería Agropecuario, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.

Tratamiento	Peso Seco (kg MS/ha)	E.E.	(*)
1	1825,44	1080,78	B
2	1373,83	411,49	B
3	2155,48	553,19	B
4	2316,51	341,03	B
5	1908,84	268,72	B
6	2336,48	287,53	B
7	2447,04	346,43	B
8	2449,45	417,77	B
9	2646,61	251,27	A
10	2667,02	285,17	A
11	2530,53	257,15	A
12	2527,25	258,03	A
13	2548,8	250,57	A
14	2376,08	250,70	B
15	2339,84	263,63	B
16	2352,55	262,18	B

(*) Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.1.4 Tamaño mínimo de marco de muestreo en finca Alonso Aguilar.

En este caso el análisis de varianza revela efecto de tratamiento sobre la estimación de la producción de biomasa forrajera ($P < 0,05$) (Anexo 7). La prueba de comparación de medias sugiere que áreas de muestreo entre 0,25 m² - 1,25 m², serían inconvenientes debido a la subestimación de la producción de forraje; los valores obtenidos con estos tratamientos fueron significativamente inferiores ($P < 0,05$) a las estimaciones hechas a partir de muestreos con área de 1,50 m² - 4,0 m² (Anexo 8 y Cuadro 11). Por lo tanto, se requiere un área mínima de muestreo de 1,50 m² para una mejor estimación de la biomasa forrajera del pasto Mombaza.

Cuadro 11. Producción de biomasa forrajera promedio (kg MS/ha) del pasto Mombaza (*Megathyrsus maximus*), según tratamientos (áreas de muestreo desde 0,25 m² - 4,0 m², con incrementos de 0,25 m²) en Finca Alonso Aguilar, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.

Tratamiento	Peso Seco (kg MS/ha)	E.E.	(*)
1	589,71	540,33	B
2	945,76	157,67	B
3	947,8	160,30	B
4	1081,48	153,13	B
5	1140,53	152,72	B
6	1177,62	150,28	A
7	1213,52	155,43	A
8	1279,79	155,44	A
9	1263,2	157,37	A
10	1246,53	156,78	A
11	1262,91	153,01	A
12	1275,27	156,01	A
13	1314,6	187,48	A
14	1316,7	180,58	A
15	1326,21	189,56	A
16	1331,59	173,48	A

(*) Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.1.5 Tamaño mínimo de marco de muestreo: Evaluación global en las cuatro fincas.

El análisis de varianza global incluyendo las cuatro fincas donde se llevaron a cabo los ensayos, señaló que no existieron diferencias en la estimación de biomasa forrajera cuando el área de muestreo fue de 0,25 m² - 4,0 m² ($P > 0,05$), pero sí se presentó un efecto tanto de FINCA como de la interacción TRT x FINCA ($P < 0,05$) (Anexo 9).

En los análisis individuales por finca, en todos los casos, excepto en finca La Vega, el tamaño de área de muestreo fue altamente significativo ($P < 0,01$); en el caso de finca La Vega, el valor de P correspondiente fue de 0,0661. No obstante, lo anterior en la prueba de medias para los efectos simples, puede observarse una tendencia hacia valores más bajos, especialmente para áreas de muestreo entre 0,25 m² - 1,50

m², tratamientos correspondientes a los cuadrantes del 1 al 6 (Anexo 10), indicando la posibilidad de incurrir en subestimación de la producción de biomasa forrajera cuando se utilizan marcos de muestreo con área de 1,50 m² o inferiores.

El efecto simple FINCA señaló importantes diferencias en la producción del pasto Mombaza, desde producciones de 1089 hasta 2300 kg MS/ha en un rebrote de 35 días (Anexo 11). Estos valores corresponden a tasas de crecimiento de 31 kg - 65 kg MS/ha/día, lo cual se considera producciones de bajas a modestas. Debe apuntarse que la estimación de producción de biomasa forrajera a la que se hace referencia corresponde a un solo dato obtenido en época de menor precipitación en la zona en estudio y a una cosecha realizada a los 25 cm de altura sobre el suelo, después de realizado un corte de uniformación a la misma altura. Diferencias en fertilidad del suelo, prácticas de fertilización y cargas animales, podrían explicar las diferencias obtenidas entre fincas.

El efecto del área de muestreo sobre la estimación de la producción de biomasa forrajera fue diferente según la finca en la que se condujo el ensayo (Anexo 9 y Figura 5).

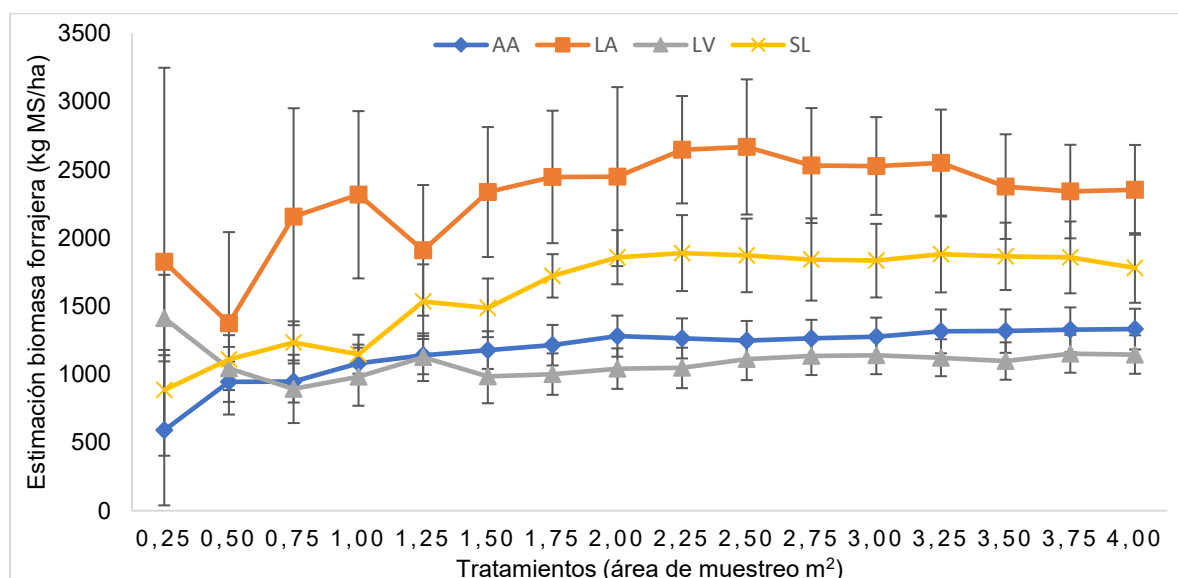


Figura 5. Estimación de la producción de biomasa forrajera del pasto Mombaza (*Megathyrus maximus*) según la finca, con aumentos de área en 0,25 m² en las cuatro fincas evaluadas, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.

En general, a partir de áreas de muestreo de 1,50 m² - 4,0 m² (cuadrantes seis hasta 16), las estimaciones de producción de biomasa se estabilizan en todas las cuatro fincas (Anexo 12).

Algunas variaciones a esta tendencia general son las siguientes: En la Finca Alonso Aguilar (AA), las estimaciones de producción de biomasa forrajera mostraron una tendencia hacia valores mayores y constantes a partir de áreas de muestreo de 1,0 m² (cuadrante 4), no obstante que las medias para las áreas de 0,25 m² - 3,75 m² fueron similares ($P>0,05$) a las producciones estimadas con área mayores.

En finca La Vega (LV), existió una tendencia a una sobreestimación en la estimación de producción de biomasa forrajera cuando el área de muestreo fue de 0,25 m², no obstante, las medias de todos los tratamientos fueron declarados similares ($P>0,05$).

En finca San Lorenzo (SL) ocurrió una marcada subestimación en la producción de biomasa forrajera cuando se utilizó un área de muestreo de 1,50 m² o menos; en este caso las medias fueron significativamente inferiores ($P<0,05$) a las medias correspondientes a producciones estimadas con áreas de muestreo de 1,75 m² o mayores.

En la finca Lechería del Agropecuario (LA), aunque todas las medias fueron declaradas similares ($P>0,05$), los valores menores se obtuvieron con las áreas de muestreo de 0,25 m² y 0,50 m², así como con 1,25 m². En esta finca las estimaciones fueron más estables a partir de 1,50 m².

Así, aunque las estimaciones en producción de biomasa forrajera del pasto Mombaza, conforme las áreas de muestreo fueron en aumento de 0,25 m² - 4,0 m², con incrementos de 0,25 m² entre los tratamientos, mostraron tendencias diferentes según la finca en que se realizó el ensayo, podría generalizarse que los valores más confiables pueden obtenerse cuando se utilizan áreas de muestreo de al menos 1,50 m². Esto depende de la homogeneidad de la pastura, definida entre otros atributos por el tamaño y número de cepas presentes, lo cual determinará el grado de cobertura, no solo antes del momento de cosecha, sino también y lo que podría ser más importante, después de la cosecha o defoliación.

4.2 Determinación del número mínimo de puntos de muestreo requeridos para la estimación de biomasa aérea en pasto Mombaza (*Megathyrsus maximus*) por finca

Se encontró que el coeficiente de variación para cada finca es diferente. En este escenario, la finca S.L presenta el mayor coeficiente de variación, seguido por finca A.A. y con menor C.V las fincas L.A y L.V (Cuadro 11). El cálculo del número de puntos de muestreo necesarios se realizó con dos niveles de error aceptable (E.A.), para considerar el impacto que tiene en la cantidad de muestras necesarias para una buena estimación de la producción de biomasa aérea (Cuadro 12). En el caso de finca L.V, que es la finca con menor C.V., se requieren entre cinco y 17 puntos de muestreo, dependiendo de si el E.A es de 9 o 5%, respectivamente. Por otra parte, para la finca que muestra el mayor C.V (San Lorenzo, S.L), el número de sitios de muestreo oscila entre 21 y 68, dependiendo si el E.A es de 9% o 5%, respectivamente. En promedio se requieren de 41 puntos de muestreo para un error aceptable de 5% o trece puntos de muestreo/ha para un error aceptable de 9%.

Cuadro 12. Número mínimo de puntos de muestreo por finca según el porcentaje de error aceptable en el muestreo de pasto Mombaza (*Megathyrsus maximus*) ($\alpha = 0,05$), San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.

Finca	Coeficiente de variación	Error Aceptable	Sitios de muestreo
A.A.	16.90	5%	44
		9%	14
L.A.	14.78	5%	34
		9%	10
L.V.	10.43	5%	17
		9%	5
S.L.	20.92	5%	68
		9%	21

5. DISCUSIÓN

Los valores determinados para área mínima de marco de muestreo fueron diferentes dependiendo de la finca, pasando de 1,5 m² hasta 2,5 m², excepto en una finca, en donde el resultado del análisis no es concluyente. Este comportamiento puede estar asociado a la arquitectura de la cepa que presenta cada finca, el cual depende de las condiciones intrínsecas de las mismas (fertilidad natural del suelo, programas de fertilización, manejo general del pastoreo, edad de la pastura, otras prácticas de manejo de la pastura). Se encontró que en la finca LA se presentan los valores de densidad por m², según la categorización de la cepa, fueron superiores a las demás fincas, a su vez, esta finca presentó los mayores valores de número de macollos/cepa y las cepas más pesadas (Cuadro 13). No obstante lo anterior, la finca LA fue la que presentó la menor cobertura total, medida según el área ocupada por el pasto después de la cosecha a 25 cm de altura. Esta finca cuenta con un programa de fertilización intensivo, lo cual se reflejó en la mayor producción de biomasa forrajera (Figura 5); sin embargo, es posible que al momento del establecimiento de la pastura el nivel de germinación no fue el óptimo o la densidad de siembra no fuera la óptima, lo que pudo determinar su condición de cobertura actual. Aspectos como la fertilización, la altura de pastoreo (ingreso y salida de los animales) pueden generar un efecto muy importante sobre la homogeneidad del pasto (Pontes-Prates, Carvalho, & Laca 2020).

Cuadro 13. Caracterización promedio por tipo de cepas de pasto Mombaza (*Megathyrus maximus*) según su tamaño, en las cuatro fincas evaluadas fincas por cada sitio experimental, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.

Variable	Finca	Tamaño de Cepa		
		Grande	Mediana	Pequeña
Área (m ² /cepa)	AA	0,33	0,19	0,10
	LA	0,39	0,23	0,08
	LV	0,46	0,31	0,08
	SL	0,31	0,16	0,04
Densidad (macollos/m ²)	AA	463	595	494
	LA	547	658	1082
	LV	242	264	431
	SL	374	419	498
Número de macollos/cepa	AA	149	115	44
	LA	187	147	100
	LV	110	77	31
	SL	119	66	18
Peso seco (g/cepa)	AA	110	78	21
	LA	303	179	101
	LV	125	69	21
	SL	125	72	7
Rendimiento (g MS/m ²)	AA	338	406	261
	LA	806	769	1074
	LV	275	225	293
	SL	402	482	223

De acuerdo con Mannelje (2000), la fluctuación de la media disminuye con el aumento del área muestreada. En general, con la excepción de la finca LA, el aumento en el área del marco de muestreo permitió estimaciones de producción de biomasa forrajera más confiables, lo que sugiere áreas mínimas de marcos de muestreo de 1,5 m², aunque existieron algunas variaciones dependiendo de la finca.

La definición del área del marco de muestreo está determinada por la arquitectura del pasto y por el grado de heterogeneidad dado por la relación entre cobertura de pastura y producción. A manera de ejemplo, la Figura 6 presenta la situación en las

tres repeticiones en finca (LA), reflejando los bajos niveles de cobertura del pasto en ese caso particular (Cuadro 14).

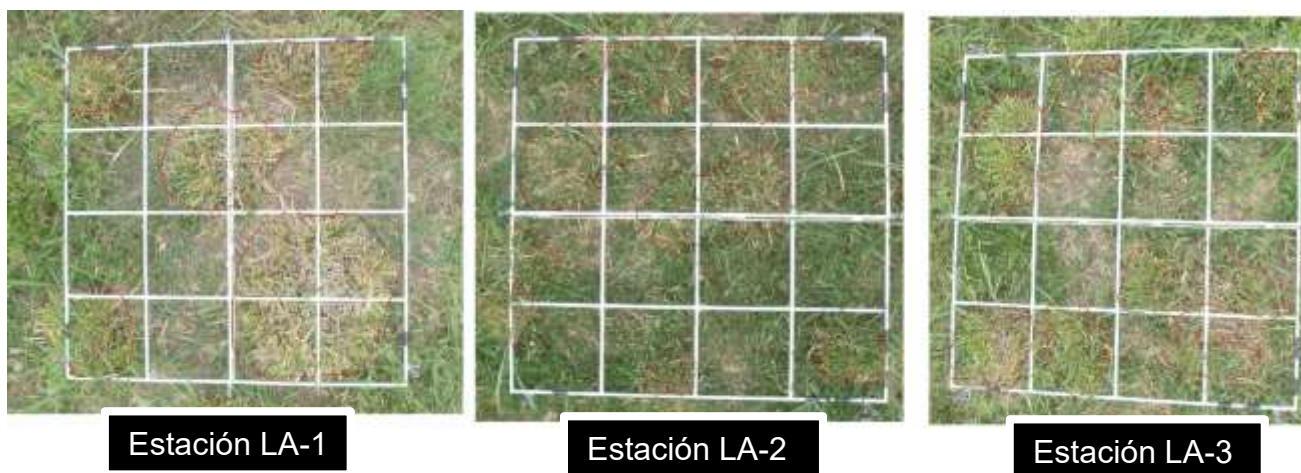


Figura 6. Fotografía aérea mostrando la cobertura del pasto Mombaza (*Megathyrsus maximus*) en cada estación de muestreo (sitio), después del muestreo a altura de corte (25 cm) en finca Lechería Agropecuario, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.

Cuadro 14. Caracterización promedio de las variables de estructura de cepas en pasto Mombaza (*Megathyrsus maximus*) en las cuatro fincas evaluadas, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, 2020.

Variable	SITIO			
	Finca LA	Finca AA	Finca LV	Finca SL
Número de macollos / cepa	145	103	73	68
Peso seco (g MS/cepa)	195	69	72	68
Área (m ² /cepa)	0,23	0,20	0,28	0,17
Densidad (macollos/m ²)	762	517	312	431
Rendimiento (g MS/m ²)	883	335	264	369
Altura de cepa (cm)	75	55	68	67
Cobertura total después del corte a 25 cm altura (%)	36	55	46	50

El efecto de las características de estructura de cepa y la correspondiente cobertura del pasto, sobre la variabilidad en la estimación de la producción de biomasa forrajera en un área de muestreo correspondiente a un marco de 0,25 m² (cada uno de los cuadrantes cosechados individualmente), muestra la gran variabilidad que existe entre diferentes cuadrantes (Figuras 7, 8 y 9), lo que explica la posibilidad de incurrir en una sobre o subestimación de la producción. Al aumentar el área del marco de muestreo, las producciones de biomasa forrajera tienden a estabilizarse lo que permite tener una estimación más confiable. Este hallazgo fue más evidente en algunas fincas que en otras. Allen (2019) en una pastura con alta homogeneidad utilizó un tamaño de marco de 1 m² para la técnica de doble muestreo, lo que se evidencia en este trabajo como lo mínimo aceptable para pasto Mombaza, aunque resulta más preciso que utilizar marcos de muestreo con área inferior.

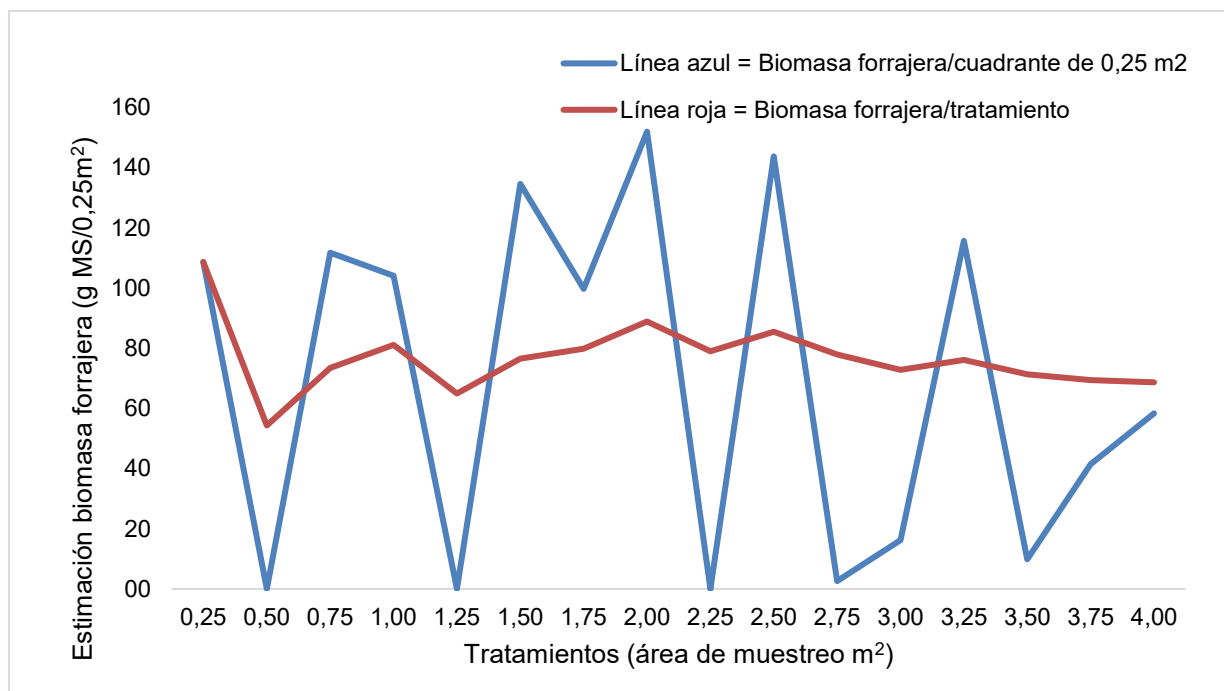


Figura 7. Estimación de la producción de biomasa forrajera por tratamiento en la estación de muestreo Lechería Agropecuario sitio uno, San Carlos, Alajuela Costa Rica, 2020.

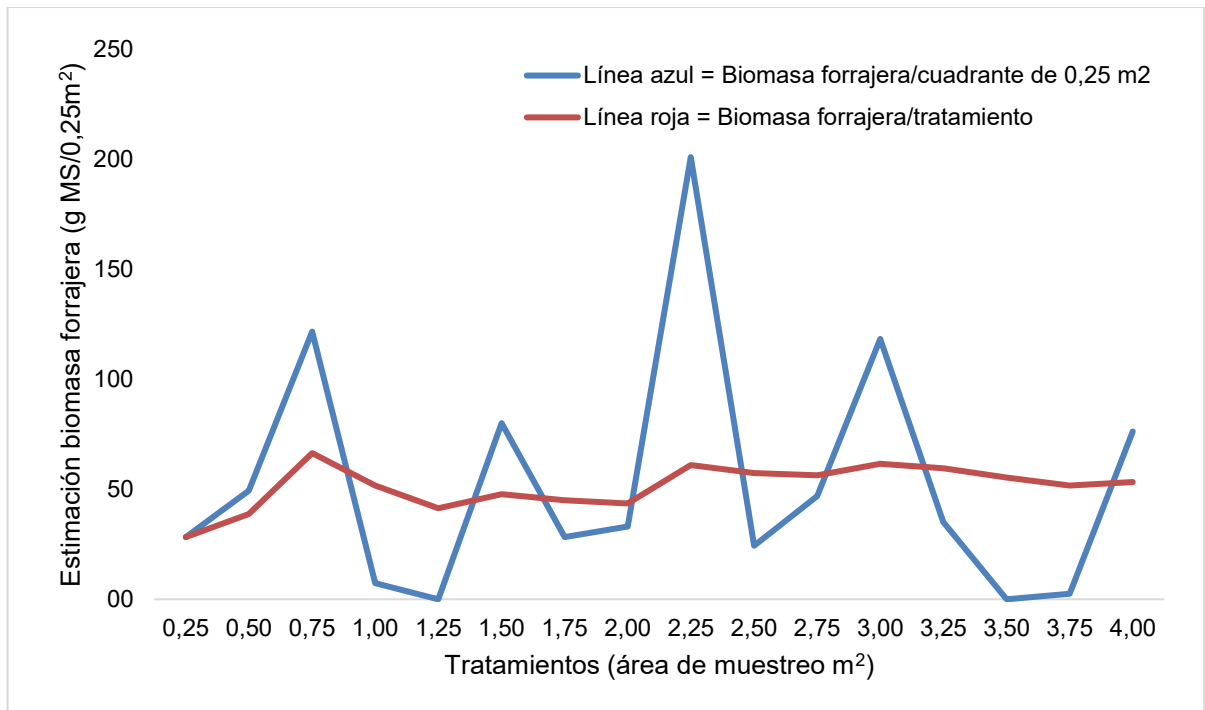


Figura 8. Estimación de la producción de biomasa forrajera por tratamiento en la estación de muestreo Lechería Agropecuario sitio dos, San Carlos, Alajuela Costa Rica, 2020.

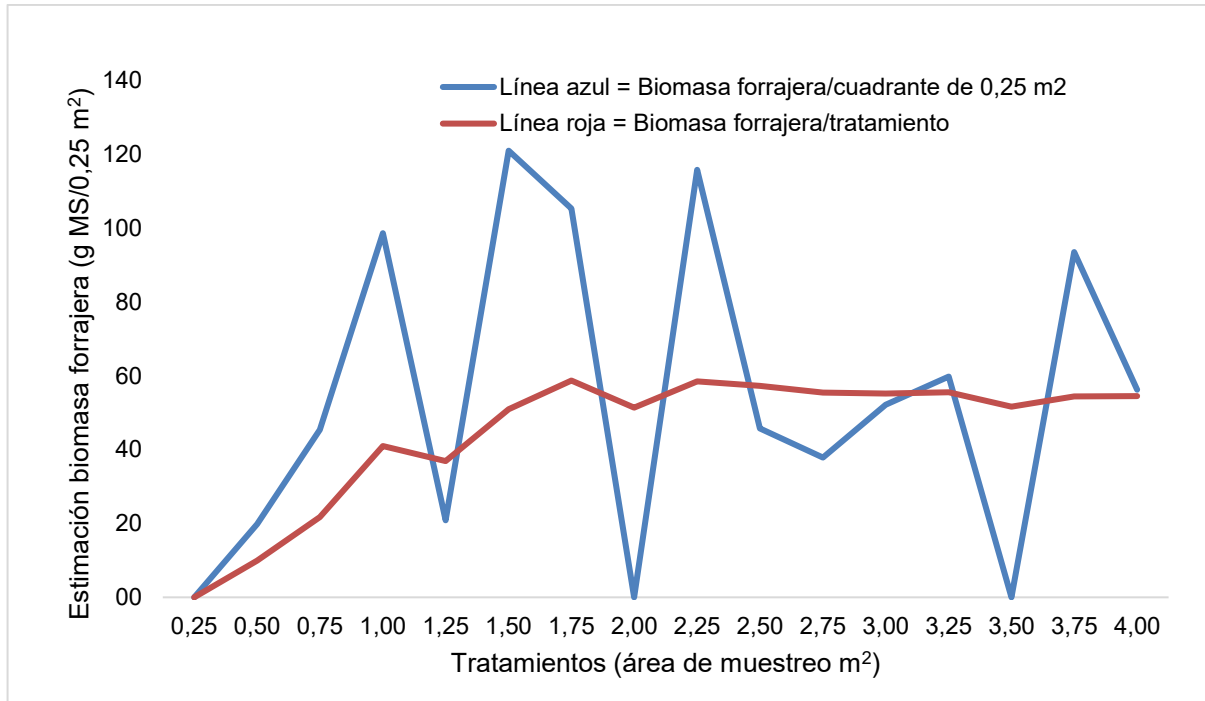


Figura 9. Estimación de la producción de biomasa forrajera por tratamiento en la estación de muestreo Lechería Agropecuario sitio tres, San Carlos, Alajuela Costa Rica, 2020.

El presente trabajo sugiere cierta evidencia que señala que la cobertura de la cepa al momento de la cosecha (sea esta mecánica o por el animal), no es un buen indicador de la homogeneidad de la pastura; en su lugar, la cobertura de las cepas después de la cosecha sería el mejor indicador de la estructura de la pastura porque es el momento en que se pueden apreciar los espacios no cubiertos por el pasto. Así, aunque la cobertura de la pastura al momento de cosecha presente valores altos, si la densidad y tamaño de cepas es bajo, parte del dosel que será cosechado estará compuesto por los estratos superiores de las hojas en disposición lateral al centro de la cepa, lo cual implica producciones de biomasa aérea más bajas que las producciones en proyección vertical directamente sobre el contorno de la base de la cepa (Figura 10).

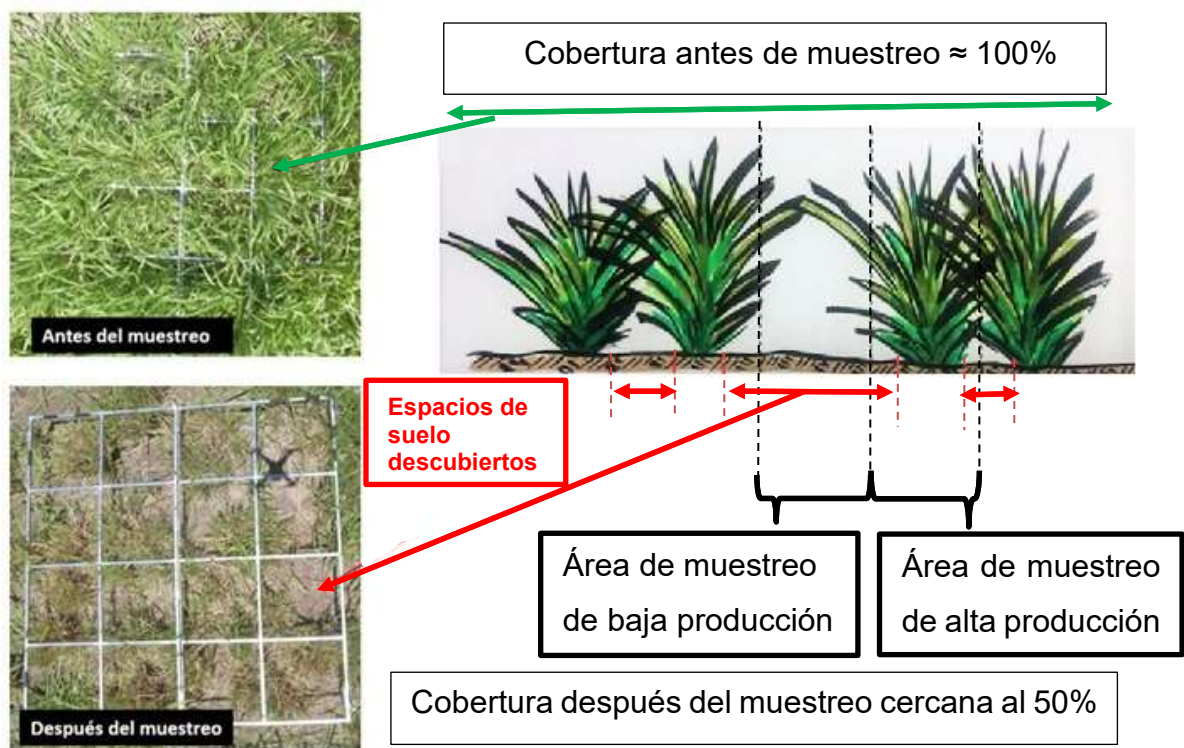


Figura 10. Fotografía aérea mostrando la cobertura del pasto Mombaza, antes y después del muestreo e interpretación gráfica de la importancia de la arquitectura de la cepa y sus implicaciones en las estimaciones de la producción de biomasa forrajera dependiendo de la ubicación del marco de muestreo, San Carlos, Costa Rica, 2020.

En cuanto al número de sitios o puntos de muestreo necesarios para cada finca se encontró que se requiere diferente cantidad de sitios, de forma que según el coeficiente de variación con que cuente cada finca, así, disminuirán o aumentarán los sitios necesarios. Aceptando un error de muestreo de 9% pueden requerirse desde cinco sitios hasta 21 sitios. Fortes *et al.* (2007) encontró un valor intermedio entre los datos obtenidos en este trabajo, reportando que para la determinación del rendimiento del forraje *Pennisetum purpureum* cv. Cuba CT-115, bajo condiciones de homogeneidad altas, encontró que con 15 puntos de muestreo es suficiente al ser comparado con 30 puntos de muestreo ya que no se presentaron diferencias significativas al utilizar mayor número de puntos de muestreo.

Por otro lado, en la revisión bibliográfica de aspectos que influyen en la veracidad del muestreo de forrajes realizada por Herrera (2014), se menciona que para cada finca con pasturas y condiciones edafoclimáticas específicas y según la variable en estudio, el número de muestras requerido siempre varía de una población a otra. Por lo tanto, se debe considerar que para cada situación o estudio específico es necesario determinar el número de muestras necesarias para que la precisión sea la mejor posible respecto a la población muestreada (Herrera 2005).

6. CONCLUSIONES

1. Aunque existen importantes diferencias entre las pasturas de Mombaza (diferencias entre fincas), se puede generalizar que el tamaño mínimo del marco de muestreo debe ser de al menos 1,5 m², para obtener estimaciones de producción de biomasa forrajera más confiables.
2. El grado de heterogeneidad de la pastura, definido por la estructura de las cepas, misma que se ve reflejada en el grado de cobertura de la pastura, determina en buena medida posibilidades de sesgos (sub o sobre estimación), en la medición de biomasa forrajera a partir de muestreos utilizando marcos con áreas de 0,25 m².
3. En especies de pasto cespitosas, de crecimiento macollado y con arquitectura de cepas dispuesta principalmente en forma vertical, la cobertura después de la defoliación es el parámetro que podría estar más asociado con la estimación de la biomasa forrajera cuando esta se realiza mediante cosecha (corte) en un área de muestreo determinada. Marcos con áreas de muestreo inferiores a 1,5 m² podrían no tomar en cuenta la variabilidad que se presenta por la presencia de espacios no cubiertos por el área principal de la cepa, lo que implica la existencia de áreas con densidades de biomasa diferentes, con importantes efectos sobre las estimaciones de producción.
4. El número de puntos o sitios de muestreo depende directamente de la homogeneidad de la pastura. En este trabajo se encontró que puede haber fincas con menor o mayor coeficientes de variación donde en el mejor de los casos, en finca LV, a un 5 % de error aceptable con 17 sitios es suficiente, mientras que a un 9% de error aceptable, con cinco sitios es suficiente. En el peor de los casos, en la finca con el mayor coeficiente de variación (SL), con 5% de error aceptable, se requieren 68 sitios, mientras que con 9%, se necesitan de 21 sitios.
5. Es necesario conocer, a partir de un pre-muestreo, la variabilidad intrínseca de la pastura, a fin de determinar el número mínimo de puntos de muestreo definitivo.
6. El manejo de finca afecta los rendimientos y características de las cepas. Así, finca LA, con fertilización y pastoreo más intensivo, representó el sitio con mayores rendimientos de forraje, aunque, contradictoriamente, fue la finca con coberturas de pasto inferiores. Este aspecto pudo haber estado influenciado por condiciones al momento del establecimiento de la pastura.

7. RECOMENDACIONES

1. Validar los resultados obtenidos en este trabajo en otras pasturas (otros cultivares de *Megathyrsus maximus* u otros géneros de pastos macollados), de reciente introducción y comercialización en el país o de mayor uso en sistemas de pastoreo actuales.
2. Conducir investigaciones adicionales para validar y comparar los resultados obtenidos en este trabajo, con métodos de muestreo para estimaciones de producción de biomasa forrajera que combinen técnicas destructivas y no destructivas, bien a través de estimaciones visuales o uso de otros atributos físicos de la pastura, obtenidos mediante el uso de sensores remotos ayudados por VANT.
3. Conducir investigaciones adicionales para conocer el efecto del manejo de finca sobre las características físicas de la cepa y su relación con el valor nutricional y calidad de las pasturas.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, H. 2019. Estimación de productividad de *Panicum maximum* cv Mombaza mediante sensores remotos en la unidad de Ganado de Carne de Zamorano. Escuela Agrícola PANamericana, Zamorano.
- Anzola, H., Ospina, O., Olber, D., Baracaldo, A., & Arevalo, J. 2018. Validación del método de estimación del porcentaje de proteína cruda en praderas, mediante un algoritmo de procesamiento de imágenes RGB, tomadas por dron, VS la tecnología NIRS, en la Ganadería Bovina. UNIAGRARIA.
- Arce, J., Villalobos, L., & WingChing, R. 2013. Costos de producción de pastos de piso en fincas de asociados de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R. L. Ventana Lechera, 9-12.
- Balzarini, M., Di Rienzo, J., Tablada, M., Gonzalez, L., Bruno, C., Córdoba, M., . . . Casanoves, F. 2011. Estadística y Biometría. Ilustraciones del uso de InfoStat en problemas de agronomía. Argentina: Editorial Brujas.
- Batistoti, J., Marcato, J., Ítavo, L., Matsubara, E., Gomes, E., Oliveira, B., . . . Dias, A. 2019. Estimating pasture biomass and canopy height in brazilian savanna using UAV photogrammetry. Remote Sensing.
- Boudouresque, C. 1971. Méthodes D'étude Qualitative et Quantitative du Benthos (En Particulier du Phytobenthos). THETHYS, 79-104.
- Bruno, O., Castro, H., Comerón, E., Díaz, M., Guaita, S., Gaggiotti, M., & Romero, L. 1995. Técnicas de muestreo y parámetros de calidad de los recursos forrajeros. Argentina: INTA.
- Carrillo, J., Castro, Á., & Urbina, A. 2014. La ganadería en el contexto agroalimentario, la generación de empleo y los retos del cambio climático: hacia una nueva política de sostenibilidad competitiva. San José: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Carrillo, O. 2017. PASTO MOMBAZA *Panicum maximum* Jacq. San José: Oficina Nacional de Semillas.

- Cerdas, R. & Vallejos, E. 2011. Disponibilidad de biomasa del pasto Guinea (*Megathyrus maximus*), Tanzania con varias fuentes de dosis de nitrógeno en Guanacaste, Costa Rica. *Intersedes*, 32-44.
- Del Pozo, P., Herrera, R., García, M., Cruz, A., & Romero, A. 1998. Estimación del área foliar del pasto estrella a partir de mediciones lineales de sus hojas. *Cultivos Tropicales*, 23-27.
- Del Pozo, P., Herrera, R., García, M., Cruz, A., Fraga, N., & Romero, A. 1998. Estandarización del proceso de muestreo para el estudio morfofisiológico del crecimiento y desarrollo del pasto estrella. *Pastos y forrajes*, 239-244.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (s.f.). *InfoStat versión 2017*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina: URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Eusse, J. 1990. *Pastos y forrajes tropicales ; producción y manejo*. Banco Ganadero, 296-300.
- Fortes, D., Herrera, R. S., Torres, V., García, M., Cruz, A. M., Romero, A., & Noda, A. 2007. Determination of a sampling method for the morphophysiological study of grazing *Penisetum purpureum* vc. Cuba CT-115. *Cuban J. Agric. Sci.*, 359-362.
- García, R. 2014. Algunos aspectos que pueden influir en el rigor y veracidad del muestreo de pastos y forrajes. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 7-26.
- Geipel, J., Link, J., & Claupein, W. 2014. Combined spectral and spatial modeling of corn yield based on aerial images and crop surface models acquired with an unmanned aircraft system. *Remote Sens*, 10335-10355.
- Greig-Smith, P. 1964. *Quantitative Plant Ecology (Second Edition ed.)*. London: Butterworths Scuentific Publishers.
- Hernández, Y., & Herrera, R. 1985. Estudio del horario de muestreo en pastos y el procesamiento de la muestra en su composición química. La Habana, Cuba: Seminario Científico XX Aniversario del Instituto de Ciencia Animal.

- Herrera, R. S. 1974. Métodos para determinar carbohidratos solubles en pastos. Mimeografía. Instituto de Ciencia Animal.
- Herrera, R. S. 2005. Fisiología, calidad y muestreos en pastos tropicales. La Habana: EDICA.
- Herrera, R. 2014. Algunos Aspectos que pueden influir en el rigor y veracidad del muestreo de pastos y forrajes. Avances en Investigación Agropecuaria, 7-26.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos . 2017. Encuesta Nacional Agropecuaria 2017. San José: INEC.
- Jank, L. 1995. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. . Anais do 12 Simpósio sobre Manejo da Pastagem. (págs. 21-58). Piracicaba, SP, Brasil: FEALD.
- MacDonald, K., Penno, J., Lancaster, S., & Roche, J. 2008. Effect of Stocking Rate on Pasture Production, Milk Production, and Reproduction of Dairy Cows in Pasture-Based Systems. American Dairy Science Association, 2151-2163.
- Mannetje, L. 2000. Measuring Biomass of Grassland Vegetation. En L. Mannetje, & R. Jones, Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research (págs. 151-176). Wallingford: CAB International.
- Pontes-Prates, A., Carvalho, P. C., & Laca, E. A. 2020. Mechanisms of grazing Management in heterogeneous swards. Sustainability, 12(20). Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3390/su12208676>
- Rodríguez, M. 2009. Rendimiento y valor nutricional del pasto *Panicum maximum* cv Mombaza a diferentes edades y alturas de corte. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Schnellmann, L, Verdoljak, J, Bernardis, A, Martínez-González, J & Castillo-Rodríguez, S. 2019. Frecuencia y altura de corte en *Panicum maximum* cv Gatton Panic. Agronomía Mesoamericana 30 (2): 553-562.
- Senra, A., & Venereo, A. 1986. Métodos de muestreo. En: Los Pastos en Cuba. Tomo I. Producción. La Habana.: EDICA.
- Souza, F. 1994. Misturas varietais em sementes de gamínes forrageiras: o caso do *Panicum maximum*. Informativo Abrates, 63-69.

Tecnológico de Costa Rica. 2017. Campus Tecnológico Local San Carlos. Consultado 13 ago. 2020. Disponible en: <https://www.tec.ac.cr/ubicaciones/campus-tecnologico-local-san-carlos>

Torres, V. 2005. Métodos de muestro en pastos. En: Manual de pastos y Forrajes. La Habana: EDICA.

Van Dyne, G., Vogel, W., & Fisser, H. 1963. Influence of small plot size and shape on range herbage production estimates. *Ecology*, 746-759.

Villalobos-Villalobos, L. & WingChing, R. 2019. Remoción mecánica del material senescente para la recuperación de pasturas. *Agronomía Mesoamericana*. 30(3):821-840.

Wayne, R. 2020. ImageJ 1.49v. Obtenido de National Institutes of Health, USA: <http://imagej.nih.gov/ij>

9. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de varianza para la producción de biomasa forrajera en el pasto *Megathyrus maximus* cv. Mombaza, en finca La Vega

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	30	124,79	<0,0001
Cuadr	15	30	1,90	0,0661

Anexo 2. Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto *Megathyrus maximus* cv. Mombaza, en finca La Vega

Medias ajustadas y errores estándares para Cuadrante

Cuadr	Medias	E.E.	
1	1412,29	255,13	A
15	1150,51	131,19	A
16	1145,03	133,47	A
12	1140,50	106,04	A
11	1133,85	112,84	A
5	1125,50	111,98	A
13	1121,54	111,47	A
10	1112,36	124,84	A
14	1097,17	103,34	A
9	1046,94	93,72	B
2	1042,81	119,69	B
8	1041,71	97,03	B
7	1001,42	94,69	B
6	984,60	127,89	B
4	982,07	142,29	B
3	893,24	184,57	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 3. Análisis de varianza para la producción de biomasa forrajera en el pasto *Megathyrus maximus* cv. Mombaza, en finca San Lorenzo

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	30	26,40	<0,0001
Cuadr	15	30	5,22	0,0001

Anexo 4. Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto *Megathyrus maximus* cv. Mombaza, en finca San Lorenzo.

Medias ajustadas y errores estándares para Cuadrante

Cuadr	Medias	E.E.	
9	1888,78	364,75	A
13	1882,01	355,66	A
10	1871,79	358,20	A
14	1864,93	354,28	A
8	1858,52	364,66	A
15	1857,11	354,05	A
11	1842,06	358,58	A
12	1833,19	354,94	A
16	1779,73	354,00	A
7	1721,83	383,15	A
5	1532,60	545,93	A
6	1487,62	510,78	A
3	1233,82	449,83	B
4	1147,41	441,97	B
2	1108,77	472,33	B
1	884,91	505,99	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Anexo 5. Análisis de varianza para la producción de biomasa forrajera en el pasto *Megathyrus maximus* cv. Mombaza, en finca Lechería Agropecuario.

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	30	102,22	<0,0001
Cuadr	15	30	31,37	<0,0001

Anexo 6. Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto *Megathyrus maximus* cv. Mombaza, en finca Lechería Agropecuario.

Medias ajustadas y errores estándares para Cuadrante

Cuadr	Medias	E.E.	
10	2667,02	285,17	A
9	2646,61	251,27	A
13	2548,80	250,57	A
11	2530,53	257,15	A
12	2527,25	258,03	A
8	2449,45	417,77	B
7	2447,04	346,43	B
14	2376,08	250,70	B
16	2352,55	262,18	B
15	2339,84	263,33	B
6	2336,48	287,53	B
4	2316,51	341,03	B
3	2155,48	553,19	B
5	1908,84	268,72	B
1	1825,44	1080,78	B
2	1373,83	411,49	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 7. Análisis de varianza para la producción de biomasa forrajera en el pasto *Megathyrus maximus* cv. Mombaza, en finca Alonso Aguilar.

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	30	61,41	<0,0001
Cuadr	15	30	6,01	<0,0001

Anexo 8. Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto *Megathyrus maximus* cv. Mombaza, en finca Alonso Aguilar.

Medias ajustadas y errores estándares para Cuadrante

Cuadr	Medias	E.E.	
16	1331,59	173,48	A
15	1326,21	189,56	A
14	1316,70	180,58	A
13	1314,60	187,48	A
8	1279,79	155,44	A
12	1275,27	156,01	A
9	1263,20	157,37	A
11	1262,91	153,01	A
10	1246,53	156,78	A
7	1213,52	155,43	A
6	1177,62	150,28	A
5	1140,53	152,72	B
4	1081,48	153,13	B
3	947,80	160,30	B
2	945,76	157,67	B
1	589,71	540,33	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 9. Análisis de varianza global (cuatro fincas), para la producción de biomasa forrajera en el pasto *Megathyrus maximus* cv. Mombaza.

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Finca	3	126	45,84	<0,0001
Cuadr	15	126	1,42	0,1474
Finca:Cuadr	45	126	1,54	0,0334

Anexo 10. Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza, según efecto simple AREA DE MUESTREO en el análisis global de cuatro fincas.

Medias ajustadas y errores estándares para Cuadrante

	Cuadr	Medias	E.E.	
10		1724,43	190,21	A
13		1716,74	176,24	A
9		1711,38	176,09	A
12		1694,05	169,63	A
11		1692,34	181,42	A
15		1668,42	168,32	A
14		1663,72	171,79	A
8		1657,37	214,27	A
16		1652,23	164,98	A
7		1595,95	181,35	A
6		1496,58	185,49	A
5		1426,87	189,48	A
4		1381,87	206,20	A
3		1307,58	245,28	A
1		1178,09	413,28	A
2		1117,79	215,89	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 11. Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza, según efecto simple FINCA, en el análisis global de cuatro fincas.

Medias ajustadas y errores estándares para Finca

	Finca	Medias	E.E.	
LA		2300,11	199,93	A
SL		1612,19	144,32	B
AA		1169,58	140,19	C
LV		1089,47	138,46	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 12. Prueba de medias (DGC) para la producción de biomasa forrajera (kg MS/ha) en el pasto *Megathyrsus maximus* cv. Mombaza, según interacción AREA DE MUESTREO x FINCA, en el análisis global de cuatro fincas.

Medias ajustadas y errores estándares para Finca*Cuartante

	Finca	Cuadr	Medias	E.E.	
LA	10		2667,02	495,44	A
LA	9		2646,61	393,80	A
LA	13		2548,80	391,98	A
LA	11		2530,53	421,41	A
LA	12		2527,25	358,37	A
LA	8		2449,43	636,13	A
LA	7		2447,04	485,49	A
LA	14		2376,08	383,62	A
LA	16		2352,55	329,02	A
LA	15		2339,84	342,98	A
LA	6		2336,48	476,09	A
LA	4		2316,51	613,25	A
LA	3		2155,48	795,18	A
LA	5		1908,84	478,95	A
SL	9		1888,78	278,51	A
SL	13		1882,01	281,46	A
SL	10		1871,79	261,89	A
SL	14		1864,93	246,82	A
SL	8		1858,52	198,43	A
SL	15		1857,11	263,38	A
SL	11		1842,06	301,77	A
SL	12		1833,19	269,89	A
LA	1		1825,44	1422,16	A
SL	16		1779,73	255,20	A
SL	7		1721,83	159,13	A
SL	5		1532,60	273,85	B
SL	6		1487,62	215,04	B
LV	1		1412,29	317,24	B
LA	2		1373,83	668,68	B
AA	16		1331,59	149,12	B
AA	15		1326,21	164,40	B
AA	14		1316,70	159,20	B
AA	13		1314,60	160,71	B
AA	8		1279,79	150,73	B
AA	12		1275,27	140,35	B
AA	9		1263,20	146,86	B
AA	11		1262,91	136,61	B
AA	10		1246,53	144,50	B
SL	3		1233,82	154,16	B
AA	7		1213,52	148,65	B
AA	6		1177,62	137,98	B
LV	15		1150,51	138,99	B
SL	4		1147,41	142,99	B
LV	16		1145,03	141,18	B
AA	5		1140,53	140,01	B
LV	12		1140,50	139,52	B
LV	11		1133,85	139,03	B
LV	5		1125,50	174,70	B
LV	13		1121,54	135,39	B
LV	10		1112,36	154,85	B
SL	2		1108,77	178,40	B
LV	14		1097,17	137,03	B
AA	4		1081,48	136,34	B
LV	9		1046,94	148,23	B
LV	2		1042,81	158,12	B
LV	8		1041,71	148,33	B
LV	7		1001,42	152,01	B
LV	6		984,60	196,54	B
LV	4		982,07	212,63	B
AA	3		947,80	154,55	B
AA	2		945,76	147,77	B
LV	3		893,24	250,41	B
SL	1		884,91	293,97	B
AA	1		589,71	550,67	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)