

PASTOS TROPICALES DE LA AMAZONIA ECUATORIANA

TOMO 1

AVANCES CIENTÍFICOS SOBRE SISTEMAS SILVOPASTORILES COMO ESTRATEGIA DE RECONVERSIÓN DE LA GANADERÍA EN LA PROVINCIA DE ORELLANA



Pastos Tropicales de la Amazonia Ecuatoriana

Tomo I

**Avances científicos sobre sistemas
silvopastoriles como estrategia de reconversión
de la ganadería**

Autor/es:

González-Marcillo, Raúl Lorenzo

Guamán-Rivera, Santiago Alexander

Guerrero-Pincay, Angela Edith

Ortiz-Naveda, Nelson René

© **Publicaciones Editorial Grupo AEA Santo Domingo – Ecuador**

Publicado en: <https://www.editorialgrupo-aea.com/>

Contacto: +593 983652447; +593 985244607 **Email:** info@editorialgrupo-aea.com

Título del libro:

Pastos Tropicales de la Amazonia Ecuatoriana. Tomo I: Avances científicos sobre sistemas silvopastoriles como estrategia de reconversión de la ganadería

© González Marcillo Raúl Lorenzo, Guamán Rivera Santiago Alexander, Guerrero Pincay Angela Edith, Ortiz Naveda Nelson René.

© Octubre, 2023

Libro Digital, Primera Edición, 2023

Editado, Diseñado, Diagramado y Publicado por Comité Editorial del Grupo AEA, Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, 2023

ISBN: 978-9942-651-01-3



<https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.46>

Como citar: González-Marcillo, R. L., Guamán-Rivera, S. A., Guerrero-Pincay A. E., Ortiz-Naveda, N. R. (2023). Pastos Tropicales de la Amazonia Ecuatoriana. Tomo I: Avances científicos sobre sistemas silvopastoriles como estrategia de reconversión de la ganadería. Primera edición. Editorial Grupo AEA. Ecuador. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.46>

Palabras Clave: Amazonia; Emisión de gases de Efecto Invernadero; Sistemas convencionales, Sistemas silvopastoriles.

Cada uno de los textos de Editorial Grupo AEA han sido sometido a un proceso de evaluación por pares doble ciego externos (double-blindpaperreview) con base en la normativa del editorial.

Revisores:



Ing. Ramos Acuña Hebert Ernesto,
Mgs.

Universidad Nacional de
Huancavelica – Peru



Md. David Napoleón Vera Bravo,
Mgs

Universidad Laica Eloy Alfaro de
Manabí



Los libros publicados por “**Editorial Grupo AEA**” cuentan con varias indexaciones y repositorios internacionales lo que respalda la calidad de las obras. Lo puede revisar en los siguientes apartados:



Editorial Grupo AEA

-  <http://www.editorialgrupo-aea.com>
-  Editorial Grupo AeA
-  editorialgrupoea
-  Editorial Grupo AEA

Aviso Legal:

La información presentada, así como el contenido, fotografías, gráficos, cuadros, tablas y referencias de este manuscrito es de exclusiva responsabilidad del/los autor/es y no necesariamente reflejan el pensamiento de la Editorial Grupo AEA.

Derechos de autor 

Este documento se publica bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0).



El “copyright” y todos los derechos de propiedad intelectual y/o industrial sobre el contenido de esta edición son propiedad de la Editorial Grupo AEA y sus Autores. Se prohíbe rigurosamente, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total y/o parcial de esta obra, ni su tratamiento informático de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma de ninguna forma o por cualquier medio, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright, salvo cuando se realice confines académicos o científicos y estrictamente no comerciales y gratuitos, debiendo citar en todo caso a la editorial. Las opiniones expresadas en los capítulos son responsabilidad de los autores.

RESEÑA DE AUTORES



González-Marcillo, Raúl Lorenzo



Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo (ESPOCH)



raul.gonzalez@epoch.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-4653-6076>



Raúl Lorenzo González Marcillo, de formación ingeniero zootecnista, curso sus estudios de master en producción animal en la Pontificia Universidad Católica de Santiago de Chile. Investigador acreditado y categorizado de acuerdo con la SENESCYT, su área de experiencia abarca la investigación en pastos y forrajes de clima cálido y manejo de praderas en sistemas silvopastoriles como alternativa de mitigar el efecto invernadero que causa la producción animal. Ha sido autor, coautor de varios artículos científicos entre regionales y de alto impacto.



Guamán-Rivera, Santiago Alexander



Escuela Superior Politécnica de
Chimborazo (ESPOCH)



santiagoa.guaman@epoch.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-8699-0655>



Santiago Guamán Rivera de formación médico veterinario zootecnista, curso estudios de máster en producción y sanidad animal en la Universidad Complutense de Madrid. Además, cuenta con un doctorado en producción animal otorgado por la Universidad Autónoma de Barcelona. Investigador acreditado y categorizado de acuerdo con la SENESCYT, su área de experticia abarca la nutrición de rumiantes, pastos y forrajes, así como sistemas silvopastoriles como estrategia para reducir la emisión de gases de efecto invernadero. De igual forma, el uso de compuestos bioactivos para modular respuestas inmunes innatas. Santiago ha participado como autor, coautor y arbitro revisor de varios artículos científicos entre regionales y de alto impacto.

RESEÑA DE AUTORES



Guerrero Pincay, Angela Edith



Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)



A_guerrero@epoch.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-1028-4428>



Angela Edith Guerrero Pincay de formación Ingeniera en Industrias Pecuarias, Magister en Procesamiento de Alimentos y actualmente cursando una Maestría en Ciencias Veterinarias. Investigador acreditado y categorizado de acuerdo con la SENESCYT, su área de experticia abarca calidad de la leche y carne e investigación en pastos y forrajes. Ha sido autor, coautor de varios artículos científicos entre regionales y de alto impacto.



Ortiz-Naveda, Nelson René



Investigador independiente



nelson_mvz@yahoo.com



<https://orcid.org/0000-0003-1083-8475>



Nelson René Ortiz Naveda, es Médico Veterinario y Zootecnista titulado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, especialista en reproducción bovina en la Universidad Central de Ecuador, master en reproducción animal en la Universidad de Cuenca. Tiene experiencia del ejercicio profesional en diferentes instituciones públicas en la región amazónica encaminadas en sanidad animal y biotecnologías de la reproducción bovina en *Bos taurus* e *indicus*. Docente ocasional de la UEA y ESPOCH sede Orellana. Investigador senior de la ESPOCH. Tiene publicaciones indexadas regionales y de alto impacto como autor y coautor de artículos científicos. Su área de experticia es la reproducción animal, sanidad animal, asistencia técnica en ganaderías de condiciones subtropicales. Profesional amazónico con amplia experiencia en territorio.

Índice

Reseña de Autores	VII
Índice	IX
Índice de Tablas.....	XIII
Índice de Figuras	XIV
Capítulo I: Problemática.....	1
1.1. Problemática.....	3
1.2. <i>Brachiaria Decumbes</i> bajo sistemas silvopastoriles y en monocultivo.	4
1.3. Sistemas silvopastoriles y sistemas de manejo para el <i>Panicum maximum</i>	6
1.4. Objetivos.....	8
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivos específicos.....	8
1.5. Justificación teórica científica.....	8
Capítulo II: Marco teórico	9
2.1. Antecedentes	11
2.2. Suelo	12
2.3. Diversidad de los suelos	13
2.4. Estimación de la radiación solar.....	14
2.5. La Radiación solar en pasturas.....	15
2.6. Absorción de la radiación por la pastura	15
2.7. Temperatura	16
2.8. Humedad	16
2.9. Generalidades de la producción de pastos y forrajes.....	17
2.10. Importancia de los pastos y forrajes.....	20
2.11. Forrajes	20
2.12. Clasificación de las plantas forrajeras.....	22

2.13.	Manejo de pasturas	24
2.14.	Efecto del animal en el crecimiento de los pastos	24
2.15.	Calidad del forraje.....	25
2.16.	Humedad relativa/Temperatura.....	26
2.17.	Datos agroclimáticos.....	27
2.18.	Factores que influyen en el establecimiento y producción de las pasturas	34
2.18.1.	Clima.....	34
2.18.2.	Factores que determinan el clima en el Ecuador	34
2.19.	Elementos principales del clima	35
2.19.1.	Temperatura.....	35
2.19.2.	Lluvias	36
2.19.3.	Radiación solar y heliofanía.....	37
2.19.4.	Propiedades físicas del suelo	39
2.19.4.1.	Textura.....	39
2.19.4.2.	Estructura.....	40
2.19.4.3.	Consistencia.....	41
2.19.4.4.	Densidad	43
2.19.4.5.	Aireación	44
2.19.4.6.	Temperatura del suelo.....	45
2.19.4.7.	Color.....	47
2.19.4.8.	Propiedades químicas	47
2.19.4.9.	Fertilidad	48
2.19.4.10.	pH	49
2.19.4.11.	Capacidad de Intercambio Catiónico	51
2.19.4.12.	Otras características importantes del suelo	53
2.19.4.13.	Profundidad.....	53

2.19.4.14. Relieve y pendiente	53
2.19.4.15. Topografía	54
2.19.4.16. Drenaje.....	55
2.19.5. Pasto saboya (<i>Panicum maximum</i>) cv Mombaza	56
2.19.5.1. Características botánicas	56
2.19.5.2. Variedades	57
2.19.5.3. Asociación con leguminosa	58
2.19.5.4. Valor nutritivo	60
2.19.5.5. <i>Panicum maximum</i> en monocultivo	61
2.19.6. Pasto dallis (<i>Brachiaria Decumbens</i>).....	62
2.19.6.1. Características botánicas	62
2.19.6.2. Variedades	63
2.19.6.3. Adaptación	65
2.19.6.4. Plagas y enfermedades	66
2.19.6.5. Valor nutritivo	67
2.19.6.6. Producción de forrajes en monocultivo	67
Capítulo III: Metodología para estudios de pastos tropicales en la amazonia norte del Ecuador.....	69
3.1. <i>Brachiaria decumbes</i> y <i>Panicum maximum</i> en la provincia de Orellana	71
3.1.1. Procedimiento experimental	72
3.1.1.1. Como manejar el ensayo	72
3.1.1.2. Procedimiento para toma de muestra para análisis de suelo	73
3.1.1.3. Nutrientes y determinación del análisis bromatológico	74
3.1.2. Medidas agronómicas y producción de forraje.....	77
3.1.3. Determinación de la composición química.....	77
3.1.4. Respuestas animales	78
3.1.5. Macrofauna del suelo, propiedades físicas y químicas	78

3.1.6. <i>Panicum maximum</i> evaluado en un sistema silvopastoril y de monocultivo.....	79
3.1.6.1. Respuestas de composición química del pasto <i>Panicum maximum</i>	81
3.1.6.2. Respuestas de rendimiento animal	83
3.1.6.3. Características agronómicas y producción de forraje del <i>Panicum maximum</i>	87
3.1.6.4. Factores para considerar en cuanto a la composición química del pasto <i>Panicum maximum</i>	89
3.1.6.5. Respuestas animales del pastoreo de <i>Panicum maximum</i>	90
3.1.6.6. Hallazgos sobre las propiedades fisicoquímicas en el suelo y de macrofauna	94
3.1.7. Gradiente de fertilidad de los suelos con pasto <i>Brachiaria decumbes</i>	97
3.1.7.1. Respuestas agronómicas del pasto <i>Brachiaria decumbes</i>	98
3.1.7.2. Composición nutricional del pasto <i>Brachiaria decumbes</i>	101
3.1.7.3. Comportamiento productivo de la <i>Brachiaria decumbes</i> en un sistema silvopastoril y de monocultivo	105
Referencias Bibliográficas.....	113

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Radiación solar instantánea inicial vs horas del día, bajo el sistema sin sombra</i>	27
Tabla 2 <i>Radiación solar instantánea inicial vs horas del día, bajo el sistema sin sombra</i>	28
Tabla 3 <i>Radiación solar instantánea inicial vs horas del día, bajo el sistema con sombra</i>	29
Tabla 4 <i>Radiación solar instantánea inicial vs horas del día, bajo el sistema con sombra</i>	30
Tabla 5 <i>Datos de temperatura, humedad relativa y punto de rocío tomados en la mañana</i>	31
Tabla 6 <i>Datos de temperatura, humedad relativa y punto de rocío tomados en la tarde</i>	32
Tabla 7 <i>Datos agroclimáticos</i>	33
Tabla 8 <i>Temperatura promedio a diferentes altitudes</i>	36
Tabla 9 <i>CIC para diferentes tipos de arcilla, materia orgánica y textura del suelo</i>	52
Tabla 10 <i>Datos de composición química del pasto guinea (<i>Panicum maximum</i>) en función del día de corte</i>	60
Tabla 11 <i>Datos agronómicos del pasto guinea (<i>Panicum maximum</i>) en función de la edad de corte</i>	61
Tabla 12 <i>Datos de rendimiento del pasto guinea (<i>Panicum maximum</i>) en función de la edad de corte</i>	61
Tabla 13 <i>Determinación de nutrientes para el análisis bromatológico</i>	74
Tabla 14 <i>Medidas agronómicas y producción de forraje del pasto guinea <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaza en los diferentes sistemas silvopastoriles</i> ...	80
Tabla 15 <i>Composición química del pasto guinea <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaza evaluada bajo diferentes sistemas silvopastoriles</i>	82
Tabla 16 <i>Media de mínimos cuadrados del pasto guinea <i>Panicum maximum</i> evaluada en diferentes sistemas silvopastoriles</i>	83
Tabla 17 <i>Especies arbóreas predominantes en los sistemas silvopastoriles</i> ..	85
Tabla 18 <i>Fertilidad de los suelos</i>	97

Tabla 19 *Medias mínimas cuadradas de las variables agronómicas respecto al efecto tratamiento y sistema de manejo*..... 99

Tabla 20 *Medias mínimas cuadradas de composición química, así como de la calidad del forraje respecto al tratamiento y sistema de manejo*.....102

Tabla 21 *Matriz de correlaciones de Pearson entre las diferentes variables, agronómicas, composición química, así como medioambientales*104

Índice de Figuras

Figura 1 *Suelos Oxisoles (a) e Inceptisoles (b)* 14

Figura 2 *Animales de pastoreo*..... 24

Figura 3 *Resiembra del pasto saboya (*Panicum maximum*)*..... 25

Figura 4 *Curva de radiación solar instantánea promedio vs hora del día*..... 28

Figura 5 *Curva de radiación solar instantánea promedio vs hora del día*..... 29

Figura 6 *Curva de radiación solar instantánea promedio vs. hora del día*..... 30

Figura 7 *Curva de radiación solar instantánea promedio vs hora del día*..... 31

Figura 8 *Estructura*..... 41

Figura 9 *Estados de consistencia*..... 42

Figura 10 *Fertilidad* 48

Figura 11 *Aplicaciones excesivas de fertilizante*..... 51

Figura 12 *Preparación de terreno para establecimiento del pasto Saboya (*Panicum maximum*) cv Mombaza* 58

Figura 13 *Asociación de pasto saboya (*Panicum maximum*) con kudzú Tropical (*Pueraria phaseoloides*)*..... 59

Figura 14 *Pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*)*..... 62

Figura 15 *Pastoreo en bovinos Pasto dallis (*Brachiaria decumbens*)* 63

Figura 16 **Arachis pintoii**..... 65

Figura 17 **Centrosema pubescens** 66

Figura 18 *Salivazo (*Aneolamia* sp)*..... 66

Figura 19 *Salivazo (*Aneolamia* sp)*..... 67

Figura 20 *Temperaturas y precipitaciones medias mensuales desde enero de 2017 hasta diciembre de 2019 en la zona experimental en Provincia de Orellana* 72

Figura 21 *Composición química del pasto Panicum maximum* 81

Figura 22 *Macrofauna del suelo (individuos m-2) encontrada en los diferentes sistemas silvopastoriles con pasto de guinea Panicum maximum cv. Mombaza* 87

Figura 23 *Regresión de la variable altura de planta*100

Figura 24 *Análisis de regresión de la variable Relación tallo/hoja*100

Figura 25 *Análisis de regresión de la variable materia seca disponible*101

Figura 26 *Ajuste de regresión de variable de composición química*103

CAPITULO

1

Problemática

Problemática

1.1. Problemática

Los pastos en los trópicos son considerados una herramienta importante en la ganadería ya que satisfacen los requerimientos de fibra y proteína de los animales, lo que afecta directamente la calidad de la leche y la carne y por ende la nutrición humana. La mayoría de los productores de diversas regiones dependen de los fertilizantes minerales, que son caros y muy contaminantes, pero se ha observado que algunos sistemas de producción de pasto son de calidad media o baja. debido a la falta de técnicas que contribuyan al desarrollo de la planta, incluyendo sombreado, biorreguladores y bioestimulantes (Jácome y Ramírez, 2021).

En el país, amplias superficies de bosques están siendo talados, entre otros motivos para aumentar la frontera agrícola y de pastizales para la crianza de ganado de carne y de leche. De entre los factores climáticos que intervienen en el desarrollo del pasto CO_2 temperatura, humedad, entre otros; la luz es uno de los más importantes. Es un factor imprescindible para que la planta pueda llevar a cabo la fotosíntesis y de la que depende directamente para sintetizar la materia orgánica a partir de sustancias minerales (Jácome y Ramírez, 2021).

Los problemas considerados en la investigación, de cómo la sombra, afecta directamente la morfo estructura, cantidad, calidad y digestibilidad del pasto o forraje y, en consecuencia, la ganancia diaria de peso del animal. (Jácome y Ramírez, 2021). Si la intensidad de la luz aumenta, la velocidad de la fotosíntesis alcanza un límite. A este punto se le denomina punto de saturación de la luz, a partir del cual la velocidad del proceso físico – químico de la fotosíntesis se vuelve plana (Granados et al., 2007). Los pastos que reciben insuficientes niveles de luz tienen menor crecimiento vegetativo, menor floración, se debilitan y producen hojas más pequeñas (Akiyama, 2017). Por otra parte, los pastos que reciben demasiada luz pueden producir clorosis (que es el amarillamiento del tejido foliar causado por la falta de clorofila) (Mendoza, 2002, p. 9). Por tal motivo es importante mantener en equilibrio todo el sistema para obtener un mejor

aprovechamiento. Esta saturación de luz y potreros muy grandes afectan significativamente la producción de pasto, resultando en un pasto de baja calidad con alto estrés calórico en los animales que lo consumen.

1.2. *Brachiaria Decumbes* bajo sistemas silvopastoriles y en monocultivo

Los sistemas silvopastoriles integran una opción para la producción bovina tanto para su bienestar animal como el nutricional. El manejo adecuado de estos sistemas implica decisiones relacionadas con la identificación de las mejores especies para los componentes herbáceo, leñoso y animal para así poder optimizar las interacciones (López et al., 2017).

Los sistemas tradicionales de ganadería en la Amazonia Ecuatoriana se basan en pastos con monocultivo, y estos son pastoreado de forma extensiva y generalmente no tienen contenido leñoso, todo esto conduce a la degradación del suelo, y muestra bajas tasas de rendimiento (Congo Yépez et al., 2018).

En lo que respecta a la degradación de los suelos, es importante considerar que la ganadería es la actividad humana que ocupa una mayor superficie de tierra. En total, a la producción ganadera se destina el 30% de la superficie terrestre del planeta. Alrededor del 73% de los pastos y praderas del mundo destinados a esta actividad, están situados en zonas áridas; en las cuales, se presenta algún grado de degradación causada principalmente por el sobrepastoreo, la compactación y la erosión resultantes de la acción del ganado (FAO, 2012).

Para optimizar el uso de las praderas es necesario conocer su dinámica de crecimiento, así como los factores que la afectan, entre ellos se mencionan: el agua, la intensidad lumínica, la temperatura, la humedad, entre otros. Particularmente, la luz cumple un factor determinante como modulador de la fotosíntesis. Considerando el impacto que tiene la intensidad lumínica sobre los procesos metabólicos y fisiológicos del pasto (Ortíz et al., 2013).

Diversos estudios demuestran que las razones más importantes para la introducción de árboles en los potreros son la provisión de sombra, alimento para el ganado, y la obtención de productos como leña, madera y frutos. La versatilidad de los servicios que proveen los árboles y arbustos forrajeros

favorecen la adopción y el diseño de sistemas silvopastoriles (SSP) (Humberto et al., 2003).

Para quienes consideran el desarrollo y manejo de sistemas silvopastoriles, la cuestión de la luz y la sombra parece ser un tema de gran interés científico y práctico en la actualidad. En áreas tropicales, el uso de sombra natural no solo crea un mejor ambiente para los animales, sino que también mejora en gran medida la producción y la calidad de los pastos al reducir las temperaturas, aumenta la humedad de la superficie del suelo y se obtiene el reciclaje de nutrientes (Murgueitio, 2003).

En el estudio de Congo Yépez et al. (2018), ha demostrado que el efecto de la cubierta arbórea tiene un efecto significativo en el crecimiento de las plantas, lo que demuestra que Marandú (*Brachiaria brizantha*) tiene una mejor tolerancia a la sombra en comparación con Dallis (*Brachiaria decumbens*) y Saboya (*Panicum máximum Jacq*). Se pudo determinar que las especies de árboles no tuvieron efecto sobre la producción de materia seca, la vegetación y la calidad de los pastos debido a la baja cobertura de árboles y la cantidad de árboles dispersos en los potreros.

Así mismo, los autores Garcia et al. (2001), mencionan que la tolerancia de las especies gramíneas a la sombra se considera como una de las condiciones necesarias para aprovechar las ventajas de la integración de pasturas con árboles y puede variar según la especie y densidad del arbolado. Sin embargo, si este factor no se maneja adecuadamente puede ocasionar deterioro en el comportamiento productivo del sistema silvopastoril.

Por otro lado, en el cantón Francisco de Orellana se han identificado dos órdenes principales de suelos: Entisoles e Inceptisoles; con la menor proporción los entisoles. Además, según el estudio realizado por el Gobierno Autonomo Descentralizado de la Provincia de Orellana, determinaron que la superficie del territorio cantonal está formada por una mezcla de dos o más tipos de suelo, destacando la categoría taxonómica Typic y/o OxicDeustrudepts (suelo rojo), con 285.743,88 hectáreas (que constituye el 40.5% del territorio), y estos se encuentran distribuidos en las siguientes parroquias: El dorado, Dayuma, García Moreno, Inés Arango, La Belleza, Taracoa y Alejandro Labaca (GADPO, 2019).

En base a este antecedente, ¿Como la sombra influye en el crecimiento, desarrollo y la producción del pasto *Brachiaria* en suelos rojos, además, es importante conocer si la mejor producción de pasto es con sombra o sin sombra en un sistema silvopastoril con árboles dispersos?

1.3. Sistemas silvopastoriles y sistemas de manejo para el *Panicum maximum*

La conversión de un bosque tropical en pastos extensivos para el pastoreo de ganado es una de las principales causas de la deforestación, la degradación del suelo, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) el agotamiento de las reservas de carbono (C) y la reducción de la biodiversidad Baldassini et al. (2018) y Bussoni et al. (2019) y Vazquez et al. (2020). Este proceso global genera un aumento de la variación interanual y estacional de los factores que determinan la disponibilidad de forraje y como consecuencia, se reduce la productividad animal (Delgado y Randel 1989; Murgueitio et al., 2014). La sostenibilidad de los sistemas de producción depende del desarrollo de técnicas que aumenten la producción sin que necesariamente se produzca un aumento de la superficie de pastos De limas Vera et al. 2020. Sin embargo, la mayoría de los pastizales se encuentran en países tropicales en desarrollo, donde son especialmente importantes para la subsistencia de unos 1.000 millones de pobres Cardoso et al. 2020. La Amazonia ecuatoriana es una de las zonas con mayor biodiversidad del mundo y ha sido calificada como "la fuente más importante de agua dulce y biodiversidad" por su función reguladora del clima global como sumidero de gases de efecto invernadero Lessmann et al., 2016; Torres et al., 2018; Huera-Lucero et al., 2020). Los agricultores del norte de la Amazonia ecuatoriana (NEA) utilizan la tierra de diversas formas incluyendo bosques, pastos, cultivos anuales y perennes, y tierras en barbecho (que generalmente suele convertirse en bosque secundario). La deforestación es generalizada en todo la NEA y en gran medida el resultado de la expansión de las pequeñas explotaciones agrícolas (Sellers et al., 2017; Ojeda et al., 2020; Vasco et al., 2020). Según Huera-Lucero et al. (2020), el efecto de la colonización en la Amazonia ecuatoriana ha incluido la interferencia y el uso de los bosques para los recursos madereros y el

establecimiento de pastos. Por lo tanto, el manejo inadecuado de la ganadería ha convertido los suelos en tierras degradadas y dependientes a la mecanización y uso de agroquímicos.

La provincia de Orellana tiene dos estaciones bien definidas: una estación de lluvias (> 2942 mm, de febrero a agosto) y una estación seca (< 1000 mm, de septiembre a enero). Tal y como han informado López et al. (2014) y GADPO (2015), las actividades generadoras de ingresos predominantes para los productores en la región amazónica se concentran en la agricultura (56,5%), ganadería (10%), y el 30% de la producción está bajo un sistema mixto de producción (agricultura-ganadería). Sin embargo, estas actividades emplean sistemas intensivos que implican importantes recursos naturales y mano de obra, aunque tienen una productividad y una rentabilidad muy baja. Según Pezzopane et al. (2017), la adaptación de los sistemas de producción y la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero son retos fundamentales derivados de los efectos del cambio climático global en la agricultura. Por lo tanto, la adopción de estrategias de intensificación de la producción ganadera en las zonas de pastizales tropicales depende del conocimiento que tengan los agricultores sobre el suelo, los recursos hídricos en el manejo de plantas y animales, y el mercado de la carne de vacuno Cardoso et al. (2020). En consecuencia, debido a la dependencia de la actividad ganadera, es necesario generar modelos de producción que sean más sostenibles. El uso de sistemas silvopastoriles coadyuva a mejorar la producción Cubbage et al (2012), recuperación de áreas degradadas (Almeida et al., 2021) y la mejora del bienestar animal (Gomes et al., 2020). Por lo tanto, todos estos factores deberían coadyuvar a incrementar las sinergias entre los componentes bióticos (suelo-árbol-forraje) (Boval y Dixon, 2012; Huera-Lucero et al., 2020; Vázquez et al., 2020). *Panicum maximum* constituye la especie de pasto más utilizada en las zonas tropicales del Ecuador. Este pasto guinea se caracteriza por su persistencia en condiciones de manejo intensivo y su alta productividad, que son consecuencia de su eficiencia fotosintética e hídrica y de su alta plasticidad fenotípica (Akiyama et al., 2008; Pezzopane et al., 2017; De limas vera et al., 2020; Gurgel et al., 2020). El comportamiento del componente forrajero en sistemas silvopastoriles en la actualidad está siendo ampliamente evidenciado,

bajo una lucha contra el aumento de la frontera agrícola y emisión de gases de efecto invernadero generados de sistema convencional de monocultivo como referencia.

Los objetivos del presente libro se resumen a continuación

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Conocer el efecto sombra en la producción y composición nutricional de pasturas tropicales

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar el efecto sombra sobre la producción de forraje *Brachiaria decumbens* y *Panicum máximum*
- Identificar el efecto sombra en la composición química de *Brachiaria decumbens* y *Panicum máximum*

1.5. Justificación teórica científica

La Amazonía Ecuatoriana comprende uno de los ecosistemas del trópico húmedo más frágiles del país, la mayor parte de la superficie del suelo en uso agropecuario está ocupado por pastos para actividades ganaderas; su utilización está basada en pastoreos extensivos mediante la utilización de gramíneas con bajo contenido nutricional que contribuyen a la ampliación de la tala de la masa boscosa y al descenso nutricional de los suelos amazónicos, esto permite que se tengan que buscar nuevas alternativas para el manejo y fertilización del pasto, para alcanzar un nivel adecuado de crecimiento y producción de forraje (Andrade et al., 2016).

En el presente libro se pretende mostrar alternativas de producción sostenibles mediante la inclusión de árboles en pasturas ya sea en forma de cercas vivas o árboles dispersos. Tecnología que podría contribuir a la conservación de la agrobiodiversidad, funcionando principalmente como corredores biológicos para la fauna local, y evitar el estrés calórico sobre los animales.

CAPITULO

2

Marco teórico

Marco teórico

2.1. Antecedentes

Los suelos en la amazonia ecuatoriana presentan niveles de producción bajos, esto se debe a que los ecosistemas son frágiles, químicamente pobres, con una alta precipitación, que provoca la lixiviación del suelo y todo lo mencionado nos lleva a presentar un bajo valor nutritivo de los pastos tropicales (gramíneas), factor primordial que restringe la producción ganadera (Ríos y Benítez, 2015). Esto coincide con lo que manifiesta (Bustamante, 1993), que la exuberante vegetación de la Amazonía ecuatoriana no está relacionada con la calidad agrícola del suelo, sino con el funcionamiento del ecosistema, lo cual ocurre cuando la vegetación y las condiciones ambientales (humedad y temperatura) influyen en el ciclo de los nutrientes que son necesarios para el correcto funcionamiento de las actividades de los animales.

Para Nieto y Caicedo (2012), la mayor parte de los suelos del oriente ecuatoriano pertenecen al orden de los Inceptisoles que son de carácter poco factibles para los cultivos, debido a que los horizontes no se encuentran bien definidos; esas características hacen que los suelos sean frágiles presentando limitaciones para el uso agropecuario. El mismo autor indica que, la capacidad de producción, en lo que refiere a la actividad agrícola es muy limitada (sólo presenta un 17,5% de su territorio), y Corresponden en su mayoría a la capacidad de producir pasto, para la cría de ganado. Una posibilidad única de uso son los bosques que están relacionados con las actividades resultantes agropecuarias.

La parroquia la Belleza está situada sobre suelos formado por una mezcla de dos o más clases, predominando la clase taxonómica *Typic y/o oxi Dystrudepts* (suelos rojos), los mismos que tienen una textura arcillosa, tanto en superficie como en profundidad: estos suelos presentan como limitante: tasas colosales de aluminio en niveles tóxicos, poca permeabilidad, susceptibilidad al pisoteo, inundaciones, acidez, nivel freático alto, fluctuante, y mal drenaje (GADPO, 2019).

El estudio de Obispo et al, (2008), titulado “Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril” fue desarrollado con el objetivo de evaluar el efecto de tres densidades de sombra en potreros de *Panicum maximum* sobre su calidad y rendimiento de biomasa. Metodológicamente se ejecutó bajo un enfoque cuantitativo, descriptivo de corte transversal en la finca Rancho Grande, Estado de Yaracuy, Venezuela. Las muestras se recogieron después de un período de crecimiento de 45 días después del paso rotacional de los animales. Los resultados revelaron que los mayores rendimientos se obtuvieron en sombra baja o pleno sol y oscilaron en el rango de 14.200 kg/ha⁻¹ con diferencias significativas ($P < 0,05$) de los rendimientos observados en sombra media a alta, que fueron inferiores a 10.100 kg/ha⁻¹. Se concluye que, la producción y calidad de la biomasa *Panicum maximum* se ve afectada por el grado de sombra. El sombreado fuerte afecta negativamente la productividad del pasto. Por el contrario, se mejoran sus cualidades como forraje para los rumiantes.

Por otra parte, Encinozo et al. (2017), en su estudio titulado “Efecto de la presencia de sombra en áreas de pastoreo de ovinos” con la finalidad principal de evaluar el efecto de la sombra artificial en la elección de tipos de alimentación en ovinos. El estudio se realizó en el Laboratorio del Departamento de Ovinos del Instituto de Producción Animal (IPA), Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela (FAGRO-UCV). Se utilizaron 24 ovinas West African de menos de un año, destetadas. Se pudo demostrar que, la especie con mayor porcentaje de selección animal fue *C. nlemfuensis* (95%). El consumo de hojas fue mayor en el turno de la mañana (96%) que en el de la tarde (71%). Por tanto, los autores concluyen que la sombra artificial influyó en la elección de los tipos de alimentación en las ovejas eligiendo aquellas con mejor calidad.

2.2. Suelo

El suelo es un recurso natural semi renovable importante para la vida sobre la tierra, especialmente de las plantas, los animales y seres humanos, que son los responsables de la producción agrícola y pecuaria, pero para poder producir es de vital importancia conocer la fertilidad del suelo, que está representada por el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que determinan su

capacidad para sostener el desarrollo de la vegetación (INIAP, 2016). En la Amazonía ecuatoriana se puede encontrar una diversidad de suelos que se explica por la combinación que ocurre entre los materiales de partida y el clima; es así como podemos encontrar suelos de origen volcánico que se han formado en depósitos de cenizas y materiales volcánicos fragmentados, suelos que se forman cuando se cristaliza la arcilla y los que provienen de rocas sólidas (Calero et al., 201).

2.3. Diversidad de los suelos

La mayor parte de los suelos del oriente ecuatoriano pertenecen al orden de los inceptisoles que poseen el carácter de poco asequibles para cultivos, debido a que los horizontes no se encuentran bien definidos; esas características hacen que los suelos sean frágiles presentando limitaciones para el uso agropecuario (Toala et al., 2021). Por tanto, la capacidad de producción, en lo que refiere a la actividad agrícola es muy limitada (sólo presenta el 17,5% de su territorio), corresponde en su mayoría a la capacidad de producir pasto, para la cría de ganado. Una posibilidad única de uso son los bosques que están relacionados con las actividades resultantes agropecuarias.

La parroquia la Belleza está situada sobre suelos formado por una mezcla de dos o más clases, predominando la clase taxonómica Typic y/o oxi Dystrudepts (suelos rojos), los mismos que tienen una textura arcillosa tanto en superficie como en profundidad, presentan como limitante: tasas colosales de aluminio en niveles tóxicos, poca permeabilidad, susceptibilidad al pisoteo, e inundaciones, acidez, nivel freático alto, fluctuante y mal drenaje (GADPRB, 2019).

Figura 1

Suelos Oxisoles (a) e Inceptisoles (b)



Nota: Extraído de Enrique (2015)

2.4. Estimación de la radiación solar

La energía solar está establecida como la intensidad de radiación solar incidente sobre un área determinada. Actualmente se dispone de mapas de radiación solar, en donde normalmente se presentan los valores promedios de radiación solar diaria, mensual o anual. El uso de estos mapas de radiación es importante para determinar las zonas geográficas que tienen un alto potencial para su aprovechamiento. Actualmente, las tablas o mapas de radiación solar son hechas por satélite o datos obtenidos de ciudades y grandes centros y en áreas densamente pobladas, el nivel de radiación solar rara vez se tiene en cuenta en zonas rurales (Guevara, 2003).

La cantidad de radiación absorbida por una superficie por unidad de área durante un explícito período se designa como irradiación. Se expresa en unidades de energía por unidad de área, W/m^2 . La radiación solar en el suelo a veces se denomina insolación. La medición de la energía solar se ejecuta por medio del solarímetro manual. Los solarímetros están establecidos con el principio de

absorción de la radiación solar por un cuerpo negro y en la conversión de esta radiación a otra forma de energía, la misma que es proporcional a la intensidad de la radiación (Guevara, 2003).

En teoría, el cuerpo negro absorbería toda la radiación a la que estuvo expuesto. Sin embargo en la práctica sólo son objetos opacos capaces de absorber parte de la radiación total. Sin embargo, en base a consideraciones termodinámicas se puede usar estos objetos opacos para estimar la radiación solar instantánea de una región específica. Por otro lado, la energía disponible de la radiación solar proviene de las regiones visible e infrarroja cercana del espectro, que son producidas por ondas electromagnéticas que aumentan la energía interna del cuerpo (Guevara, 2003).

El instrumento más empleado en el registro de la radiación total es el piranómetro, y un segundo instrumento es el piroheliómetro, el cual mide la radiación directa normal que proviene del sol. En base a los criterios ya mencionados se utilizará un piranómetro manual al cual le han dado la denominación de solarímetro manual (Guevara, 2003).

2.5. La Radiación solar en pasturas

La mayoría de las especies forrajeras tropicales son plantas solares y los sistemas fotosintéticos de las gramíneas C₄ no se saturan incluso en condiciones de máxima radiación solar. Sin embargo, tanto las gramíneas como las leguminosas tropicales pueden adaptarse a niveles bajos de luz. Por ejemplo, *Panicum maximum* puede actuar como planta de sombra (Navas, 2010).

Las plantas cultivadas a la sombra sufren cambios morfológicos como mecanismo de adaptación a la baja disponibilidad de luz; esta adaptación incluye un mayor índice de área foliar, una mejor distribución de la altura del área foliar, un coeficiente de extinción reducido y una tasa de respiración reducida (Casierra et al., 2013).

2.6. Absorción de la radiación por la pastura

De la radiación que cae sobre la hoja, la mayor parte es absorbida: la mayoría de los rayos ultravioleta son interceptados por la cutícula: solo del 2 al 5% de esta radiación penetra en la capa superior de la hoja. La absorción de la radiación

activa está determinada por los pigmentos del cloroplasto, la clorofila a y b y el caroteno. Alrededor del 70% de la radiación que llega al mesófilo es absorbida por los cloroplastos (Ortiz, 2016).

2.7. Temperatura

Las plantas controlan la temperatura a través de la transpiración, disipando hasta el 50% de la energía que absorben. Todas las especies responden a un rango de temperaturas porque las condiciones bioquímicas están controladas por enzimas termosensibles. La temperatura también afecta la actividad metabólica de las células a través de la absorción de agua y nutrientes, intercambio de gases, producción y consumo de carbohidratos y reguladores del crecimiento. De la misma manera, se alteran los procesos de fotosíntesis, respiración, división y expansión celulares (Lorenzo, 2012).

2.8. Humedad

La humedad se encuentra en la mayor parte de la atmósfera cerca de la superficie del planeta. No es algo que puedas ver, pero puedes sentirla e incluso olerla indirectamente, gracias a los hongos que viven por ella. Este parámetro climático en vínculo con la temperatura, es responsable del grado de actividad metabólica de la mayoría de los cultivos y muchas veces no se considera su importancia, lo que conlleva a dificultades con las prácticas de medición y control (León, 2016).

La transpiración depende del déficit de saturación entre las estomas y el aire. Cuando los déficits de saturación son demasiado altos o muy bajos van a influir en la fisiología del cultivo y en su adecuado desarrollo. Si la humedad ambiental es demasiado alta, el intercambio gaseoso queda limitado y se va a reducir la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes, si es demasiado baja se van a cerrar las estomas y se presenta una reducción de la tasa de fotosíntesis (León, 2016).

Si se presenta humedad alta, esta puede dificultar la polinización ya que el polen húmedo puede quedar pegado en los órganos masculinos. Esta humedad ambiental puede conllevar a el desarrollo de enfermedades. Si la temperatura del cultivo disminuye por debajo de la temperatura del rocío del aire, se condensa

el agua y favorece el desarrollo de enfermedades por hongos principalmente (Astudillo, 2016).

2.9. Generalidades de la producción de pastos y forrajes

La región amazónica del Ecuador es de suma importancia en el desarrollo del país, debido al potencial productivo de la región y la colonización acelerada que está experimentando debido a los movimientos de población de otras regiones del país hacia la Amazonía.

La posibilidad de integración de la Amazonía ecuatoriana al sistema socioeconómico nacional y, sobre todo, la perspectiva de mejoramiento agrícola que ofrece hace necesario incrementar la producción de forrajes en los pastizales existentes. Para ello, es necesario obtener conocimientos y recomendaciones respecto a la ubicación óptima y el manejo completo y posterior del pastizal. También tenga en cuenta que la selva amazónica de Ecuador alberga uno de los ecosistemas más frágiles del trópico húmedo del país.

La producción de pastos y forrajes es un componente esencial de un plan de desarrollo y explotación agrícola para una empresa que incluya ganado. La demanda de carne, leche y sus derivados aumenta cada día. Estos productos dependen para su producción, en gran medida, de los piensos. Los pastizales juegan un papel esencial en la provisión de recursos máximos para producir, entrenar y criar ganado. La carne y la leche provienen casi exclusivamente de los pastos; La producción de huevos se puede hacer más económica al permitir que las aves coman alrededor del 15% de su dieta de pasto verde.

En general, en Ecuador, se considera antieconómico alimentar a los animales con concentrado para un crecimiento y engorde más rápidos. Por lo tanto, la forma práctica de aumentar la producción por orden de animales es teniendo un pasto de alto valor nutritivo y más valioso. La Sede de Orellana de las Epoch, pone a vuestra disposición, el libro "Sistemas silvopastoriles como alternativa de reconversión de la ganadería en la amazonia norte del Ecuador" con el objetivo de difundir tecnologías limpias amigable con el uso de los recursos naturales, mejorando los recursos nutritivos disponible para la alimentación animal. Se espera que este libro cubra las expectativas técnicas y sea una contribución

significativa para todos los profesionales de la producción, profesionales afines, investigadores y estudiantes en general.

La experiencia acumulada es fruto de muchos años de investigación, de docentes-investigadores de la ESPOCH-SEDE ORELLANA.

La conversión de un bosque tropical en pastos extensivos para el pastoreo de ganado es una de las principales causas de la deforestación, la degradación del suelo, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) el agotamiento de las reservas de carbono (C) y la reducción de la biodiversidad (Angel, 2006; Alonso et al., 2008; Camero et al., 2015). Este proceso global genera un aumento de la variación interanual y estacional de los factores que determinan la disponibilidad de forraje y, como consecuencia, se reduce la productividad animal (Bernal y Espinoza, 2003; Córdova, 2012). La sostenibilidad de los sistemas de producción depende del desarrollo de técnicas que aumenten la producción sin que necesariamente se produzca un aumento de la superficie de pastos (FAO, 2015). Sin embargo, la mayoría de los pastizales se encuentran en países tropicales en desarrollo, donde son especialmente importantes para el sustento de unos mil millones de personas pobres (Jank, 1995).

La Amazonia ecuatoriana es una de las zonas con mayor biodiversidad del mundo y ha sido calificado como "la fuente más importante de agua dulce y biodiversidad" por su función reguladora del clima global como sumidero de gases de efecto invernadero (Ibañez, 2011; Leytón et al., 2016; PAGRICC, 2016). Los agricultores del norte de la Amazonia ecuatoriana (NEA) utilizan la tierra de diversas formas incluyendo bosques, pastos, cultivos anuales y perennes, y tierras en barbecho (que generalmente suele convertirse en bosque secundario). La deforestación es generalizada en todo la NEA y en gran medida el resultado de la expansión de las pequeñas explotaciones agrícolas (Madrigal y Zamora, 2012). Según Figueroa-Saavedra y Guamán-Rivera (2023), el efecto de la colonización en la Amazonia ecuatoriana ha incluido la interferencia y el uso de los bosques para los recursos madereros y el establecimiento de pastos y pequeños huertos como uso final del suelo. Por lo tanto, la ganadería ha convertido los suelos en tierras degradadas y dependientes de la mecanización y los agroquímicos.

La provincia de Orellana tiene dos estaciones bien definidas: una estación de lluvias (>2942 mm, de febrero a agosto) y una estación seca (<1000 mm, de septiembre a enero). Tal y como han informado otros autores (Guamán-Rivera et al., 2023), las actividades generadoras de ingresos predominantes para los productores en la región amazónica se concentran en la agricultura (56,5%), ganadería (10%) y el 30% de la producción está bajo un sistema de producción mixto (agricultura-ganadería). Sin embargo, estas actividades emplean sistemas intensivos que implican importantes cantidades de recursos naturales y mano de obra, pero tienen una productividad y una rentabilidad muy bajas. Según Guamán-Rivera et al. (2023) la adaptación de los sistemas de producción y la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero son retos fundamentales derivados de los efectos del cambio climático global en la agricultura. Por lo tanto, la adopción de estrategias de intensificación de la producción ganadera en las zonas de pastizales tropicales depende del conocimiento que tengan los agricultores sobre el suelo, los recursos hídricos, manejo de plantas y animales, así como en el mercado de la carne de vacuno Jank (1995). En consecuencia, debido a la dependencia de la actividad ganadera, es necesario generar modelos de producción que sean más sostenibles.

Por otro lado, el pastoreo alternativo en pastos mejorados consta de tres componentes: animales, suelo y suministro de forraje.

Los pastos son la principal fuente de alimentación de los pequeños y medianos sistemas ganaderos en la provincia de Orellana. Sus condiciones bioclimáticas, permite producir grandes cantidades de biomasa, que los animales convertirán en carne y leche. Esto se logra mediante el uso eficiente de los recursos y el uso de pastizales mejorados y biotipos bovinos adaptados a las condiciones tropicales.

Para satisfacer la demanda de carne, leche y sus derivados y competir efectivamente en el mercado internacional, existe una amplia gama de climas, una amplia variedad de suelos y una excelente biodiversidad, que incluye varios tipos de hierbas y leguminosas tropicales que se adaptan a las diversas condiciones ambientales de la tierra. Es necesario conocer los requerimientos

nutricionales del ganado y forrajes, la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la interacción de estos factores con las condiciones climáticas de la zona para mantener un equilibrio entre oferta y demanda de nutrientes, permitiendo a lo largo del tiempo mantener una producción eficiente y rentable. Esta publicación proporciona una descripción general del potencial de producción, los requisitos nutricionales y las limitaciones que los ambientes tropicales imponen a la producción de forraje.

Esperamos que este libro sea fuente de consulta de investigadores, estudiantes, técnicos transferencia y ganaderos, adquiriendo conocimientos para un manejo más eficiente de los forrajes en la región amazónica.

2.10. Importancia de los pastos y forrajes

Con mayores rendimientos de biomasa, los pastos mejorados a más de una mayor calidad nutricional soportan mayor capacidad de carga animal, lo que también conducirá a mayores rendimientos (kg/leche o GMD/día). De igual forma, se considera la importancia de los pastos y forrajes en los sistemas de producción, elementos fundamentales para mantener la fertilidad del suelo, reciclaje de nutrientes y protección del medio ambiente.

2.11. Forrajes

- a) Según el grupo o familia de plantas a la que pertenecen, estas se clasifican en:

Gramíneas, conocidas como pastos. Crecen en todo tipo de ambientes, con diferentes exigencias en cuanto a agua, fertilidad de suelo y temperaturas. Son pensadas en la dieta del animal para cubrir sus necesidades energéticas, dado a su contenido fibras. En términos generales, son grandes productores de materia seca y sus contenidos en proteína bruta son de medianos a bajos, de acuerdo con la especie y etapa en su ciclo de crecimiento.

Leguminosas, llamadas hierbas, pero en ciertas condiciones son árboles y arbustos (montes o bosques nativos en pastoreo). Son más exigentes que las gramíneas, en especial aquellas de hábito herbáceo. Producen menor cantidad de materia seca por hectárea, pero esta es de mayor contenido en proteína, por lo que su inclusión en la dieta es para cubrir esta fracción de los animales y en

menor medida los requerimientos energéticos. Por su contenido de materia seca (%MS) y fibra se diferencian en:

- Voluminosos (pajas, henos, silajes, pastos y hierbas verdes). Mayor a 35% de materia seca y mayor a 18% de fibra bruta.
- b) Por su origen con respecto a la región, las plantas forrajeras son:
- Pasturas introducidas o cultivadas: son especies originarias de otras regiones del país o el mundo, estudiadas, seleccionadas, incorporadas a los lotes de pastoreo y que se adaptan a las condiciones del lugar. Algunas se escapan de cultivo y se naturalizan en el territorio.
 - Pasturas nativas o silvestres, son nativos de ese lugar. Algunas especies pueden estudiarse y mejorarse para aumentar la calidad de su producción y luego comercializarse como especies y variedades comerciales. Como vivienda de la zona, se adapta a las condiciones ambientales del lugar.
- c) Por su longevidad, las plantas forrajeras son:
- Plantas perennes: son aquellas que vegetan durante más de una temporada de crecimiento. Por ejemplo: pasto guinea (*Panicum maximum*), Dallis (*Brachiaria decumbens*), yuca mata ratón (*Gliricidia sepium*) y maní forrajero (*Arachis pintoï*).

Plantas anuales: nacen-vegetan-fructifican-mueren en una misma temporada de crecimiento. En pastizales naturales, se comportan como colonizadoras, ocupando los espacios dejados por las especies perennes, estos pastizales son de producción inestable (condicionadas por las precipitaciones) e indica baja condición del mismo. Para el caso de cultivados, son cultivos forrajeros anuales que permiten reforzar las necesidades forrajeras en épocas críticas de invierno y verano, cuando las pasturas perennes presentan baja productividad.

- d) Por su época de crecimiento, las forrajeras anuales, se dividen en:

Los de invierno, tales como los cereales que más para pastoreo directo y en una menor medida preservado para forraje. Y los indistintamente cultivados de su estación (es decir invierno y verano) por ejemplo: guinea y dallis.

2.12. Clasificación de las plantas forrajeras

Para el estudio de las plantas forrajeras es importante realizar la siguiente clasificación:

a) Ciclo Evolutivo

Anuales: aquellas que viven alrededor de un año, como es el caso de los cereales forrajeros maíz (*Zea mays*), avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*), sorgo (*Sorghum bicolor*) y otras especies como el trébol encarnado (*Trifolium subterraneum*), vicia (*Vicia sativa*), etc.

Bianuales: aquellos que viven dos años, ray grass (*Lolium multiflorum*) y el trebol rojo (*Trifolium pratense*).

Perennes: son especies que viven más de dos años, como el pasto azul (*Dactylis glomerata*), trébol blanco (*Trifolium repens*), pasto guinea (*Panicum maximum*), elefante (*Pennisetum purpureum*), gramalote (*Axonopus scoparius*), etc. Una buena producción de forraje puede contribuir a que los gastos dentro de la explotación sean menores.

b) Naturaleza

Artificiales: Estas son las especies en las que la vegetación necesita un lugar para crecer, y por lo tanto hay intervención humana en las distintas etapas de desarrollo del pastizal; Preparar el terreno, hacer siembras, cuidados, riegos, etc. Ejemplo: Ray grass (*Lolium multiflorum*), los tréboles como (*Trifolium pratense*) y (*Trifolium repens*), etc.

Naturales: Son especies que se encuentran o crecen de forma espontánea en los campos de pastoreo, formando parte de asociaciones vegetales más o menos complejas. Podemos encontrar especies nativas de la zona o exóticas que provienen de distintos lugares, fueron adaptadas y ahora son naturales. Ejemplo: pasto guinea (*Panicum maximum*), kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), trébol blanco (*Trifolium repens*), etc.

c) Destino y Uso

Pastoreo: Estas son las especies que los animales suelen eliminar de la tierra. Estas áreas de pastoreo deben estar provistas de plantas resistentes al pisoteo,

preferiblemente plantas trepadoras. Es muy utilizado por su bajo costo, típico de nuestro país. Deben tolerar bien el pisoteo.

Corte: Aquellas que se desarrollan similares a una mata y una vez cortadas se destinan como alimento para el ganado, ya sea en forraje verde, henificado o ensilado. Tenemos así especies tropicales como el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), maíz (*Zea mays*), etc.

d) Época de Crecimiento

Estivales: No resisten las heladas y bajas temperaturas: los sorgos de origen subtropical, que vegetan bien al término del periodo de frío.

Invernales: Vegetan a pesar de las bajas temperaturas. Los cereales forrajeros ocupan el primer lugar y son la solución al problema de alimentación invernal. En nuestro país, el crecimiento y desarrollo de las plantas forrajeras es en la época de lluvias (invierno), donde se produce la mayor cantidad de forraje.

En el Oriente todo el año se tiene humedad suficiente para el desarrollo de las plantas forrajeras. A pesar de ello, es preciso conservar el excedente para la época crítica.

- **Composición Química:** Los pastos generalmente no cubren los requerimientos nutritivos de nutrientes (proteínas, grasas e hidratos de carbono), por ello, es indispensable que las raciones alimenticias no presenten déficit.
- **Completas:** La alfalfa es un caso interesante, siendo una leguminosa de alto contenido proteico, permite el crecimiento y engorde de los animales sin dificultad, porque tiene todas las vitaminas y minerales (Ca, P y K). Por lo que se le considera un alimento completo.
- **Incompletas:** Los cereales forrajeros y en general las gramíneas son alimentos incompletos, especialmente por el bajo contenido de proteínas y minerales.

e) Por la sensibilidad a la duración de horas luz:

Días cortos: especies que florecen únicamente en días relativamente cortos.

Intermedios o neutros: el fotoperiodo no es un factor que los afecte.

Largos: son especies que florecen de manera particular cuando los días son largos, como es el caso de climas templados.

2.13. Manejo de pasturas

Para este fin se puede sembrar plantas forrajeras utilizadas en consumo o pastoreo directo, aquí podemos incluir.

De rotación: basado en alternar en forma adecuada el periodo de uso con su tiempo de descanso. Rotan en un tiempo determinado (3 años más o menos) y se siembran nuevamente luego de la rotación.

Permanentes: son aquellas plantas perennes y/o plantas anuales que tiene la capacidad de resembrarse por sí mismas, por lo que el tiempo de vida de estas plantas se encuentra entre los 5 años o más.

Suplementarias: son aquellas destinadas a ofrecer plantas forrajeras que complementen la alimentación del ganado como el rebrote de una pradera o restos de cosechas, que al ser aprovechadas contribuyen a entregar un alimento económico para los animales.

2.14. Efecto del animal en el crecimiento de los pastos

Figura 2

Animales de pastoreo



Nota: Autores (2023)

Los animales en pastoreo producen diferentes efectos en el comportamiento de los pastos, cuando éstos son severos causan cambios en la composición botánica de los pastizales, desapareciendo las especies más apetecidas y de mayor valor nutritivo; además, actúan perjudicialmente sobre la pradera de la siguiente forma: compactación del suelo, disminución de la aireación, disminución de la infiltración del agua, lesiones mecánicas a las plantas por pisoteo, alteración de la estructura del suelo húmedo por el pisoteo, desbalance natural entre especies ocasionado por el pastoreo selectivo, alteración en el crecimiento normal de las especies debido a la presencia de deyecciones sólidas y líquidas por interferencia del paso de la luz (Macdonald et al., 2008).

Cuando las gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales han sido removidas por completo por acción de una fuerte presión de pastoreo, el suelo queda expuesto a la radiación solar con el consecuente aumento de temperatura y mayor intensidad de luz que llega al suelo, lo cual estimula la germinación de malezas. Para contrarrestar el efecto del animal sobre el crecimiento de la planta, se debe tener presente un buen manejo del pastizal y de los animales.

Figura 3

*Resiembra del pasto saboya (*Panicum maximum*)*



Nota: Autores (2023)

2.15. Calidad del forraje

La calidad del alimento es el valor nutricional de los pastos para satisfacer las necesidades del ganado y mantener los niveles de producción y reproducción.

La calidad del alimento depende de una serie de factores que incluyen, en el caso del forraje, el contenido de humedad y la etapa de madurez. Los pastizales y otros forrajes contienen diferencias cualitativas en diferentes etapas de crecimiento y en diferentes partes de las plantas, hojas y tallos. Los cambios fundamentales en las condiciones ambientales como suelo, clima, fertilización, material genético, manejo y en el caso de las existencias forrajeras, tipo y duración del almacenamiento inciden directamente en la calidad del forraje.

La mejor forma de medir la calidad de un forraje es evaluar la respuesta productiva del animal, por lo tanto, la calidad involucra el valor nutritivo y el consumo por parte del animal. Para lograr una producción forrajera alta y de calidad, es importante determinar los períodos de descanso en sistemas de pastoreo rotativo y alterno, mientras que, en un pastoreo continuo el conocimiento de la carga animal ayudaría a mantener una producción eficiente. La calidad del forraje disminuye según aumenta el grado de madurez de la planta, siendo también menor el nivel de ingestión de los animales al aumentar la fibra y disminuir la velocidad de tránsito digestivo, afectando el rendimiento en cuanto a la producción de carne y leche.

2.16. Humedad relativa/Temperatura

Para la determinación de la humedad relativa y la temperatura ambiental en el área de trabajo se puede usar una estación base USB óptica (Base-U-4) HOBO, con un rango de funcionamiento de 0° a 50° (32° a 122°F), y ésta presenta un marcado CE lo cual indica que el equipo está conforme a todas las directivas pertinentes de la Unión Europea (UE) y sensores tipo HOBO pro v2, modelo U23-001 A de la marca Onset, tienen una alta precisión y presenta una carcasa que les permite su utilización en la intemperie y en entornos más densos, el sensor mantiene un puerto USB para la respectiva transferencia de datos hacia una computadora, las unidades de medición en las que presenta las lecturas (°C) para temperatura y (%) para Humedad relativa y (°C) para punto de rocío. Tiene una batería de Litio de 3.6 volts, y su vida útil es de 3 años, los intervalos de tiempo para la toma de mediciones en este caso fueron de 1 hora, lo cual se distribuyó media hora en la mañana y media hora en la tarde. La estación base USB óptica permite la comunicación entre el ordenador central y los

registradores ópticos HOBO. La estación base utiliza luz infrarroja para transferir datos, lo que permite que los logger sean completamente herméticos e impermeables.

2.17. Datos agroclimáticos

Los datos obtenidos mediante la estación USB óptica (Base-U-4) HOBO fueron temperatura, humedad relativa y punto de rocío, mientras que para la radiación solar instantánea se la obtuvo con el solarímetro manual, durante la fase experimental de este estudio, los resultados se observan en la tabla 7.

Las variables ambientales observadas mostraron estar condicionadas por el efecto principal de estudio que fue el sistema de producción, Tabla 4. En el sistema sin uso de árboles (sin sombra) observamos mayores valores de temperatura ambiental que los obtenidos cuando el pasto crece con sombra (28,90 vs. $31,35 \pm 1,62^{\circ}\text{C}$). Lo que correspondió además con mayores valores de radiación solar instantánea (85 vs. $235 \pm 160 \text{ w/m}^2$). Con respecto al diferencial para cada una de las variables la tabla 7 nos muestra que la temperatura tiene un valor de 2,45 °C; 4.56% y 1.21% de humedad relativa y punto de rocío, mientras que para radiación solar instantánea presenta un 82,65 w/m^2 lo que nos dice que en el área de estudio con la presencia de árboles los semovientes van a obtener mejores resultados al pastorear las praderas.

Tabla 1

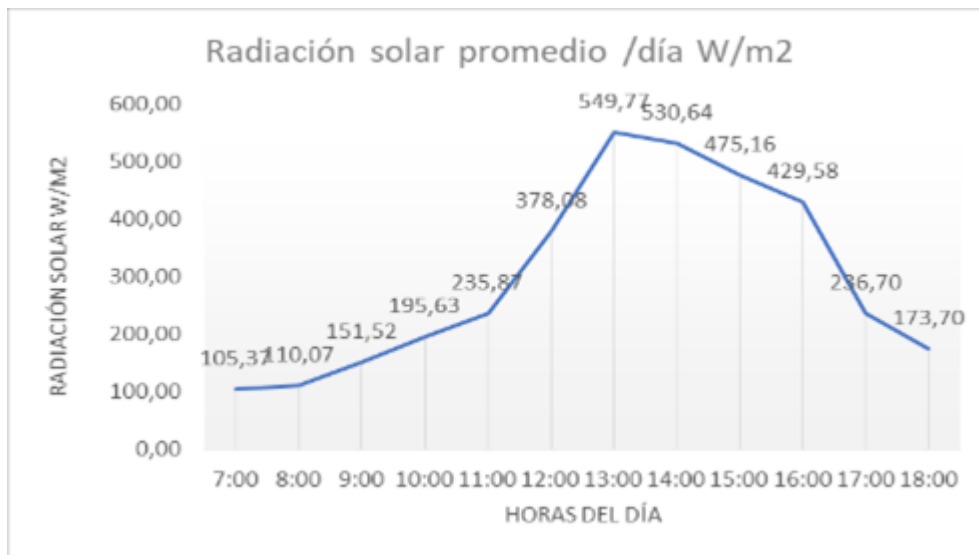
Radiación solar instantánea inicial vs horas del día, bajo el sistema sin sombra

Hora del día	Radiación solar promedio /día W/m^2
7:00	105,37
8:00	110,07
9:00	151,52
10:00	195,63
11:00	235,87
12:00	378,08
13:00	549,77
14:00	530,64
15:00	475, 16
16:00	429,58
17:00	236,70
18:00	173,70

Nota: Autores (2023)

Figura 4

Curva de radiación solar instantánea promedio vs hora del día



Nota: Autores (2023)

Tabla 2

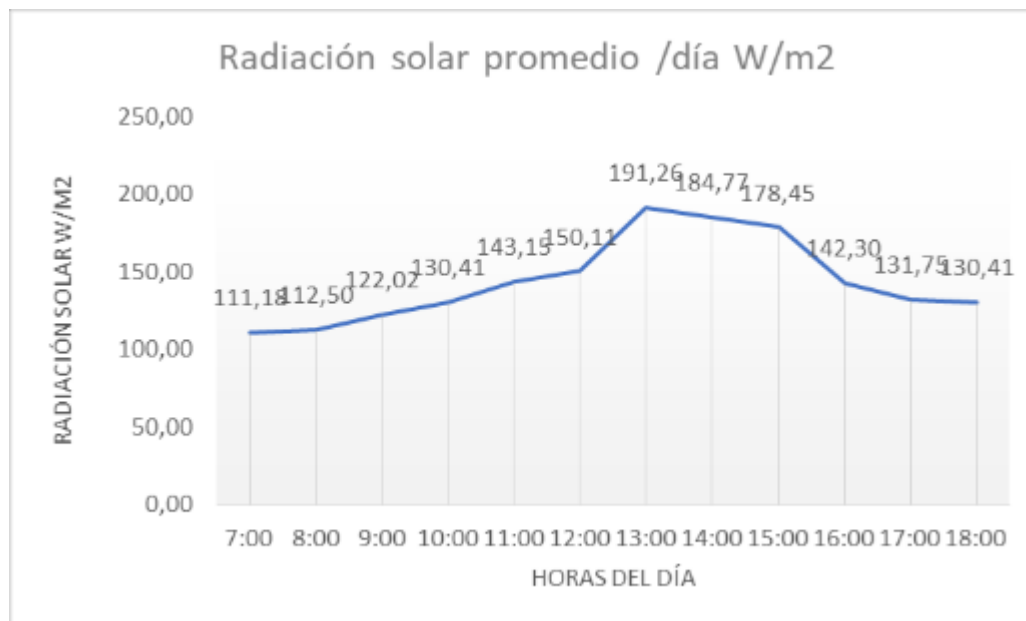
Radiación solar instantánea inicial vs horas del día, bajo el sistema sin sombra

Hora del día	Radiación solar promedio /día W/m ²
7:00	111, 18
8:00	112,50
9:00	122,02
10:00	130,41
11:00	143, 15
12:00	150, 11
13:00	191,26
14:00	184,77
15:00	178,45
16:00	142,30
17:00	131,75
18:00	130,41

Nota: Autores (2023)

Figura 5

Curva de radiación solar instantánea promedio vs hora del día



Nota: Autores (2023)

Tabla 3

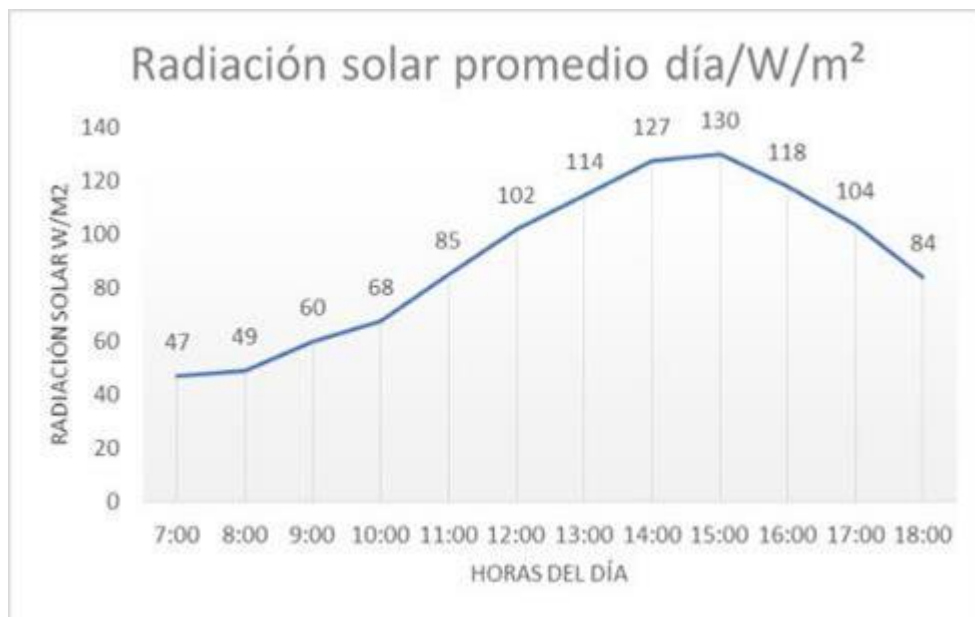
Radiación solar instantánea inicial vs horas del día, bajo el sistema con sombra

Hora del día	Radiación solar promedio W/m ²
7:00	47
8:00	49
9:00	60
10:00	68
11:00	85
12:00	102
13:00	114
14:00	127
15:00	130
16:00	118
17:00	104
18:00	84

Nota: Autores (2023)

Figura 6

Curva de radiación solar instantánea promedio vs. hora del día



Nota: Autores (2023)

Tabla 4

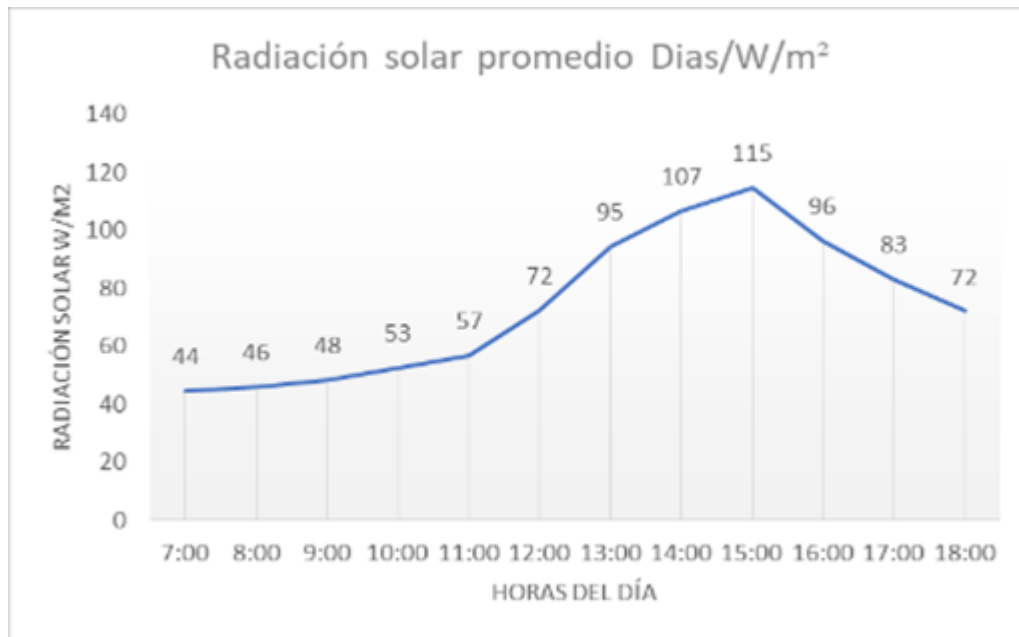
Radiación solar instantánea inicial vs horas del día, bajo el sistema con sombra

Hora del día	Radiación solar Instantánea promedio W/m ²
7:00	44
8:00	46
9:00	48
10:00	53
11:00	57
12:00	72
13:00	95
14:00	107
15:00	115
16:00	96
17:00	83
18:00	72

Nota: Autores (2023)

Figura 7

Curva de radiación solar instantánea promedio vs hora del día



Nota: Autores (2023)

Tabla 5

Datos de temperatura, humedad relativa y punto de rocío tomados en la mañana

N.º	T, °C	HR, %	Pt rocío, °C
1	26,188	83,907	23,281
2	26,274	83,59	23,302
3	26,488	82,491	23,292
4	26,66	82,515	23,465
5	26,831	80,781	23,28
6	26,96	80,733	23,395
7	27,089	80,171	23,404
8	27,218	79,56	23,403
9	27,389	78,803	23,411
10	27,518	78,535	23,479
11	27,647	78,291	23,552
12	27,732	77,827	23,537
13	27,861	77,216	23,53
14	27,904	76,239	23,36

15	27,947	77,314	23,635
16	27,99	77,289	23,671
17	28,033	76,947	23,639
18	28, 161	75,946	23,545
19	28,247	75,678	23,569
20	28,333	73,919	23,262
21	28,333	74, 139	23,311
22	28,376	74,286	23,385
23	28,376	74,042	23,331
24	28,376	74,017	23,325
25	28,333	75,067	23,518
26	28,419	73,431	23,234
27	28,505	72,674	23, 145
28	28,462	73,236	23,232
29	28,505	74, 115	23,471
30	28,633	73,48	23,452

Nota: Autores (2023)

Tabla 6

Datos de temperatura, humedad relativa y punto de rocío tomados en la tarde

N.º	T, °C	HR, %	Pt rocío, °C
1	35,926	47,888	23, 173
2	36, 141	45,739	22,608
3	36,398	45,519	22,761
4	36,741	46,252	23,336
5	36,999	44,689	22,999
6	37,256	44,567	23, 186
7	37,385	41,758	22,226
8	37,514	44,054	23,226
9	37,471	41,319	22, 129
10	37,428	42,857	22,693
11	37,428	43, 175	22,815
12	37,342	43, 15	22,728
13	37, 17	41,758	22,034
14	36,699	41,441	21,487
15	36, 141	42, 198	21,285

16	35,669	44,396	21,692
17	35,283	46,593	22, 136
18	34,982	49,963	23,014
19	34,725	50,354	22,908
20	34,468	46,032	21, 198
21	34,21	48,376	21,777
22	34,039	48,01	21,496
23	33,824	48,816	21,573
24	33,695	51,087	22,202
25	33,524	51, 111	22,052
26	33,438	52,43	22,392
27	33,266	53,797	22,659
28	33, 181	54,603	22,825
29	33,095	52,796	22, 19
30	33,009	56,459	23,219

Nota: Autores (2023)

Tabla 7

Datos agroclimáticos

Ítems	Sistema		Diferencia	EE	$P <$
	Con Sombra	Sin sombra			valor Sistema
Temperatura, °C	28,90	31,35	2,45	1,62	0,001
Humedad relativa %	73,22	68,66	4,56	6.0	0,001
Punto de rocío °C	23,61	24,82	1,21	1.52	0,001
Radiación solar instantánea, w/m ²	85	235	82,65	160	0,001

Nota: EE, error estándar de la media; Diferencias significativas fueron declaradas a un $P < 0, 05$. Autores (2023). Autores (2023)

2.18. Factores que influyen en el establecimiento y producción de las pasturas

2.18.1. Clima

Es un fenómeno natural que ocurre a nivel de la atmósfera y se caracteriza por una combinación de factores como temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, precipitación, viento, entre otros.

2.18.2. Factores que determinan el clima en el Ecuador

Latitud geográfica, altitud del sitio sobre el nivel del mar, la circulación atmosférica general, las masas de aire locales, los vientos, las corrientes marinas y la vegetación.

- Latitud geográfica_ El principal factor climático es el factor astronómico (latitud) ya que el calor proveniente del sol incide de manera directa en la parte céntrica de la tierra y de manera oblicua en el resto del globo, cada vez más inclinado conforme vamos hacia los polos. En los países de latitud media, existen cuatro estaciones climáticas, cuatro temporadas de distinta temperatura cada una, en el año. En cada estación la temperatura es casi la misma, en verano calor sofocante, en invierno frío congelante igual en el día que en la noche.
- Altitud sobre el nivel del mar_ Es el factor que más contribuye a modificar el clima en nuestro país, se considera que partiendo de una temperatura a nivel del mar de 26°C (en la playa) -28°C (en el interior), la temperatura desciende (gradiente térmica) aproximadamente 0,6°C por cada 100 msnm. Si se considera que la temperatura es el factor abiótico más influyente sobre la velocidad en que se producen nuevas estructuras vegetales, entonces en la cordillera, la altitud es factor clave de producción.
- Circulación atmosférica general_ El Ecuador, ubicado en la línea ecuatorial, se caracteriza por una alta humedad, alta temperatura y baja presión atmosférica. Los vientos predominantes en Ecuador son los vientos alisios del noreste del hemisferio norte y los vientos alisios del sureste del hemisferio sur. En el Ecuador (el plano perpendicular al eje de

rotación de la Tierra), hay una masa masiva de aire caliente en ascenso, en el origen de la zona de baja presión que acaba de ocupar una masa de aire frío. Masas de aire caliente se enfrían y se elevan en contra de los vientos alisios, hacia las latitudes subtropicales, de donde se originaron. A medida que los vientos alisios convergen desde los hemisferios norte y sur, se forma la zona de convergencia orbital, una región inestable con turbulencia atmosférica cuando cada masa intenta forzar su campo.

- Masas de aire locales_ Las masas de aire calientes y húmedas, originadas en el océano Pacífico que llegan a las estribaciones de la cordillera Occidental, se condensan y precipitan; igualmente las masas de aire caliente de origen continental que se localizan en la Región Amazónica descargan su humedad en la vertiente de la cordillera Oriental; a veces esta humedad penetra a la Región Interandina por las abras naturales de las hoyas. Al interior de los Andes masas de aire frío, se sitúan sobre las hoyas, los vientos llevan las nubes a las cordilleras y precipitan en las faldas de las montañas y en los valles. En el centro de las hoyas, en los valles bajos de los ríos que van a la costa o al oriente, las precipitaciones son escasas.
- Los vientos_ Los vientos que soplan desde los Andes disminuyen la temperatura de los suelos bajos de la Costa y Oriente. Además, al chocar con los vientos calientes y húmedos de estas regiones se producen las precipitaciones.

2.19. Elementos principales del clima

2.19.1. Temperatura

La temperatura, en nuestro país depende de la altitud sobre el nivel del mar, la temperatura disminuye entre 1-1,2 °C cada 200 msnm y da origen a los climas.

Tabla 8

Temperatura promedio a diferentes altitudes

Altitud sobre el nivel del mar	Temperatura	Clima
0-600 msnm (estribaciones de la cordillera)	28°-24° C	Clima tropical o mega térmico
600-2000 msnm (estribaciones de la cordillera).	24,4°-16° C	Clima subtropical, medio o, mesotérmico.
700-2400 msnm (región interandina).	13°-11,2° C	Clima templado o, templado frío.
2500-2900 msnm	11°-6°C	Clima ecuatorial de alta montaña, páramo andino o micro térmico

Nota: Autores (2023)

La temperatura controla las reacciones bioquímicas de la planta, crecimiento y metabolismos, la reacción más importante que es influenciada por la temperatura es la fotosíntesis, los pastos de clima templado (C3) tienen un óptimo crecimiento a temperaturas entre los 10° y 20 °C, los pastos de clima tropical (C4) se adaptan a temperaturas entre 25 y 30 °C, en temperaturas inferiores a 15 °C su crecimiento se ralentiza (Bernal, 2003).

2.19.2. Lluvias

La lluvia es el elemento del clima que más influye en el crecimiento de los pastos expresado en producción de forraje (kg/MS/día) y en la calidad del mismo. Se debe tener en cuenta el efecto de las lluvias en la lixiviación de nitrógeno, cloruros, sulfatos y bases; el riesgo de lixiviación de más a menos es N, Cl, SO₄, Ca, Mg, Na, K, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, esto quiere decir que no se debe fertilizar en épocas de grandes aguaceros, sobre todo con topografía inclinada ya que el fertilizante va a ser lavado. Lo más adecuado es dosificar para optimizar el uso-consumo de lo aplicado evitando dosis altas y pocos eventos de fertilización, ya que el ideal es fertilizar cuando el suelo este húmedo (Delorenzo, 2014).

De las épocas de lluvias y sequías depende la programación agrícola (siembras, calendario de fertilizaciones, conservación de forraje, etc.), por lo tanto, es

necesario conocer el histórico de la pluviometría del lugar y su distribución por meses, así como en la región interandina la época de las granizadas. Las circunstancias pueden obligar a buscar especies forrajeras resistentes a la humedad y/o resistentes a la sequía, generalmente se necesita que los pastos tengan las dos características para poder mantener una producción forrajera equilibrada durante todo el año. Cuando la lluvia es insuficiente debe aplicarse riego.

Los patrones de lluvia también afectan los sistemas ganaderos, las especies de ganado, el control de la salud, las temporadas de apareamiento. Como sabemos, en el trópico, los problemas de salud en invierno (ectoparásitos y problemas de podales) son mayores, por lo que en zonas muy húmedas, es mejor planificar la cría al final de la temporada de lluvias; En cambio, en la Sierra se puede sincronizar el parto con la época de mayor producción de forraje, es decir, durante la época de lluvias (de noviembre a junio). El clima también afecta la economía ganadera, los precios del ganado en el trópico, por ejemplo, en Manabí (28% del ganado del país) en época de lluvias, y el ganado no se vende. Durante la estación seca, debido a la disminución de los pastos, los ganaderos de Manabí venden sus animales y los precios bajan. El invierno siguiente, cuando el ganado dejó de salir de Manabí y el precio de la carne mejoró.

Por otro lado, en la Amazonía el exceso de lluvias tiene un efecto negativo sobre el crecimiento de los pastos y cuando estas disminuyen, mejora la producción de forraje. La distribución de lluvias nos permite observar que en la región oriental en todos los meses existen precipitaciones, con una ligera disminución en los meses de agosto a enero, aunque no se ha observado una marcada época seca.

2.19.3. Radiación solar y heliofanía

La radiación solar es el flujo de energía que se recibe del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). La luz visible (que puede ser detectada por el ojo humano) son las radiaciones comprendidas entre 400nm y 700 nanómetros. El espectro visible varía con altitud.

Al nivel del mar las plantas están expuestas a todo el espectro visible por lo tanto su fotosíntesis es más intensa, siempre y cuando el resto de los factores

climáticos (agua y temperatura, principalmente) no sean limitantes, la vegetación es exuberante. Mientras la altitud se incrementa, el espectro visible se dirige hacia la zona ultravioleta y esta tiene un efecto nocivo sobre la vida, incluyendo a las plantas; las plantas son más rústicas para adaptarse a estas condiciones (Bernal & Espinosa, 2003). Heliofanía (fotoperiodo) es el número de horas sol en un lugar determinado. Gutiérrez (2016) afirma que de acuerdo al número de horas de luz que necesita una planta, se clasifican como; plantas de día largo las que necesitan (más de 12 horas de luz al día) y día corto (menos de 12 horas de luz). Algunas especies de plantas requieren una mayor cantidad de horas para completar su ciclo vegetativo y producir semilla. Las plantas requieren de energía solar para utilizar el carbono atmosférico mediante la fotosíntesis, por lo tanto, la producción de las pasturas y cultivos está relacionada fundamentalmente con la energía lumínica; una alta radiación solar y una adecuada heliofanía generarán mayores rendimientos, aunque la nubosidad es en cambio un limitante de producción.

Existen pastos que tienen plasticidad de hábito y que se adaptan tanto a clima soleado y seco, como a clima húmedo y brumoso. En pasturas la energía lumínica puede ser aprovechada al máximo implementando sistemas silvopastoriles (diferentes estratos o pisos vegetales). En la llanura litoral hasta una altura de 500 msnm en la ladera de la cordillera Occidental, el promedio anual de radiación lumínica fluctúa entre las 600 y 1700 horas, siendo las zonas secas las más soleadas. En la región interandina la insolación fluctúa entre las 1200 y 2000 horas anuales, siendo los valles bajos interandinos los que reciben más luminosidad. Mientras que en la región amazónica la insolación se ubica entre las 1000 y 1400 horas anuales. Por el contrario, en la región insular o Galápagos el promedio anual de insolación se ubica alrededor de las 2000 horas anuales (INAMHI, 2018).

En resumen, en el Ecuador la distribución de la luminosidad varía con la latitud, pero no hay diferencia de duración entre el día y la noche y las estaciones son marcadas. Contrario a esto, en cambio las latitudes medias y altas (norte y sur del globo terrestre) las diferencias de duración del día y la noche son extremas (16 horas sol en verano, 7 horas sol en invierno).

2.19.4. Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas de un suelo son el resultado de la interacción que se origina entre las distintas fases del mismo (suelo, agua y aire) y la proporción en la que se encuentran cada una de estas. La condición física de un suelo determina su capacidad de sostenimiento, facilidad para la penetración de raíces, circulación del aire, capacidad de almacenamiento de agua, drenaje, retención de nutrientes etc (Spradley, 2014).

2.19.4.1. Textura

La textura indica la proporción de las partículas fundamentales del suelo: arcilla, limo y arena, que se pueden agrupar en fina, media y gruesa. El diámetro de las partículas de arcilla es menor de 0.002 mm, las de limo están entre 0.002 y 0.05 mm y las de arena son entre 0.05 y 2.0 mm. La textura, además influye en la cantidad y disponibilidad de agua y nutrimentos, así como en la aireación, drenaje y accesibilidad en el uso de implementos agrícolas.

Suelos de textura gruesa. Son los suelos con más de 50 % de arena, pero contienen menos del 20 % de arcilla. Cuentan con una baja capacidad para retener nutrientes y agua. La gran cantidad de poros grandes y bajo contenido de arcilla provoca que se pierda más fácilmente agua y nutrientes, especialmente nitrógeno. Lo anterior ocasiona un desarrollo pobre de los cultivos al no cubrir sus necesidades nutricionales. La alta lixiviación y volatilización de nitrógeno en estos suelos hace necesario fraccionar la fertilización nitrogenada tanto como sea posible y la aplicación de materia orgánica. Por otra parte, la gran cantidad de poros grandes facilita la penetración y desarrollo del sistema radical de los cultivos.

Suelos de textura media. Son suelos con buena aireación y drenaje para el desarrollo de las raíces. Generalmente tienen menos de 35 a 40 % de arcilla y menos de 50 % de arena. Presentan una alta proporción de poros de tamaño medio a fino. Son suelos con una amplia capacidad productiva, disponibilidad de agua y nutrimentos. Son suelos que facilitan la penetración de las raíces y desarrollo más acelerado al tener un equilibrio entre las partículas de arena, limo y arcilla. Estos suelos pueden o no ser fácilmente desmenuzables, pero a medida

que la proporción de limo sea mayor, el potencial de compactación también se incrementará.

La humedad del suelo. Indica la cantidad de agua disponible para la planta. Este contenido puede variar según el tipo y la cantidad de arcilla y el porcentaje de la célula coloides en el suelo. Cuanto mayor sea la arcilla y/o MO, más agua se retendrá; Esta es la razón por la cual el suelo arenoso tiende a saturarse más rápido que el arcilloso. Es importante saber gestionar el riego de los cultivos según el tipo de suelo y evitar que el estrés hídrico afecte al cultivo.

Conexión hidráulica. Se define como la capacidad del suelo para transportar agua y oxígeno a la superficie del suelo. Su determinación es una medida indirecta de la presión del suelo, la estabilidad estructural y/o la posible presencia de sodio en la fase de intercambio. La baja conductividad hidráulica se puede atribuir al bajo contenido de materia orgánica, combinado con el alto contenido de sodio, especialmente en suelos de textura fina. Estos suelos problemáticos pueden mejorar su condición incorporando una fuente de calcio (yeso agrícola) y/o MO.

Capacidad de penetración. Es la resistencia del suelo a la penetración de las raíces y está estrechamente relacionado con la densidad aparente (sólidos por unidad de volumen) y la humedad del suelo. Se mide con un dispositivo llamado medidor de penetración y se expresa en kg/cm². Según algunos estudios, se midió una resistencia mayor a 20 kg/cm² en capacidad de campo, lo que provocó un crecimiento limitado de raíces en alfalfa, maíz y algodón.

2.19.4.2. Estructura

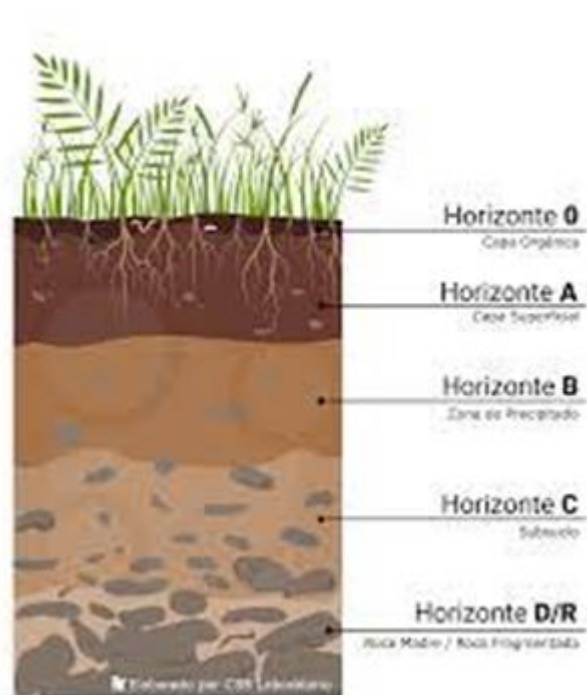
El suelo es un sistema complejo formado en la capa superficial de la Tierra. Su formación es un proceso muy lento que puede durar miles de años en el que las rocas se dividen en partículas de menor tamaño mezclándose con materia orgánica en descomposición. El suelo en sí mismo es un hábitat, donde viven un nutrido grupo de microorganismos y pequeños invertebrados y además de acoger a las raíces de las plantas.

En el suelo se distinguen varias capas con diferente estructura y composición, también denominadas como horizontes. La capa más profunda u horizonte C,

formado por el lecho rocoso originario, es el que confiere las características minerales al suelo. El horizonte A, el más superficial y donde enraíza la vegetación, rico en materia orgánica. Su color es generalmente oscuro por la abundancia de materia orgánica descompuesta o humus elaborado. Entre ambos, el denominado como horizonte B formado por una mezcla de rocas y partículas de tamaño medio, carece prácticamente de materia orgánica (Figura 8).

Figura 8

Estructura



Nota: Autores (2023)

2.19.4.3. Consistencia

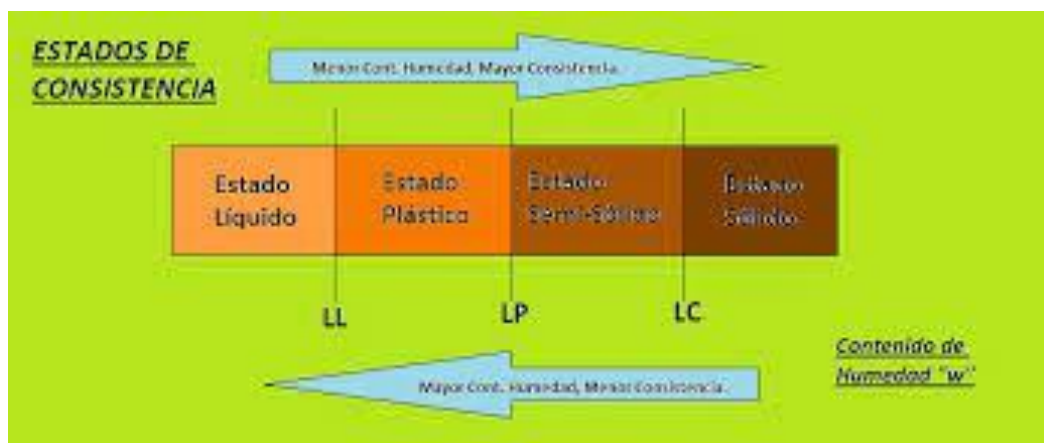
La densidad del suelo es una propiedad física que determina la resistencia de un suelo a la deformación debido a las fuerzas que actúan sobre él. Esta propiedad del suelo está determinada por el contenido de humedad, la materia orgánica del suelo y los tipos de arcilla. La estabilidad estructural también es un factor importante en la resistencia del suelo. Tradicionalmente, la densidad del suelo es una propiedad mecánica del suelo y tiene gran importancia y aplicación en la ingeniería civil. Sin embargo, desde el punto de vista agrícola, esta característica está íntimamente relacionada con la labranza y por ende sus efectos en la

compactación, descamación superficial, reducción del área libre del suelo y desarrollo de raíces.

Son varios los estados de consistencia que presenta el suelo y dependen del contenido de humedad del suelo. Los estados de consistencia reflejan la relación en que se encuentran las fuerzas de cohesión (atracción entre partículas o moléculas de la misma sustancia) y de adhesión (atracción entre sustancias o partículas heterogéneas) en el suelo. En la Figura 9 se muestra como el contenido de humedad del suelo afecta en los diferentes estados de consistencia del suelo. A medida que se incrementa el contenido de humedad del suelo, van cambiando las fuerzas que determinan su comportamiento mecánico, lo cual se manifiesta en las propiedades que va adquiriendo. Además, puede observarse la variación de las fuerzas de cohesión y de adhesión, con respecto al incremento de la humedad en el suelo.

Figura 9

Estados de consistencia



Nota: Extraído de Plasticidad y Límites de Consistencia (2016)

Estado coherente: Se presenta cuando el suelo está seco, físicamente se presenta como terrones de extrema dureza (suelo cohesivo), cuando este no es arenoso, o por partículas sueltas, en suelos arenosos (suelo no cohesivo). Someter a laboreo estos suelos (en este estado de consistencia) se provoca una partición y disgregación mecánica de partículas, formándose grandes nubes de polvo.

Estado inestable o frágil: Esta condición ocurre cuando el contenido de humedad del suelo aumenta y excede el límite de cohesión del suelo sin que se acumule suficiente agua en las películas que rodean las partículas sólidas para producir la fuerza cohesiva dominante en el sistema. El suelo es blando, se rompe fácilmente sin aplastarse y tiene el contenido de humedad ideal para la labranza. El desempeño de la labranza en esta condición uniforme es ideal porque causa el menor cambio en la estructura del suelo. En suelo agrícola, en este caso, dos indicadores de consistencia son importantes para su gestión:

- a) **Límite de soltura (LS).** Representa el contenido máximo de humedad que presenta un suelo, sin que se adhiera a cuerpos extraños. En la práctica este es el punto óptimo de labranza.
- b) **Límite inferior de plasticidad o límite plástico (LIP).** Contenido de humedad en el cual, las fuerzas de cohesión y adhesión se igualan. Es el límite máximo de humedad que debe tener el suelo para ser sometido a laboreo con bajo riesgo de deterioro físico.

Estado plástico: Rango de humedad del suelo en el cual se deja moldear y conserva las deformaciones que le ocasionan fuerzas extrañas. Este estado se encuentra entre el límite inferior de plasticidad y el límite superior de plasticidad (LSP) o límite líquido (LL) y es el rango en el cual se presentan las mayores fuerzas de adhesión. El límite líquido se refiere al mínimo de humedad del suelo con el cual se empieza a comportarse como fluido (se deforma). El laboreo en estas condiciones provoca grandes problemas de compactación del suelo, y esto aumenta conforme la humedad del suelo incrementa.

Estado de fluidez: En este estado el suelo comienza a fluir por su propio peso. Hay saturación y el laboreo es prácticamente imposible.

2.19.4.4. Densidad

Mediante la determinación de la densidad se puede obtener la porosidad total del suelo. Se refiere al peso por volumen del suelo. Existen dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en general está alrededor de 2,65. Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena. Una densidad aparente baja no

indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas.

2.19.4.5. Aireación

Porosidad del suelo: La porosidad es la cantidad de espacio poroso en el suelo que se descompone en partículas grandes y partículas finas. La mayor porosidad de los suelos de textura fina con una mayor proporción de partículas finas promueve una mejor retención de humedad que los suelos arenosos. Por otro lado, con un aumento de la densidad aparente, la porosidad disminuye y afecta directamente a la aireación del suelo, lo que conduce a una disminución del crecimiento de las raíces en casos extremos. Los poros con un diámetro de 0,2 - 0,3 mm limitan el crecimiento de las raíces.

Compactación del suelo: La compactación del suelo se refiere a la reducción de la porosidad del suelo, lo que aumenta la densidad del suelo. Por lo tanto, la compactación restringe el espacio de almacenamiento o el movimiento de aire y agua en el suelo. También es una de las principales causas de las limitaciones físicas en el crecimiento de las raíces de las plantas. Los suelos más susceptibles a la compactación son los suelos con una textura fina a media en comparación con los suelos gruesos. De manera similar, los suelos con bajo contenido orgánico o alto contenido de humedad son más susceptibles a las enfermedades. Los mayores daños de compactación los encontramos en los campos agrícolas en los cuales se practica agricultura intensiva (elevado uso de maquinaria agrícola); normalmente se encuentran problemas de compactación a diferentes profundidades, dependiendo del tipo de implemento que se use en la preparación del suelo.

Efectos de la compactación del suelo;

- a) Aireación. Se reduce el espacio poroso, limitando la capacidad del suelo para retener agua y oxígeno, indispensables para el desarrollo radicular de las plantas.
- b) Movimiento del agua. En suelos compactados hay pocos macroporos y no hay capacidad para el movimiento descendente del agua, por ello, las raíces no pueden expandirse o sus pelos absorbentes no pueden penetrar poros inferiores a sus diámetros. Como consecuencia de lo anteriormente

descrito, se obtiene un bajo rendimiento del cultivo debido al pobre desarrollo de las raíces.

- c) Emergencia. Desde el inicio del cultivo puede repercutir en la emergencia de la plántula debido a la dificultad mecánica que le representa poder atravesar un suelo más denso.
- d) Disponibilidad de nutrientes. La compactación disminuye la proporción de los microporos en el suelo, logrando aumentar el contacto entre raíz y partículas, favoreciendo que la intersección de nutrientes por la raíz sea mayor. Sin embargo, el efecto de poros pequeños evita un desarrollo considerable de la raíz; por lo tanto, se tiene una menor área explorada por el sistema radical y por ende, menor toma de nutrientes.

2.19.4.6. Temperatura del suelo

La temperatura del suelo tiene un impacto directo sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. “Las variaciones diarias y estacionales de la temperatura del suelo, respecto a la que existe sobre él, se amortiguan rápidamente con la profundidad en el que el medio edáfico actúa como tampón frente a la variabilidad atmosférica del lugar” (Ibañez, 2008). La temperatura del suelo está delegada a cambios tanto estacionales como diurnos siendo más insignificantes hacia los horizontes más profundos, esta dinámica conforma el perfil térmico del suelo.

La temperatura del suelo puede ser un factor limitante en la germinación de las semillas, el desarrollo y crecimiento de las raíces y la tasa de descomposición de la materia orgánica. Como resultado, la actividad microbiana disminuye a medida que el frente húmedo avanza hacia horizontes más profundos durante las épocas más desfavorables del año, o debido al calor o al frío extremos, y luego, a medida que la superficie de la tierra se calienta, tiende a elevarse hacia el horizonte superficial.

En el desarrollo de la planta, las variaciones en la temperatura del suelo tienen un efecto sobre el crecimiento de las raíces, formación de tallos y hojas. Con lo que respecta a la zona radical (órgano subterráneo) al no tener capacidad de regular su temperatura (Rehm, 1986), las funciones de la raíz en comparación con los órganos aéreos se ven más influenciadas con la temperatura del suelo.

Por tanto, las funciones principales de las raíces como son la absorción de agua y nutrientes se ven más marcadas. En los meses más fríos con temperaturas del suelo menores a 15°C, esta capacidad se reduce, aunque esta reducción no está vinculada a cambios en la viscosidad del agua en comparación con la temperatura, si no a modificaciones de los tejidos que componen la raíz (Tejera, 2006). Por tanto, el desarrollo radicular, de forma general, aumenta con incrementos de la temperatura del suelo, hasta niveles entre 25 – 30 °C y, descende en temperaturas entre 8 – 15 °C (Marschner, 1986).

Debido a esta influencia de la temperatura del suelo frente al crecimiento radicular, se produce un incremento en la formación de pelos radicales con suelos con temperaturas más bajas y debido al menor volumen de suelo explorado en profundidad, la planta se ve obligada a formar un sistema radical más grande en superficie para poder captar mayor cantidad de agua y nutrientes, esto varía según especies.

Se puede influir en la temperatura del suelo:

Disminuyendo el porcentaje de cobertura vegetal.

Cuando el suelo se encuentra demasiado húmedo, aumentando el drenaje y de esta forma eliminando el enfriamiento en exceso.

En cuanto al tallo se refiere, tanto la biomasa como la longitud de éste, aumenta cuando la temperatura de la zona radicular se encuentra entre valores de 20 y 30°C. Por ejemplo: mandarinas satsumas (Poervanto et al., 1989); citrus (Nielson y Humphries, 1966).

Otro efecto que tiene la temperatura en el desarrollo de la planta es sobre las hojas y los frutos. Las hojas es uno de los órganos más sensibles al estrés ambiental por temperatura, sales y agua. En cuanto a los frutos, su producción se incrementa con el aumento de la temperatura entre valores de 25 – 35°C (Cooper, 1973). También influye sobre el llenado de este, modificando así sobre la producción.

Respecto de su influencia en el plan de abonado, la solubilidad de los abonos es dependiente de la temperatura, ganarás en eficiencia por saber cuándo debes empezar y finalizar con el mismo. La temperatura no es constante en todo el

perfil radicular, no te interesará aportar agua y abono hasta una profundidad donde las raíces no alcancen una temperatura mínima. Tener un control de la temperatura del suelo a diferentes profundidades, conjuntamente con otros parámetros como humedad, puede ser de gran ayuda.

2.19.4.7. Color

Color del suelo: Es una característica que ayuda a describir diferentes tipos de suelo. El color del suelo no afecta directamente el crecimiento de las plantas, pero indirectamente afecta la temperatura y la humedad del suelo. Cuanto más calor hay en la tierra, mayor es la temperatura y la evaporación. Se ha demostrado que los suelos oscuros, en las mismas condiciones ambientales y sin cobertura vegetal, tienden a secarse más rápido. Por otro lado, el suelo húmedo es de color más oscuro que el suelo seco, además de absorber más luz, lo que contribuye al aumento de la temperatura del suelo y a la promoción del crecimiento de las plantas. El color del suelo también puede indicar su estado actual en general. Al considerar el color de un suelo, es importante saber si es de un proceso de moldeado reciente o si es un color del material original. El color del suelo puede servir de inicio para interpretar las propiedades del suelo en cuanto a aireación, drenaje o contenido de materia orgánica (MO).

2.19.4.8. Propiedades químicas

La meteorización del material de partida por el agua determina, en gran medida, la composición química del suelo que por último se ha producido. Algunas sustancias químicas se lixivian en las capas inferiores del suelo donde se acumulan, mientras que otras sustancias químicas, que son menos solubles, quedan en las capas superiores del suelo. Las sustancias químicas que se eliminan con más rapidez son los cloruros y los sulfatos, a los que siguen el calcio, el sodio, el magnesio y el potasio.

Los silicatos y los óxidos del hierro y el aluminio se descomponen con mucha lentitud y apenas se lixivian. Cuando algunos de estos productos se ponen en contacto con el aire del suelo, tienen lugar reacciones químicas como, en particular la oxidación, que provoca la formación de sustancias químicas más solubles o más frágiles que las originales. En consecuencia, se aceleran los

procesos de meteorización, aumenta la lixiviación de las sustancias químicas y se producen otros cambios en la composición química del suelo.

2.19.4.9. Fertilidad

Un factor que está relacionado con la pérdida de persistencia de las especies y poca calidad del forraje es la baja fertilidad natural del suelo. Especies forrajeras con altos requerimientos nutritivos tienden a desaparecer de los potreros, dando paso al establecimiento de especies de menor valor nutritivo y malezas.

Figura 10

Fertilidad



Nota: Autores (2023)

La fertilidad del suelo hace referencia a la capacidad de éste para sustentar el crecimiento de las plantas, produciendo los nutrientes que ellas necesitan. ¿De qué depende la fertilidad del suelo? Son 3 los factores básicos para determinar la fertilidad: físico, químico y biológico; todos igual de importantes para obtener el nivel deseado. Un manejo adecuado de las técnicas para la fertilidad del suelo es uno de los grandes objetivos de cualquier agricultor, pues sus cosechas crecerán adecuadamente y no verá mermado el rendimiento y sus ganancias.

2.19.4.10. pH

El valor del pH del suelo es la medida de la acidez o alcalinidad del suelo. El pH del suelo afecta directamente la disponibilidad de nutrientes en el suelo. La escala del pH tiene un rango que va de 0 a 14, siendo el 7 el valor neutral. Los números menores a 7 indican acidez mientras que los números mayores a 7 indican alcalinidad (Williamson, 2021).

El pH del suelo es una de las muchas condiciones ambientales que afectan la calidad del crecimiento de la planta. El pH ideal varía dependiendo de la planta. Plantas como "*Panicuma maximum*", "*Brachiaria decumbens*", crecen bien en suelos ácidos (pH 5,0 a 5,5). Los suelos con valores de pH menor o mayor a estos rangos pueden resultar en crecimientos menos vigorosos y en deficiencias de nutrientes.

Los nutrientes necesarios para obtener un crecimiento saludable están divididos en tres categorías: primaria, secundaria y micronutrientes. Los nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) están clasificados como nutrientes primarios, los cuales se necesitan en grandes cantidades en comparación con los demás nutrientes. Los nutrientes como Calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) son catalogados como nutrientes secundarios, los cuales son necesarios en menos cantidades, pero siguen teniendo la misma importancia que los nutrientes primarios. Nutrientes como Zinc (Zn) y manganeso (Mn) constituyen micronutrientes, estos nutrientes son requeridos en concentraciones bien bajas. La mayoría de las deficiencias de los nutrientes secundarios y micronutrientes son fáciles de corregir al mantener el pH del suelo en un valor óptimo (± 7 pH).

El mayor impacto que los pH extremos pueden tener en la planta es relacionado a la disponibilidad de los nutrientes o la concentración de minerales tóxicos para las plantas. En suelos bien ácidos, los nutrientes como aluminio y manganeso se hacen más disponibles y tóxicos de lo usual. También, en suelos con un pH bajo los nutrientes como el calcio, fósforo y magnesio se hacen menos disponibles para la planta. Cuando los valores de pH son mayor o igual a 6,5, los nutrientes como fósforo y la mayoría de los micronutrientes se hacen menos disponibles.

Factores que afectan el pH del Suelo: El pH del suelo está influenciado por las sustancias originales que componen el suelo. Los suelos que crecen a partir de rocas alcalinas suelen tener un valor de pH más alto que los suelos formados a partir de rocas ácidas. La lluvia también afecta el pH del suelo. Cuando el agua pasa a través del suelo, lava los nutrientes esenciales como el calcio y el magnesio, luego son reemplazados por elementos ácidos como el aluminio y el hierro. Por esta razón, el suelo que se forma durante las fuertes lluvias es más ácido que el suelo que se forma en condiciones áridas. Los fertilizantes que contienen amonio o urea aceleran la acidez del suelo. Además, la descomposición de la materia orgánica acelera la acidificación del suelo.

En la Amazonía ecuatoriana los suelos rojos (Oxisoles y Ultisoles) son de baja fertilidad con pH que oscilan entre 4,3 a 4,8. Por el contrario, los suelos negros fértiles son encontrados en el cantón Joya de los Sachas, Loreto y parte del cantón Francisco de Orellana, cuyos pH oscilan en rangos de 5,0 a 6,7. Los suelos rojos son mayoritarios en la Amazonía ecuatoriana y contienen dos minerales altamente tóxicos para el cultivo de los pastos, es el caso de Manganeso y el Aluminio en niveles del 50 al 60%. Además, varios trabajos de investigación, realizados en diferentes tipos de suelo, han observado afectación de la persistencia de las especies forrajeras. Algunas leguminosas forrajeras tropicales tienden a desaparecer bajo regímenes de pastoreo, porque no son compatibles con los pastos que tienen una velocidad de rebrote muy rápido y son sensibles a niveles bajos de fósforo, azufre y elementos menores tales como molibdeno y boro.

En suelos alcalinos, es común la deficiencia de hierro y boro y en suelos salinos-sódicos la toxicidad de sodio intercambiable, son factores limitantes para el buen desarrollo de los pastos. Mientras que, en suelos ácidos, el crecimiento de las especies puede afectarse por toxicidad del aluminio, manganeso y hierro.

Las aplicaciones excesivas de fertilizantes pueden causar trastornos en el desarrollo de las plantas. Excesos de un elemento pueden producir la deficiencia de otro, e interferir en el metabolismo del animal, de allí que se cree conveniente considerar el análisis de suelo si es posible, para poder determinar dosis y fertilizante a utilizarse.

Figura 11

Aplicaciones excesivas de fertilizante



Nota: Autores (2023)

2.19.4.11. Capacidad de Intercambio Catiónico

Esta propiedad química del suelo se refiere a la cantidad total de cargas negativas que están disponibles sobre la superficie de las partículas en el suelo. También se puede definir como el número total de cationes intercambiables que un suelo en particular puede o es capaz de retener (cantidad total de carga negativa). Conocer la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de un suelo es fundamental, pues este valor nos indica el potencial de un suelo para retener e intercambiar nutrientes. Además, la CIC afecta directamente la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes. La mayor influencia sobre la CIC viene de las arcillas del suelo y de la materia orgánica. La arcilla tiene una capacidad de 10-150 cmol (+)/kg, mientras que la materia orgánica tiene una capacidad de 200-400 cmol (+)/kg, es decir la materia orgánica tiene más alta CIC. Los cmol (+)/kg = meq/100g.

Los aportes de materia orgánica además de provocar un incremento en la CIC, también mejoran las propiedades físicas del suelo, incrementa la infiltración de agua, mejora la estructura del suelo, provee de nutrimentos a la planta y disminuye las pérdidas por erosión. La mayor influencia sobre la CIC viene de las arcillas del suelo y de la materia orgánica. La arcilla tiene una capacidad de 10-150 cmol (+)/kg, mientras que la materia orgánica tiene una capacidad de 200-400 cmol (+)/kg, es decir la materia orgánica tiene más alta CIC. Por otro

lado, los aniones en el suelo tienen un comportamiento muy distinto a los cationes. El fosfato es retenido fuertemente debido a la formación rápida de compuestos insolubles. El sulfato es retenido débilmente. El nitrato y el cloruro no son retenidos en el suelo y se mueven libremente con el agua del suelo.

La CIC en diferentes suelos: Por lo general, los suelos con alta CIC, son aquellos con altos contenidos de arcilla y/o materia orgánica. La alta CIC les brinda mayor capacidad para retener nutrientes, eso normalmente los hace más fértiles. En la tabla 9 se pueden apreciar las CIC para diferentes tipos de arcillas, comparadas con la materia orgánica y para diferentes texturas del suelo.

Tabla 9

CIC para diferentes tipos de arcilla, materia orgánica y textura del suelo

Material	CIC (meq/100g)
Tipo de arcilla	
Monmorillonita	80-100
Caolinita	3-15
Illita	15-40
Materia Orgánica	
Textura del suelo	
Arena	1-5
Franco Arenoso	5-10
Franco	5-15
Franco Arcilloso	15-30
Arcilloso	>30

Nota: Autores (2023)

Los cationes intercambiables del suelo son el K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Al³⁺ y H⁺. Estos cationes son los predominantes en los suelos agrícolas y pueden ser reemplazados por otros cationes presentes en la solución del suelo. El NH₄⁺, Fe²⁺, Mn²⁺ y Cu²⁺ son otros nutrientes que presentan carga positiva, pero se encuentran en cantidades muy pequeñas. En relación al contenido de estos cationes intercambiables, la cantidad de estos en la solución del suelo es muy pequeña comparando con la cantidad que se retiene en las arcillas. Entonces, la

mayor proporción de cationes están adheridos a las superficies de las partículas del suelo, y los cuales están en equilibrio con la solución del suelo. La CIC, por lo tanto, proporciona una reserva de nutrientes para reponer los nutrientes que fueron absorbidos por las plantas o lavados de la zona radical.

2.19.4.12. Otras características importantes del suelo

La profundidad efectiva de un suelo es el espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin mayores obstáculos, con vistas a conseguir el agua y los nutrimentos indispensables. Esta información resulta ser de suma importancia para el crecimiento de las plantas. El conocimiento de las características físicas de suelo, como es la profundidad efectiva, clase textural, capacidad de campo, punto de marchitez temporal y permanente y densidad aparente son fundamentales.

2.19.4.13. Profundidad

La Profundidad Efectiva de suelo. es una característica física importante. ya que determina el volumen de agua que puede almacenar el suelo, la cual está directamente relacionada a la profundidad efectiva de cada sector. Desde el punto de vista de las plantas, una mayor profundidad permite al cultivo. un mejor arraigamiento y mayor superficie donde explorar en busca de agua y nutrientes.

Por tal motivo, al momento de clasificar un suelo de acuerdo a su aptitud frutal, se requiere por un lado determinar la profundidad efectiva de suelo. y por otro las características físicas. El complemento de estos parámetros. Permite definir una estrategia de riego para cada tipo de suelo.

2.19.4.14. Relieve y pendiente

La pendiente se relaciona con la morfología y dinámica de todas las formas del relieve; prácticamente todas ellas tienen un umbral que las clasifica o jerarquiza de acuerdo con su geometría; es decir, la pendiente constituye un factor que favorece la delimitación de los procesos y los tipos de formas que se encuentran en el terreno.

En este contexto, existen intervalos bien definidos para describir la pendiente (Lugo, 1988; Pedraza, 1996). Asimismo, los análisis de la pendiente se aplican

con diversos fines; por ejemplo, para determinar la capacidad agrológica de los suelos, en obras ingenieriles (aeropuertos, carreteras, urbanizaciones, sistemas de alcantarillado) o en geomorfología (en relación con fenómenos de erosión e inestabilidad de laderas). En este caso, aunque existen intervalos ya establecidos para los índices de sensibilidad ambiental (NOAA, 2002), se eligieron categorías más convenientes para la zona de estudio que es predominantemente plana. La pendiente catalogada como suave pertenece a la parte superior que se asocia con los campos como con los lomeríos, colinas y laderas de elevaciones menores. La distribución más amplia de ambos grupos de pendiente se presenta hacia el noroccidente de la amazonia.

Del total, las áreas de pendiente ligeramente suave cubren un 17% y las de pendiente suave 6%. Las áreas de pendiente moderada (de 5° a 15°) abarcan el 10% de la zona de estudio y prácticamente corresponden a las laderas de lomeríos, colinas suaves y elevaciones menores, cuyo escurrimiento superficial se considera de lento a medio. El relieve con estas características se distribuye hacia el centro-este, entre los ríos Coca, Napo y Tiputini. El menor porcentaje de superficie (0.4% aproximadamente) corresponde a las pendientes fuertes con más de 15°, las cuales se presentan en laderas superiores de colinas, así como en escarpes del sector oriental donde el terreno es más abrupto; en este último caso el escurrimiento superficial es más rápido.

2.19.4.15. Topografía

Es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales. La palabra topografía tiene como raíces *topos*, que significa "lugar", y *grafos* que significa "descripción". Esta representación tiene lugar sobre superficies planas, limitándose a pequeñas extensiones de terreno, utilizando la denominación de geodesia para áreas mayores. De manera muy simple, puede decirse que para un topógrafo la Tierra es plana, mientras que para un geodesta no lo es. Los mapas topográficos utilizan el sistema de representación de planos acotados, mostrando la elevación del terreno utilizando líneas que conectan los puntos con la misma cota respecto de un plano de referencia, denominadas curvas de nivel, en cuyo caso se dice

que el mapa es hipsográfico. Dicho plano de referencia puede ser o no el nivel del mar, pero en caso de serlo se hablará de altitudes en lugar de cotas.

Topografía aplicada a la agricultura es una ayuda fundamental para planificar, conservar, y administrar con mayor eficiencia el uso y manejo del suelo y el agua. Es una disciplina necesaria para entender el paisaje, las formas del terreno y la distribución de los suelos. La topografía tiene aplicaciones dentro de ingeniería agrícola:

- En levantamientos como trazos, Deslindes,
- Divisiones de tierra,
- Determinación de área, Levantamientos catastrales hechos con el propósito de localizar límites de propiedad y valorar los inmuebles.

2.19.4.16. Drenaje

Cuando el origen de la formación de napas freáticas es el exceso de riego, los niveles no se mantienen estables en el tiempo, sino que, por el contrario, son muy dinámicos y fluctúan. A partir de marzo, cuando comienzan a incorporarse mayores volúmenes de agua, los niveles freáticos comienzan a ascender paulatinamente. Luego, en la medida que se avanza en la temporada (Mayo–junio) se producen ascensos importantes, debido a que la tendencia es aplicar riegos con baja eficiencia (grandes volúmenes de agua en relación a las necesidades de riego). En cambio, en el periodo estival, de gran consumo por los cultivos y la vegetación natural, los niveles comienzan a descender, aproximadamente desde mediados de agosto hasta febrero.

Por otra parte, si la recarga no está relacionada a las lluvias, los niveles ascienden en el periodo de menos consumo de la masa vegetal (a partir de abril y durante el invierno). Esta situación se presenta en el área noroccidental de región amazónica. En cambio, a partir de agosto, conforme a que la entrega de agua y las necesidades de riego aumentan, se incrementa también el nivel freático llegando a un máximo en el mes de octubre. En adelante se produce un paulatino descenso al aumentar la evapotranspiración (consumo de agua) por los cultivos Intoxicación por sales y asfixia radicular: El efecto sobre los cultivos depende de la especie, del tipo de suelo y de la magnitud del fenómeno. Los

síntomas propios son asfixia radicular, amarillamiento de hojas, intoxicación por sales, (cloruros, boro), fallas en el crecimiento, poco vigor, bajos rendimientos y, en casos extremos, pérdidas del cultivo y salinización del perfil del suelo. La afectación es mayor en cultivos permanentes que desarrollan un sistema radicular mayor.

Salinización: En terrenos que dejan de cultivarse por varias temporadas y ante la presencia de freáticas superficiales, se produce desalinización (ascenso de sales por capilaridad) y pierden su productividad. En estos casos, es necesaria la recuperación a través del lavado de suelos y obras de drenaje para evacuar el exceso de sales.

2.19.5. Pasto saboya (*Panicum maximum*) cv Mombaza

2.19.5.1. Características botánicas

El cultivar Mombaza (*Panicum maximum*) comúnmente denominado, guinea, pajarita, cauca, saboya o chilena, es originaria de África, colectado en Tanzania por el Instituto Francais de Recherche Scientifique pour Develloppement en Coopération, (ORSTOM). Luego el Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (CNPGC) en conjunto con EMBRAPA realizaron la liberación de este cultivar forrajero en el año 1993 en Brasil. En la Amazonía ecuatoriana se tiene evidencias que su introducción fue por el año 2005 y fue evaluado por el INIAP Estación Experimental Napo Payamino, por un lapso de 5 años.

La planta es de porte alto que va de 1,6 –1,7 m de altura, de crecimiento erecto en forma de macolla. Las hojas son erectas con vainas glabras; la inflorescencia de tipo panícula muestra un aspecto lila verdoso debido al color de las espiguillas; los tallos son levemente rojizos (morados) y glabros, lámina foliar Cerosidad ausente; Color verde-claro; Ancho 3,2 cm; Glabra o con pelos de 2-3 mm dispersos, cerca de la lígula. Vaina Glabra y áspera en el tercio inferior; algunas veces presenta pelos dispersos de 3 mm; Serosidad ausente, nudos cubiertos por densa Micropilosidad; bien delimitado en su parte inferior por coloración rojiza, inflorescencia verde; verticilos glabros; 30 cm de largo, espiguilla verde con manchas rojizas; 810/g (Jank, 1995).

2.19.5.2. Variedades

Saboya o guinea colonial: Variedad muy alta, de extraordinario vigor, que crece hasta 3 m. de alto, con tallos gruesos y carnosos, muy apetecido por el ganado, que lo prefiere a cualquier otro pasto. Rinde 50 t/MS/ha/año, proteína bruta 8-10%. Tiempo de formación del potrero 3-4 meses.

Guinea siempre verde o Green panic: Se caracteriza por ser de rápido crecimiento, planta robusta, muy apetecida por el ganado y su gran resistencia a la sequía. Tolerante a la sombra más que las otras variedades y compite fuertemente con las malezas. Fácil de manejar, es aprovechada por el ganado aún en el estado de floración, ya que no se vuelve leñoso cuando madura.

En la provincia de Loja, existen dos ecotipos de guinea: Chilena hembra y Chilena macho: Variedades altamente resistentes a la sequía, de portes pequeños y capaces de desarrollarse en buenas condiciones hasta 1700 msnm.

Tanzania: Alcanza una altura de 1,30 m, hábito de crecimiento cespitoso, tolera el pisoteo y el salivazo, el uso es principalmente para pastoreo y heno, asociación con soya perenne, necesita abonamiento con fosfatos y cal. Densidad de siembra 9-10 Kg/ha, profundidad de siembra 0,5-1 cm, tiempo de formación del potrero 3-4 meses. Producción de masa verde 70 t/MS/ha/año, proteína bruta 12-14%. Con un buen manejo alcanza los 50-90 cm.

Vencedor: Variedad de origen brasileño, de 1,60 m de alto, cespitosa, se adapta a suelos de mediana a alta fertilidad, tolera el aluminio, soporta el pisoteo, necesita abonamiento con fosfatos y produce sobre 60 t/MS/ha/año.

Se puede sembrar por semilla o material vegetativo. Las semillas se forman apomíticamente y no por vía sexual. Con semilla clasificada con una germinación mínima del 20% y una pureza del 70%, en siembras al voleo, se utiliza 6-8 kg/ha, mientras que cuando se realiza de manera localizada, la siembra sobre el suelo ligeramente tapada se requiere de 2 a 4 kg/ha. La semilla fresca tiene bajo poder germinativo (5%) por estar "latente", mejora el porcentaje de germinación luego de un período de reposo de 5 meses. Si se utiliza material vegetativo, se hace por "división de matas" distanciados de 50-80 cm en cuadro, además se requiere

15 m³ de cepas por ha, para una buena formación del pastizal. El establecimiento por este método es rápido y la floración ocurre a los 5-6 meses.

Figura 12

Preparación de terreno para establecimiento del pasto Saboya (Panicum maximum) cv Mombaza



Nota: Autores (2023)

2.19.5.3. Asociación con leguminosa

Se asocia bien en zonas húmedas con maní forrajero (*Arachis pintoï*), centrocema (*Centrocema macrocarpum*) o kudzú tropical (*Pueraria phaseoloides*). En las zonas menos húmedas se asocia con centrocema, soya forrajera (*Neotonia witiï*) y desmodium (*Desmodoun ovalifolium*). En zonas secas podemos encontrarla en asociaciones con Siratro (*Macroptilium atropurpureum*) y soya (Soya *witiï*). Se le usa para pastoreo y corte por la carencia de cañas, especialmente cuando tiene 80-100 cm de alto. Su crecimiento en matas individuales permite el desarrollo de malezas en los espacios. Susceptible al sobrepastoreo, tolerante al salivazo y es resistente al fuego.

Figura 13

Asociación de pasto saboya (Panicum maximum) con kudzú Tropical (Pueraria phaseoloides)



Nota: Autores (2023)

El pasto cv. Mombaza, como la mayoría de los cultivares de *Panicum maximum* necesita suelos que mantengan niveles de fertilidad de medios a altos. En este aspecto, su comportamiento es similar al cv. Tanzania, sin embargo, ha demostrado ser más eficiente en la utilización del fósforo del suelo. En cuanto a las exigencias hídricas, requiere precipitaciones anuales superiores a los 1300 mm. Se adapta a un rango altitudinal de 0 a 1100 msnm y temperaturas entre 20-35 °C. La experiencia en la amazonia baja donde es de uso, en general han sido muy favorables, demostrando altas tasas de crecimiento, períodos de recuperación relativamente cortos, así como buenos rendimientos en producción animal. En general ha tenido una buena adopción por parte de los ganaderos, la cual ha ido en incremento principalmente en la región Norte y costa del Ecuador.

No se conocen plagas o enfermedades de importancia económica que afecten a *Panicum maximum*. No obstante, en América del sur se han observado dos enfermedades fungosas, que atacan esta gramínea: el carbón causado por *Tilletia amressi* y la mancha foliar producida por *Cercospora fusimaculans*. Por lo general bajo pastoreo, en descanso y en especial en las hojas viejas se presenta una ligera incidencia de *Cercospora* sin importancia económica. En cuanto a insectos en rebrotes muy jóvenes puede presentarse eventualmente ataques de Falsa Langosta o Cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

2.19.5.4. Valor nutritivo

De manera general, la proteína a los 35 días 10,5-10,9% en mínima precipitación y 11,5-13,28% en máxima precipitación. Carga animal: 1-2 UBA/ha. Ganancia media diaria 500-600 g/ a/día, con una digestibilidad de la MS del 60%. El manejo del pastizal bien establecido dependerá de la localidad y de la época del año, en zonas donde el crecimiento no tiene problemas de fertilidad y humedad en el suelo, en épocas de máxima precipitación se puede pastorear con una frecuencia de alrededor de 4 semanas, en tanto que, para la época de mínima precipitación, períodos de descanso, cada cinco o siete semanas entre pastoreo, son más convenientes para la persistencia del pasto.

En investigación de las fincas de pequeños y medianos ganaderos la producción de forrajes tenemos: 104 t/MS /ha/año a los 35 días y a los 45 días 84 t/MS /ha/año sin fertilización. La aplicación de nitrógeno puede doblar la producción de forraje, cada Kg de N producen hasta 38 kg/MS. Los mejores niveles de fertilización son 100-250 kg/N/ha. Es un pasto de buena calidad que incrementa la producción de leche. En los costos de mantenimiento, se debe tener en cuenta la necesidad de continuos cortes (chapias) para eliminar los residuos toscos y controlar las malezas, por lo menos dos veces al año.

Tabla 10

*Datos de composición química del pasto guinea (*Panicum maximun*) en función del día de corte*

Días de corte	PC (%)	Humedad (%)	MS (%)	Cenizas (%)	MO (%)	FND (%)	FAD (%)
30	16,31	90,27	9,73	15,42	84,58	63,42	42,00
60	13,89	81,67	18,33	11,91	88,09	68,96	47,30
90	9,27	80,01	19,99	11,73	88,27	75,05	50,34
120	6,21	78, 13	21,87	8,79	91,21	77,60	56,24

Nota: Autores (2023)

Tabla 11

*Datos agronómicos del pasto guinea (*Panicum maximun*) en función de la edad de corte*

Edad de corte (días)	Medidas agronómicas			
	Número de hojas	Altura de hoja (cm)	Largo de hoja (cm)	Altura planta (cm)
20	2,00	2,02	52,00	59,90
25	2,35	2,35	58,70	70,00
30	2, 13	1,94	56,70	104,2

Nota: Autores (2023)

Tabla 12

*Datos de rendimiento del pasto guinea (*Panicum maximun*) en función de la edad de corte*

Edad de corte (días)	Variables		
	FVt/ha ⁻¹	MS%	MSt/ha ⁻¹
20	9,06	15,47	1,24
25	13,24	16,95	2,25
30	15,84	17,23	2,73

2.19.5.5. *Panicum maximun* en monocultivo

En investigación de las fincas de pequeños y medianos ganaderos la producción de forrajes tenemos: 104 t/MS /ha/año a los 35 días y a los 45 días 84 t/MS /ha/año sin fertilización. La aplicación de nitrógeno puede doblar la producción de forraje, cada Kg de N producen hasta 38 kg/MS. Los mejores niveles de fertilización son 100-250 kg/N/ha. Es un pasto de buena calidad que incrementa la producción de leche. En los costos de mantenimiento, se debe tener en cuenta la necesidad de continuos cortes (chapias) para eliminar los residuos toscos y controlar las malezas, por lo menos dos veces al año.

2.19.6. Pasto dallis (*Brachiaria Decumbens*)

2.19.6.1. Características botánicas

Gramínea perenne originaria del Este de África Tropical, muy difundida en la Selva Baja y Alta de la Amazonía ecuatoriana. Es una gramínea que pertenece al orden Glumiflora, tribu Panicea Hierba vigorosa, cespitosa y perenne de porte medio, alcanzando un estado vegetativo de 50 a 70 cm de altura y hasta un metro cuando florece. Posee tallos decumbentes (falsos estolones) que enraízan hasta el tercero o cuarto nudo, que pueden llegar hasta 1,5 m de largo y otros folíolos que salen de la base de los rastreros; sus hojas son en forma de lámina lanceolada, cortas, con 20 cm de largo y de 10 a 15 mm de ancho, aguzadas, poco pubescentes, con lígula pelosa y pequeña y de color verde más intenso que el tallo. Su inflorescencia está determinada por una panícula arracimada de 6 cm de largo, el raquis es plano, a veces en forma de cinta, ciliado alrededor de los ángulos, puede presentar 2 a 4 racimos con raquis más o menos curvos dispuestos en ángulo recto con el raquis central.

Figura 14

Pasto Dallis (Brachiaria decumbens)



Nota: Extraído de Agrosemillas (2018)

Las espiguillas son más o menos grandes, las glumas superiores presentan 7 nervosidades con pelos de color gris, posee una flor inferior masculina y una superior fértil hermafrodita, dispuesta en forma continua. Las semillas son de tamaño medio, algo redondeadas y fértiles, lo que facilita su reproducción. Es

una especie tetraploide con 36 cromosomas, aunque no tenemos referencias publicadas relacionadas con la variabilidad dentro de la especie, puede que se presente en el futuro a medida que aumentan las introducciones de ésta.

Figura 15

Pastoreo en bovinos Pasto dallis (Brachiaria decumbens)



Nota: Autores (2023)

Las características agronómicas del *Brachiaria decumbens* demuestran que la altura que puede alcanzar la especie es 93 cm, dependiendo de la distancia de siembra su cobertura es mayor o menor. Una pradera se puede considerar establecida cuando tenga sobre un 90% de cobertura, lo que ocurre a los 150-180 días después de la siembra.

2.19.6.2. Variedades

La *Brachiaria decumbens* tiene dos variedades: dallis y Basilisk esta última variedad es glabra y suave a diferencia del pasto Dallis que es tosco y peludo, además existen más de 80 especies del género *Brachiaria*. Entre ellas, se encuentran difundidas y conocidas *Brachiaria mutica*, *B. emini*, y *B. ruzizensis* que han sido evaluadas ya en nuestro país. Más recientemente se han introducido las especies *B. brizantha* procedente de Colombia, principalmente para suelos bajos y *B. decumbens* 606 procedente del CIAT Colombia. Esta

última variedad introducida en 1985 al INIAP, para suelos de fertilidad y pH bajo. En el mismo año se introdujo, procedente también del CIAT, *B. humidicola*, que a pesar de no ser tan productiva como *B. decumbens* presenta una gran resistencia a la plaga "salivazo".

En la provincia de Orellana esta especie produce semillas durante todo el año por encontrarse en clima tropical muy húmedo, su propagación se lo realiza vegetativamente en su mayoría y por semilla sexual adquirida en centros comerciales locales, se han recomendado para la siembra con semilla botánica densidades entre 2-4,5 kg/ha, con una profundidad de 1 a 2 cm recomendando densidades mayores para obtener un rápido establecimiento.

La Asociación de *Brachiaria decumbens* con Leguminosas, se puede definir como la interrelación armónica y equilibrada entre dos o más especies de gramíneas y leguminosas. Estas asociaciones se pueden realizar con leguminosas nativas, que se encuentran en el pastizal o con especies introducidas y probadas. Establecer dicha asociación requiere de ciertos arreglos durante la siembra, con el fin de evitar la competencia que puede ocasionar desplazamiento o dominio de las especies utilizadas, lo que permitirá poder mantenerlos totalmente estables en la pradera en tiempo y espacio.

Los beneficios que dan las leguminosas son: fijar nitrógeno ambiental, sus raíces penetran profundo en el suelo lo que mejorará las condiciones físicas y químicas del terreno. Incremento de la calidad del forraje, ya que al ser asociadas con leguminosas se puede dar una dieta rica en energía y proteína, aumento en la producción de biomasa vegetal e incrementar la carga animal por unidad de superficie. Sirven como abono verde ya que sus hojas se mantienen durante todo el año. La fijación de nitrógeno de algunas leguminosas como el maní forrajero es de 72-124 kg/ha/año y kudzú tropical 99 kg/ha/año.

Al respecto, en el medio se han evaluado introducciones con el fin de seleccionar las más sobresalientes por su adaptación y rendimiento, pudiendo nombrarse las siguientes: *Arachis pintoi*, y *Centrosema pubescens*. Una buena asociación se obtiene sembrando las leguminosas en franjas de un metro de ancho separada cada 4 o 5 m una franja de las gramíneas. La cantidad de semilla pura puede variar de 8 a 10 kg/ha. Con respecto al maní forrajero (*Arachis pintoi*) y por su

complejidad en obtener semilla sexual, la siembra se realiza con material vegetativo, plantando cada estolón de 20 a 30 cm en cuadro, por lo que se requiere 6 a 8 m³/ha.

2.19.6.3. Adaptación

En la región Amazónica y especialmente en la provincia de Orellana su adaptación ha sido buena en suelos pobres, y en una amplia gama de suelos bien drenados en las áreas húmedas tropicales, excepto en zonas bajas e inundables. La podemos encontrar en altitudes de 0 a 1 800 msnm y precipitaciones que varían desde 800 a 3 000 mm/año con una época de máxima y mínima precipitación, con pH de 4,5 a 6,7 incluyendo suelos pobres de textura arenosa arcillosos. Esta planta es considerada como una especie resistente a los períodos de sequía, aunque se presenta de modo diferente para cada ecosistema.

Figura 16

Arachis pintoi



Nota: Extraído de Colaboradores de 123RF (s.f.)

Figura 17

Centrosema pubescens



Nota: Extraído de Vengolis (2017)

2.19.6.4. Plagas y enfermedades

Su crecimiento estolonífero rastrero, da lugar a la formación de un clima favorable para ser atacado durante casi todo el año por el *Aneolamia* sp. "Salivazo", observándose marchitamiento completo de las hojas, cuando la incidencia de la plaga es alta, pudiendo confundirse con una deficiencia mineral.

Figura 18

Salivazo (Aneolamia sp)



Nota: Autores (2023)

Una buena práctica de control es introducir pasturas muy sembradas para consumir todo el forraje disponible en el menor tiempo posible y permitir el paso de la luz solar, con el objetivo de destruir y destruir el hábitat, interrumpiendo el ciclo de vida de los insectos. La presencia de esta plaga se observa en un 15 a 30% del área de vegetación. Hasta la fecha no se han detectado signos específicos de la enfermedad en granjas con esta especie.

Figura 19

Salivazo (Aneolamia sp)



Nota: Extraído de Lopez-Machado (s.f.); Vanguardia (2010)

2.19.6.5. Valor nutritivo

En estado de prefloración, esta gramínea tiene buena aceptación por los bovinos. Preferentemente es pastoreado por el ganado de doble propósito de la zona, su valor nutritivo disminuye a medida que aumenta la edad. Así, el contenido de proteína cruda fluctúa de 12% a los 21 días y 9% a los 84 días, dependiendo de la edad de la planta y el nivel de fertilidad del suelo. Mientras que la investigación realizada en el cantón Joya de los Sachas y Francisco de Orellana en fincas de pequeños ganaderos se determinó el contenido de proteína de 12% y digestibilidad 60% a los 35 días de máxima precipitación y a los 45 días 10% de proteína y 50% de digestibilidad en mínima precipitación.

2.19.6.6. Producción de forrajes en monocultivo

El rendimiento forrajero registrado a través de las evaluaciones realizadas en distintas localidades de la Amazonía, han reportado valores promedios de 13 235, 19 875, 18 935 y 24 733 kg de MS/ha/año, en el período de máxima

precipitación en frecuencias de corte de 3, 6, 9 y 12 semanas, respectivamente. En cambio, para la época de menor lluvia se registraron producciones de 19 320, 14 152, 17 585 y 18 699 kg de MS/ha/año con los mismos intervalos de evaluación. En investigación realizada en el Cantón Joya de los Sachas y Francisco de Orellana en fincas de pequeños ganaderos, con la subdivisión de potreros y uso de cerca eléctrica se obtuvieron producciones de forrajes de 10 875 kg de MS/ha/año a los 35 días, mientras que, a los 45 días, se obtienen 4 229 kg de MS/ha/año. El rendimiento es bajo debido a que nuestros ganaderos no fertilizan los pastos, además son pasturas 20 años de uso que requieren ser renovadas.

CAPITULO

2

Metodología para estudios de pastos tropicales en la amazonia norte del Ecuador

Metodología para estudios de pastos tropicales en la amazonia norte del Ecuador

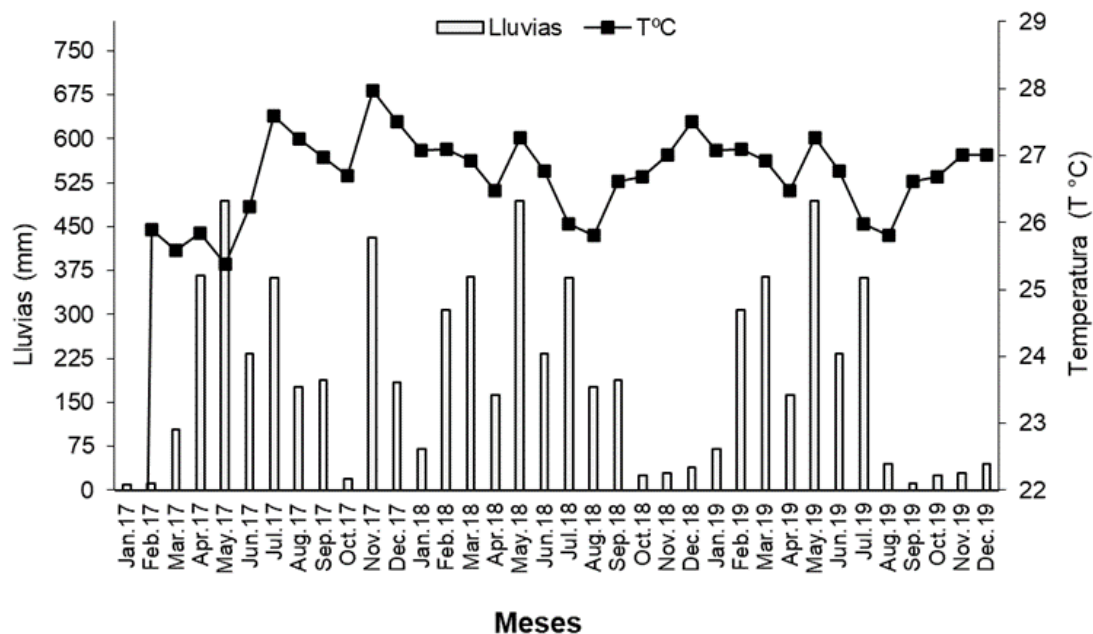
3.1. *Brachiaria decumbes* y *Panicum maximum* en la provincia de Orellana

La provincia de Orellana tiene una superficie de 21,730 km² y representa el 18,6% de un total de 45,47% de la región amazónica (GADPO, 2015). El clima en esta región se caracteriza por ser tropical húmedo (Holdridge, 1967). La precipitación media anual es de 2.942 mm con una temperatura media anual de 26,7 °C, y una altitud de 275 metros sobre el nivel del mar (msnm). Durante el período experimental en este estudio se registraron las precipitaciones medias de cada año como sigue: temporada de lluvias de 1969 ± 81 mm con una temperatura media de 26,48 °C, mientras que en la estación seca se observaron 945 ± 50 mm, cuya temperatura fue de 27,03 °C (Figura 19) (INEC, 2019). La población estimada para el año 2018 fue de 157,520 habitantes (González-Andrade et al., 2009). Los grupos étnicos comprenden a los nativos amerindios (kichwa, Shuar y Waorani; 31%), mestizos (descendientes mixtos de mestizos (descendientes mixtos de colonos españoles e indígenas amerindios; 57,5%), y una pequeña población afroecuatoriana (4.9%) (INEC-ESPAC, 2019).

Medios de vida: Según las estimaciones de Costa et al. (2016), el uso de la tierra agrícola en la provincia de Orellana representa una superficie total de 606,307 ha, distribuidas de la siguiente manera; 80% (485,039 ha) montes y bosques; 7,2% (43,582 ha) cultivos permanentes; 4,6% (28,049 ha) otros usos; 4,2% (25,162 ha) pastos cultivados; 3, 1% (19,034 ha) pastos naturales; y 0,82% (4959 ha) cultivos transitorios y barbecho.

Figura 20

Temperaturas y precipitaciones medias mensuales desde enero de 2017 hasta diciembre de 2019 en la zona experimental en Provincia de Orellana



Nota: Extraído de González Marcillo et al. (2021)

3.1.1. Procedimiento experimental

3.1.1.1. Como manejar el ensayo

a) Selección del terreno

El área experimental del ensayo se deberá seleccionar en potreros ya establecidos de (*Brachiaria decumbens*) en tres fincas de productores ganadero con un área total de 9 hectáreas, y así se estableció las parcelas de investigación.

b) Replanteo del experimento

Teniendo ya elaborado el croquis de campo del experimento, se procedió a delimitar las unidades experimentales en campo colocando unos postes de apoyo, para su identificación. Teniendo hecho este paso se visualizó cada parcela con su tratamiento.

c) Establecimiento de parcelas

En este caso, el área de estudio total de nueve hectáreas (90.000 m²) se dividirá en 24 subparcelas, de las cuales 9 tienen un área de 3.333.33 m², 12 tienen un área de 2500 m², y 3 tiene un área total de 10000 m² de área útil. Las unidades experimentales deben ser identificadas colocando un letrero de 20 x 30 cm, que contenía el nombre de cada tratamiento.

3.1.1.2. Procedimiento para toma de muestra para análisis de suelo

Previo al inicio de trabajo de campo se debe de recolectar muestras para el correspondiente análisis de suelo, para ello, se toma submuestras de suelo de cada una de las parcelas mediante un muestreo con referencias en cada una de sus áreas (Schweizer, 2010, pp. 12-15). Con una pala se introdujo 20 cm de profundidad y se recolecta en bolsas de papel debidamente identificadas.

Las submuestras adquirieron un volumen equivalente debido a ello, se procedió a uniformar las muestras para después obtener 1 kg de muestra compuesta, la misma que se colocó en fundas ziploc, así mismo se identificó a las muestras con el número de lote, el nombre de la propiedad, nombre del solicitante, datos de la localidad y el tipo de análisis solicitado. Se procedió a enviarlas a laboratorio de suelos con el fin de determinar el contenido químico: Materia orgánica, pH, macro y micronutrientes y físico del suelo en el área de estudio.

a) Toma de muestra para análisis bromatológico

Se recolecta muestras de pasto en cada una de los bloques y tratamientos y con el método del cuadrante 1m² se recolectó 1 kg de muestra tanto en sombra y sin sombra, las muestras se la colocaron en papel periódico y se la preparó para después colocarlas en fundas de tela y de esa manera se las traslado a laboratorio Labsu para la realización del análisis bromatológico, y determinar la composición química de las muestras de pasto.

3.1.1.3. Nutrientes y determinación del análisis bromatológico

Tabla 13

Determinación de nutrientes para el análisis bromatológico

Nutriente	Determinación
Agua	Materia seca (MS)
Carbohidratos estructurales	Fibra cruda (FC)
Carbohidratos solubles	Extracto libre de nitrógeno (ELN)
Lípidos	Grasa cruda
Proteína	Proteína cruda (PC)
Minerales	Cenizas

Nota: Autores (2023)

a) Levantamiento de datos

Durante el desarrollo vegetativo del pasto se tomarán mediciones experimentales cada quince días, determinando, radiación solar, humedad relativa, temperatura promedio, altura de la planta, porcentaje de cobertura basal, relación hoja tallo, producción de forraje.

A los cuarenta y cinco días se tomará el peso de los animales que ingresaron a cada una de las parcelas, esto con el fin de saber el peso inicial con el que pastorean, de la misma manera saliendo de las parcelas se le toma su peso final y así poder determinar la carga animal de los animales por finca ganadera, para posterior tomar otra variable como lo es el residuo de la pastura, una vez terminada la rotación de los animales del área de estudio.

b) Análisis bromatológico

Cuando se desarrolló el corte para medir la producción de forraje verde se tomó muestras del pasto en precosecha que es la etapa de mayor contenido de nutrientes. Las muestras recolectadas fueron a 20 cm del nivel del suelo por parcelas según cada tratamiento para así poder determinar la composición química. Para lograr esto las muestras frescas de forrajes de acuerdo con cada tratamiento se procesaron a temperatura ambiente por 24 horas. Hecho esto, se

procedió a moler las muestras, se almacenaron y se rotularon. Seguido se determinó la materia seca (MS) y humedad se lo hizo por el método de gravimetría secando la muestra a 105 °C por 24 horas, según (AOAC, 2002), mientras que ceniza se pesó 1 gr de la muestra presecada se la cubrió con arena calcinada, se la colocó a una mufla a 450 °C por 2 horas Respectivamente (Anderson, 2007) mientras que la materia orgánica se calculó como $100 - \text{ceniza}\%$.

De la misma forma se procedió con la determinación de grasa bruta (GB) después de una extracción Soxhiet con éter. Para fibra bruta (FB), se la determino pasando la muestra desengrasada a vasos de precipitación de 600 ml, se agregó 200 ml de H_2SO_4 al 1.25%, se calentó y se dejó hervir por 30 minutos, se lavó la muestra repetidamente con agua destilada hasta que el Ph del filtrado este >5 . Obteniendo la muestra se pasó nuevamente a vasos de precipitación y se le agrego 200 ml de NaOH al 1.25%, se calentó y se dejó hervir por 30 minutos, se filtró en papel filtro seco a 105 °C, se lavó la muestra con agua destilada hasta obtener un pH <9 , de esa manera se hicieron los cálculos para (FB) (Menendez, 1983). Editado en el manual (LABSU, 2015).

Para la determinación del contenido de Nitrógeno total (N) se lo hizo a través del método Kjeldahl con la digestión de la materia orgánica con H_2SO_4 concentrado en presencia de un catalizador, el nitrógeno contenido en la materia orgánica se transforma a amonio (NH_4). Luego se destiló el amonio, se recuperó en ácido bórico y se determinó mediante titulación con HCL en presencia de un indicador. Con este método se calculó proteína y nitrógeno total, mediante la siguiente ecuación. $\%N = (\% \text{proteína} / 6.25)$, y $\%PB = (\%N * 6.25)$ (LABSUS, 2015).

c) *Estimación de la radiación solar instantánea*

Para la determinación de la radiación solar diaria incidente, se tomaron mediciones horarias con el solarímetro manual CEPIS/OPS, en un plano horizontal, procediendo a tomar la temperatura del aire ambiental, con un termómetro de mercurio, instalado de tal manera que adopto la temperatura del aire, por lo que fue necesario protegerlo de la radiación tanto solar como la de la reflejada por el suelo (Vasquez, 2003).

Armado el solarímetro se definió la ubicación de este, para la exposición a la radiación solar, se esperó que la temperatura del agua en el interior del solarímetro llegue a la temperatura del aire ambiental (Vasquez, 2003).

Se procedió a medir el tiempo que demandó un incremento de la temperatura del agua entre 2 a 5 °C, teniendo los valores se retiró el solarímetro de la exposición a la radiación solar, hecho todo se calculó la radiación solar a partir de la ecuación del solarímetro (Vasquez, 2003).

d) Ecuación del solarímetro

La operación del solarímetro consistió en medir el tiempo que demandó un incremento determinado de temperatura. Estos datos se ingresaron en la “ecuación del solarímetro”, para obtener finalmente el valor de la radiación solar instantánea. A partir de este valor, se determinó la cantidad de energía solar diaria mediante la integración de valores hallados cada hora en el transcurso del día (Vasquez, 2003).

La ecuación mantiene una constante, la cual es propia del solarímetro manual en cuestión. Esta constante fue determinada por CEPIS/OPS a partir de la calibración con un solarímetro de referencia Haeni Solar 130. La ecuación del solarímetro manual es la siguiente:

$$R = \frac{J X \Delta T}{t}$$

Donde:

R= Radiación solar

J= Constante del solarímetro

ΔT = Diferencia de temperatura del agua después de tiempo “t” de exposición (°C)

t= Tiempo de exposición (s)

e) Determinación de la radiación solar instantánea

Teniendo los datos de la radiación solar instantánea, tomados cada hora de cada día en los que se levantaron la información tanto al inicio y al final del ensayo (15

y 45 días), bajo dos sistemas, en sombra y sin sombra, con los datos obtenido de la medición, se procedió a trazar una curva de radiación solar instantánea vs hora del día, de esta manera se logró determinar a qué hora del día hubo mayor intensidad de radiación solar (Vasquez, 2003).

3.1.2. Medidas agronómicas y producción de forraje

Se deben de realizar evaluaciones agronómicas según sus dos temporadas estacionales bien definidas (HP y LP). La altura del pasto se debe de medir con una regla graduada en centímetros en varios puntos al azar por área antes de cada cosecha. La densidad de población de macollos (%/m²) contando el número de macollos utilizando tres marcos metálicos de 1,00 × 0,25 m. De cada tratamiento se tiene que elegir al azar un total de 20 puntos según la estación de lluvia o de sequía, y mediante evaluación visual registrar el total de hijuelos para determinar la cobertura vegetal. La masa de hierba mediante la técnica de doble muestreo visual, descrita por Brienza y Gazel (1991) y Rodríguez et al. (2021) cada 35 d (HP) o 45 d (LP) desde enero de 2017 hasta diciembre de 2019, dando un total de 30 períodos de evaluación.

Para las mediciones directas, se deben de usar seis cuadrados de 0,25 m² para recoger 40 muestras al azar en cada tratamiento antes de cada pastoreo a lo largo del periodo experimental. También utilizado una escala visual como método de medición indirecta: la escala fue de 1 a 3, donde 1 es la menor masa de hierba y 3 la mayor (NRC, 1962; Haydock y Shaw, 1975). Además, se tomaron varias submuestras de aproximadamente 500 g y se secaron en un horno de ventilación de aire forzado a 60 °C durante 72 horas para medir el peso seco y calcular la materia seca (kg ha⁻¹) (AOAC, 2000; Santos et al., 2016; Nuñez-Delgado et al., 2019).

3.1.3. Determinación de la composición química

Antes de cada evaluación en cada período experimental, se recogerán muestras de pasto fresco por duplicado y se congelaron a -20 °C para determinar la composición química. Previo al análisis, las muestras de pasto fresco congelado se acondicionarán a 60 °C durante 24 h y se triturarán y se homogeneizarán en un molino ciclónico (Retsch SM2000, Retsch, Haan, Alemania) con una malla

de 1 mm. El análisis químico tiene que ser hecho por duplicado según los métodos oficiales de referencia y se expresó en base a materia seca (Van Soest, 1991). La materia seca (MS) a 103 °C durante 24 h, y las cenizas a 550 °C durante 5 h. La proteína bruta (PB) como porcentaje de N \times 6,25 por el método Kjeldahl. La fibra bruta (FC) por el método de Wendy (Russel, 1969) utilizando el analizador de fibra Ankom200 (Ankom Technology, Fairport, Monroe, NY, USA).

3.1.4. Respuestas animales

El peso vivo (PV) de los novillos tienen que ser registrados durante todo el periodo experimental (según la frecuencia de pastoreo y en ambas estaciones) utilizando una balanza con capacidad para 1500 kg con una precisión de \pm 50 kg (BG-GANDO-01), y las puntuaciones de condición corporal (CC) de acuerdo con Scarnecchia y Kothmann (1982). Los cálculos para el sistema de pasto animal utilizando la metodología de Jerry y Holechek (1988), donde la unidad bovina (UBA) se define como un animal, 450 kg por vaca, o su equivalente. Con los datos obtenidos de la producción de forraje (materia seca, MS/kg ha⁻¹) y PV, se calcula la carga ganadera y se ajustará la UBA en cada repetición de cada tratamiento Baillie et al., (1990); Sollenberger., (2005). La disponibilidad de forraje tiene que ser estimada a partir del pasto verde y el PV. Se utiliza un ajuste de 0,7 para el pastoreo porque la zona de estudio tiene una precipitación media anual de unos 2.000 mm (Sollenberger, 2005). La ganancia media diaria (GMD) por la diferencia de peso anterior y posterior dividida por el número de días (HP = 35 d o LP = 45 d). Por último, se calcula la ganancia por superficie (GPA = ratio de carga ganadera \times tiempo intervalo (HP o LP) (Rodríguez-Suarez et al., 2021). Además, de realizar un inventario forestal para registrar las especies predominantes, así como el número de árboles en los potreros de acuerdo con cada tratamiento (densidad de árboles/ha⁻¹).

3.1.5. Macrofauna del suelo, propiedades físicas y químicas

Se deben de recolectar muestras de suelo por duplicado en ambas estaciones siempre de 08:00 a 10:00 h para determinar la composición de macroinvertebrados y las propiedades físicas y químicas de acuerdo con el método del Tropical Soil Biology y Fertilidad del Suelo (TSBF) (ISO, 2011). Obteniendo con un monolito de suelo (25 \times 25 \times 10 cm) en cada punto de

muestreo a 0-10 y 10-20 cm de profundidad. Estas muestras transportadas inmediatamente a un laboratorio de ciencias biológicas para determinar el número de macroinvertebrados por m². Luego, se medirá el peso utilizando una balanza con una capacidad de 2000 g, precisión de $\pm 0,5$ g para determinar la biomasa por m² utilizando el método estandarizado ISO 23611-5 (NRC, 2000). También se determinarán las propiedades químicas del suelo. Para con ello, conocer el contenido de N total (TN) por digestión Kjeldahl y destilación al vapor. Los macronutrientes (Ca, Mg, K, Na) con acetato de amonio y N se analizarán mediante espectrofotometría de absorción atómica. (Analyst 400, Perkin Elmer, Wellesley, MA, USA). Mientras que los micronutrientes (Fe, Zn, Cu, Mn, B) con una solución de cloruro potásico no tamponada y se cuantificaron por el método Mehlich I y por absorción atómica.

Relación hoja/tallo (%)_ Para la medición de esta variable utilizando el método del cuadrante, se realizó el corte de pasto, a ras de suelo con tijeras, machete entre otros, se pesó la muestra recolectada, para posterior separar con las manos las hoja verdes y secas del tallo, luego se divide el peso de las hojas verdes entre el total para saber qué porcentaje es conformado por hojas verdes, también se lo hizo con las hojas secas y los tallos, de esta manera se puede obtener la relación hoja/tallo de nuestra área de estudio (Rodríguez et al., 2005).

Producción de Biomasa (kg)_ Se evaluó cada tratamiento a través de un corte de la muestra de cada parcela, utilizando el método del cuadrante (Mostacedo et al., 2000). El pasto que se recolectó fue pesado con una balanza gramera. La muestra fue depositada en fundas. Los resultados se apuntaron en la matriz de datos que se utilizaron en el levantamiento de datos.

3.1.6. *Panicum maximum* evaluado en un sistema silvopastoril y de monocultivo

La Tabla 14 muestra los resultados del pasto guinea (*Panicum maximum* cv. Mombaza) evaluado en diferentes sistemas silvopastoriles. No se observaron diferencias significativas para las medidas agronómicas entre los tratamientos. Sin embargo, los porcentajes de cobertura vegetal fueron mayores en SPS1 y SPS2 comparados con el Control (promedio de —10%), como se muestra en la Tabla 14. Aunque el grupo Control tenía menos cobertura que los otros sistemas

silvopastoriles, no se observaron diferencias significativas en función de la estación del año o de su interacción con la cobertura vegetal ($P < 0,05$). La altura de la planta, expresada en (cm) del pasto guinea (*Panicum maximum* cv. Mombaza) no tuvo influencias significativas debidas al tratamiento, la estación o su interacción ($T \times S$; $P > 0,05$). No obstante, la altura de las plantas en el grupo Control fueron menores que las del grupo SPS1 y SPS2 en ambas estaciones evaluadas.

Tabla 14

Medidas agronómicas y producción de forraje del pasto guinea Panicum maximum cv. Mombaza en los diferentes sistemas silvopastoriles

Item	Tratamientos			Estación		EE ⁴	p-Valor		
	SPS ¹	SPS ²	Control	HP ¹	HP ²		Trat	Est	T x S ³
Cobertura Planta %	70,2	69,5	63,1	69,11	66,4	2,6	0,104	0,372	0,534
Altura planta cm	116,5	102,0	91,2	106,1	99,7	10,0	0,115	0,523	0,977
Materia verde kg ha ⁻¹	14493,0	15146,0	11321,0	15490,0	11757,0	2311	0,200	0,089	0,105
Materia Seca kg ha ⁻¹	4946,9	5270,0	3893,0	5712,0	3694,0	1022	0,154	0,005	0,065

Nota: ¹HP = estación lluviosa (35 d); ²LP = estación seca (45 d). ³ interacción Trat x Estación. ⁴ EE: error estándar de la media. Las diferencias se declararon a un $P < 0,05$ y la tendencia estadística a $P < 0,10$. Autores (2023)

En consecuencia, cuando se analizó la producción de pasto fresco (kg/ha⁻¹), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0,05$), pero fue menor en el Control en comparación con los grupos SPS1 y SPS2, que tenían forraje verde similares (14,493 y 15,146 kg ha⁻¹, respectivamente), como se muestra en la Tabla 14. Sin embargo, hubo tendencias estadísticas que reflejan efectos estacionales ($P < 0,089$), con valores de masa fresca (kg/ha⁻¹) más altos en la estación seca (de septiembre a enero) para todos los tratamientos, como se muestra en la Figura 20.

Por lo tanto, se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en la MS (kg/ha⁻¹) debido a la variación de las estaciones. La MS fue mayor en la estación LP

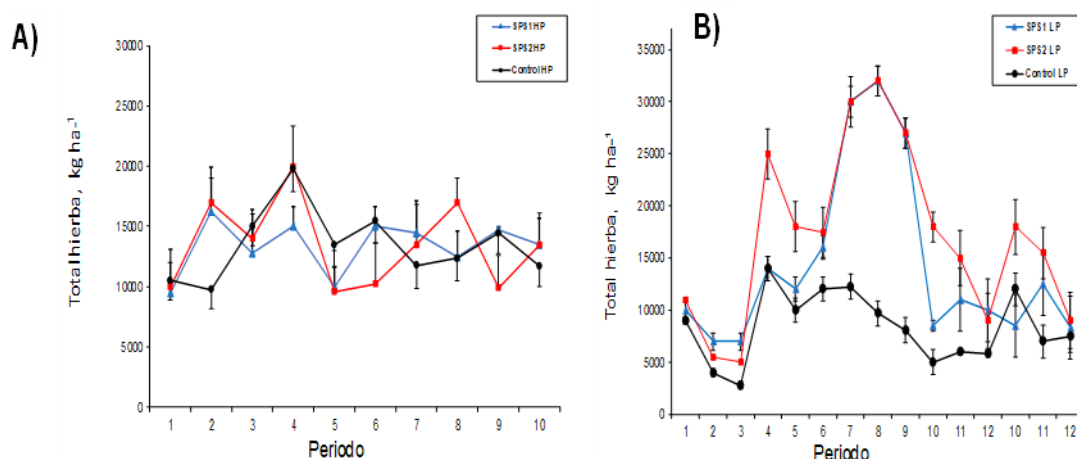
que en la estación HP (5712 ± 1036 vs. 3694 ± 951 kg ha⁻¹ respectivamente). Además, de detectar interacción para el tratamiento y estación (T × S; Tabla 15).

3.1.6.1. Respuestas de composición química del pasto *Panicum maximum*

Los resultados de la composición química se muestran en la Tabla 15. No hubo diferencias significativas en los contenidos de cenizas, MO (materia orgánica), CP, CF, EE, o extracto libre de nitrógeno (carbohidratos solubles) ($P > 0,05$) entre los tratamientos. Sin embargo, la MS difirió significativamente entre los tratamientos ($P = 0,012$; Tabla 15) los valores de MS del tratamiento Control fueron mayores que los observados para los tratamientos SPS1 y SPS2 ($37,36 \pm 3,8\%$ vs. $31 \pm 3,8\%$, respectivamente).

Figura 21

*Composición química del pasto *Panicum maximum**



Nota: Masa fresca total del pasto de guinea *Panicum maximum* cv. Mombaza evaluado bajo sistemas silvopastoriles y diferentes estaciones del año $p = 0,089$. HP (35 días) (A); LP (45 días) (B). Autores (2023)

Además de esto, se observó tendencias estadísticas por el efecto estacional ($P = 0,06$), como se ilustra en la Tabla 15. Observamos mayores contenidos de MS en la temporada HP en comparación con la estación LP (de febrero a agosto) ($35,55 \pm 3,8\%$ frente a $31,61 \pm 3,8\%$, respectivamente).

Tabla 15

Composición química del pasto guinea *Panicum maximum* cv. Mombaza evaluada bajo diferentes sistemas silvopastoriles

Item	Tratamientos			Estación		EE	P-valor		
	SPS ¹	SPS ²	Control	HP ¹	HP ²		Trat	Est	T x S ³
Materia seca 60 °C, %	3132b	3155b	37,36	35,55	31,61	3,8	0,012	0,062	0,743
Composición, % DM ceniza	13,2	13,26	13,61	14,52	12,19	0,64	0,893	0,003	0,234
Materia orgánica	86,79	86,73	86,38	85,47	87,80	0,65	0,893	0,003	0,234
Proteína Cruda (Nx625)	7,32	7,09	7,79	6,70	8,10	0,69	0,464	0,006	0,997
Fibra cruda	34,93	34,94	35,13	35,39	34,60	1,35	0,977	0,392	0,244
Extracto etéreo	1,57	1,63	1,54	1,42	1,74	0,23	0,794	0,010	0,672
NFE ¹	42,18	42,98	41,83	41,42	43,20	0,92	0,666	0,094	0,434

Nota: ¹NFE Extracto libre de N (carbohidratos solubles) = MO (materia orgánica) – PB (proteína bruta) - FC (fibra bruta). ² interacción Trat x Estación. ³ EE: error estándar de la media. Las diferencias se declararon a $P > 0,05$ y la tendencia estadística a $P < 0,10$. Las medias seguidas de letras diferentes en la misma línea difieren a un $P < 0,05$. Autores (2023)

Nuestros resultados muestran que para el pasto guinea (*Panicum maximum*) cultivada bajo diferentes sistemas silvopastoriles, se observó un mayor contenido de cenizas en la temporada HP en comparación con la estación LP, independientemente del tratamiento. Dado que el contenido de cenizas está estrechamente relacionado con el contenido de MO, estos valores fueron significativos ($P = 0,003$).

Mientras que para el efecto estación, se obtuvo un mayor contenido de MO en LP para todos los tratamientos. Este mayor contenido de MO podría haber servido como sustrato para el crecimiento bacteriano y mejorar el rendimiento de los animales. Otro elemento importante para la nutrición de los rumiantes es el contenido en proteínas. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($P > 0,05$), pero hubo una tendencia estadística debido al efecto estacional ($P = 0,006$; Tabla 15), en la que se obtuvieron valores de PB más altos para la temporada LP en comparación con la HP ($8,1 \pm 0,6\%$ vs. $6,7 \pm 0,6\%$ de PB en base a MS). La interacción T x S no dio lugar a diferencias significativas ($P > 0,05$). Los valores de FC no difirieron

según el tratamiento, la estación o su interacción (T × S), aunque el Control tuvo ligeras diferencias numéricas en comparación con los otros sistemas evaluados (es decir, SPS1 y SPS2).

3.1.6.2. Respuestas de rendimiento animal

Tabla 16

Media de mínimos cuadrados del pasto guinea Panicum maximum evaluada en diferentes sistemas silvopastoriles

Item	Tratamientos			EE	P = valor		
	SPS1	SPS2	Control		Trat	Estación	T × S
Total de hierba útil cortada, kg DM ha ⁻¹	1876.3	2021.6	601.99	910	0.183	0.057	0.366
Total de hierba utilizable año, kg DM ha ⁻¹	15262	16633	4881.3	7850	0.206	0.259	0.437
Demanda de forraje kg DM/year, (in base 3% LW)	2512	2467	2274	0.24	0.001	0.001	0.001
Carga animal AU ha ⁻¹	0.73	0.82	0.30	0.37	0.264	0.065	0.343
Cantidad de hierba ofrecida diaria, kg DM kg LW ⁻¹	0.23	0.25	0.62	0.15	0.049	0.310	0.778
Ganancia media diaria, kg AU ⁻¹ d ⁻¹	0.723	0.612	0.465	0.02	0.0001	0.0001	0.108
Ganancia media diaria kg LW ha ⁻¹ d	28.44	24.82	4.60	9.60	0.037	0.002	0.148
Mcal /d ₃ kg DM	1.31	1.32	1.5	0.16	0.008	0.205	0.814

Nota: Las diferencias se declararon a $P > 0,05$ y la tendencia estadística a $P < 0,10$. Medias seguidas de letras diferentes en la línea difieren ($P < 0,05$) según la prueba de Dunnett. ¹interacción Trat × Estación. ²Calculado a partir de MacDonald et al. (2010). ³EE: error estándar de la media. Autores (2023)

El análisis de los datos mostró que la estación del año tuvo una fuerte influencia en el pasto verde utilizable (corte/kg MS ha⁻¹, Tabla 16). Se obtuvieron valores más altos de pasto verde utilizable en LP que en HP (2178 ± 852 vs. 821 ± 852 DM kg ha⁻¹, respectivamente). Aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, el Control tuvo una menor producción de pasto utilizable en comparación con los otros sistemas (601 ± 1065 vs. 2021 ± 910 MS kg ha⁻¹; $P = 183$; Tabla 16). Por lo tanto, se sigue la misma dinámica para el total de pasto utilizable/año en los diferentes sistemas estudiados. Existió diferencias numéricas entre el Control y los demás tratamientos (Tabla 16), aunque no fueron estadísticamente significativas ($P > 0,05$). Se determinaron las diferencias en la demanda de forraje en base al 3% de PV en el consumo de MS. El tratamiento y su interacción tuvieron efectos estadísticamente significativos sobre la demanda de forraje ($P < 0,05$). Pero, sin embargo, se observaron marcadas diferencias en el grupo Control debido a factores que se describen con más detalle en la discusión. En términos generales, los sistemas silvopastoriles SPS1 y SPS2 necesitaron una masa forrajera más fresca para satisfacer los requerimientos nutricionales.

Se encontraron tendencias estadísticas para la carga ganadera (UBA ha⁻¹) debido a los efectos estacionales (0,88 vs. 0,35 ± 0,3; $P = 0,065$). En concreto, se observó una mayor carga ganadera en la temporada de LP debido a la mayor producción de pasto fresco (Tabla 17). Pero vale recalcar, que la capacidad de carga ganadera fue similar cuando se compararon los diferentes tratamientos utilizando el contraste ortogonal ($P = 0,416$). Aunque no se detectaron diferencias para la interacción (T × S), los SPS1 y SPS2 se asociaron a una mayor carga ganadera en comparación con el Control (1,15 ± 0,4 y 1,22 ± 0,4 vs. 0,28 ± 0,4, respectivamente).

La cantidad de pasto fresco se vio afectado por el efecto tratamiento (Tabla 17) y fue mayor en el grupo Control que en el grupo SPS1 y SPS2 ($P = 0,04$). Además, la disponibilidad de pasto varió de (0,30 ± 0, 1 kg MS kg peso vivo⁻¹ en HP; 0,43 ± 0, 1 kg MS kg peso vivo⁻¹ en LP). En particular, cuando aplicamos el contraste ortogonal, encontramos diferencias ($P < 0,03$) entre el Control y otros los tratamientos ($P = 0,029$), mientras que SPS1 y SPS2 fueron similares ($P = 0,90$). En consecuencia, la evaluación de la interacción de los tratamientos T ×

S dio como resultado una mayor cantidad de pasto verde en la estación LP que en la estación HP, pero las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($P = 0,78$; Tabla 17).

La ganancia media diaria (UBA/d⁻¹ kg) varió entre los tratamientos ($P < 0,001$; Tabla 17). Los resultados obtenidos en el SPS1 fueron superiores que los del SPS2 y el Control. Estadísticamente, se encontraron diferencias significativas ($P < 0,001$) mediante el análisis del contraste ortogonal para el Control y SPS1 ($P < 0,001$) así como para SPS1 vs. SPS2 ($P = 0,020$). Además, la estación del año influyó en la ganancia media diaria, la estación HP mostró un valor de $0,543 \pm 0,02$ kg UBA/d⁻¹, mientras que el valor correspondiente en la estación LP fue de $0,658 \pm 0,02$ kg UBA/d⁻¹.

En todos los tratamientos, se observó un mayor rendimiento de los animales en la estación LP que en la estación HP, aunque las diferencias no fueron significativas ($T \times S$; $P < 0,108$, Tabla 17). La ganancia por superficie (GPA) varió entre los tratamientos. El Control tuvo valores más bajos ($4,60$ PV/ha⁻¹) en comparación con los sistemas silvopastoriles SPS1 y SPS2 ($28,44 \pm 9,6$ kg PV/ha⁻¹ y $24,82 \pm 9,6$ kg PV/ha⁻¹, Tabla 17).

Tabla 17

Especies arbóreas predominantes en los sistemas silvopastoriles

Item	Tratamientos		
	Control	SPS1	SPS2
Distancia entre arboles		6 x 6	4 x 4
Densidad de árboles/ha ⁻¹	-	138	312
Especies	Monocultivo de solo pasto	Zanthoxylum riedelianum	Zanthoxylum riedelianum
		Cordia alliodora	Hevea guianensis
		Cedrela odorata	Terminalia oblonga
		Hevea guianensis	Cordia alliodora
		Erythyna SPS.	Gustavia sp.
		Calycophyllum spruceanum	Apeiba membranacea
			Cedrela odorata
		Persea odorata	

Nota: Inventario forestal 2016-2019. Elaboración: autores. SPS1 = sistemas silvopastoriles con pasto de guinea *Panicum maximum* cv. Mombaza manejados con cerco fijo; SPS2 = sistemas silvopastoriles con pasto guinea *Panicum maximum* cv. Mombaza manejados con cerca móvil; y Control = sistemas convencionales con pasto de guinea *Panicum maximum* cv. Mombaza como monocultivo manejado con cercas de alambre de púa. Autores (2023)

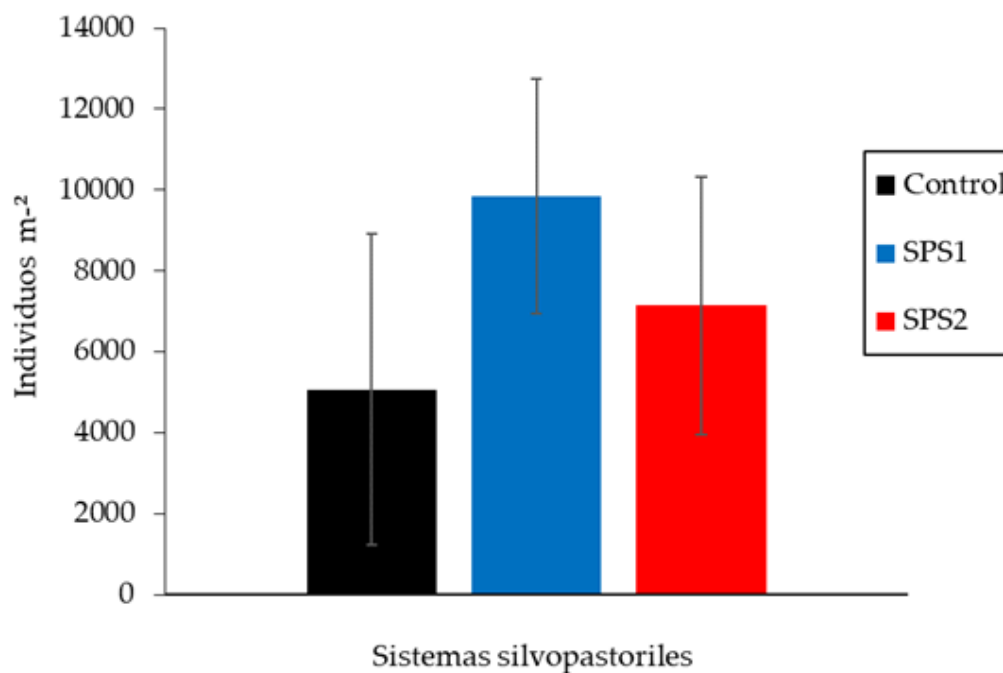
El análisis mediante contrastes ortogonales reveló diferencias entre el Control y los demás tratamientos ($P < 0,02$). Por el contrario, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre SPS1 y SPS2 ($P = 0,79$). Se observó que la estación tuvo una fuerte influencia en la GMD ($P = 0,02$) se observaron valores más altos (kg PV/ha^{-1}) en la estación LP en comparación con la estación HP ($33,34 \pm 8,9$ vs $5,23 \pm 8,9$, respectivamente). Además, hubo diferencias estadísticamente significativas por tratamiento. Los valores de Mcal en el Control fueron superiores a los de los otros sistemas silvopastoriles ($P = 0,008$, Tabla 17). Sin embargo, la interacción estación \times tratamiento no se asoció con las diferencias en el GMD.

Además, la densidad de árbol (ha^{-1}) difirieron entre tratamientos. En el tratamiento SPS1, la distancia entre arboles fue de 6×6 , con una densidad de 138 árboles ha^{-1} . Por el contrario, se observó una mayor densidad en el SPS2, que tenía 312 árboles ha^{-1} (distancia entre arboledas 4×4 ; Tabla 18).

En general, todos los potreros con sistemas silvopastoriles en esta región del Ecuador tienen una alta o baja densidad de árboles. Sin embargo, actualmente, los sistemas de monocultivo predominan entre los ecosistemas frágiles de esta región. Basta evidencia científica demuestra que estas prácticas son ineficientes, insostenibles y poco respetuosas con el medio ambiente. Otro importante enfoque de nuestro trabajo es la interesante diversidad de especies nativas en combinación con otros componentes en los sistemas silvopastoriles. Por lo tanto, el sistema silvopastoril en combinación con el manejo adecuada de los pastos es clave para la sostenibilidad del ganado. Nuestros resultados demuestran que la planificación, manejo y ejecución eficaz de estas prácticas mejoran el rendimiento productivo de forma respetuosa con nuestros recursos naturales, lo que se traduce en beneficios económicos.

Figura 22

Macrofauna del suelo (individuos m^{-2}) encontrada en los diferentes sistemas silvopastoriles con pasto de guinea *Panicum maximum* cv. Mombaza



Nota: Extraído de González Marcillo et al. (2021)

3.1.6.3. Características agronómicas y producción de forraje del *Panicum maximum*

En muchas regiones del mundo, los pastizales además de proporcionar alimentos, estos proveen servicios ambientales, siendo parte fundamental para el medio de vida de los agricultores. En consecuencia, estos sistemas de producción constituyen una importante base económica y ecológica (Boval y Dixon, 2012). *Panicum maximum* es ampliamente utilizado en la región tropical de Ecuador. Este cultivar tiene una alta persistencia y productividad debido a su alta eficiencia fotosintética e hídrica, y tiene un alto potencial de producción de forraje con un adecuado valor nutricional. Además, tiene una muy buena adaptación a diferentes tipos de suelos fértiles y condiciones climáticas (seca y lluviosa) (De limas Vera et al., 2020; Gurgel et al., 2020).

Similares condiciones en la altura de planta y cobertura basal fueron obtenidas entre tratamientos. Sin embargo, los valores fueron más bajos para el pasto

Mombaza manejado en monocultivo que el observado en SP1 y SP2. De igual forma, datos similares fueron obtenidos al comparar el efecto estacional (seca y lluviosa). Mediciones agronómicas ligeramente más bajas (altura de planta y cobertura) fue observada en la época lluviosa, pero el Control tuvo valores agronómicos más bajos comparado con los sistemas silvopastoriles evaluados en condiciones similares.

Homen et al. (2010) y MacDonald et al. (2010) han reportado que en la especie *Panicum maximum* la parte aérea se vuelven más alta cuando tiene agua disponible, por lo tanto, el agua es un factor que condicionó su productividad. De limas Vera et al. (2020) comparó diferentes cultivares de *Panicum maximum* y encontró que el cv Mombaza mostro mayores alturas de planta. De acuerdo con Pezzopane et al. (2017), variaciones estacionales de temperatura y disponibilidad de agua ocurren durante todo el año. Por lo tanto, esto afecta la producción anual de forraje y debería ser considerado en la planeación de los sistemas ganaderos.

No se encontraron efectos significativos entre tratamientos sobre la producción de biomasa verde (kg ha^{-1} ; tabla 14). No obstante, el efecto estación mostro una tendencia estadística ($P < 0, 10$), teniendo una producción mayor en la estación LP. Similares resultados fueron reportados por (Pezzopane et al., 2017), quien observo diferencias en la producción de biomasa verde (kg ha^{-1} ; tabla 14), pero es importante destacar que los niveles productivos del *Panicum maximum* ($30,000 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) fueron más altos que los observados en nuestro estudio ($15,490 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). De todas formas, en nuestras condiciones, mayor producción de biomasa verde fue reportada durante la estación LP ($11,757 \text{ vs. } < 10,000 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

En base a esta evidencia, el cultivar Mombaza ha demostrado tener un alto potencial para ser cultivado en áreas con déficit de agua y altas temperaturas. En la provincia de Orellana, a pesar de la baja precipitación en la estación LP y correspondiente alta tasa de evaporación, el crecimiento del cultivar Mombaza tiene ser capaz de producir aceptables niveles en cuanto a biomasa verde. De igual manera, los sistemas silvopastoriles podrían contribuir a mejorar las

condiciones fisicoquímicas del suelo y formar un sistema estable y más balanceado a través del reciclaje de nutrientes mediante la captura de carbono.

3.1.6.4. Factores para considerar en cuanto a la composición química del pasto *Panicum maximum*

En condiciones de pastoreo, los forrajes son la fuente de alimento para el ganado a menor costo (Kenneth et al., 2020). El valor nutritivo del forraje está influenciado por la composición química y la digestibilidad, y para los rumiantes, la proteína es uno de los nutrientes más importantes (McDonald et al., 2010). Sin embargo, los pastos maduran rápidamente, y su contenido proteico desciende a valores muy bajos. Por lo tanto, la composición química influye en la digestibilidad del forraje y en la ingesta voluntaria, afectando a las respuestas de los animales (Kenneth et al., 2020). El contenido de proteína bruta (PB) no varió entre tratamientos. Sin embargo, el contenido de PB en el sistema convencional fue inferior al de los sistemas silvopastoriles y se observó una tendencia estadística debida a los efectos estacionales. Los valores críticos de PB (6,7%, en base a materia seca) se obtuvieron en la temporada de HP, principalmente debido a la relación hoja/tallo y al pequeño número de hojas en las que se concentra en gran medida el contenido de PB. Además, una gran proporción de forraje maduro conduce a una disminución de la calidad nutritiva porque los carbohidratos se acumulan en la parte basal del tallo (AOAC, 2000). Los resultados de MS y PB fueron similares a los reportados por (Legunes et al. 1999; Phimpachanhvongsod et al., 2002; Ajayi et al., 2008). Por el contrario, Seresinhe y Pathirana (2000) y Homen et al. (2010), han reportaron mayores contenidos de PB en *Panicum maximum* cv Mombaza, cuyos promedios estuvieron entre el 8% al 15%. Resultados que deberían ser interpretados con precaución, debido a que este estudio aplicó fertilizantes químicos nitrogenados.

El bajo contenido de PB que se suele encontrar en los pastos tropicales es una característica inherente del metabolismo de las plantas C₄, que se asocia con la supervivencia en condiciones de baja fertilidad del suelo (MacDonald et al., 2000). En consecuencia, el contenido de PB del *Panicum maximum* cv Mombaza fue mejor cuando se cultivó bajo sistemas silvopastoriles en comparación con el sistema convencional en ambas temporadas evaluadas. Además, los valores

críticos de PB (< 7%, en promedio) se midieron según (Moore et al., 1973; Lagunes et al., 1999), que en términos alimentarios podrían reducir la ingesta de forraje de los animales. Tomando como referencia la hipótesis de que los componentes del bosque en los potreros reciclan los nutrientes de las capas más profundas del suelo y mejoran la fertilidad del suelo. Por lo tanto, esto podría explicar por qué *Panicum maximum* cv Mombaza registro un contenido moderado de PB a pesar de la falta de fertilizantes. De todas formas, es importante destacar que los contenidos de PB fueron notablemente más altos en los sistemas silvopastoriles que en el sistema de monocultivo convencional.

3.1.6.5. Respuestas animales del pastoreo de *Panicum maximum*

En general el ganado suele preferir las hojas verdes que los tallos o material senescente. El *Panicum maximum* cv. Mombaza cultivada en diferentes sistemas silvopastoriles se vio afectada por la estación del año. Al contrario de lo observado, los resultados de nuestro estudio mejoraron en la estación seca en comparación con la estación lluviosa debido a la temperatura del suelo y a la elevada humedad. Se podría conjeturar que la estructura del suelo está relacionada con el grado de infiltración del agua, que puede provocar su encharcamiento y limitar el crecimiento de los pastos (Delgado y Randel, 1989). Por el contrario, en la estación LP el *Panicum maximum* cv. Mombaza fue altamente eficiente en el uso del agua, como lo indica su mayor masa (MS kg ha⁻¹). Considerando, además, que otros procesos como son la fijación biológica de N₂ por leguminosas pueden haber contribuido (Rodríguez et al., 2021).

En este estudio observamos una mayor carga ganadera en términos de Unidades bovinas adultas (UBA) en los sistemas silvopastoriles en comparación con el sistema convencional, como se muestra en la Tabla 3 (0,7 vs. 0,3 UBA ha⁻¹, respectivamente), que correspondió a la correlación entre la cantidad de biomasa verde disponible (DM kg ha⁻¹) y carga ganadera (r= 0,79). Haydock y Shaw (1975) afirma que una baja carga ganadera no tiene efectos perjudiciales sobre el componente arbóreo. En general, a medida que aumenta la carga ganadera, el rendimiento individual de los animales disminuye (Boval y Dixon, 2012). Por lo tanto, la carga ganadera tiene un gran impacto en el rendimiento

del ganado bajo pastoreo (Baillie et al., 1990). La Society for Range Management (1974) definió la carga ganadera como la relación entre el número de animales UBA y la superficie en un momento dado (Jerry y Holechek, 1988; Baillie et al., 1990). Evidencia científica, además, ha reportado una positiva correlación entre el rendimiento animal y la cantidad de hierba disponible.

En este estudio, el efecto tratamiento mostró diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$). En este caso, la cantidad de pasto disponible fue mayor en el sistema convencional comparado con aquellos valores observados en los sistemas silvopastoriles (0,62 vs 0,25 kg MS kg PV⁻¹; tabla 17). Sin embargo, el efecto estación no influyó en esta variable, que explicaría las diferencias estadísticas no observadas. En este estudio se evidencio que la cantidad de pasto disponible fue mayor numéricamente en la estación de mayor precipitación. De acuerdo con Baillie et al. (1990) y Kenneth et al. (2020), los herbívoros tienen preferencia a seleccionar pastos tiernos de alto valor nutritivo, en consecuencia, se ha observado que el consumo es bajo en detrimento de un alto cantidad de hierba disponible debido a su bajo contenido nutricional.

En este estudio, la hipótesis de trabajo que se formulo fue que en el manejo de un sistema silvopastoril convencional (no planificado), la calidad del pasto decrece a consecuencia de su estado de madurez fisiológica [51]. Por lo tanto, el termino hierba disponible ha sido definido como la cantidad de hierba disponible por animal en un tiempo determinado (Kenneth et al., 2020). Así, forraje disponible puede ser un dato importante para explicar diferencias de rendimiento animal. En nuestro caso, esto explicaría los altos valores obtenidos para el pasto *Panicum maximum* cv. Mombaza cultivado bajo sistemas de manejo convencionales.

La biomasa verde, pasto disponible y los valores nutritivos de los pastos pueden conducir a variaciones entre 50% – 90% en dependencia a condiciones específicas [7,20]. El promedio de ganancia diaria (GD) obtenida de los animales bajo sistemas convencionales de manejo no varió a lo reportado por Rodríguez et al. (2021) (0.465 kg UBA⁻¹ d⁻¹) en pasturas como monocultivo. Esta GD es mayor de los valores típicos reportados de rendimiento animal alimentados con solo con pasto (0,350 kg UAB⁻¹ d⁻¹). Apoyando estas evidencias Boval y Dixon

(2012), reportó que el rendimiento de animales en pastoreo depende de la disponibilidad de forraje en la pastura durante las fluctuaciones estacionales dentro y entre años.

En consecuencia, el manejo del pasto *Panicum maximum* cv. Mombaza en sistemas silvopastoriles, produce mayores respuestas animales comparado a uno convencional (+49%, oscilando entre $0,612 \pm 0,02$ a $0,732 \pm 0,02$ kg ABA⁻¹ d⁻¹; tabla 17). Contrario a nuestro estudio, Rodríguez et al. (2021) han reportado bajas ganancias diarias en la estación seca (0,3 kg vs. 0,6 kg ABA⁻¹ d⁻¹), mientras que en nuestro trabajo se han registrado mayores ganancias diarias en la estación de baja precipitación en comparación con la de mayor (0,658 ± 0,02 vs. 0,543 ± 0,02 kg UBA⁻¹ d⁻¹). Respecto a estas discrepancias, nuestra teoría es que las propiedades de los suelos podrían estar relacionadas y tener una fuerte influencia sobre la productividad del *Panicum maximum* manejado bajo sistemas silvopastoriles.

Los resultados de los factores arriba descritos son coherentes con los datos de ganancia peso por ha. De igual forma, este estudio demostró al igual que basta evidencia científica que las pasturas manejadas con sistemas convencionales son menos eficientes en términos productivos. Por lo tanto, el rendimiento animal, bajo estas condiciones es crítica desde el punto de vista ecológico, socioeconómico, así como productivo. De todas formas, en los sistemas silvopastoriles fueron observadas mayores ganancias de peso por ha cuando comparamos a los de un sistema convencional en monocultivo ($24,82 \pm 0,03$ vs. $4,60 \pm 0,03$ kg peso vivo ha⁻¹ d⁻¹).

Además, estos resultados podrían ser comparables a los reportados (30 kg peso vivo ha⁻¹ 28 d⁻¹). En este estudio se alcanzaron unas ganancias medias anuales de 266 kg ha⁻¹ en sistemas silvopastoriles (SPS1 y SPS2) en comparación con 46 kg ha⁻¹ en el sistema ganadero convencional. Teniendo, además la estación una fuerte influencia en las respuestas productivas animales. Observamos que la ganancia de peso por ha⁻¹ fue mayor en la estación de menor precipitación ($33,34 \pm 8,9$ vs. $5,23 \pm 4,1$ kg ha⁻¹) que podría ser explicada ya que el sistema radicular en época de mayor pluviometría y debido a las propiedades físicas del suelo, muestra un anegamiento temporal que afecta al rendimiento

productivo debido a un proceso de estrés hídrico. Todos estos resultados relacionados a las respuestas de los animales reflejan las interacciones marcadamente complejas de los sistemas silvopastoriles. En este caso, en los SSP la productividad podría deberse a la captación de nutrientes de perfiles más profundos del suelo por los árboles, volviéndolos más disponibles para las pasturas (es decir, mayor fertilidad por incremento de materia orgánica). En consecuencia, la fertilidad del suelo es crucial para la seguridad alimentaria mundial y la sostenibilidad medioambiental.

En base a nuestros resultados, se podría concluir que los sistemas silvopastoriles en esta región son caracterizados por tener alta presencia de especies de árboles endémicos a diversas densidades en los pastizales. In SSP1, el espacio entre árboles fue de 36 m con una población total de 138 ha⁻¹, mientras que el SSP2 los árboles estaban a distancias entre árboles de 16 m dando una población total de 312 ha⁻¹.

Independientemente de la distancia entre árboles, los bosques ayudan a reducir la radiación solar y temperatura e incrementando el uso eficiente de agua (Gomes et al., 2020). Esto explicaría la mayor cantidad de biomasa verde obtenida en la estación de baja precipitación independientemente de los tratamientos.

Sin embargo, los resultados obtenidos por Vázquez et al. (2020) sugieren que la distancia entre árboles en los sistemas silvopastoriles podría afectar las propiedades fisicoquímicas de los suelos con la aumentando además la microfauna. Por el contrario, en este estudio el componente forestal resultó en marcadas diferencias comparadas al sistema ganadero convencional, produciendo mayores rendimientos agronómicos, así como de bienestar animal. De igual forma, en este estudio, se observó que el *Panicum maximum* cv. Tanzania fue tolerante a la sombra producida por los sistemas silvopastoriles. Finalmente, destacamos la importancia de adoptar métodos de producción más eficiente como es el caso de los SSP como alternativa al manejo tradicional extensivo ganadero.

3.1.6.6. Hallazgos sobre las propiedades fisicoquímicas en el suelo y de macrofauna

Amplia evidencia científica avala el papel crucial de los sistemas silvopastoriles a la hora de proporcionar numerosos beneficios y servicios ecosistémicos (Haydock y Shaw, 1975; Núñez-Delgado et al., 2019). Según Ibrahim et al. (2010) y Bernardino et al. (2011), se calcula que los ecosistemas forestales absorben hasta 3 Pg de carbono (C) anualmente. Por tanto, la presencia del componente forestal es clave para producir cambios en el microclima, mejorar la estructura del suelo y aportar nutrientes a al sistema productivo.

Varios estudios han descrito múltiples relaciones entre los pastos y el microbiota del suelo (Vázquez et al., 2020). De hecho, se ha comprobado en varios ecosistemas, que los árboles contribuyen a la acumulación de materia orgánica en el suelo (MOS), carbono (C) y nutrientes esenciales, como el nitrógeno (N) (Abendaño-Yáñez et al., 2017). La evaluación del *Panicum maximum* cv. Tanzania bajo sistemas silvopastoriles mostró diferencias numéricas entre tratamientos.

Aunque los valores de pH y MO variaron numéricamente, estas no mostraron diferencias significativas ($P > 0,05$). Por lo tanto, la incorporación de leguminosas, arbustos o árboles en los pastos puede mejorar las características físicas y fisiológicas del suelo y aumentar los parámetros de biodiversidad dentro de un sistema silvopastoril. En la cuantificación de la biomasa (masa fresca kg ha⁻¹), observamos una mayor productividad, aunque dependiente en función de la estación.

Se encontraron pocos cambios en los macronutrientes del suelo entre tratamientos, con la excepción del Ca y el K. Identificamos un efecto estacional en los sistemas silvopastoriles (SPS1y SPS2), que presentaron un mejor contenido de Ca en la estación LP en comparación con la estación HP. Resultados similares fueron reportados por Brienza y Gazel (1991) y Alfaia et al. (2004), en donde evaluando la calidad de los suelos, encontraron altos niveles de Ca en sistemas agroforestales.

Los sistemas de monocultivo convencionales suelen caracterizarse por altos niveles de K. Por lo tanto, las prácticas que combinan al componente forestal con pasturas pueden favorecer para una mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo (Martínez et al., 2014). Además, sugerimos que los pastos se cultiven sólo con gramíneas durante la fase temprana de desarrollo (primeros 3 años) para prevenir el agotamiento de las reservas de nutrientes del suelo por las plantas de crecimiento rápido. Ya que, en este estudio, observamos un pH ácido del suelo en todos los tratamientos, pero los valores de Fe fueron inferiores en el sistema silvopastoril en comparación con los de los sistemas convencionales con monocultivo. Este hallazgo podría explicarse debido a las sinergias de los componentes pastos-forestal en los sistemas de producción, específicamente en esta región de Ecuador.

Otro factor importante es la estructura del suelo, que contribuye a la dinámica de materia orgánica y al ciclo de nutrientes, así como a otras propiedades, como la porosidad, la compactación y la retención de agua (Brienza y Gazel, 1991). La estructura del suelo se ha definido como el tamaño, forma y características de las partículas, agregados y poros del suelo en un rango de tamaños que va desde los nanómetros a los centímetros (Regelink et al., 2015). Establecimos dos tipos principales de estructura del suelo: el Control, con suelo franco arenoso, y SPS1 y SPS2, que tienen suelos franco-limosos. Según Bronik (2005), la estructura y la textura del suelo influyen en el flujo, la disponibilidad y el almacenamiento del agua del suelo.

La clave para entender por qué se obtuvieron valores más altos en la estación con menor precipitaciones (LP) para casi todos los parámetros evaluados podría ser la siguiente. Realizamos observaciones en el periodo experimental durante dos estaciones (HP y LP). En la estación HP, el flujo de agua es bajo; en otras palabras, la infiltración de agua es lenta, y observamos que se necesita una media de 3 días para que el agua drene. Los suelos franco-arenosos presentan un alto índice de charcos de pluviometría o de escorrentía frecuente, momento en el que la erosión laminar es extremadamente baja.

Aunque el pasto Mombaza se caracteriza por una alta tolerancia a condiciones extremas que son típicas en climas tropicales, no podemos descartar la

posibilidad de que las condiciones en la estación HP conduzcan a estrés hídrico (Bronik, 2005), a pesar de su mayor eficiencia en el uso del agua (Baruch, 1994; Del Pozo-Rodríguez, 2002). Por el contrario, en la estación LP, observamos que el pasto Mombaza es más eficiente en periodos de déficit hídrico. De limas Vera et al. (2020), observaron que el cultivo del pasto guinea (*Panicum maximum*) puede ser posible en áreas con un marcado déficit hídrico y altas temperaturas. Así, la estructura del suelo podría afectar al uso y eficiencia del agua, dependiendo de la estación del año, e influir en la distribución de las raíces y en la capacidad de absorción de agua y nutrientes.

Los presentes autores Vázquez et al. (2020) encontraron una relación positiva entre la producción de biomasa y la abundancia de macrofauna en el suelo, lo que indica la importancia de la macrofauna del suelo. Bronick (2005) la macrofauna del suelo mejoró la aireación, la porosidad, la infiltración y la estabilidad de los agregados. En nuestro estudio, demostramos la importancia de los sistemas silvopastoriles comparados con el sistema ganadero convencional con sólo pastos de monocultivo, observando diferencias en el número de individuos por m².

Según Brienza y Gazel (1991), el suelo en zonas deforestadas, como los sistemas convencionales, generalmente afecta comunidades de la macrofauna del suelo. Por el contrario, una alta densidad de árboles mejora las condiciones ambientales y de alimentación. Por lo tanto, una mayor abundancia de macrofauna puede facilitar una mayor producción de biomasa o diversificar los sustratos para las raíces de los pastos. Razón por la cual, este tipo de sistema debería ser considerado durante la planificación del pastoreo.

Como se evidencia, el *Panicum maximum* muestra diferentes comportamientos según condiciones climáticas y prácticas de manejo, obteniéndose mejores resultados cuando se manejó bajo sistemas silvopastoriles. Otro aspecto importante a destacar es que se identificó un fuerte efecto estacional. En consecuencia, las respuestas animales obtenidas de este estudio confirmaron que el uso de tecnologías amigables es más sostenible para mejorar los sistemas de producción en esta región tropical de Ecuador. Es importante destacar que las prácticas que implican un monocultivo convencional de gramíneas provocan

una rápida degradación de los recursos naturales y aumentan la presión sobre el bosque. Así, la gestión adecuada del pastoreo con (*Panicum maximum*) en combinación con sistemas silvopastoriles da lugar a servicios ecosistémicos adicionales en comparación con el monocultivo.

3.1.7. Gradiente de fertilidad de los suelos con pasto *Brachiaria decumbes*

En la tabla 19 se presentan los datos de fertilidad de los suelos. Como se puede ver en los resultados de pH, aunque no se observaron diferencias significativas entre las fincas de experimentación ($4,72 \pm 0,11$; $P = 0,87$), es importante recalcar que estos se caracterizan por ser muy ácidos. Mientras que, en los valores de materia orgánica, las fincas 2 y 3 mostraron tener una mayor cantidad de materia orgánica ($4,99 \pm 0,13$ %) que los observados en la finca 1 (3,92%). Por el contrario, los contenidos de macronutrientes ($P = 0,39$ a $0,88$), micronutrientes ($P = 0,50$ a $0,88$), clase textural ($P = 0,22$ a $0,80$) y la relación catiónica ($P = 0,25$ a $0,82$) no difirieron entre fincas experimentales.

Tabla 18

Fertilidad de los suelos

Ítems	Localización			EE	P = valor
	Finca 1	Finca 2	Finca 3		Sitio
pH	4,39	4,90	4,87	0, 11	0,87
MO	3,92 ^b	4,83 ^a	5, 14 ^a	0, 13	0,004
Macroelementos					
P	4,43	2,81	5.11	1,91	0,54
K	0, 19	0,25	0, 16	0, 12	0,78
Ca	2,25	3,09	2,68	1, 10	0,76
Mg	0,72	0,80	0,82	0,22	0,88
S	2,80	2,73	2,23	0,38	0,39
Zn	2, 16	1,73	1,58	0,99	0,84
Microelementos					
Cu	2,02	2,24	1,40	1,25	0,80
Fe	295	300	345	41	0,50

Ítems	Localización			EE	P = valor
	Finca 1	Finca 2	Finca 3		Sitio
Mn	19,50	32,72	16,60	16	0,62
B	0,30	0,30	0,36	0,15	0,88
Clase textural					
Arena	35	36	41	9,2	0,80
Limo	30	26	29	1,8	0,22
Arcilla	35	38	30	7,7	0,63
Relaciones Catiónicas					
Ca Mg	3,16	3,83	3,17	0,51	0,43
Mg K	5,30	3,69	5,31	2,90	0,82
Ca+Mg K	5,30	17,61	23,0	8,60	0,25
Σ Bases	3,15	4,13	3,66	1,33	0,78

Nota: ^{a-b} Medias con diferentes letras en la misma línea, difieren a un $P < 0,05$; EE, error estándar de la media. Autores (2023)

3.1.7.1. Respuestas agronómicas del pasto *Brachiaria decumbes*

Diferencias significativas fueron observadas para el efecto tratamiento ($P < 0,001$), el Control mostró un valor promedio de altura con (58,22 cm), superior frente al T1 (44,74 cm) y T2 (40,73 cm). Además, la cobertura basal y la relación hoja/tallo fue condicionada por los tratamientos ($P = 0,001$ a $0,008$; Tabla 20). Aunque los tratamientos T1 y T2 fueron similares (Cobertura basal, $42,41 \pm 1,90\%$ y biomasa, 5732 ± 357 kg/ha), estos difirieron a los observados para el control (Cobertura basal, $53,28 \pm 1,90\%$; Biomasa, 9627 kg/ha; tabla 20). Contrario a esto, no se observaron diferencias significativas para las variables relación hoja/tallo y biomasa disponible ($P = 0,30$ a $0,40$;). Ver la tabla 20.

Tabla 19

Medias mínimas cuadradas de las variables agronómicas respecto al efecto tratamiento y sistema de manejo

Ítems	Tratamientos			Sistema		EE ¹	P = valor	
	T1	T2	Control	Sombra	S-Sombra		Trat	Sistema
Altura de planta, cm	44,74 ^b	40,73 ^c	58,22 ^a	42,50 ^k	53,29 ^j	1,27	0,001	0,001
Cobertura basal, %/m ²	43,49 ^b	41,33 ^b	53,28 ^a	29,77 ^k	62,29 ^j	1,90	0,008	0,0001
Relación tallo/hoja, %m ²	44,51	43,07	44,03	41,83 ^k	45,91 ^j	0,93	0,30	0,0001
Forraje verde, kg/ha ⁻¹	5698 ^b	5767 ^b	9267 ^a	4623 ^k	9198 ^j	357	0,0001	0,0001
Disponibilidad, kg/Fv/ha	3989	4037	6487	3236 ^k	6439 ^j	759	0,40	0,0002

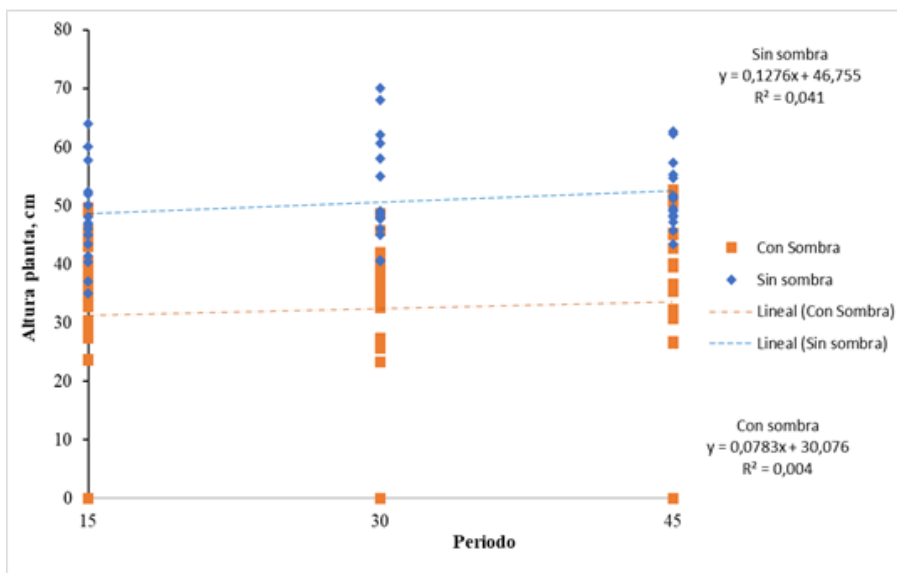
Nota: ¹EE, error estándar de la media; ^{a-c} Medias con diferente letra en la misma línea difieren para el efecto tratamiento a un $P < 0,005$; ^{i-k} Medias con diferente letra en la misma línea difieren para sistema a $P < 0,05$. Diferencias significativas fueron declaradas a un $P < 0,05$. Autores (2023)

Los resultados del efecto principal sistema (sombra y sin sombra) se muestran en la tabla 20. Todas las variables agronómicas fueron condicionadas cuando el pasto estuvo sin sombra ($P = 0,001$ a $0,002$). Lo que quiere decir que la pastura utilizada tiene poca tolerancia para desarrollar bajo sombra. Resultados que deberían ser confirmados con estudios a largo plazo.

En base a las regresiones lineales, se puede inferir débiles asociaciones ($r = 0,041$) en el sistema sin sombra y ($r = 0,004$) en el sistema con sombra que podrían ser mejor explicadas cuando se han incluido solamente el efecto periodo.

Figura 23

Regresión de la variable altura de planta

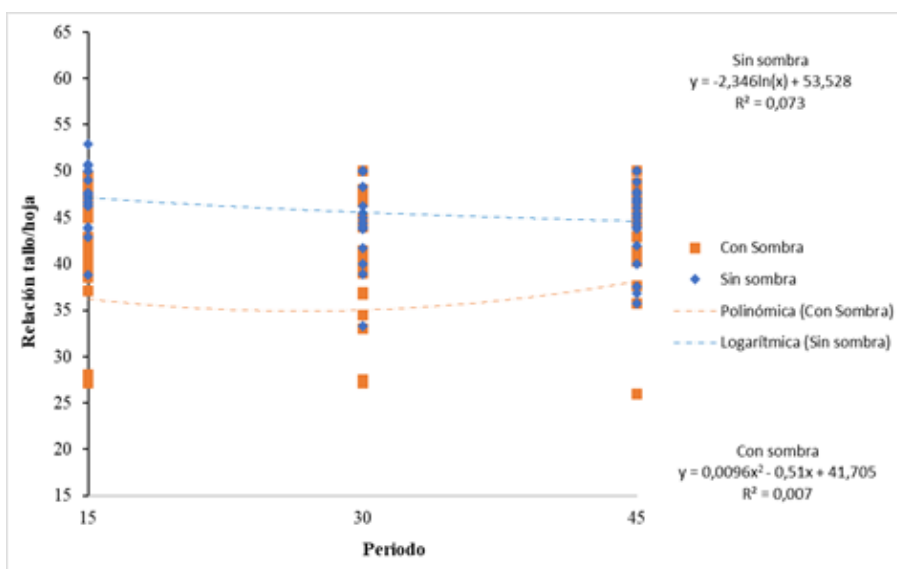


Nota: Autores (2023)

En base a las regresiones lineales, se puede inferir débiles asociaciones ($r = 0,041$) en el sistema sin sombra y ($r = 0,004$) en el sistema con sombra que podrían ser mejor explicadas cuando se han incluido solamente el efecto periodo.

Figura 24

Análisis de regresión de la variable Relación tallo/hoja

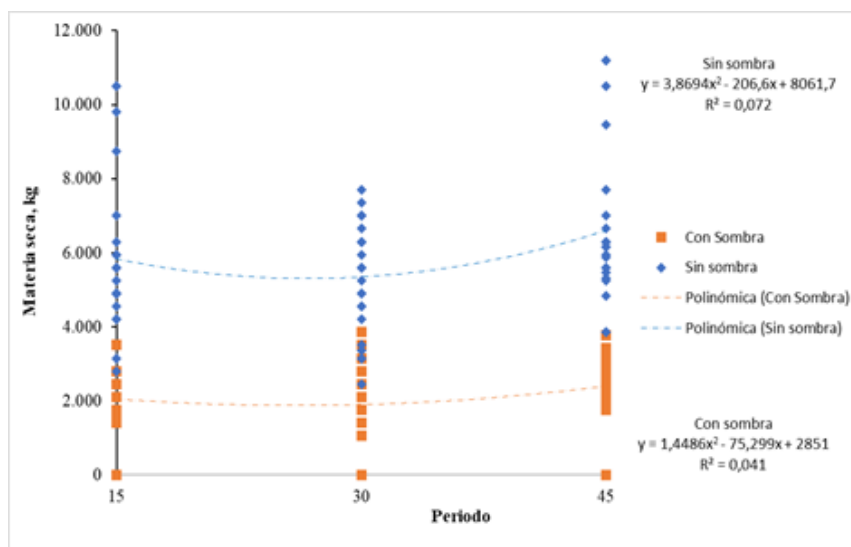


Nota: Autores (2023)

La relación hoja/tallo mostró un comportamiento de tipo lineal, poco significativo en el sistema sin sombra. Quiere decir, con un coeficiente de determinación ($r = 0,073$), para el sistema con sombra un coeficiente de determinación ($r = 0,007$).

Figura 25

Análisis de regresión de la variable materia seca disponible



Nota: Autores (2023)

En la figura 25, se puede observar que la cantidad de materia seca disponible tuvo un comportamiento de tipo polinómico, cuyo coeficiente de determinación ($r = 0,072$) para el sistema sin sombra, mientras que para el sistema con sombra coeficiente de determinación ($r = 0,041$).

3.1.7.2. Composición nutricional del pasto *Brachiaria decumbes*

Con excepción en los valores de ENL ($P = 0,013$). El Control y T2 ($61,5 \pm 1, 27\%$; $P = 0,95$) mostraron mayores contenidos que para T1 ($55,9 \pm 1,26\%$; $P = 0,005$ a $0,010$). Por el contrario, en el resto de las determinaciones químicas, no se observó diferencias significativas al comparar los diferentes tratamientos ($P = 0, 11$ a $0,76$; tabla 21). De todas formas, los contenidos promedios fueron para la proteína bruta de ($6,72 \pm 0, 1\%$), FDN ($52 \pm 1,2\%$) y ($27 \pm 1\%$) para FDA, respectivamente. En la misma línea, cuando al comparar los datos de la calidad del forraje entre tratamientos (tabla 21), estos no difirieron respecto a VRF (122 ± 4 ; $P = 0,22$) y RFQ (118 ± 4 ; $P = 0,22$). Además, los contenidos de energía bruta expresada en kcal/kg^{-1} de MS no difirió entre tratamientos (3437 ± 59 ; $P = 0,38$).

La composición nutricional de la pastura (*Brachiaria decumbens* Dallis) respecto con los tratamientos aplicados y el sistema de manejo se presentan en la tabla 21.

Tabla 20

Medias mínimas cuadradas de composición química, así como de la calidad del forraje respecto al tratamiento y sistema de manejo

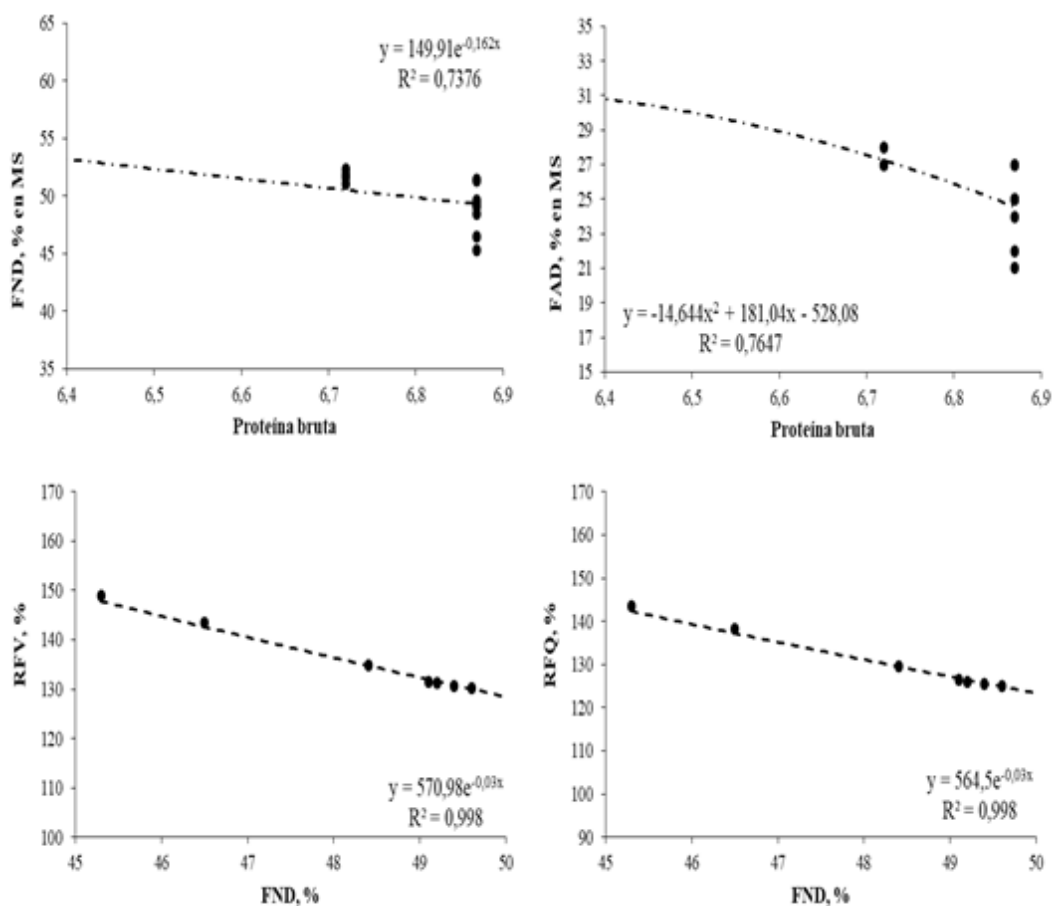
Items	Tratamiento		Sistema ¹			EE ²	P =valor	
	T1	T2	Contro I	Sombra	Sin Sombra		T	S
<i>Composición, %</i>								
<i>MS</i>								
Materia seca, (105 °C)	94,0	94,7	94,9	95,4j	94,0k	0,3	0, 11	0,0001
Materia seca, (60 °C)	25 ^a	23 ^b	21 ^b	20 ^k	25 ^j	0,2	0,002	0,001
Materia orgánica g/kg/MS ⁻¹	88,2	90,0	92, 1	90,0	91,0	1,4	0, 18	0,46
Cenizas g/kg/MS ⁻¹	11,8	9,2	7,9	10,3	9,0	1,4	0, 17	0,46
Extracto etéreo g/kg/MS ⁻¹	3,8	3,2	3,2	4, 1 ^j	2,7 ^k	0,3	0,34	0,001
ENL ³	53,24 ^b	58,71 ^a	58,75 ^a	52,74 ^k	61,06 ^j	1,4	0,013	0,0001
Proteína bruta g/kg/MS ⁻¹	6,72 ^b	6,71 ^b	6,84 ^a	6,64 ^k	6,87 ^j	0, 1	0,76	0,02
Fibra bruta g/kg/MS ⁻¹	24,5	22,2	23,3	26,3 ^j	20,4 ^k	1,2	0,27	0,001
FDN	53	51	52	54 ^j	49 ^k	1	0,27	0,001
FDA	28	26	27	29 ^j	25 ^k	1	0,28	0,001
<i>Calidad del forraje</i>								
Energía bruta, kcal/kg MS	3373	3446	3493	3442	3432	59	0,38	0,89
RFV, % ⁴	119	127	122	113 ^k	133 ^j	4	0,22	0,001
RFQ, % ⁵	114	122	118	109 ^k	128 ^j	4	0,22	0,001

Nota: ¹Sistema; S, sombra; N-sombra, no sombra; ²error estándar de la media; ³ ENL, extractivos libres de nitrógeno, 100-FB-PB-Cenizas-extracto etéreo; ⁴ RFV, valor relativo del forraje; ⁵ RFQ, calidad relativa del forraje. Autores (2023)

Diferencias significativas ($P < 0,001$) fueron observadas en los contenidos de materia seca (MS) a 105 °C. El pasto cultivado con sombra mostro mayores contenido de MS que para cuando se cultiva sin sombra (95,4 vs. 94,0 ± 0,3%). De la misma manera mostro diferencias significativas ($P < 0,001$) fueron observadas en los contenidos de materia seca (MS) a 60 °C, el pasto cultivado sin sombra mostro mayores contenido de MS que para cuando se cultiva con sombra (25 vs. 20 ± 0,2%). De igual forma, los contenidos de extracto etéreo, extractos libres de nitrógeno y fibra bruta fueron superiores cuando el pasto creció sin sombra ($P = 0,001$ a 0,001; tabla 21).

Figura 26

Ajuste de regresión de variable de composición química



Nota: Autores (2023)

Contrario a todo esto, no se obtuvieron diferencias significativas entre el sistema con sombra vs. Sin-sombra para materia orgánica (91 ± 1,4; $P = 0,46$), cenizas (9,7 ± 1,4; $P = 0,46$). Los contenidos de PB mostraron diferencias estadísticas al comparar los diferentes tratamientos ($P = 0,02$; tabla 21). Los contenidos de

proteína del Control fueron superiores al compararlos a los otros dos tratamientos T1 y T2 ($6,71 \pm 0,1$) los cuales no fueron similares entre ellos ($P > 0,05$). A pesar de no haber encontrado diferencias marcadas de composición química, los contenidos de energía bruta expresada en kcal/kg^{-1} de MS no difirieron entre sistemas (3433 ± 59 ; $P = 0,89$; tabla 21). Habiendo marcadas diferencias en los datos de calidad del forraje ($P = 0,001$; tabla 21). En consecuencia, analizando los valores, el pasto cultivado sin sombra fue superior al pasto con sombra (RFV, 133 vs. $113 \pm 4\%$; RFQ, 128 vs. $109 \pm 4\%$). Al analizar los datos mediante regresiones de composición química, la FDN ($r = 0,001$ a $0,73$), y FDA ($r = 0,001$ a $0,76$). Se ajustaron de forma lineal y polinómica significativamente (tabla 21) con los contenidos de proteína bruta. Mientras que, en los datos de calidad del forraje, los ajustes de regresión mostraron que la FDN se ajustó exponencialmente con RFV y RFQ ($r = 0,998$; $P < 0,001$; figura 25).

Finalmente, en la tabla 22 se presentan las correlaciones detectadas entre las diferentes variables determinadas con los correspondientes datos medioambientales.

Tabla 21

Matriz de correlaciones de Pearson entre las diferentes variables, agronómicas, composición química, así como medioambientales

	Altura	Cobertura	Hoja/tallo	FV, kg/ha	Radiación	Temperatura	Humedad
Altura	0.68838	0.30717	0.63380	0.08055	0.25082	-0.20774	0.15846
	<.0001	0.0003	<.0001	0.3530	0.0033	0.0156	0.0664
	135	135	135	135	135	135	135
Cobertura	0.68838	0.30157	0.83727	0.23196	0.04607	-0.02763	0.05574
	<.0001	0.0004	<.0001	0.0068	0.5957	0.7504	0.5208
	135	135	135	135	135	135	135
Hoja/tallo	0.30717	0.30157	0.29893	0.09565	0.12741	-0.13550	0.00940
	0.0003	0.0004	0.0004	0.2698	0.1409	0.1171	0.9138
	135	135	135	135	135	135	135
FV, kg/ha	0.63380	0.83727	0.29893	0.15037	0.12135	-0.11168	0.05256
	<.0001	<.0001	0.0004	0.0817	0.1609	0.1972	0.5449
	135	135	135	135	135	135	135
Radiación	0.08055	0.23196	0.09565	0.15037	-0.07640	0.11634	0.06654
	0.3530	0.0068	0.2698	0.0817	0.3080	0.1199	0.3748
	135	135	135	135	180	180	180
Temperatura	0.25082	0.04607	0.12741	0.12135	-0.07640	-0.91429	0.53466
	0.0033	0.5957	0.1409	0.1609	0.3080	<.0001	<.0001
	135	135	135	135	180	180	180
Humedad	-0.20774	-0.02763	-0.13550	-0.11168	0.11634	-0.91429	-0.14969
	0.0156	0.7504	0.1171	0.1972	0.1199	<.0001	0.0449
	135	135	135	135	180	180	180

Nota: Autores (2023)

3.1.7.3. Comportamiento productivo de la *Brachiaria decumbens* en un sistema silvopastoril y de monocultivo

La cobertura mostro estar altamente correlacionada ($r = 0.68$), con la altura de la planta ($P < 0,001$), siendo además las mismas respuestas para la cantidad de forraje verde ($r = 0,83$; $P < 0,001$). Adicional a esto, la radiación fue levemente correlacionada con la cobertura ($r = 0,23$) y por consiguiente con la cantidad de forraje verde ($r = 0,15$).

Los resultados obtenidos en este estudio indican que la producción de forraje se ve afectada por la radiación solar, ya que se observaron diferencias significativas en la producción de forraje entre los sistemas con y sin sombra. En el sistema sin sombra, se registraron mayores valores de temperatura ambiental y radiación solar instantánea, lo que sugiere que la radiación solar puede influir en la producción de forraje en sistemas silvopastoriles.

Este resultado es consistente con investigaciones previas, como la de los autores (Shelton y Stur, 2009), quienes encontraron que la producción de forraje de pastos tropicales como *Panicum maximum* y *Cynodon nlemfuensis* se ve afectada por la radiación solar, con una disminución en la producción de forraje a medida que aumenta la sombra. De manera similar, (Faria, et al., 2018: p. 34), reportaron que la producción de forraje de *Brachiaria decumbens* Dallis disminuyó con la reducción de la radiación solar en un sistema silvopastoril.

La relación entre la radiación solar y la producción de forraje puede explicarse a través del proceso de la fotosíntesis. La radiación solar es esencial para la fotosíntesis, que es el proceso mediante el cual las plantas convierten la energía solar en energía química almacenada en forma de carbohidratos. Una disminución en la radiación solar puede limitar la cantidad de energía disponible para la fotosíntesis y, por lo tanto, afectar la producción de biomasa y forraje (Fisher et al., 1994).

Sin embargo, no todos los estudios han encontrado una correlación negativa entre la radiación solar y la producción de forraje. Por ejemplo, (Baruch y Gómez, 2012: p. 24), observaron que la producción de forraje de *Panicum maximum* cv. Mombaza no se vio afectada negativamente por la sombra en un sistema

silvopastoril, mientras que (Wilson et al., 2001), encontraron que la producción de forraje de *Brachiaria humidicola* aumentó bajo condiciones de sombra moderada.

Estas diferencias en los resultados de los estudios sugieren que el efecto de la radiación solar en la producción de forraje puede variar según el tipo de pasto y las condiciones específicas del sistema silvopastoril. Por ejemplo, algunos pastos pueden ser más tolerantes a la sombra y, por lo tanto, menos afectados por la disminución de la radiación solar. Además, las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, también pueden influir en la relación entre la radiación solar y la producción de forraje.

En lo que corresponde al segundo objetivo donde se identificó la producción de forraje del pasto *Brachiaria decumbens* Dallis bajo sombra en el sistema silvopastoril, los resultados de este estudio mostraron diferencias significativas en la producción de forraje entre los tratamientos con sombra y sin sombra. Los tratamientos T1 (SSP1) y T2 (SSP2), que representan pastos bajo sombra, tuvieron menor producción de forraje en comparación con el control (sin sombra). Estos resultados concuerdan con algunos estudios previos, mientras que otros informan hallazgos diferentes.

Lima, et al, (2017), también encontraron una reducción en la producción de forraje en sistemas silvopastoriles con sombra en comparación con sistemas de pastoreo sin árboles. Según los autores, esta disminución puede atribuirse a la reducción de la radiación solar y la fotosíntesis en pastos bajo sombra, lo que limita el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Por otro lado, Gomide et al, (2018), observaron un aumento en la producción de forraje en un sistema silvopastoril con *Brachiaria decumbens* bajo sombra moderada en comparación con pastos sin sombra. Los autores sugirieron que la sombra moderada podría proporcionar un microclima más favorable para el crecimiento del pasto, incluida la reducción del estrés térmico y la mejora en la eficiencia en el uso del agua.

En la tabla 19, se presentaron los datos de la fertilidad de los suelos. Se observa que los resultados de Ph no presentaron diferencias significativas entre sitios de experimentación, lo que sugiere que todos los sitios tienen suelos ácidos. Por

otro lado, se encontró que las fincas 2 y 3 mostraron tener más materia orgánica que la finca 1. Sin embargo, los contenidos de macronutrientes, micronutrientes, clase textural y la relación catiónica no difirieron entre las fincas de experimentación. En cuanto a si los resultados son suficientes para hacer conclusiones significativas sobre la calidad del suelo en estas fincas, es importante considerar que este estudio solo midió ciertos factores que pueden influir en la fertilidad del suelo. (Rodríguez et al., 2022) mencionan que, otros factores, como la topografía, el clima, la actividad microbiana y la gestión del suelo, también pueden afectar la calidad del suelo y no se midieron en este estudio. Por lo tanto, se necesitan más estudios para evaluar adecuadamente la calidad del suelo en estas fincas.

Fernández et al, (2014), encontraron resultados mixtos en la producción de forraje de *Brachiaria decumbens* en un sistema silvopastoril con diferentes niveles de sombra. La producción de forraje fue mayor bajo sombra moderada en comparación con sombra alta y sin sombra. Los autores sugieren que el nivel óptimo de sombra puede variar según las condiciones ambientales y las necesidades específicas de la especie de pasto.

En lo que corresponde a la composición química del pasto. En el estudio, la composición química del pasto *Brachiaria decumbens* Dallis no mostró diferencias significativas entre los tratamientos de sombra y sin sombra en términos de materia orgánica, cenizas y proteína bruta. Estos resultados concuerdan con los hallazgos de (Gomide, et al., 2018), quienes también encontraron que la sombra no afectó significativamente la concentración de proteína bruta en *Brachiaria decumbens*.

Sin embargo, otros estudios han reportado efectos negativos de la sombra en la calidad del forraje. Por ejemplo, (Silva et al., 2011), encontraron que la sombra en un sistema silvopastoril con *Brachiaria brizantha* resultó en una disminución en la concentración de proteína cruda, lo cual es similares a los resultados del presente estudio. Adicionalmente, es importante mencionar que en el estudio fue realizado en la estación de menor lluvia, lo que podría explicar en partes nuestros bajos contenidos de proteína bruta. En cuanto a los valores de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA), no se observaron diferencias

significativas entre los tratamientos. Este resultado es consistente con el estudio de (Ribeiro et al., 2011), en el cual la sombra no tuvo un efecto significativo en los valores de FDN y FDA en *Brachiaria decumbens*. De todas formas, el bajo contenido de carbohidratos estructurales se vio influenciado por los menores contenidos de proteína bruta, en concordancia con nuestros mayores valores de ELN en la época de menor lluvia.

Es importante destacar que estos trabajos pueden variar en sus resultados debido a diferencias en las condiciones ambientales, pasturas degradadas, especies de árboles utilizadas en los sistemas silvopastoriles y las tasas de sombra. Por lo tanto, es fundamental considerar estos factores al interpretar y comparar los resultados de diferentes investigaciones. A pesar de las discrepancias en algunos resultados, los experimentos mencionados contribuyen al conocimiento sobre la composición química del pasto *Brachiaria decumbens* Dallis bajos sistemas silvopastoriles.

En virtud de lo observado se destacan lo siguiente.

La producción de forraje del pasto (*Brachiaria decumbens* Dallis) bajo sombra en el sistema silvopastoril fue menor, ya que hubo diferencias significativas en la altura de las plantas, la cobertura basal y la biomasa entre los tratamientos con y sin sombra.

Se determinó la composición química en pasto (*Brachiaria decumbens*) en el sistema silvopastoril con y sin árboles. A pesar de algunas discrepancias entre los estudios previos, se mostró que la sombra no afectó significativamente la composición química del pasto en términos de materia orgánica, cenizas, proteína bruta, FDN y FDA. Sin embargo, se deben realizar investigaciones a largo plazo para comprender cómo la sombra y otros factores ambientales pueden influir en la composición química del pasto en diferentes sistemas y condiciones de manejo.

En lo que corresponde a la incidencia de la radiación solar en la producción de forraje con pasto (*Brachiaria decumbens*). Se determinó que la presencia de sombra en el sistema silvopastoril resultó en menores temperaturas ambientales y valores de radiación solar instantánea en comparación con el sistema sin árboles. Estos hallazgos sugieren que la sombra puede tener un impacto

significativo en el microclima del sistema y, por lo tanto, en el crecimiento del pasto. Además, se destaca la importancia de considerar la interacción entre la radiación solar y otros factores ambientales al diseñar y gestionar sistemas silvopastoriles.

De todas formas, se debe realizar análisis de composición química en muestras de pasto recolectadas a lo largo del tiempo y en diferentes estadios de crecimiento, para obtener una comprensión más completa de cómo la sombra y otros factores ambientales afectan la calidad nutricional del pasto *Brachiaria decumbens*. Además, se deben realizar estudios que evalúen la digestibilidad y el valor nutritivo del forraje en condiciones de sombra, para determinar si hay diferencias significativas en el valor nutricional del pasto para el ganado en sistemas silvopastoriles y sin árboles. Estos datos podrían ayudar a los productores a tomar decisiones sobre la selección de especies de pastos y el diseño de sistemas silvopastoriles para optimizar la producción y la nutrición animal.

De igual forma, llevar a cabo investigaciones adicionales para comprender cómo el efecto de la radiación solar y las condiciones ambientales afectan el crecimiento y la producción de forraje del pasto *Brachiaria decumbens*. Esto incluiría estudios de monitoreo a largo plazo para evaluar las fluctuaciones estacionales y anuales en la radiación solar y cómo afectan el rendimiento del forraje. También se deben considerar estudios comparativos que evalúen diferentes especies de árboles y pastos en sistemas silvopastoriles, para determinar las combinaciones óptimas que permitan una mayor producción y resistencia al estrés ambiental.

Finalmente, se deben de considerar otras especies de pastos con mayor tolerancia a la sombra en sistemas silvopastoriles. Debido a que la selección de especies adecuadas permitiría optimizar la producción de forraje en condiciones de sombra y mejorar la sostenibilidad y la resiliencia del sistema. Además, se deben evaluar las prácticas de manejo, como la densidad de siembra, la frecuencia de pastoreo y la fertilización, para maximizar la producción de forraje en sistemas silvopastoriles con diferentes grados de sombra.



**Referencias
Bibliográficas**

Referencias Bibliográficas

- Agrosemillas. (2018). *Brachiaria decumbens* CV. *BASILISK*. Agrosemillas. <https://agrosemillas.com.co/producto/brachiaria-decumbens/>
- Ajayi, F.T.; Babayemi, O.J. Y Taiwo, A.A. Effects of supplementation of *Panicum maximum* with four herbaceous forage legumes on performance, nutrient digestibility and nitrogen balance in West African dwarf goats. *Anim. Sci. J.* 2008, 6, 673–679.
- Akiyama, Stella. Evaluación de la promoción del crecimiento, la calidad de planta y la incidencia de enfermedades en vivero de producción de *Cyclamen* (*Cyclamen persicum* Mill.) mediante el uso de *Trichoderma harzianum* Rifai. Luján [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Luján, Argentina. 2017. p. 105. [Consulta: 20 de enero de 2023] Disponible en: <https://ri.unlu.edu.ar/xmlui/handle/rediunlu/540>
- Akiyama, Y.; Yamada-Akiyama, H.; Yamanouchi, H.; Takahara, M.; Ebina, M.; Takamizo, T.; Nakagawa, H.; Sugita, S.I. Estimation of genome size and physical mapping of ribosomal DNA in diploid and tetraploid guineagrass (*Panicum maximum* Jacq.). *Grassl. Sci.* 2008, 54, 89–97, doi:10.1111/j.1744-697x.2008.00110.x.
- Alberto Camero. A.R Y H Rodríguez. D.H. Características químicas del suelo, producción forrajera y densidad poblacional de lombrices en un sistema silvopastoril en la zona Huetar Norte de Costa Rica. (2015). Recuperado de: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0379-39822015000100091.
- Alfaia, S.S.; Ribeiro, G.A.; Nobre, A.D.; Luizão, R.C.; Luizão, F.J. Evaluation of soil fertility in smallholder agroforestry systems and pastures in western Amazonia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2004, 102, 409–414, doi:10.1016/j.agee.2003.08.011.
- Almeida, L.L.D.S.; Frazão, L.A.; Lessa, T.A.M.; Fernandes, L.A.; Veloso, Álvaro, L.D.C.; Lana, A.M.Q.; De Souza, I.A.; Pegoraro, R.F.; Ferreira, E.A. Soil

- carbon and nitrogen stocks and the quality of soil organic matter under silvopastoral systems in the Brazilian Cerrado. *Soil Tillage Res.* 2021, 205, 104785, doi:10.1016/j.still.2020.104785.
- Alonso. J.G. Febles, T.E. Ruíz Y G. Achang. Características bromatológicas de guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril con leucaena (*Leucaena*). (2008). Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193015504013.pdf>.
- Anderson, J.M. "Tropical Soil Biology and fertility - A Handbook of Methods C.A.B. International Wallingford, Oxon, UK". *Journal of Ecology.* 2007, 78(2), pp. 547-548. [Consulta: 23 de enero de 2023]. ISSN 1519-9940. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/232141777_Tropical_Soil_Biology_and_Fertility_A_Handbook_of_Methods
- Andrade Yucailla, Rios-Arias, D, Cuvi-Gamboa, C, Acosta-Lozano, Pinos, Nq Y Masaquiza, D. "Alimentación de cuyes en crecimiento-ceba a base de gramíneas tropicales adaptadas a la Región Amazónica". *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 2016, 17(1), pp. 1-7. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63646008003.pdf>
- Andrade, A. Y Oliva, F. Sistema de Crianza de Bovinos de Carne en el Trópico Húmedo comparando dos tipos de pastos: *Bachiaria decumbens* vs *Paspalum dilatatum* [En línea] (Trabajo de titulación). (Posgrado) Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Ecuador. 2015. p. 17. [Consulta: 24 de enero 2023] Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/3875>
- Angel P.J. Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganadera en sistemas de doble propósito. (2006). Recuperado de: <http://www.bioline.org.br/pdf?la06011>.
- AOAC. "Official methods of analysis of AOAC International". The Association of Official Analytical Chemists, 2002, 1(17), pp. 1-38. [Consulta: 31 de enero 2023] Disponible en:

- [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/Referenc esPapers.aspx?ReferenceID=1687699](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/Referenc esPapers.aspx?ReferenceID=1687699)
- Astudillo, Mario. Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura y humedad para el cultivo de lechuga hidropónico (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Piura. Piura. 2016. p.115. [Consulta: 02 de febrero 2023] Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUMP_f38ac5535f7b5905a0e18ee9fff40cf3
- Avendaño-Yáñez, M.D.L.L.; López-Ortíz, S.; Perroni, Y Pérez-Elizalde, S. Leguminous trees from tropical dry forest generate fertility islands in pastures. *Arid. Land Res. Manag.* 2017, 32, 57–70, doi:10.1080/15324982.2017.1377782.
- Baillie, I.C.; Anderson, J.M.; Ingram, J.S.I. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. *J. Ecol.* 1990, 78, 547, doi:10.2307/2261129.
- Baldassini, P.; Despósito, C.; Piñeiro, G.; Paruelo, J. Silvopastoral systems of the Chaco forests: Effects of trees on grass growth. *J. Arid. Environ.* 2018, 156, 87–95, doi:10.1016/j.jaridenv.2018.05.008.
- Bartaburu, Danilo. “Stress calórico: un tema de bienestar animal y productivo”. *Revista del Plan Agropecuario* [en línea], 2007, (Argentina) 121(1), pp. 46-49. [Consulta: 03 de febrero de 2023] Disponible en: https://planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R121/R121_46.pdf
- Baruch, Z. Responses to drought and flooding in tropical forage grasses. *Plant Soil* 1994, 164, 97–105, doi:10.1007/bf00010115.
- Benejam, L. Técnicas de control de malezas en potreros. X Seminario de Pastos y Forrajes. [blog]. Caracas: AVPA, 2006. [Consulta: 06 de febrero 2023] Disponible en: http://www.avpa.ula.ve/congresos/seminario_pasto_X/Conferencias/A9-Luis%20Benejan.pdf
- Bernal, J. Y Espinosa, J.. Manual de nutrición y fertilización de pastos, Quito-Ecuador. (2003). International plant Nutrition Institute (IPNI). pp. 67

- Bernardino, F.S.; Tonucci, R.G.; Garcia, R.; César, J.; Neves, L.; Rocha, G.C. Forage yield and performance of beef steers in a silvopastoral system: Effects of forage offers and nitrogen fertilization. *Rev. Bras. Zootec.* 2011, 40, 1412–1419.
- Bonifaz-Castro, J. C. Evaluación de Diferentes Niveles de Humus en la Producción Primaria Forrajera de la *Brachiaria decumbens* (Pasto Dallis) en la Estación Experimental. Chimborazo (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2011. p. 129. [Consulta: 08 de febrero 2023] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1042>
- Boval, M.; Dixon, R. The importance of grasslands for animal production and other functions: A review on management and methodological progress in the tropics. *Animal* 2012, 6, 748–762, doi:10.1017/s1751731112000304.
- Brienza, Junior.S. Y Gazel Yared, J.A. Agroforestry systems as an ecological approach in the Brazilian Amazon development. *For. Ecol. Manage.* 1991, 45, 319–323.
- Bronick, C Y Lal, R. Soil structure and management: A review. *Geoderma* 2005, 124, 3–22, doi:10.1016/j.geoderma.2004.03.005. 58.
- Bussoni, A., Alvarez, J., Cubbage, F., Ferreira, G., Picasso, V. Diverse strategies for integration of forestry and livestock production. *Agrofor. Syst.* 2019, 93, 333–344.
- Bustamante, T. Retos de la Amazonía. [en línea] Ecuador: Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales, 1993. [Consulta: 14 de febrero 2023]. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/51291.pdf>
- Cabrera, Carlos. Evaluación de tres sistemas de alimentación (balanceo y pastos), con ovinos tropicales cruzados (dorper x pelibuey) para la fase de crecimiento y acabado en el cantón Balzar [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) ESPOL, Guayaquil, Ecuador. 2016. p. 125. [Consulta: 24 de febrero de 2023] Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/12005>

- Calero, Andrés Y Vizuite, Omar. Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana, N° 2: ¿Por qué son frágiles los suelos de la amazonia ecuatoriana?. [en línea] Ecuador: INIAP, 2018. [Consulta: 28 de febrero 2023] Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5453/1/Por%20qu%C3%A9%20son%20fr%C3%A1giles%20los%20suelos%20de%20la%20amazonia%20ecuatoriana.pdf>
- Cárdenas, L. “Degradabilidad in situ de la materia seca y proteína cruda de las hojas y peciolo del pisonay (*Erythrina falcata*)”. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú [en línea], 2016, (Perú) 27(1), pp. 39-44. [Consulta: 02 de marzo de 2023]. ISSN 1609-9117. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172016000100005
- Cardoso, A.; Barbero, R.P.; Romanzini, E.P.; Teobaldo, R.W.; Ongaratto, F.; Fernandes, M.H.M.D.R.; Ruggieri, A.C.; Reis, R.A. Intensification: A Key Strategy to Achieve Great Animal and Environmental Beef Cattle Production Sustainability in Brachiaria Grasslands. Sustainability 2020, 12, 6656, doi:10.3390/su12166656.
- Casierra, F. “Influencia de la sombra y de las micorrizas sobre el crecimiento de plantas de lulo (*Solanum quitoense* Lam.)”. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica [en línea], 2013, (Colombia) 16(1), pp. 61-70. [Consulta: 12 de marzo de 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.859>
- Castrejón, Nelson. Efecto de la fertilización orgánica en la recuperación de praderas establecidas con pasto inverna (*Brachiaria mutica*) en la localidad de Nueva Esperanza, La Jalca, Amazonas [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú. 2021. p. 38. [Consulta: 14 de marzo de 2023] Disponible en: <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2342>
- Cela, Adriana. Comparación entre dos fertilizantes en la producción de pastos dallis (*Brachiaria decumbens*) en la comunidad Nuevo Ecuador, cantón

- Joya de Los Sachas [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Sede Orellana, Ecuador. 2022. p. 45. [Consulta: 20 de marzo de 2023] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18123>
- Colaboradores de 123RF. (s/f). *Pinto maní arachis pintoi*. Colaboradores de 123RF. https://es.123rf.com/photo_43625348_pinto-man%C3%AD-arachis-pinto.html
- Congo Yépez, Carlos. “Árboles dispersos y su efecto en la productividad de los potreros en la Amazonía ecuatoriana”. *Revista de Ciencias de la Vida* [en línea], 2018, (Ecuador) 27(1), pp. 64-76. [Consulta: 22 de marzo de 2023]. ISSN 1390-8596. Disponible en: <https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/view/27.2018.05>
- Cordova. M.J.F. (2012). *Pastos y especies forrajeras*. Quito-Ecuador. Universidad de la Salle. Núcleos Municipales de Extensión y Mejoramiento para Pequeños Ganaderos, Asistegán. P74.
- Costa, S.B.D.M.; De Mello, A.C.; Dubeux, J.C., Jr.; Dos Santos, M.V.; Lira, M.D.A.; Oliveira, J.T.; Apolinário, V.X. Livestock performance in warm-climate silvopastures using tree legumes. *Agron J.* 2016, 5, 2026–2035.
- Criollo, Nancy. “Primer Encuentro Nacional de Bosques, Recursos Genéticos Forestales y Agroforestería: Evaluación de alternativas silvopastoriles que promuevan la intensificación y recuperación de pasturas degradadas y contribuyan a reducir el impacto ambiental de la actividad ganadera en la amazonía ecuatoriana al segundo año de establecimiento”. INIAP, Estación Experimental Santa Catalina [en línea], 2013, (Ecuador) 1, pp. 278-284. [Consulta: 26 de marzo de 2023]. ISBN 978-9942-13-642-8. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2819>
- Cubbage, F.W., Balmelli, G., Bussoni, A., Noellemeyer, E., Pachas, A.N., Fassola, H., Colcombet, L., Rossner, B., Frey, G.E., Dube, F. Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. *Agron. Syst.* 2012, 86, 303–314, doi:10.1007/s10457-012-9482-z.

- De Lima Veras, E.L., Difante, G.D.S., Chaves Gurgel, A.L., Graciano Da Costa, A.B., Gomes Rodrigues, J., Marques Costa, C., Emerenciano Neto, J.V. Gusmão Pereira, M.D.; Ramon Costa, P. Tillering and structural characteristics of Panicum cultivars in the Brazilian semiarid region. *Sustainability* 2020, 12, 3849.
- Del Pozo Rodriguez, P. Bases Ecofisiológicas para el Manejo de los Pastos Tropicales. *Pastos* 2002, 32, 109–137. 59.
- Delgado, I., Randel, P. Supplementation of Cows Grazing Tropical Grass Swards with Concentrates Varying in Protein Level and Degradability. *J. Dairy Sci.* 1989, 72, 995–1001, doi:10.3168/jds.s0022-0302(89)79194-3.
- Escobar-Vargas, I. “Investigación agropecuaria para el cambio de la matriz productiva”. *Revista eumednet* [en línea], 2016, (Ecuador) 1, pp. 1-10. [Consulta: 01 de abril de 2023]. ISSN 1696-8352. Disponible en: <https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2015/matriz-productiva.html>
- FAO. (2015). Guía metodológica para la implementación de Escuelas de Campo para Agricultores (ECA) en sistemas silvopastoriles agroecológicos. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. Colombia.
- FAO. “Huertos y otras actividades productivas”. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) [en línea], 2012, (USA) 1 . p. 1. [Consulta: 03 de abril de 2023] Disponible en: <https://www.fao.org/3/ah647s/AH647S07.html>.
- Fernandes, F. “Forage yield and nutritive value of Panicum maximum genotypes in the Brazilian savannah”. *Rev. Animal Science and Pastures* [en línea], 2014,71(1), pp. 23-29.
- GADPO. “Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la Provincia de Orellana 2015-2019”. Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Orellana [en línea]. Orellana – Ecuador, 2022. [Consulta: 05 de abril de 2023] Disponible en: <https://www.orellana.gob.ec/docs/PDYOT%20/PDYOT%20DOC.pdf>
- GADPO. Development and Land Management Plan of the Province of Orellana. 2015. Available online: www.gporellana.gob.ec/wp-

content/uploads/2015/11/pdyot-2015-2019_orellana_actualizado.pdf
(accessed on 18 September 2020).

- Garcia, R. Sistemas silvipastoris na região sudeste. Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais. [blog]. Brasil: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2001, pp. 173-187. [Consulta: 10 de abril de 2023] Disponible en: <http://saf.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/22.pdf>
- Gomes, F.J.; Pedreira, B.C.; Santos, P.M.; Bosi, C.; Lulu, J.; Pedreira, C.G.S. Microclimate effects on canopy characteristics of shaded palisadegrass pastures in a silvopastoral system in the Amazon biome of central Brazil. *Eur. J. Agron.* 2020, 115, 126029, doi:10.1016/j.eja.2020.126029.
- Gomide, C. "Effect of shade on the chemical composition and in vitro digestibility of *Brachiaria decumbens* grass". *Journal of Agriculture and Food Research.* 2018,30:160-170. <https://doi.org/10.1111/gfs.12395>
- González Marcillo, R. L., Castro Guamàn, W. E., Guerrero Pincay, A. E., Vera Zambrano, P. A., Ortiz Naveda, N. R., & Guamàn Rivera, S. A. (2021). Assessment of guinea grass *Panicum maximum* under silvopastoral systems in combination with two management systems in Orellana province, Ecuador. *Agriculture*, 11(2), 117. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020117>
- González, O., Calvete, S., Santini, L., Ríos De Àlvares, L. "Efecto de la presencia de sombra en áreas de pastoreo de ovinos. Selección de especies forrajeras". *Pastos y Forrajes*, 2017,40:65-72. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1933>
- González, Raúl. Manual de pastos tropicales para la amazonía ecuatoriana. Estación Experimental Napo Payamino, Programa de Ganadería Bovina y Pastos INIAP. Ecuador, 1997. [Consulta: 20 de abril de 2023]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2432>

- González-Andrade, F.; Roewer, L.; Willuweit, S.; Sánchez, D.; Martínez-Jarreta, B. Y-STR variation among ethnic groups from Ecuador. *Forensic Science International: Genetics*. 2009,3:e83–e91. oi:10.1016/j.fsigen.2008.08.003.
- Gonzalez-Andrade, Fabricio., Roewer, Lutz., Willuweit, Sascha., Sanchez, Dora., Martínez-Jarreta, Begoña. Y-STR variation among ethnic groups from Ecuador: Mestizos, Mestizos, Kichwas, Afro-Ecuadorians and Waoranis. *Forensic Sci. Int. Genet.* 2009, 3, e83–e91, doi:10.1016/j.fsigen.2008.08.003.
- Guaman-Rivera, S.A, Guerrero-Pincay, A.E, Ortiz-Naveda, N.R. Y González-Marcillo, R.L. Prediction of the nutritional values by INRA (2018) feed evaluation system of *Megathyrus maximus* subjected to different grazing strategies. *Journal of Agriculture and Environment for International Development* 2023, 117 (1): 117 – 140. DOI 10.36253/jaeid-14203.
- Guariguata, M. Reciclaje de nutrientes. *Ecología y conservación de bosques neotropicales. (GTZ)*. [en línea]. Costa Rica: Editoriales Universitarias de America Latina y el Canbe (EULAC) & la Agencia de Cooperación Técnica Alemana, 2022. [Consulta: 20 de abril de 2023]. Disponible en: https://faculty.lsu.edu/kharms/files/harms_2002.pdf
- Guevara-Vásquez, Sixto. Estimación de la radiación solar. Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2003. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/xxii.pdf>
- Gurgel, A.L.C.; Difante, G.D.S.; De Araujo, A.R.; Montagner, D.B.; Euclides, V.P.B.; Da Silva, M.G.P. Carbon and Nitrogen Stocks and Soil Quality in an Area Cultivated with Guinea Grass under the Residual Effect of Nitrogen Doses. *Sustainability* 2020, 12, 9381, doi:10.3390/su12229381.
- Haydock, K.P.; Shaw, N.H. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust. J. Exp. Agric.* 1975, 76, 663–670.
- Hernández, R. Metodología de la investigación [en línea]. México D.F: 6ta Edición Sampieri McGraw Hill, 2016. [Consulta: 21 de abril de 2023]. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

- Holdridge, L.R. Life Zone Ecology; Tropical Science Center: San Jose, Costa Rica, 1967. 24. INEC. Proyecciones Poblacionales. Available online: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/> (accessed on 15 December 2019).
- Homen, M., Entrena, I., Arriojas, L.; Ramia, M. Biomasa y valor nutritivo del pasto Guinea *Megathyrus maximus* (Jacq.) B. K. Simon & S. W. L. Jacobs. 'Gamelote' en diferentes períodos estado Miranda. *Zootec. Trop.* 2010, 2, 255–265.
- Huera-Lucero, T., Labrador-Moreno, J., Blanco-Salas, J., Ruiz-Téllez, T. A Framework to Incorporate Biological Soil Quality Indicators into Assessing the Sustainability of Territories in the Ecuadorian Amazon. *Sustainability* 2020, 12, 3007, doi:10.3390/su12073007.
- Ibañez, J.J. (2011). *Las Lombrices de Tierra y Su importancia en el Suelo*. Madrid España. Recuperado de: <HTTPS://WWW.MADRIMASD.ORG/BLOGS/UNIVERSO/2011/05/31/138374>.
- Ibrahim, M., Guerra, L., Casasola, F., Neely, C. Importance of silvopastoral systems for mitigation of climate change and harnessing of environmental benefits. *CIPAV* 2010, 11, 189–196.
- INEC-ESPAC. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria. Usos del Suelo. Available online: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/> (accessed on 11 November 2019).
- ISO. ISO 23611-5. Soil Quality-Sampling of Soil Invertebrates-Part 5: Sampling and Extraction of Soil Macro-Invertebrates. 2011. Available online: <https://www.iso.org/standard/50777.html> (accessed on 2 August 2020).
- Jácome, L. Y Ramírez, M. "Incidencia del sombreado, biorreguladores y bioestimulante en el desarrollo y rendimiento del pasto Mombaza (*Panicum maximum* Jacq)". *Rev. De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia.* 2021, 38:382-403.

- <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/35505>.
- Jank, L. 1995. Mejoramiento e selección de variedades de Panicum maximum. Anais do 12 Simpósio sobre Manejo da Pastagem. FEALD. Ed. Peixoto, A.M.; De Moura, J.C.; y De Faria, U.P.C.P. 329, A.V. Carlos Botelho, 1025, 13400-970, Piracicaba, SP. Brasil pp. 21-58
- Jerry, L., Holechek, J.L. An Approach for Setting the Stocking Rate An Approach for Setting the Stocking Rate. Rangelands 1988, 10, 1–10.
- Kenneth, J.M.; Collins, M.; Jerry, N.C.; Redfearn, D. Forages, The Science of Grassland Agriculture, II, 7th ed.; John Wiley & Sons Ltd: Chichester, UK, 2020.
- Laboratorio, Labsu. Métodos Análíticos y Control de Calidad. Ecuador: Laboratorio Labsus, 2015. p. 152.
- Lagunes, F.J., Fox, D., Blake, R., Pell, A. Evaluation of Tropical Grasses for Milk Production by Dual-Purpose Cows in Tropical Mexico. J. Dairy Sci. 1999, 82, 2136–2145, doi:10.3168/jds.s0022-0302(99)75457-3.
- Larripa, M. “Estudio de la masa arbórea y su influencia en la sustentabilidad de los sistemas lecheros”. Rev. Americana de Empreendedorismo e Inovação [en línea], 2021, (Argentina) 3(3), pp. 1-12. [Consulta: 04 de mayo de 2023]. SSN 2674-7170. Disponible en: <https://doi.org/10.33871/26747170.2021.3.3.4129>
- León, Morillo. Aspectos de la fisiología de beta vulgaris en condiciones de siembra otoñal. Sevilla [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Sevilla, España. 2016. p. 326. [Consulta: 06 de mayo de 2023] Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/39162/TesisAranchaDef.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- León, R. Pastos y forrajes del Ecuador: siembra y producción de pasturas. 1ra edición. Cuenca-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, 2018. [Consulta: 10 de mayo de 2023]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19019>

- Lessmann, J., Fajardo, J., Muñoz, J., Bonaccorso, E. Large expansion of oil industry in the Ecuadorian Amazon: Biodiversity vulnerability and conservation alternatives. *Ecol. Evol.* 2016, 6, 4997–5012, doi:10.1002/ece3.2099.
- Leytón, E.M Y Mendoza-Pérez, E.A (2016). Caracterización de los sistemas silvopastoriles Impulsados por MARENA
- Lima, M. “Productivity and nutritive value of *Brachiaria decumbens* and performance of dairy heifers in a long-term silvopastoral system”. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* [en línea], 2017 (Brasil) 52, pp. 160-170 [Consulta: 02 de mayo de 2023] Disponible en: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/194459/1/2019-011.pdf>
- López, O. “Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical”. *Pastos y forrajes*, 2017,40(2):83-95.http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942017000200001
- López, V., Espíndola, F., Calles, J., Ulloa, J. Atlas “Amazonía Ecuatoriana Bajo Presión”. *EcoCiencia*. Quito, Ecuador. 2013. Available online: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56384.pdf> (accessed on 5 January 2020).
- Lopez-Machado, F. (s/f). *Aeneolamia varia*. Flickr. <https://www.flickr.com/photos/frank68/10157110066>
- Lorenzo, P. “El cultivo de invernaderos y su relación con el clima”. *Cuadernos de estudios agroalimentarios*. 2012:23-44. <https://www.publicacionescajamar.es/publicacionescajamar/public/pdf/publicaciones-periodicas/cuadernos-de-estudios-agroalimentarios-cea/3/3-536.pdf>
- Madrigal V.M. Y Zamora.S.L. Bancos Forrajeros: Leguminosas y No Leguminosas en Costa Rica. (2012).

- <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/bancos-forrajeros-leguminosas-leguminosas-t29762.htm>.
- Martínez, J., Cajas, Y.S., León-Peláez, J.D., Osorio, N.W. Silvopastoral Systems Enhance Soil Quality in Grasslands of Colombia. *Appl. Environ. Soil Sci.* 2014, 2014, 359736, doi:10.1155/2014/359736.
- Mcdonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A., Wilkinson, R.G. *The Animal and Its Food*, 7th ed.; Prentice Hall/Pearson: London, UK, 2010; pp. 1–15.
- Moore, J.E.; Mott, G.O.; Matches, A.G. Structural Inhibitors of Quality in Tropical Grasses. In *Anti-Quality Components of Forages*; John Wiley & Sons, Ltd: Hoboken, NJ, USA, 1973; pp. 53–98. <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cssaspecpub4.c4>
- Mora, José. Efectos de aplicación de fitohormonas sobre el crecimiento y rendimiento de forraje del pasto Dallis (*Brachiaria decumbens*), en la zona de Febres-Cordero, provincia de Los Ríos. Babahoyo. Trabajo de titulación. Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador, Babahoyo. 2013. p. 72. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/210>
- Murgueitio, E.R., Chará, J.O., Barahona, R.R., Cuartas, C.C., Naranjo, J.R. Intensive Silvopastoral Systems (ISPS), mitigation and adaptation tool to climate change. *Trop. Subtrop. Agroecosystems* 2014, 17, 501–507.
- Murgueitio, R. Investigación participativa en sistemas silvopastoriles integrados: La experiencia de CIPAV”. *Rev. de Agroecología*, 2003, 16,(4):4. www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-16-numero-4/2341-investigacion-participativa-en-sistemas-silvopastoriles-integrados-la-experiencia-de-cipav-en-colombia.
- National Research Council. Committee on Animal Nutrition. *Nutrient Requirements of Beef Cattle: Update 2000*; National Academies Press: Washington, DC, USA, 2000.
- National Research Council. In *Basic Problems and Techniques in Range Research*; The National Academies Press: Washington, DC, USA, 1962. Available online: <https://www.nap.edu/catalog/20268>.

- Navas, Alexander. Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Rev. de Medicina Veterinaria*, 2010, 19:1-3. www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012293542010000100010.
- Nieto, Carlos. Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. 1era Edición, Ecuador: INAP Estación Experimental Central Amazónica, 2012. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3791>.
- Núñez Delgado, J., Ñaupari Vasquez, J., Flores Mariazza, E. Comportamiento nutricional y perfil alimentario de la producción lechera en pastos cultivados (*Panicum maximum* Jacq). *Rev. Investig. Vet. Perú*. 2019, 1, 178–192.
- Obispo, N. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril. *Rev. Zootecnia tropical*, 2008,26:285-288. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692008000300027.
- Ojeda, T., Zhunusova, E., Günter, S., Dieter, M. Measuring forest and agricultural income in the Ecuadorian lowland rainforest frontiers: Do deforestation and conservation strategies matter? *For. Policy Econ.* 2020, 111, 102034, doi:10.1016/j.for-pol.2019.102034.
- Ortiz, A. Seguimiento de la radiación absorbida por la vegetación (APAR) en áreas de pasturas permanentes. *Revista INIA*, 2016:53-54. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5793/1/Rev.INIA-2016-No45-P.53-54.PDF>.
- Ortíz, Lombo. Evaluación de la disponibilidad de biomasa y capacidad de rebrote de leñosas forrajeras en potreros del trópico seco de Nicaragua. Trabajo de titulación Posgrado. Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP), Costa Rica, Turrialba. 2012: 87.

- <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8031/252.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
- Pagricc. 2016. en las comunidades Soledad de la Cruz y La Unión municipio San Isidro, Matagalpa, Nicaragua, Managua. <https://repositorio.unan.edu.ni/3090/>.
- Pentón, Gertrudis. Tolerancia del Panicum Maximum cv. Likoni A la sombra en condiciones controladas. Pastos y Forrajes, 2000,23(1):1-5. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=960>.
- Pezzopane, J.R.M., Santos, P.M., Evangelista, S.R.M., Bosi, C., Cavalcante, A.C.R., Bettiol, G.M., De Miranda Gomide, C.A., Pellegrino, G.Q. Panicum maximum cv. Tanzânia: Climate trends and regional pasture production in Brazil. Grass Forage Sci. 2017, 1, 104–117.
- Phimpachanhvongsod, V., Ledin, I. Performance of Growing Goats Fed Panicum maximum and Leaves of Gliricidia sepium. Asian-Australas. J. Anim. Sci. 2002, 15, 1585–1590, doi:10.5713/ajas.2002.1585.
- Plasticidad y Límites de Consistencia*. (2016). Meding 101. <https://meding101.wordpress.com/civil-ing/mecanica-de-suelos/plasticidad-y-limites-de-consistencia/>
- Regelink, I.C., Stoof, C.R., Rousseva, S., Weng, L., Lair, G.J., Kram, P., Nikolaidis, N.P., Kercheva, M., Banwart, S.A., Comans, R.N. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. Geoderma 2015, 247–248, 24–37, doi:10.1016/j.geoderma.2015.01.022.
- Ríos, S.Y Benítez, D. “Análisis del funcionamiento económico productivo de los sistemas de producción cárnica bovina en la Amazonía Ecuatoriana”. Archivos de zootecnia, 2015,64:409-416.www.redalyc.org/pdf/495/49543393015.pdf.
- Rodríguez, L., Suarez J.C., Rodriguez, W., Artunduaga, K.J., Lavelle, P. Agroforestry systems impact soil macroaggregation and enhance carbon storage in Colombian deforested Amazonia storage in Colombian

- deforested Amazonia. *Geoderma* 2021, 384, 114810, doi:10.1016/j.geoderma.2020.114810.
- Rodríguez, L., Suárez, J.C., Rodríguez, W., Artunduaga, K.J., Lavelle, P. Agroforestry systems impact soil macroaggregation and enhance carbon storage in Colombian deforested Amazonia. *Geoderma*, 2021:114810. doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114810.
- Romero, Gerlver. Efecto del faique (*Acacia macracantha*) sobre el valor nutricional del pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) en un sistema silvopastoril. *Rev. de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 2020,31:9. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S160991172020000100003&script=sci_abstract.
- Russel, A.J.F., Doney, J.M., Gunn, R.G. Subjective assessment of body fat in live sheep. *J. Agric. Sci.* 1969, 72, 451–454, doi:10.1017/s0021859600024874.
- Santos, D.D.C., Júnior, R.G., Vilela, L., Pulrolnik, K., Bufon, V.B., França, A.F.D.S. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2016, 233, 16–24, doi:10.1016/j.agee.2016.08.026.
- Scarnecchia, D.L., Kothmann, M.M. A Dynamic Approach to Grazing Management Terminology. *J. Range Manag.* 1982, 35, 262– 264, doi:10.2307/3898407.
- Sellers, S., Bilsborrow, R., Salinas, V., Mena, C. Population and development in the Amazon: A longitudinal study of migrant settlers in the Northern Ecuadorian Amazon. *Acta Amaz.* 2017, 47, 321–330, doi:10.1590/1809-4392201602663.
- Seresinhe, T., Pathirana, K.K. Associative effects of tree legumes and effect of cutting height on the yield and nutritive value of *Panicum maximum* cv. Guinea. *Trop. Grassl.* 2000, 34, 103–109.
- Shelton, H.; Y Stur, W. “The effect of shade on forage quality. Forages for plantation crops”. Australian Centre for International Agricultural Research, 2009, 1:83-

88. https://www.aciar.gov.au/sites/default/files/legacy/node/304/pr32_pdf_12899.pdf
- Silva-Barros, J. "Influence of agroforestry systems on the nutritive value of *Brachiaria brizantha* grass during the rainy". *Revista Brasileira de Zootecnia*, 2011, 19(2):144-159
<https://www.scielo.br/j/rbspa/a/xKjcSWrjRxRNmY5Mxc3N39r/?lang=en>.
- Sollenberger, L.E., Moore, J.E., Allen, V.G., Pedreira, C.G.S. Reporting Forage Allowance in Grazing Experiments. *Crops Sci.* 2005, 45, 896–900, doi:10.2135/cropsci2004.0216.
- Sotelo, Mauricio. *Sistemas sostenibles de producción ganadera en el contexto amazónico Sistemas silvopastoriles: ¿una opción viable.* Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2017.
<https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/89088>.
- Toala, Jeniffer. ¿Qué método aplicar para el control de humedad en fincas dedicadas a la agricultura en el oriente ecuatoriano?. *Rev. Domino de las Ciencias.*, 2021,7(1):1167-1181.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383912>.
- Torres, B., Günter, S., Acevedo-Cabra, R., Knoke, T. Livelihood strategies, ethnicity and rural income: The case of migrant settlers and indigenous populations in the Ecuadorian Amazon. *For. Policy Econ.* 2018, 86, 22–34, doi:10.1016/j.forpol.2017.10.011.
- Valles , B., Castillo, E., Berna, H. Rendimiento y degradabilidad ruminal de materia seca y energía de diez pastos tropicales cosechados a cuatro edades". *Rev. Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2016,7(1):141-158.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242016000200141.
- Vanguardia. (2010). *Identifique y controle el Mión de los pastos.* Vanguardia.
<https://www.vanguardia.com/deportes/mundial-de-futbol/identifique-y-control-e-el-mion-de-los-pastos-IDVL64749>

- Vasco, C., Valdiviezo, R., Hern, H., Tafur, V., Eche, D., Jácome, E. Off-Farm Employment, Forest Clearing and Natural Resource Use: Evidence from the Ecuadorian Amazon. *Sustainability* 2020, 12, 4545.
- Vázquez, E., Teutscherová, N., Lojka, B., Arango, J., Pulleman, M. Pasture diversification affects soil macrofauna and soil bio- physical properties in tropical silvopastoral systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 2020, 302, 107083, doi:10.1016/j.agee.2020.107083.
- Vengolis. (2017). *File:Centrosema pubescens4.Jpg*. Wikimedia.org. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centrosema_pubescens4.jpg
- Villalobos, Luis. Producción de biomasa y costos de producción de pastos estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), kikuyo (*Kikuyuocloa clandestina*) y ryegrass perenne (*Lolium perenne*) en lecherías de Costa Rica. *Rev. Agronomía Costarricense*, 2013,37(1):91-103. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43630132008>.
- Villanueva, Cristóbal. Árboles dispersos en potreros de fincas ganaderas en un ecosistema seco de Costa Rica”. *Agroforestería en las Américas*, 2006, 10:12-20. www.biopasos.com/documentos/081.pdf.
- Vinueza, Bryan. Composición química de residuos agroindustriales del maíz (*Zea mays*)(Cáscara, Pelusa, Tusa y Panca) utilizados en la alimentación de rumiantes. Trabajo de titulación, Pregrado. Universidad Técnica Estatal De Quevedo, Ecuador. 2020. p. 59.
- Wilson, J. Adaptation to water stress of the leaf water relations of four tropical forage species”. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1980, 7(1):207-220. DOI:10.1071/PP9800207
- Yuseika-Olivera, R. Evaluación de accesiones de *Brachiaria brizantha* en suelos ácidos. Época de máximas precipitaciones. *Pastos y Forrajes*, 2007, 30(3):303-313. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942007000300002.

RESUMEN

La rápida expansión de la frontera agrícola como consecuencia desmesurada de la deforestación y cambios antropogénicos a nivel mundial, es un tema de preocupación por la comunidad científica internacional. Además, frente a una lucha contra el cambio climático por efecto de la ganadería, una de las principales estrategias para la mitigación de gases de efecto invernadero, lo constituyen alternativas sostenibles si uso de productos con alta huella de carbono, revalorizando, además, los recursos locales. En el caso de la zona norte de Ecuador, a pesar de los limitados atributos respecto a gradiente de fertilidad de los suelos, la cría de ganado ya sea de leche y/o doble propósito representa uno de los eslabones más fuertes dentro de la economía de las familias. Por lo tanto, es menester investigar alternativas de producción que nos permitan conservar los recursos naturales dada la fragilidad de estos ecosistemas megadiversos. Mediante este libro se plasma que el uso de sistemas ganaderos convencionales, degradan los recursos naturales con mermas significativas de la productividad, así como bajo réditos económicos. En consecuencia, la implementación de sistemas silvopastoriles como alternativa tecnológica de fácil instalación, es sin duda el camino para alcanzar sistemas ganaderos más eficientes, amigables con el medio ambiente, diversificando además los ingresos económicos de la población

Palabras Clave: Amazonia, Emisión de gases de Efecto Invernadero; Sistemas convencionales, Sistemas silvopastoriles



<http://www.editorialgrupo-aea.com>



[Editorial Grupo AeA](#)



[editorialgrupoaea](#)



[Editorial Grupo AEA](#)

ISBN: 978-9942-651-01-3



9 789942 651013