

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
ZOOTECNIA

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central shield with a crown on top, flanked by two lions. The shield is surrounded by a circular border containing the Latin motto "SCIENTIÆ CONSPICUA CAROLINA ACADÉMIA" at the top and "SACRAMENTALENSIS INTER" at the bottom. The seal is rendered in a light gray, semi-transparent style.

EFECTO DE *Leucaena leucocephala* cv. *Cunningham*, EN LA  
RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO, PRODUCCIÓN Y  
CALIDAD NUTRICIONAL DEL *Panicum máximum* cv. *Tanzania* EN EL  
SISTEMA SILVOPASTORIL INTENSIVO Y EN EL SISTEMA TÍPICO  
DEL PRODUCTOR, EN ÉPOCA DE LLUVIA, EN CHIQUIMULA

KARLA ALEJANDRA CASTAÑEDA SÁNCHEZ

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
ZOOTECNIA

EFFECTO DE *Leucaena leucocephala* cv. *Cunningham*, EN LA  
RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO, PRODUCCIÓN Y  
CALIDAD NUTRICIONAL DEL *Panicum máximum* cv. *Tanzania* EN EL  
SISTEMA SILVOPASTORIL INTENSIVO Y EN EL SISTEMA TÍPICO  
DEL PRODUCTOR, EN ÉPOCA DE LLUVIA, EN CHIQUIMULA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

KARLA ALEJANDRA CASTAÑEDA SÁNCHEZ

Al conferírsele el título de

ZOOTECNISTA

En el grado académico de

LICENCIADA

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
ZOOTECNIA**



**RECTOR EN FUNCIONES  
M.A. PABLO ERNESTO OLIVA SOTO**

**CONSEJO DIRECTIVO**

Presidente:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Representante de Profesores:	M.Sc. Mario Roberto Díaz Moscoso
Representante de Profesores:	M.Sc. Gildardo Guadalupe Arriola Mairén
Representante de Graduados:	Ing. Agr. Henry Estuardo Velásquez Guzmán
Representante de Estudiantes:	A.T. Zoila Lucrecia Argueta Ramos
Representante de Estudiantes:	Br. Juan Carlos Lemus López
Secretaria:	M.Sc. Marjorie Azucena González Cardona

**AUTORIDADES ACADÉMICAS**

Coordinador Académico:	M.A. Edwin Rolando Rivera Roque
Coordinador de Carrera:	Lic. Zoot. Mario Roberto Suchini Ramírez

**ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN**

Presidente:	M.Sc. Nery Waldemar Galdámez Cabrera
Secretario:	Lic. Zoot. Mario Roberto Suchini Ramírez
Vocal:	Lic. Zoot. Luis Eliseo Vásquez Chegüén

**TERNA EVALUADORA**

Ing. Agr. Edgar Antonio García Zeceña  
Dr. Alejandro José Linares Díaz  
Lic. Zoot. Luis Fernando Cordón Cordón

Chiquimula, octubre de 2021

Señores  
Miembros Consejo Directivo  
Centro Universitario de Oriente  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetables señores:

En cumplimiento de lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Centro Universitario de Oriente, presento a consideración de ustedes, el trabajo de graduación titulado:

**“Efecto de *Leucaena leucocephala* cv. *Cunningham*, en la retención de humedad del suelo, producción y calidad nutricional del *Panicum máximum* cv. *Tanzania* en el sistema silvopastoril intensivo y en el sistema típico del productor, en época de lluvia, en Chiquimula”**

Como requisito previo a optar al título profesional de Zootecnista, en el Grado Académico de Licenciada.

Atentamente,



---

Karla Alejandra Castañeda Sánchez

201442498

Ref. MWOL-003-2021  
Chiquimula, octubre de 2021

Señor Director  
Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Córdón  
Centro Universitario de Oriente  
Universidad de San Carlos de Guatemala

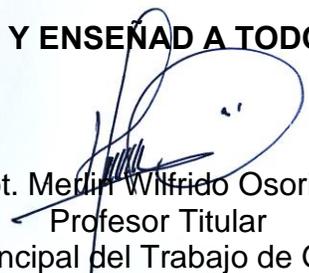
Señor Director:

En atención a la designación efectuada por la Comisión de Trabajos de Graduación, para asesorar a la estudiante **Karla Alejandra Castañeda Sánchez**, registro académico **201442498**, en el trabajo de graduación denominado, **“Efecto de *Leucaena leucocephala* cv. *Cunningham*, en la retención de humedad del suelo, producción y calidad nutricional del *Panicum máximum* cv. Tanzania en el Sistema silvopastoril intensivo y en el sistema típico del productor, en época de lluvia, en Chiquimula”**, tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que he procedido a revisar y orientar a la sustentante sobre el contenido de dicho trabajo.

En ese sentido, la investigación integra la producción de forraje con la conservación del recurso agua y la reducción de la erosión de suelo por escorrentía en potreros, impactando directamente en los beneficios del ganadero.

Por las razones anteriormente expuestas, en mi opinión la presente investigación reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes; razón por la cual recomiendo su aprobación para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Zootecnista en el grado académico de Licenciada.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**



Lic. Zoot. Melvin Wilfrido Osorio López  
Profesor Titular  
Asesor Principal del Trabajo de Graduación  
Carrera Zootecnia -CUNORI-



EL INFRASCrito DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el documento de la investigación que efectuó la estudiante **KARLA ALEJANDRA CASTAÑEDA SÁNCHEZ** titulado “EFECTO DE *Leucaena leucocephala cv. Cunningham*, EN LA RETENCIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO, PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRICIONAL DEL *Panicum máximum cv. Tanzania* EN EL SISTEMA SILVOPASTORIL INTENSIVO Y EN EL SISTEMA TÍPICO DEL PRODUCTOR, EN ÉPOCA DE LLUVIA, EN **CHIQUIMULA**”, trabajo que cuenta con la aprobación de la Comisión de Trabajos de graduación de la carrera de Zootecnia. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como Trabajo de Graduación, a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **LICENCIADA ZOOTECNISTA**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a dos de noviembre del dos mil veintiuno.

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordon

**DIRECTOR  
CUNORI - USAC**



c.c. Archivo  
EFCC/ars

## **TESIS Y ACTO QUE DEDICO**

A:

### **FAMILIA CASTAÑEDA SÁNCHEZ**

Con todo mi corazón dedico a ustedes familia, porque de ustedes vienen los cimientos de mi desarrollo y crecimiento como persona. Porque en ningún momento he caminado sola en este proceso y toda mi vida, siempre me han demostrado amor, apoyo y motivación.

A mis padres: Juan Carlos y Mairela; quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más. Este y muchos de mis logros se los debo a ustedes por haberme forjado como la persona que soy y sin ustedes no habría logrado tanto. Agradezco de todo corazón por todo el sacrificio que han hecho para darme todo lo necesario, por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre. Me formaron con reglas, pero nunca me cortaron las alas, siempre me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos. Gracias papi y mami.

A mis hermanos: Luis Carlos, Juan Diego y Mairelita, por estar siempre presentes acompañándome en todo este proceso. Gracias por la paciencia que han tenido conmigo, por el apoyo incondicional que he recibido y especialmente, por el apoyo moral que me han dado, indudablemente sin ustedes no sería lo mismo. Gracias hermanos, no solo por estar presentes y por creer en mí aun cuando yo no lo hacía, sino también por toda la felicidad que me han regalado y tantas emociones que han causado. Ustedes siempre son mi motivación.

No me alcanzan las palabras para expresar mi agradecimiento hacia ustedes querida familia, son lo más importante para mí. ¡Los amo mucho!

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A DIOS:**

Agradezco a Dios en primero lugar por regalarme el don de la vida, por ser la luz que guía mi camino, el apoyo y fortaleza en los momentos difíciles. Por permitirme lograr una meta más, al lado de mi familia y en compañía de mis amigos.

### **A LA FAMILIA:**

A mis abuelos, Zoila Morales, porque después de mis padres eres la que ha estado siempre apoyándome en todo. A Esperanza Estrada y Amadeo Castañeda (Q.E.P.D) sus cunas son sinónimo de sabiduría. Gracias por estar presente en mi vida, por sus consejos y encaminarme por el buen sendero. A mis tías, Dunia Fajardo, Sor Zoila Castañeda y Sor Ana Castañeda, que a pesar de la distancia han estado siempre al pendiente dándome su apoyo cuando lo necesité en este proceso y mantenerme siempre en sus oraciones. En general, gracias, Familias Sánchez Morales y Castañeda Estrada.

### **A MIS ASESORES:**

Lic. Zoot. Merlin Osorio y M.Sc. Marlon Bueso, excelentes personas y profesionales. Gracias por compartir sus conocimientos que me han guiado en todo este proceso, gracias por la paciencia que tuvieron conmigo en la ejecución y elaboración del trabajo, el cual ha sido un poco largo, pero con base en su experiencia y sabiduría, supieron direccionarme.

**A MIS PADRINOS  
DE GRADUACIÓN:**

Mi eterno agradecimiento al Lic. Zoot. Merlin Osorio por el apoyo moral, por motivarme durante toda la carrera, por la confianza desde el primer momento cuando le solicité empezar con el proceso de la tesis y por infundir en mí ese camino que inicié con toda la responsabilidad que representa el término de mi carrera profesional.

**A MI MEJOR  
AMIGA:**

Con admiración y respeto a la Licda. Zoot. Ana María Yamileth Folgar Miranda, hermana de otra mamá, compañera, vecina, colega. Gracias por tanto, por ser parte de este proceso y por darme ese empujón e iluminarme en aquellos momentos que me sentía perdida y que no podía seguir. Gracias por tu confianza, cariño y por ser esa persona en la que siempre confío. Te quiero mucho, te deseo lo mejor del mundo.

**A USAC Y LA  
CARRERA DE  
ZOOTECNIA,  
CUNORI:**

Por haberme permitido ser parte de la gloriosa tricentenaria. A la carrera de Zootecnia, especialmente a los docentes que forman parte de ella. Gracias por el apoyo académico brindado desde el primer semestre. Gracias Lic. Luis Córdón por la confianza, el apoyo brindado para poder culminar la carrera.

**A MIS AMIGOS:**

Gracias a Stephanie Calderón, Verónica Romero, Caterine Pérez, José Carlos Oliva, Luis José Rosales, Evelyn Chinchilla; por su apoyo y cariño. Sin duda Dios me ha bendecido con buenos amigos. Gracias por estar en los momentos buenos y malos. ¡Los quiero un montón!

**A MIS  
COMPAÑEROS DE  
UNIVERSIDAD:**

Ana María Folgar, Verónica Romero, Caterine Pérez, Víctor Jordán, Joshua Bojórquez, Hugo Lemus, Pablo Interiano, Keren Sancé, por todos los momentos buenos y malos que compartieron conmigo durante esta etapa. Gracias por hacer estos años de Universidad los mejores. ¡Los aprecio mucho!

## ÍNDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. OBJETIVOS	4
4.1    Objetivo general	4
4.2    Objetivos específicos	4
V. HIPÓTESIS	5
VI. MARCO TEÓRICO	6
6.1    Situación de la ganadería bovina nacional	6
6.2    Perspectivas de la ganadería bovina nacional	7
6.3    Sistemas tradicionales de producción (STP)	10
6.4    Sistema silvopastoril	13
6.5    Tipos de sistemas silvopastoriles	14
6.6    Sistema silvopastoril intensivo (SSPi)	15
6.7    Asocio de gramíneas y leguminosas	17
6.8    Cultivo de <i>Leucaena</i> ( <i>Leucaena leucocephala</i> ).	18
6.9    Gramíneas forrajeras	19
6.10   Suelo	19
6.11   Interacciones ecológicas en el sistema silvopastoril	22

6.12	Resultados experimentales relacionados	25
VII.	MARCO METODOLÓGICO	27
7.1	Localización geográfica	27
7.2	Unidad experimental	29
7.3	Tratamientos	29
7.4	Materiales	29
7.5	Variables evaluadas	30
7.6	Metodología	34
VIII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
8.1	Curva de retención de humedad en suelo y porcentaje de humedad a los 5 y 10 días después de la lluvia	43
8.2	Rendimiento de materia verde (Tm/MV/Ha/corte)	48
8.3	Rendimiento de materia seca (TmMS/Ha/corte)	49
8.4	Rendimiento de proteína cruda (KgPC/Ha/Corte)	51
8.5	Rendimiento de energía digestible (Mcal/Ha) al corte	52
IX.	CONCLUSIONES	55
X.	RECOMENDACIONES	56
XI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
XII.	APÉNDICES	66
XIII.	ANEXOS	76

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
<b>En el texto</b>		
1	Clasificación de las diferentes opciones de sistemas silvopastoriles	15
2	Variables evaluadas en el suelo del SSPi y STP	31
3	Variables evaluadas en el pasto Tanzania en el STP y SSPi	32
4	Resumen de los análisis de la variable % de humedad en el suelo a 5 y 10 días posteriores a la lluvia	43
5	Porcentaje (%) de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente para el STP y el SSPi	44
6	Análisis de textura del suelo para el STP y SSPi, ubicados en la Vega del CUNORI	46
7	Resumen de los análisis estadísticos para las variables del pasto evaluadas	54
<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
<b>En anexos</b>		
8An	Porcentaje de humedad en el suelo a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente del STP y del SSPi, de la finca el Zapotillo del CUNORI, 2021	76
9An	Textura del suelo y % de MO del STP y del SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI, 2021	77
10An	Resultados de análisis bromatológicos de las muestras del pasto Tanzania a los 35,45 y 56 días después del corte de nivelación del STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI, 2021	78
11An	Constancia de datos proporcionados por SIG-CUNORI sobre precipitación pluvial en el municipio de Chiquimula, Chiquimula del 2015 al 2019	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
<b>En texto</b>	
1	Precipitación anual del 2014 al 2019 en Chiquimula, Chiquimula 28
2	Comportamiento de la época lluviosa del año 2014 al 2019 en Chiquimula, Chiquimula 28
3	Curva de retención y porcentaje (%) de humedad en el suelo a los 5 y 10 días después de la lluvia para el STP y SSPi 45
4	Porcentaje de humedad en el suelo mostrada a capacidad de campo en el STP y el SPPi a los 5 y 10 días después de la lluvia 45
<b>Figura</b>	<b>Página</b>
<b>En Apéndices</b>	
5A	Sistema silvopastoril intensivo, Finca el Zapotillo, CUNORI 66
6A	Sistema típico del productor, Finca el Zapotillo, CUNORI 66
7A	Recolección de muestra compuesta de suelo del STP y del SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI 67
8A	Comportamiento de la lluvia en Chiquimula, Chiquimula 68
9A	Recolección de muestra de suelo en el STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI 69
10A	Determinación del porcentaje de humedad en el suelo para el STP y el SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI 69
11A	Recolección de muestras del pasto Tanzania del STP y el SSPi, en la finca el Zapotillo, CUNORI 70
12A	Muestras del pasto Tanzania para determinar %MS del STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI 71
13A	Determinación del % de PC mediante el método Kjeldahl del pasto Tanzania en el STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI 72
14A	Determinación del grasas del pasto Tanzania del STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI 73
15A	Determinación de la FND y FAD del pasto Tanzania del STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI 74

16A	Determinación de las cenizas totales del pasto Tanzania del STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI,2019	75
-----	--	----

**Castañeda Sánchez, KA. 2021. Efecto de la *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham, en la retención de humedad del suelo, producción y calidad nutricional del *Panicum maximum* cv. Tanzania en el Sistema silvopastoril intensivo y en el sistema típico del productor, en época de lluvia, en Chiquimula. Tesis Licda. Zoot. Chiquimula, GT, USAC, 82p.**

Palabras clave: Sistema silvopastoril intensivo, Sistema típico del productor, Retención de humedad en el suelo, Tanzania, *Leucaena*, Rendimientos productivos del pasto Tanzania, Calidad nutricional del pasto Tanzania.

### **RESUMEN**

En la presente investigación se evaluó el efecto de la *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham sobre la retención de humedad en el suelo, producción y calidad del pasto *Panicum maximum* cv. Tanzania, en el sistema silvopastoril intensivo (SSPi); y se comparó con el Sistema típico del productor (STP) compuesto únicamente por Tanzania; ambos ubicados en el área de la vega de la finca el Zapotillo del Centro Universitario de Oriente (CUNORI), del municipio de Chiquimula, Chiquimula.

Los objetivos planteados compararon los dos sistemas, en cuanto a las variables, retención de humedad en el suelo (%) a los 5 y 10 días después de la lluvia (>4mm), rendimientos productivos a los 35, 45, 56 días de edad expresados en (Tm//Ha) de materia verde (MV), Materia seca (MS), Proteína cruda (PC) expresado en (kg/ha) y energía digestible (ED) expresado en (Mcal/Ha). Los resultados obtenidos fueron analizados mediante una prueba de t de Student para parcelas apareadas, utilizando el paquete estadístico Infostat, [Versión: 2016].

Los resultados mostraron que, el SSPi retiene el agua disponible para la planta durante más tiempo de acuerdo con el % de humedad mostrada a capacidad de campo, siendo este de 86.08% a los 5 días después de la lluvia y 81.02% a los 10 días, valores que superan a los obtenidos en el STP, la cuales fueron de 79.10% y 74.24% en los mismos periodos. Este efecto influye en los rendimientos productivos del pasto a los 35, 45 y 56 días de edad, los resultados mostraron que, el SSPi, superó al STP, al producir 6.67 Tm/MV/ha y 1.1 Tm/MS/ha, a los 35 días; 7.43 Tm/MV/ha y 1.4 Tm/MS/ha a los 45 días; y 8.93 Tm/MV/ha y 1.65 Tm/MS/ha a los 56 días. Comparado con 4.2 Tm/MV/ha y 0.94

Tm/MS/ha, 5.04 Tm/MV/ha y 1.13 Tm/MS/ha, 7.75 Tm/MV/ha y 1.64 Tm/MS/ha, obtenidas en el STP. En cuanto a la calidad nutricional, el pasto Tanzania del SSPi obtuvo de 137.49 kg/ha de PC y 2573.92 Mcal/ha de ED a los 35 días, 122.76 kg/ha de PC y 3308.89 Mcal/ha de ED a los 45 días, 145.61 kg/ha de PC y 3870.28 Mcal/ha de ED a los 56 días comparado con 78.77 kg/ha de PC y 2209 Mcal/ha de ED , 85.16 kg/ha de PC y 2681.04 Mcal/ha de ED, 111.52 kg/ha de PC y 3774.57 Mcal/ha de ED, para el STP, existiendo diferencia significativa en las variables de MV, MS y PC a los 35 días de edad ( $p < 0.05$ ).

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación se concluye que, la leucaena influye positivamente en el SSPi, mejorando las cualidades edáficas ya que este sistema presentó mejor retención de humedad, lo que mejora el rendimiento productivo del pasto Tanzania y su calidad nutricional. Por lo que se recomienda la inclusión de Leucaena en los sistemas de producción tradicionales para mejorar la disponibilidad, la producción y la calidad nutricional del pasto utilizado como forraje para los vacunos y con ello mejorar los rendimientos productivos.

## I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala se señala que, los sistemas de producción animal se basan en el uso de gramíneas forrajeras en monocultivos. Estas se caracterizan por su relativamente bajo valor nutritivo y disponibilidad irregular (Ramírez *et al.*, 2010), debido a la estacionalidad de las precipitaciones y a las temperaturas en estas regiones del corredor seco. La degradación de las pasturas y su baja sostenibilidad son algunos de los problemas más acuciantes de estos sistemas.

Debido a ello, la implementación de sistemas silvopastoriles se considera una alternativa de producción amigable con el ambiente, que mejore las condiciones del suelo y pasto, por la inclusión de leguminosas en el mismo, genera beneficios en la fertilidad de los suelos y en la calidad del forraje en oferta para los animales, ya que según (Pérez López, 2014) incrementan el valor nutritivo de las gramíneas asociadas, particularmente en lo que, refiere al contenido de proteína cruda y de minerales. Por otro lado, también estudios realizados en Brasil señalan que la inclusión de leguminosas mejora las condiciones tanto físicas como químicas del suelo, mejorando con ello la retención de agua disponible para las plantas, por lo que se considera una alternativa, principalmente en lugares de baja precipitación pluvial como lo es el caso del corredor seco de Guatemala (Bacab *et al.*, 2013).

Con el fin de generar información sobre las alternativas que ayudan mitigar los efectos negativos que ha generado la ganadería tradicional, el objetivo de esta investigación es, evaluar el efecto de la Leucaena (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham), en la retención de humedad en el suelo, producción y calidad nutricional del pasto Tanzania (*Panicum máximum* cv. Tanzania) en el sistema silvopastoril intensivo (SSPi) y en el sistema típico del productor (STP), en época de lluvia, en el municipio de Chiquimula. Y En base a a los resultados obtenidos se concluye que, la inclusión de leucaena en los sistemas tradicionales mejoras las cualidades del suelo, lo cual influye en la retención de humedad, manteniendo el agua disponible para el pasto Tanzania durante más tiempo en el SSPi, lo cual mejora la productividad y calidad nutricional del pasto, en comparación con el STP, de la Vega de la finca el Zapotillo, del Centro Universitario de Oriente - CUNORI-.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La ganadería en Guatemala sigue utilizando modelos de producción de pastoreo extensivo que fueron promovidos hace 50 años; debido a ello, el uso de sistemas ganaderos tradicionales ha provocado un impacto negativo, tanto al medio ambiente como a la misma actividad ganadera. El impacto continuado de estas prácticas tradicionales se manifiesta en efectos como degradación de las pasturas, pérdidas de suelo y cobertura, disminución de la oferta de forraje y deficiente productividad de la actividad ganadera, lo que constituye la principal amenaza a largo plazo, para la sostenibilidad del sistema, provocando una baja eficiencia económica al productor.

Actualmente, hay poca información generada localmente sobre los modelos de producción silvopastoriles, principalmente asociados con leucaena, debidamente probados y adaptados a la zona del corredor seco del país.

### III. JUSTIFICACIÓN

La ganadería extensiva en general se ha considerado como uno de los factores que más influencia tienen en el deterioro ambiental del país, por lo que es importante la búsqueda de la transformación de la ganadería bovina a un modelo económico, ambientalmente eficiente y sostenible, principalmente en regiones afectadas por la sequía como el caso del corredor seco de Guatemala.

Una opción para mejorar los sistemas de producción ganadera es la implementación de sistemas silvopastoriles, por la inclusión de leguminosas forrajeras y el efecto de estas; según Deenen y Lantinga 1994; Haynes y Williams 1993; Thomas *et al.*, 1992; citados por Pérez Lopez, (2014), indican que las leguminosas incrementan la sostenibilidad de la producción de biomasa forrajera de una manera más amplia, debido a la disponibilidad de nitrógeno a partir de la incorporación realizada por las mismas. Además, la inclusión de leguminosas en los cultivos de un sistema típico del productor reduce el riesgo de erosión del suelo mejorando la estructura (aireación y capacidad de retención de agua), debido a su crecimiento radicular.

Esta estrategia no solamente mejora la calidad y producción de materia seca del forraje, la fertilidad del suelo, sino también la producción animal y las tasas de retención de proteína por los vacunos.

Estudiar el efecto de la *Leucaena leucophala* en el sistema silvopastoril intensivo sobre el mejoramiento de la estructura física del suelo, traducida en retención de agua y disposición de esta para la gramínea en asocio *Panicum máximum cv. Tanzania* para obtener mejores rendimientos productivos y de calidad nutricional, comparado con el sistema típico del productor; es de gran importancia para la ganadería local y regional generar información sustentable, principalmente para los que se ven afectados por el comportamiento errático del invierno, como es el caso del corredor seco del país y su mala distribución en los periodos de lluvia.

## IV. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la *Leucaena leucocephala* cv. *Cunningham*, en la retención de humedad en el suelo, producción y calidad nutricional del pasto *Panicum máximum* cv. *Tanzania* en el Sistema silvopastoril intensivo (SSPi) y en el sistema típico del productor (STP) en época de lluvia, en el municipio de Chiquimula, Chiquimula.

### 4.2 Objetivos específicos

1. Determinar la humedad disponible en el suelo para el desarrollo del pasto *Panicum maximum* cv. *Tanzania* en el sistema silvopastoril intensivo (SSPi) y en el sistema típico del productor (STP).
2. Determinar la producción y calidad nutricional del pasto *Panicum maximum* cv. *Tanzania* en el sistema silvopastoril intensivo (SSPi) y en monocultivo del sistema típico del productor (STP).

## **V. HIPÓTESIS**

La retención de humedad del suelo y el comportamiento productivo del sistema silvopastoril intensivo (SSPi) es mayor en al menos una de las variables evaluadas, comparado con el sistema típico del productor (STP).

## **VI. MARCO TEÓRICO**

### **6.1 Situación de la ganadería bovina nacional**

El inventario bovino de Guatemala reportado en el año 2003 era de 1.8 millones de cabezas aproximadamente. Sin embargo, en datos más recientes derivados de las encuestas agropecuarias 2005 y 2007, en un ejercicio de regresión estadística se deduce que el inventario ganadero de Guatemala podría alcanzar los 2.9 millones de cabezas, de las cuales el 49% son utilizadas para doble propósito (carne y leche), 35% son productoras de carne, y 16% son dedicadas a la producción especializada de leche (MAGA, 2012).

Se estima que la ganadería aporta unos 500 millones de dólares anuales en ingresos directos. Estos ingresos provienen de 1.4 millones de litros de leche producidos al día, además de medio millón de cabezas de ganado vendidas para carne (MAGA, 2012). Según el Banco de Guatemala, 2018 los indicadores económicos básicos son: El PIB de Guatemala es de \$70,421.8 millones de dólares. El sector agropecuario (PIBA), tiene un impacto en la economía nacional del 13.5% del PIB.

Existe la impresión de que la ganadería guatemalteca es una actividad de grandes productores, sin embargo, esta creencia se desvanece al comprobar que la mayoría de las fincas ganaderas tienen una extensión inferior a 40 hectáreas (Las fincas ganaderas en un 84% tienen menos de 40 Ha de extensión), así podemos afirmar que la producción del 98% de la leche del país proviene de hatos de menos de 50 vacas (MAGA, 2012).

Es indudable que, la actividad ganadera tiene un gran arraigo rural, ya que alrededor de ella se desarrollan miles de pequeñas empresas familiares, las que a su vez generan gran cantidad de empleos directos, únicamente superado por la actividad de producción de granos básicos (maíz y frijol), con la diferencia que su distribución territorial y de ingresos es mucho más amplia, asegurando su impacto social en la economía rural (MAGA, 2012).

En la última década, debido a los cambios del uso de la tierra y ante el avance de los cultivos intensivos de caña de azúcar, palma africana y hule en la costa sur, territorio ocupado tradicionalmente para el desarrollo ganadero; la ganadería migró a zonas de mayor fragilidad ambiental como el altiplano central, la planicie del Atlántico y el departamento de Petén, el que cuenta con suelo de origen cárstico, poco profundo y de limitada fertilidad, la ganadería siguió utilizando modelos de producción extensivos, provocando un impacto negativo en las superficies de las propias fincas (MAGA, 2012).

Adicionalmente las complicaciones que representan el cambio climático global, ha traído problemas de inestabilidad en los períodos de lluvia y cambios inesperados en la temperatura ambiental, teniéndose ahora períodos de sequías más extremos o períodos de concentración de lluvias más copiosos, lo que está provocando inundaciones en las zonas bajas que dañan el suelo por erosión en las zonas de pastoreo, disminuyendo así las cantidades de alimentos disponibles para el ganado, lo que a su vez provoca una sensible baja en la condición corporal del hato, lo que conlleva problemas de reproducción y falta de rentabilidad en las explotaciones ganaderas (MAGA, 2012).

## **6.2 Perspectivas de la ganadería bovina nacional**

### **6.2.1 Perspectiva económica**

A largo plazo, las perspectivas de la actividad ganadera son prometedoras, debido al aumento en la demanda de leche y carne, asociada en parte al crecimiento de la población y a un ligero mejoramiento de los ingresos per cápita. El consumo nacional anual per cápita de carne es de apenas 4 Kg; mientras que el de leche es de 56 litros al año, cifras que se encuentran muy por debajo de las recomendaciones de FAO y se ubicaría como uno de los consumos más bajos de América Latina, lo que convierte al propio mercado guatemalteco en un mercado de oportunidades (MAGA, 2012).

A pesar de lo anterior, la ganadería nacional en el futuro dependerá en gran medida de la capacidad que tenga el sector en asumir los retos de mejorar su competitividad y sostenibilidad, sin importar la escala de producción o la categoría del productor (MAGA, 2012).

Por otro lado, al revisar los datos de comercio exterior, específicamente los concernientes a las importaciones, podemos observar una erosión creciente de la balanza comercial guatemalteca dada por la compra de productos lácteos (US\$ 162 millones) y de carne bovina (US\$ 25 millones), para un total de US\$ 187 millones. Basado en estos datos, resulta atrayente la posibilidad de iniciar un proceso de sustitución de importaciones e incursionar en los mercados de oportunidad a nivel regional (MAGA, 2012).

### **6.2.2 Perspectiva ambiental**

Los pastos cultivados o naturales ocupan más de 1.3 millones de hectáreas en todo el país. Sabemos que la producción ganadera en Guatemala se desarrolla de una forma extensiva, con baja carga animal, con tendencia a establecer el monocultivo de pastos exóticos o mejorados y, a lo sumo, en asociación con una leguminosa, sin considerar la utilización de especies arbóreas con una población de ganado que se ha triplicado desde 1960 a la fecha. Desafortunadamente no se encuentran datos actualizados, pero se tiene la percepción de mantener un crecimiento discreto pero positivo (MAGA, 2012).

Los efectos en la biodiversidad ambiental de los lugares en donde se desarrolla alguna actividad ganadera son que dichos lugares se ven amenazados por la permanencia de este sistema de producción tan tradicional e inadaptado a las circunstancias actuales (MAGA, 2012).

Pensar en una nueva ganadería más responsable con la biodiversidad ambiental y la conservación del suelo es una premisa válida y oportuna. Por lo que se han desarrollado estudios y propuestas concretas sobre la mejora de pasturas degradadas, deforestación e introducción de sistemas de producción alternativos (MAGA, 2012).

### **6.2.3 Perspectiva social**

En los últimos cincuenta años la ganadería guatemalteca se ha expandido moderadamente; sin embargo, no ha estado ajena a la “revolución pecuaria”, motivada por el aumento del consumo de carne y productos lácteos (MAGA, 2012).

Sin embargo, los pequeños y medianos productores no participan directamente en éstos, ya que actúan al margen de la formalidad en mercados secundarios que no proporcionan suficiente estabilidad para su desarrollo (MAGA, 2012).

La ganadería familiar está ligada a esquemas de comercialización informales, pues desarrolla sus transacciones económicas mayoritariamente al contado o a través de sistemas de financiamiento extra bancario que son sumamente limitantes y onerosos (MAGA, 2012).

Otro gran reto que debe afrontar el ganadero familiar es su inclusión en los mercados comerciales de mayor valor agregado, ya que por lo general están condenados a comercializar por la vía de la intermediación, la cual representa un sobre costo que debe absorber el productor e indirectamente provoca un aumento de precios para los consumidores finales, con los efectos ya mencionados de disminución de consumo por parte de los más desposeídos (MAGA, 2012).

### **6.2.4 Perspectiva desde los índices de producción**

Es importante reconocer que la ganadería familiar en Guatemala está representada aproximadamente por 100,300 fincas, lo que representa el 94% del total de fincas ganaderas del país y el 48% del hato nacional (MAGA, 2012).

En relación con el consumo que la población guatemalteca tiene de productos ganaderos, éste es muy reducido, ya que se consumen apenas 4 Kg de carne de res por habitante al año, siendo el promedio regional de 10.5 Kg. El consumo de productos lácteos de la población, encontramos que éste llega únicamente a 56 litros al año por habitante; y al compararlo con el promedio regional de 120 litros, esto ubica a Guatemala entre los países con mayor grado de pobreza; esclareciendo, en parte, las deficiencias alimentarias de la población (MAGA, 2012).

Hay que aclarar que el consumo urbano es más del doble que el rural, lo que agudizaría la precaria situación nutricional de la población rural.

### **6.2.5 Perspectiva institucional**

La mayor parte de la producción ganadera de Guatemala se comercializa en la informalidad. Las cadenas productivas de carne y leche no son buenos ejemplos de la aplicación de principios de organización, control sanitario y cumplimiento de normativas fiscales o de inocuidad de los alimentos. El impacto que tienen las acciones del Gobierno en la ganadería nacional es muy lejano y poco relevante (MAGA, 2012).

Es necesaria la reestructuración de los servicios públicos a la ganadería, desde la capacidad del Estado de proporcionar educación y formación profesional, los servicios básicos para la producción (infraestructura pública y específica), hasta las medidas de vigilancia para lograr la transparencia de los mercados y el aseguramiento de la salud de la población (MAGA, 2012).

Por parte del sector privado actúan organizaciones en distintos ámbitos geográficos y de interés, así vemos que la mayoría de las organizaciones locales se centran, principalmente, en la actividad social, teniendo poca incursión en la producción y comercialización de sus productos, dejando un vacío importante para el desarrollo y mejoramiento de las condiciones de producción y sanidad en los hatos de los pequeños y medianos productores (MAGA, 2012).

### **6.3 Sistemas tradicionales de producción (STP)**

El modelo tradicional de producción ganadera se caracteriza por el uso generalizado de potreros limpios de malezas, no arborizados y sin cercas vivas y por el uso de pastoreo continuo a baja altura (Bernal, 2003, citado por Oñate, 2016).

Dicho sistema consiste en el pastoreo extensivo, donde se desarrollan prácticas culturales de manejo en animales y praderas, con el fin potenciar las capacidades productivas de la ganadería. La base productiva es el manejo de praderas de baja productividad (MAGA, 2012).

Los indicadores sociales señalan una aguda condición de pobreza y bajos ingresos económicos (Arias *et al.*, 1989, citado en Oñate, 2016).

Según Oñate (2016), el uso de sistemas tradicionales de producción genera desequilibrios en los ecosistemas debido al uso indebido de prácticas inadecuadas como talas, quemas, monocultivo, uso indiscriminado de plaguicidas y desecación de humedales, entre otras.

### **6.3.1 Características de los productores del sistema ganadero tradicional**

- El lema es: “Si funcionó con mis antepasados funcionará también conmigo”
- Para hacer potreros nuevos, se tala o incinera toda la vegetación que se encuentre a su paso. Si algo rebrota, se repite el procedimiento o se acude a la aplicación de herbicidas selectivos.
- “El concepto de “potrero” es un “desierto de pasto”. En un potrero no puede haber árboles, porque, eso le quita rendimiento al pasto y le reduce su productividad.
- “Se conoce la medida de su finca por el área del perímetro, pero casi ninguno sabe cuánto mide cada potrero al interior del predio”. No hay división de potreros convirtiéndolo en una ganadería extensiva.
- Se considera que mientras el potrero tenga algo verde hay comida suficiente para el ganado. Los productores no se preocupan por cuanto pasto produce el potrero, pues compensan con extensión de área. Estudios desarrollados en diferentes regiones del país, mediante aforos realizados por más de seis meses consecutivos, reportan que la producción promedio de un potrero de pastoreo por cosecha es inferior a 15 toneladas por Ha. y que el ganado a libre voluntad sólo aprovecha de esto entre un 30 y un 50%, y lo demás lo desperdicia, por mal manejo de la rutina de pastoreo.
- Aunque se aplica un sistema de rotación de potreros, donde algunos de ellos están ocupados mientras otros descansan, no se sabe manejar correctamente el concepto de rotación, pues no hay control ni respeto sobre los días de ocupación y descanso de cada potrero.

- Las pasturas nunca se desarrollan óptimamente, sino que permanecen “sabaneadas”, es decir, de un porte muy bajo y así mismo, un muy bajo rendimiento en cada cosecha.
- Cargas animales muy bajas por unidad de superficie. En la ganadería tradicional las cargas animales no logran pasar de 4 cabezas por ha, lo cual, es muy escaso, y más común entre los ganaderos de leche que en los de carne.
- La carga animal del predio se calcula al ojo. El ojo es subjetivo y engañoso. No es el ganadero ni el mayordomo según su acomodo, quien debe decidir cuántos animales ocuparán el potrero y/o por cuánto tiempo. Eso lo debe decidir la disponibilidad de pasto al momento de ingresar los animales.
- El ganadero tradicional le entrega todo el poder a un mayordomo. Generalmente, esta persona no completó sus estudios, y su experiencia es totalmente empírica (Ruiz *et al.*, 2012, citado en Salazar, 2018).

### **6.3.2 Desventajas de los STP**

- Sistemas principalmente de pastoreo extensivo con monocultivo de gramíneas, los cuales producen bajos rendimientos de forraje y son de deficiente calidad, sobre todo en la época de secas (Bacab *et al.*, 2013).
- Son sistemas de producción asociados con problemas de deforestación, degradación del suelo, escasez del agua, alteraciones en el clima y baja productividad (Bellido *et al.*, 2001, citado en Bacab *et al.*, 2013).
- Tiene una marcada estacionalidad en la producción y disponibilidad de las pasturas, principalmente en la época seca del año lo cual no permite obtener niveles aceptables de producción de leche y carne (Lamela *et al.*, 2005, citado en Bacab *et al.*, 2013).

## 6.4 Sistema silvopastoril

Para Acero y Novoa (2014), un sistema silvopastoril es el que permite que los componentes (árboles forestales, pasturas y animales de producción), se ubiquen bajo un esquema de manejo racional integral, que tienda a mejorar a mediano o largo plazo, la productividad, la sustentabilidad y amabilidad con el medio ambiente de la explotación; todo ello, teniendo en cuenta las disímiles condiciones y los tiempos de producción de los diversos componentes.

Así también se puede definir como "aquel sistema de uso de la tierra donde las leñosas de aptitud forestal crecen en asociación con hierbas de valor forrajero y animales (domésticos y/o silvestres), en un arreglo espacial y temporal, con múltiples interacciones ecológicas y económicas entre los componentes del sistema" (Young, 1989, citado en Acero y Novoa, 2014).

### 6.4.1 Ventajas y desventajas del sistema silvopastoril

Los sistemas silvopastoriles proporcionan beneficios económicos, sociales y ecológicos (Salazar, 2018):

- **Beneficios económicos**  
Permite mayor estabilidad de la producción, reduciendo la dependencia y gastos de insumos extras por los ganaderos, obteniendo con ellos un alimento de calidad por su alto contenido de proteínas, a bajo costo para el ganado. Diversifican los ingresos en las fincas ganaderas.
- **Beneficios sociales**  
Garantizan la seguridad alimentaria, por lo que mejora la calidad de vida y permiten reducir la migración a centros urbanos y venta de propiedades, debido al mayor sentido de pertenencia de la familia de la finca.
- **Beneficios ecológicos**  
Protegen el suelo, permitiendo el reciclaje de nutrientes por medio del secuestro de carbono, y desarrollan una restauración ecológica de pasturas degradadas.

Permiten una mayor estabilidad ante el cambio climático debido a que protegen las fuentes de agua, reducen la tala de bosques y facilitan la conservación de la biodiversidad.

- **Desventajas**

Según Villanueva y colaboradores (2010, citado por Salazar, 2018) cuando no se cumplen algunos con factores de diseño espacial, la selección de especies de pasto y árboles compatibles para las condiciones agroecológicas del sitio, el manejo silvicultural de los árboles, el manejo de los pastos y de los animales, los sistemas silvopastoriles pueden presentar una serie de limitantes que se señalan a continuación:

- Fuerte competencia entre las especies leñosas y herbáceas por luz, agua y nutrimentos; lo que puede resultar en una disminución de las productividades del sistema.
- Cuando existen pocos árboles en los potreros, mal distribuidos, sin manejo de sombra y alta carga animal, estas áreas tienden a ser degradadas.
- Es posible que las leñosas puedan intoxicar al ganado.

## 6.5 Tipos de sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles según su distribución espacial se pueden clasificar en sistemáticos y no sistemáticos. Los primeros tienen un arreglo espacial uniforme en el terreno, generalmente plantados por el hombre; mientras los del segundo grupo presentan una distribución heterogénea en general proceden de la regeneración natural (Villanueva *et al.*, 2010, citado en Salazar, 2018).

Existen muchas posibles combinaciones de plantas leñosas perennes con pasturas herbáceas y animales, lo que da lugar a diferentes tipos de sistemas silvopastoriles, el cual está orientado a obtener un beneficio económico, social o ecológico de las interacciones entre todos los componentes (Tabla 1).

**Tabla 1. Clasificación de las diferentes opciones de sistemas silvopastoriles**

- 
- Cercas vivas
  - Bancos forrajeros de leñosas
  - Cortinas rompe vientos
  - Pasturas en callejones de especies leñosas
  - Pasturas en plantaciones de frutales
  - Pasturas en plantaciones forestales
  - Árboles dispersos en potreros
  - Pastoreo en tacotales o charrales
  - Sistema silvopastoril intensivo
- 

Fuente: (Villanueva et al., 2010, citado en Salazar, 2018)

## **6.6 Sistema silvopastoril intensivo (SSPi)**

Los SSPi son una modalidad de los sistemas agroforestales que se caracterizan por la presencia de altas densidades (30,000 plantas/Ha) de arbustos forrajeros como *L. leucocephala*, asociados a pastos mejorados de alta producción de biomasa bajo modelos de pastoreo rotacional intensivo (Bacab *et al.*, 2013).

Según Fundación Produce Michoacán (2011, citado en Bacab *et al.*, 2013), los SSPi se caracterizan por:

- Diversidad de especies
- Altas densidades de arbustos forrajeros
- Pastos mejorados de alta producción y calidad
- Alta carga animal (producción carne y leche)

### **6.6.1 Ventajas del sistema silvopastoril intensivo**

El SSPi ofrece forraje de alta calidad nutricional para la producción de carne, leche y crías sin demandar fertilizantes de síntesis química para su mantenimiento siempre que sea bien manejado.

Las principales ventajas que se reflejan en mayor productividad, competitividad, protección del medio ambiente y desarrollo social se resumen así, según Murgueito y colaboradores (2016):

- **Ventajas productivas y económicas del SSPi**

- Buen crecimiento, tolerancia a sequía y adaptación al ramoneo.
- Alta producción de biomasa forrajera de buena calidad permite cargas animales iguales a tres animales grandes (450 kg cada uno) por hectárea por año
- Ofrece buena rentabilidad financiera para pequeños, medianos y grandes productores (tasas internas de retorno –TIR- entre 14% y 25%) sobre el capital invertido por hectárea para el establecimiento, que es lo más costoso.
- Reduce el estrés calórico al mantener la temperatura ambiente hasta 7°C durante el periodo seco

- **Ventajas ambientales del SSPi**

- Conserva la cobertura del suelo durante todo el tiempo y reduce al mínimo el proceso erosivo superficial por acción del agua y el viento.
- La presencia de un complejo sistema de raíces de todos los tamaños a diferentes profundidades y las cargas animales instantáneas evitan la compactación del suelo.
- Por la elevada fijación de nitrógeno atmosférico, por mejorar el contenido de materia orgánica en el suelo, la producción de biomasa leñosa de los maderables y las menores emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) que generan los rumiantes.
- Se considera un sistema productivo con elevada resiliencia ante el cambio climático ya que soporta mejor el pastoreo sin árboles, las temporadas extremas de sequía, lluvias torrenciales ofreciendo alimentos y confort a ganados de cría, doble propósito, leche o carne especializada.

## 6.7 Asocio de gramíneas y leguminosas

Las asociaciones de gramíneas con Leguminosas, se puede definir como la interrelación armónica y equilibrada entre dos o más especies, de gramíneas y leguminosas (Sánchez, 2001).

Estas asociaciones se pueden realizar con leguminosas nativas, que se encuentran en el pastizal o con especies introducidas y aprobadas (Sánchez, 2001).

Existe una diversidad de leguminosas que se utilizan en los sistemas silvopastoriles, sin embargo, las más utilizadas en estos sistemas son las leguminosas arbóreas ya que se caracterizan por tener un gran potencial de uso, no solo como una excelente fuente de proteína para los animales en época seca, sino también por su gran capacidad que poseen como fijadores de nitrógeno y reguladoras de la fertilidad del suelo (Bueno y Camargo, 2015).

Estos socios, en los sistemas silvopastoriles intensivos tienen varios beneficios tanto para el animal, como para el suelo y el pasto en asocio. Como se muestra en la reseña realizada por Alonso, (2011); los socios generan varios servicios ambientales como, incremento de la producción y calidad de las pasturas, restauración de suelos degradados, mejoramiento de los recursos hídricos, secuestro de carbono y de gases con efecto invernadero y conservación de la biodiversidad.

Los socios entre leguminosas y gramíneas son de gran importancia, debido que ayudan a contrarrestar uno de los factores limitantes que mayor relevancia tienen para una alta producción de forraje, que es la baja fertilidad de los suelos, principalmente en cuanto al contenido de nitrógeno. Por esta razón, la asociación de leguminosas con gramíneas es una excelente alternativa dada la capacidad que tienen las primeras en fijar nitrógeno atmosférico y ponerlo a la disposición de los pastos asociados, logrando de esta forma una mayor producción de forraje (Buitagro- Guillen *et al.*, 2018).

Diversos estudios han arrojado resultados favorables para asociaciones de *Panicum maximun*, *Pennisetum clandestinum*, *Paspalum fasciculatum*, *Digitaria decumbens*, *Homolepis aturensis* y king grass con *Erythrina poeppigiana*, *Pithecolobium saman*, *Erythrina poeppigiana*, *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium* (Sánchez, 2001).

## **6.8 Cultivo de Leucaena (*Leucaena leucocephala*).**

La *Leucaena leucocephala* es un árbol tropical de larga vida que requiere temperaturas entre 20 y 30 °C para su crecimiento. Es una especie originaria de Centro América (Nicaragua, Guatemala, Honduras y El Salvador) y de la Península de Yucatán (Murgueito *et al.*, 2016).

Existen 22 especies de *Leucaena*, 6 variedades y 2 híbridos naturales. Los cultivares de *Leucaena* se han clasificado en tres grupos, de acuerdo con el tamaño, al hábito de crecimiento y a las diferencias en la producción de madera y forraje: tipo Hawaiano, tipo salvadoreño y tipo peruano (Murgueito *et al.*, 2016).

Actualmente, los cultivares de *Leucaena* recomendadas para los SSPi son las de tipo Cunningham. (Murgueito *et al.*, 2016). Se recomienda este tipo, generada por cruce de los tipos Perú (arbustiva) con tipo Salvador (arbórea) debido a que tiene alta capacidad de rebrote después del ramoneo, responde muy bien a las podas severas, sus tallos son flexibles lo que disminuye el desgarre de las ramas, tiene buena palatabilidad y contiene baja concentración de mimosina (Uribe *et al.*, 2011).

### **6.8.1 Características botánicas**

Al año de establecida alcanza 1,50 m de altura, con 15 a 20 ramas/planta. Puede fijar hasta 500,0 kg de N/ha/año (EcuRed, s.f).

### **6.8.2 Rendimiento y composición química**

Produce de 7 – 25 t de MS/ha/año, su contenido de proteína cruda oscila de 12 a 25% y la digestibilidad de 65 – 85%, tiene alto contenido de vitamina A. Por su alta calidad, en animales que pastorean o consumen *Leucaena* en la dieta, se obtienen ganancias de peso hasta 700 g/animal/día (EcuRed, s.f).

La madera ha sido un producto adicional valioso en sistemas de pequeños productores, aunque por su baja densidad su calidad no es buena, pero puede ser usada industrialmente para pulpa y energía (Parrota, 1992, citado en Salazar 2018).

## **6.9 Gramíneas forrajeras**

### **6.9.1 Tanzania (*Panicum máximum* cv. Tanzania)**

La guinea mejorada (*P. máximum* cv. Tanzania), es una gramínea tropical que ha sido seleccionada por su alto rendimiento y calidad nutricional (Flores, 2012).

Sus principales características son su tolerancia al pisoteo y a la sequía. Es alta productora de forraje, así como también de buena calidad nutritiva, palatabilidad y digestibilidad. Presenta una alta capacidad de rebrote y su producción promedio de forraje a los 32 días de rebrote es de 4.2 t MS/ha en la época seca y de 11.3 t en la época de lluvia, en promedio produce 7.7 t MS/ha, que equivale a 242 kg Ms/ha/día; mientras que su calidad nutritiva a esta edad es de 12 % de proteína cruda con una digestibilidad in vitro de materia seca de 72 % (Lobo y Díaz, 2001, citados en Salazar, 2018).

Para el mantenimiento de la pradera, se recomienda aplicar anualmente 100 kg/ha de Nitrógeno y 60 kg/ha de Fósforo. El Nitrógeno no es necesario si el Tanzania está en asociación con leguminosas. Materia verde: 70 - 80 t/ha/año Materia seca: 20 - 25 t/ha/año Proteína cruda: 12 - 15 %. Carga animal: 2 - 3 cabezas/ha en época de secas y 3 - 5 cabezas/ha en época de lluvias. Pastoreo inicial a los 90 - 120 días después del establecimiento (Flores, 2012).

## **6.10 Suelo**

El suelo es un sistema vivo, heterogéneo y dinámico que incluye componentes físicos, químicos, biológicos y sus interacciones. Por lo tanto, para evaluar su calidad resulta necesario la medición y descripción de sus propiedades (Luters y Salazar, 1999, citados en Vallejo-Quintero, 2013).

### **6.10.1 Calidad del suelo**

La definición más completa y mundialmente aceptada define la calidad como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sustentar la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat (Doran y Parkin, 1994, citados en Vallejo-Quintero, 2013).

La calidad del suelo depende de un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales, de acuerdo con su variabilidad espacial y temporal, sensibilidad a cambios de uso y manejo del suelo, clara discriminación entre los sistemas de manejo, rápida respuesta al cambio y facilidad en su interpretación y ejecución, pueden ser utilizadas como indicadores de calidad (Gil-Stores *et al.*, 2005, De la Rosa, 2005, Cantú *et al.*, 2007, citados en Vallejo-Quintero, 2013).

Los indicadores de calidad se clasifican en cuatro categorías: indicadores visuales, físicos, químicos y biológicos. Los indicadores físicos están relacionados con el tamaño, la disposición y el arreglo de las partículas del suelo (Vallejo-Quintero, 2013).

Los más relevantes son la porosidad, la densidad aparente, la resistencia a la penetración, la capacidad de retención de agua, la conductividad hidráulica, la estabilidad y el tamaño de los agregados, la profundidad y la textura. Estos indicadores reflejan primordialmente limitaciones en el crecimiento de raíces, emergencia de plántulas, infiltración o movimiento de agua dentro del perfil del suelo, retención, transferencia y reciclaje de nutrientes, e intercambio óptimo de gases (Luters y Salazar, 1999, Schoenholtza *et al.*, 2000, citados en Vallejo-Quintero, 2013).

### **6.10.2 Capacidad de campo**

Se considera a la capacidad de campo como una de las constantes de humedad de mayor interés agrícola, porque indica la cantidad máxima de agua que retienen los suelos contra la fuerza de la gravedad y que su exceso puede ser perjudicial tanto para las plantas como para el suelo (Zotarelli *et al.*, 2013).

- **Humedad del suelo**

El contenido de humedad del suelo es una de las variables de la superficie terrestre que relaciona las interacciones entre la superficie y la atmósfera en diversas escalas espaciotemporales. Esto obliga a considerar diferentes aspectos del suelo mismo para establecer el balance de agua: el contenido de humedad del suelo y su variación en el tiempo, el movimiento del agua a través del suelo y el proceso de infiltración (Arnell, 2002, citado en Torres *et al.*, 2014).

La humedad del suelo se refiere a la cantidad de agua almacenada en la zona no-saturada, donde el suelo está formado por diferentes capas u horizontes (perfil de suelo) cada uno con diferentes propiedades. Puesto que las propiedades del suelo varían en función de la profundidad y del tipo de roca que lo forma, así como el tiempo en el cual el suelo se ha desarrollado, los procesos que inciden en él están relacionados principalmente por el clima. Al ser la humedad del suelo una de las variables principales del ciclo del agua, su papel en la hidrología y meteorología es fundamental (Arnell, 2002, citado en Torres *et al.*, 2014).

En el caso de la hidrología, la humedad del suelo controla: escurrimiento, infiltración, almacenamiento y drenaje y es determinante en el agua que se pierde a la atmósfera a través de la evapotranspiración del suelo incluyendo la transpiración de la vegetación presente y la evaporación de los suelos desnudos (Torres *et al.*, 2014).

- **Capacidad de retención del agua en el suelo**

La capacidad de retención de agua en el suelo está vinculada con la cantidad de poros de este, de manera que según el tamaño y forma de los poros el suelo tendrá mayor o menor capacidad de retención de agua (Zotarelli *et al.*, 2013).

La porosidad es la medida del volumen de huecos que hay en todo el suelo. En estos huecos o poros el agua puede quedar retenida durante periodos largos de tiempo, permitiendo que las plantas absorban los nutrientes que transporta (INTAGRI, 2017).

- **Agua disponible en el suelo para las plantas**

El suelo desde el punto de vista agrícola constituye la principal reserva de agua para el crecimiento de las plantas y es el almacenamiento regulador del ciclo hidrológico a nivel de cultivo. Así también se puede definir como el agua retenida entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Por lo que es la máxima cantidad de agua que la planta puede disponer para su absorción en determinado perfil (Facultad de Agronomía, 2015).

## **6.11 Interacciones ecológicas en el sistema silvopastoril**

En un sistema silvopastoril, se da lugar a interacciones ecológicas de mutualismo y competencia, que ocasionan distintos efectos dependiendo de las características ambientales, del componente leñoso, la distribución espacial de los diferentes componentes del sistema y la evolución temporal (Fernández, 2003, citado en Oñate, 2016).

### **6.11.1 Interacciones benéficas**

El incremento de la productividad y sostenibilidad ambiental del sistema de ganadería se puede lograr por la incorporación del componente leñoso de la investigación sobre los efectos de la incorporación del componente leñoso en estos sistemas y de las interacciones ecológicas y/o económicas entre los componentes árbol-pastura-animal (Oñate, 2016).

- **Interacción árbol – suelo**

La presencia de árboles y/o arbustos puede contribuir a mejorar la productividad del suelo y por ende favorecer el desarrollo del pasto. Algunas de estas relaciones son: la fijación de nitrógeno, reciclaje de nutrientes, mayor eficiencia de uso de nutrientes, mantenimiento de la materia orgánica y control de la erosión (Oñate, 2016).

Esta interacción mejora la disponibilidad de nutrientes que no son disponibles a las raíces superficiales del pasto, por medio del aporte de hojarasca, manteniendo el aporte de materia orgánica y la fertilidad del suelo (Espinoza y Obispo, 2005, citados en Oñate, 2016).

En un sistema silvopastoril, al igual que las pasturas las especies leñosas también pueden contribuir a contrarrestar la erosión. En este aspecto; la mayor contribución en el control de la erosión probablemente ocurre a través del incremento en el contenido de materia (Oñate, 2016).

- **Interacción agua-suelo-planta**

La cantidad variable de agua contenida en una unidad de masa o de volumen del suelo y el estado de energía del agua en el mismo son factores que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, de ahí lo necesario de su conocimiento. Sin una descripción adecuada de la relación suelo-agua, no es posible después estimar correctamente el comportamiento del cultivo (Mahdian y Gallichand, 1996, citados en Pérez, 2014).

De Santa Olalla y De Juan, por el contrario, señalaron que el agua utilizable no está demasiado correlacionada con la textura y aunque generalmente los suelos de texturas gruesas suelen poseer los valores más pequeños del intervalo de humedad disponible, pueden darse casos de suelos con texturas fuertes con menos cantidad de agua utilizable que suelos de textura media, así como que los aportes de materia orgánica pueden incrementarla. Lo que verdaderamente influye en los procesos de transpiración y crecimiento, es la tensión hídrica de la planta, que no sólo depende de la tensión hídrica del suelo, sino también de la demanda atmosférica del agua (Pérez, 2014).

- **Interacción suelo- planta – animal**

La interacción consiste en que el suelo provee los elementos necesarios para el crecimiento de las plantas: el agua y todos los elementos minerales. En un gran número de casos, si el nivel de estos elementos (nitrógeno, fósforo) o su disponibilidad no son suficientes, el crecimiento de las plantas disminuye. Por otro lado, hay suelos en los cuales el contenido excesivo de ciertos elementos los vuelve tóxicos para las plantas. Una función adicional del suelo es la de sostén de los vegetales (INTAGRI, 2017).

Las plantas emplean energía solar, el anhídrido del aire, el agua y los minerales para formar sus tejidos. En las leguminosas, los nódulos de la raíz fijan el nitrógeno del aire del suelo y lo convierten en aprovechable por las plantas. La planta actúa a su vez como fuente de recursos para el suelo, abasteciéndolo de materia orgánica y minerales (descomposición de parte aérea y raíces) (Baguet y Bavera, 2001).

Los tejidos vegetales proveen al animal los elementos nutritivos para mantener su vida y los procesos productivos. El animal puede actuar perjudicialmente sobre la pradera por lo menos de las siguientes formas:

- Por pisoteo el animal compacta el suelo, disminuyendo la aireación e infiltración de agua. El pisoteo provoca lesiones a las plantas. Además del daño a la planta en sí, dichas lesiones significan una disminución del forraje cosechable.
- Por alteración del balance natural entre especies por selectividad.
- Por alteración en el crecimiento de las plantas por deyecciones (Baguet y Bavera, 2001).

Pero, por otra parte, el animal actúa como elemento mejorador de la fertilidad si se maneja por medio de rotaciones (Baguet y Bavera, 2001).

## 6.12 Resultados experimentales relacionados

En la reseña realizada por Alonso (2011) que trata sobre los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente describe que, entre los beneficios de la inclusión de árboles en las pasturas se halla el mejoramiento de las micropresas, al facilitar la infiltración del agua y la recarga de los acuíferos. Sin embargo, según Beer *et al.*, (2003) el servicio ambiental hídrico es el menos estudiado en la actividad ganadera.

Estudios de Nepstad y colaboradores (2002, citados en Alonso, 2011), señalan que, durante una severa temporada seca en Brasil, la disponibilidad de agua, a una profundidad de 2 - 8 m, disminuyó de 380 mm en el bosque a 310 mm en la pastura degradada.

La disminución en la disponibilidad de agua en el suelo de la pastura degradada significa que el ecosistema almacena menos precipitación con respecto al bosque, y existe menor filtración a los acuíferos o escorrentía subsuperficial a los arroyos en la época lluviosa. Al final de la época seca, el bosque puede almacenar, adicionalmente, 770 mm de agua en los primeros 8 m del suelo, comparados con los 400 mm en la pastura (Alonso, 2011). Esto significa que, en el paisaje con dominancia de pasturas, la escasez de agua puede convertirse en un punto crítico, especialmente en las regiones áridas o semiáridas.

En relación con la retención de humedad en el suelo por efecto de las leguminosas, las leguminosas mejoran la fertilidad del suelo, lo protegen de la erosión y ayudan a controlar malezas. En pendientes fuertes, esta práctica debe combinarse con otras medidas de conservación de suelos y agua, como barreras vivas o acequias de infiltración (SICTA, s.f).

La cobertura viva de la leguminosa mejora la infiltración de las aguas de lluvia. En los suelos compactados de baja infiltración es recomendable introducir prácticas adicionales como barreras vivas y acequias, para mejorar la infiltración y controlar el escurrimiento del agua de lluvia (SICTA, s.f).

Reduce el impacto de las lluvias sobre el suelo, mejora la infiltración y mantiene mejor la humedad. Este efecto se siente cuatro semanas después de la siembra de la leguminosa (SICTA, s.f).

Por otro lado en la investigación realizada por Salazar (2018) de la comparación del sistema silvopastoril intensivo y el sistema típico del productor demuestra que del rendimiento de proteína cruda en los dos sistemas evaluados, demuestra que existe diferencia significativa ( $P<0.01$ ) entre el SSPi comparado con STP, siendo mayor el SSPi con un promedio de 3762.98 Kg PC/ha, comparado con el STP que obtuvo una promedio de 791.91 Kg/PC/ha, siendo este último, muy inferior al SSPi.

Así también, Salazar encontró que el rendimiento de energía digestible mostró un comportamiento diferente entre tratamientos. Lo cual indica que existe diferencia significativa ( $P<0.01$ ) entre el SSPi comparado con el STP, siendo mejor el SSPi en rendimiento con una media de 69,520.09 Mcal/ha comparado con el STP que obtuvo una media de 22,063.75 Mcal/ha.

## VII. MARCO METODOLÓGICO

### 7.1 Localización geográfica

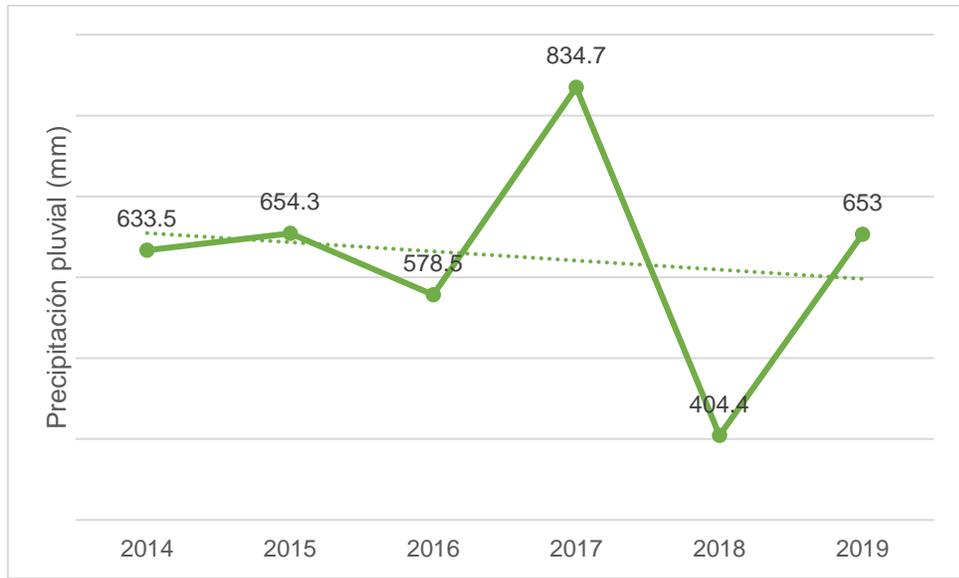
La presente investigación se realizó en el municipio de Chiquimula, departamento de Chiquimula, específicamente en la vega de la Granja Experimental El Zapotillo, de la Carrera de Zootecnia del Centro Universitario de Oriente. Cuenta con una extensión aproximada de 9.12 hectáreas, se encuentra a una altitud de 360 msnm sobre las coordenadas 14°40'46" Latitud Norte y 89°31'18" Longitud Oeste.

Según el sistema de clasificación de Holdridge la finca El Zapotillo se sitúa en la zona de vida de Bosque seco subtropical con estrecha relación edáfica seca húmeda (Salguero, 2004, citado en Salazar, 2018).

De acuerdo con Salguero, (2014, citado por Salazar 2018), en el área se registran precipitaciones promedio de 825.5 milímetros anuales, temperatura máxima de 39 °C y una mínima de 16.3 °C una humedad relativa de 60% en época seca y un 75% en época lluviosa.

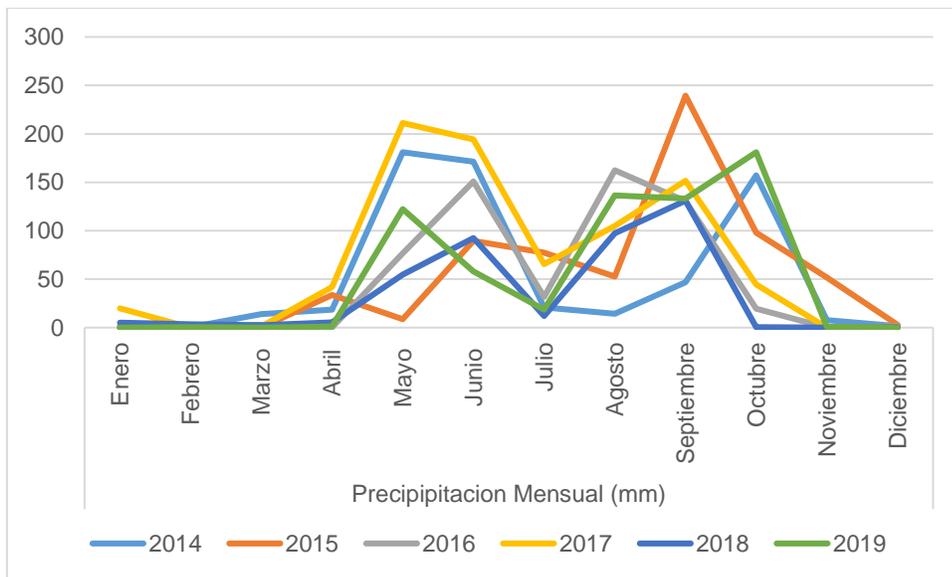
El suelo de la vega se clasifica en los de tipo aluvial no diferenciado, de serie miscelánea los cuales son utilizados para la explotación de diversos cultivos como hortalizas, cultivos limpios, frutales, gramíneas de corte, entre otras, ya que presentan una alta fertilidad y condiciones adecuadas para su establecimiento. Son terrenos casi planos cuya pendiente es muy leve, aproximadamente del 1%, lo que hace que sea un terreno arable para usos sin limitaciones (Salguero, 2004, citado en Salazar, 2018).

Según los datos registrados por la estación meteorológica SIG – CUNORI (2019) (Anexo 11), la precipitación pluvial en el último año 219 fue de 653 mm como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Precipitación anual del 2014 al 2019 en Chiquimula, Chiquimula  
 Fuente: Sistema de información geográfica – CUNORI, 2019

Así también, se puede observar en la figura 2 el comportamiento de la época lluviosa en los últimos años, siendo los meses más lluviosos abril, mayo, junio y agosto, septiembre y octubre.



**Figura 2.** Comportamiento de la época lluviosa del año 2014 al 2019 en Chiquimula, Chiquimula  
 Fuente: Sistema de información geográfica – CUNORI, 2019

## 7.2 Unidad experimental

### 7.2.1 Sistema silvopastoril intensivo (SSPi)

La parcela bruta del SSPi, donde se realizó la investigación, posee 64 metros de largo por 64 metros de ancho, haciendo un área total de 4,096 metros cuadrados, con 40 surcos o hileras a 1.6 metros entre surco de *Leucaena*, la cual está sembrada a 0.25m por planta (25,000 plantas/Ha) en los cuales está establecida la *Leucaena leucocephala* cv. *Cunningham*, en medio de los cuales tiene establecidos los surcos de las gramíneas (*Panicum máximum* cv. Tanzania; *Cynodon nlenfuensis*) (Salazar, 2018).

### 7.2.2 Sistema típico del productor (STP)

El sistema típico del productor (STP), corresponde a un potrero de pastoreo utilizado por la administración de la granja pecuaria el Zapotillo, el cual se utilizó como testigo, cuya área corresponde a 4,096 metros cuadrados, establecidos de la gramínea *Panicum máximum* cv. Tanzania.

## 7.3 Tratamientos

T1. Sistema silvopastoril intensivo -SSPi- (*Leucaena leucocephala* var. *Cunningham* + *Panicum maximum* cv. Tanzania)

T2. Sistema típico del productor –STP- (*Panicum maximum* cv. Tanzania).

## 7.4 Materiales

### 7.4.1 Biológicos

Se utilizó una población conformada por el sistema silvopastoril intensivo (SSPi) correspondiente al asocio de *Leucaena leucocephala* cv. *Cunningham* + *Panicum maximum* cv. Tanzania + pasto Estrella *Cynodon nlenfuensis*. Y además, el Sistema típico del productor (STP), establecido con *Panicum maximum* cv. Tanzania. Como muestra se consideraron los estratos suelo, pasto Tanzania del SSPi y los estratos suelo y pasto del STP.

### **7.4.2 Equipo**

Para la recolección de las muestras de suelo se utilizó un pujaguante, una barra, una pesa de reloj de una capacidad de 100 libras, bolsas plásticas de arroba, una balanza digital con una capacidad de 700g con una precisión de 1g y 1 horno de aire forzado para la deshidratación de las muestras.

Para la recolección de muestras de pasto se utilizó, un machete para el corte del pasto, una balanza de 700 gramos con una precisión de 1 gramo, una balanza analítica, una balanza de reloj con una capacidad de 25kg, un horno de aire forzado, equipo Kjeldahl para el análisis de proteína cruda, digestor de fibras, equipo para extracción de grasas y Mufla (600°C).

### **7.5 Variables evaluadas**

Las variables evaluadas en la investigación para determinar si existe o no diferencia significativa entre las medias obtenidas del SSPi y el STP, para comparar la retención de humedad en el suelo (%), los rendimientos productivos del pasto Tanzania y su calidad nutricional, son de tipo cuantitativo; su descripción y sistematización se muestran en las tablas 2 y 3.

**Tabla 2. Variables evaluadas en el suelo del SSPi y STP**

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
Agua disponible	Cantidad de agua disponible para el crecimiento de las plantas y se encuentra entre la Capacidad de Campo y el Punto Permanente de Marchitez	Cuantitativa	Retención de humedad en el suelo	%
Punto de marchitez permanente	Se refiere al contenido de agua de un suelo, pero ésta no es disponible para la planta (15 atm)	Cuantitativa	Retención de humedad en el suelo	%
Capacidad de campo	Se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado pero que es disponible para la planta (1/3 atm)	Cuantitativa	Retención de humedad en el suelo	%
Precipitación pluvial diaria	Cantidad de agua que cae en un día.	Cuantitativa	Retención de humedad en el suelo	%

Fuente: Elaboración propia, 2021

**Tabla 3. Variables evaluadas en el pasto Tanzania en el STP y SSPi**

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala de medición</b>
Materia verde	Cantidad de forraje producido por un pasto	Cuantitativa	Rendimiento de Materia verde	Tm/Ha
Materia seca	Parte que queda de una muestra de forraje verde luego de ser deshidratado.	Cuantitativa	Rendimiento de Materia seca	Tm/Ha
Proteína Cruda	Se refiere al porcentaje de proteína que tiene un alimento	Cuantitativa	Rendimiento de Proteína cruda	Kg/Ha
Fibra cruda	Son todas aquellas sustancias orgánicas no nitrogenadas del forraje	Cuantitativa	Rendimiento de Energía digestible	Mcal/Ha
Total, de nutrientes digestibles	Es un estimado que indica el valor energético relativo de un alimento hacia el animal	Cuantitativa	Rendimiento de Energía digestible	Mcal/Ha
Fibra neutro detergente	Representa los componentes de la pared celular de las plantas, como celulosa, hemicelulosa y lignina.	Cuantitativa	Rendimiento de Energía digestible	Mcal/Ha
Fibra ácido detergente	Representa los componentes de la pared celular de las plantas compuestas por celulosa ligada a la lignina.	Cuantitativa	Rendimiento de Energía digestible	Mcal/Ha

Extracto etéreo	Es la fracción de lípidos que contiene un alimento.	Cuantitativa	Rendimiento de Energía digestible	Mcal/Ha
Cenizas	Corresponde a la porción inorgánica del forraje, principalmente los minerales esenciales.	Cuantitativa	Rendimiento de Energía digestible	Mcal/Ha
Extracto libre de nitrógeno	Porción del alimento que incluye los carbohidratos más solubles.	Cuantitativa	Rendimiento de Energía digestible	Mcal/Ha
Energía Digestible	Energía contenida en los compuestos orgánicos digeridos por el animal.	Cuantitativa	Rendimiento de Energía digestible	Mcal/Ha

---

Fuente: Elaboración propia, 2021

## **7.6 Metodología**

### **7.6.1 Selección de los sitios de muestreo**

Se seleccionaron 12 sitios de muestreo utilizando el método de muestreo no probabilístico, considerando los estratos suelo y pasto (Tanzania) para el Sistema silvopastoril intensivo (Figura 5A) y el sistema típico del productor (Figura 6A).

Cada sitio de muestreo, la parcela neta estuvo constituida por un rectángulo de 1.6 metros de ancho por 2 metros de largo para construir un área de muestreo de 3.20 m<sup>2</sup>, en la cual se efectuó el muestreo de suelo para la determinación de agua disponible, la muestra del pasto Tanzania para la determinación de biomasa disponible y para la determinación de nutrientes en forraje, a nivel de laboratorio.

### **7.6.2 Corte de nivelación**

Se realizó un corte de nivelación en ambos tratamientos o sistemas, para iniciar con la recolección de muestras para análisis bromatológicos y evaluación de rendimientos productivos; realizando tres repeticiones en cada sistema, recolectando muestras del pasto Tanzania a los 35 días, 45 días y 56 días después del corte.

### **7.6.3 Frecuencia de muestreo**

Para la colección de las muestras de suelo se utilizó un intervalo de 5 y 10 días después de cada lluvia, considerando una precipitación mayor o igual 4mm y se realizaron 3 réplicas o momentos de muestreo. Cuando el período de sequía era interrumpido por otra lluvia se tomó la siguiente muestra, siempre a los 5 días después de la lluvia.

Se tomó dicha precipitación mínima debido a que, según estudios de Solano *et al.*, (2014) los requerimientos totales de agua en cuanto a evapotranspiración para las condiciones de Agustín Codazzi (Cesar) de las gramíneas king grass verde, king grass morado, elefante y maralfalfa, en épocas de sequía, fueron en su orden de 327, 323, 322 y 342 mm, en un período de 70 días entre dos cortes; entre tanto, en época de lluvias, en el mismo período, fueron de 297, 296, 295 y 317,8 mm, respectivamente.

La toma de muestras del pasto Tanzania se efectuaron a los 35 días, 45 y 56 días después del corte de nivelación, para cada uno de los tratamientos o sistemas.

#### **7.6.4 Recolección de datos**

- **Muestreo de suelo**

1. Para determinar el porcentaje de humedad en el suelo a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente se tomaron 6 muestras para formar una muestra compuesta de 2 kg de suelo, tanto para el STP como para el SSPi. Cabe resaltar que estas muestras fueron tomadas antes de iniciar con la medición del porcentaje de humedad después de la lluvia (Figura 7A), las cuales se enviaron al laboratorio de suelos plantas y aguas (ANALAB) de la Asociación Nacional del Café (ANACAFE) para realizar la curva de retención de humedad en cada uno de los sistemas (Anexo 8).

El análisis se realizó mediante el método de olla de Richards, el cual consiste en la medición del porcentaje de humedad del suelo que hay entre la capacidad de campo (a una presión de  $1/3$  de atmósferas atm) y el punto de marchitez permanente (a una presión de 15 atm). Dicho análisis se tomó de referencia para comparar el porcentaje de humedad retenida a los 5 y 10 días después de la lluvia en ambos sistemas evaluados.

2. Posteriormente, se extrajeron dos muestras compuestas de 2 kg de suelo, cada una formada por 6 submuestras, tomadas de los sitios de muestreo seleccionado para ambos sistemas, las cuales se enviaron al laboratorio de suelos del Centro Universitario de Oriente (CUNORI) para determinar la textura del suelo y el contenido de materia orgánica para cada sistema; con intervalos de cinco días después de cada lluvia y 5 réplicas, para determinar el porcentaje de humedad retenida del suelo para cada una de las unidades experimentales (parcela neta), el cual se evaluó mediante el método de deshidratado en el laboratorio de suelos del Centro Universitario de Oriente –CUNORI- (Anexos)
3. Para determinar el porcentaje de humedad en el suelo a los 5 y 10 días después de la lluvia (>4mm), durante la época lluviosa, el cual corresponde a los meses de mayo a octubre para el año 2019 (Figura 8A); a los 5 días después de la lluvia se tomaron 18 muestras para cada sistema, distribuidos en tres momentos. Por último, 12 muestras para cada sistema a los 10 días en dos momentos distintos.
4. La toma de la muestra de suelo se realizó tomando en cuenta las recomendaciones dadas por Corpoica (2003), Rodríguez *et al.*, (2003), citados en Schweizer (2011) y se realizó lo siguiente para cada uno de los sitios de muestreo (6 para cada sistema):
  - Se raspó 3 cm de la superficie del suelo para remover los residuos de materia orgánica fresca, polvo u otros contaminantes artificiales.
  - Se cavo un hueco de 15 cm de diámetro y de 20 cm de profundidad que son los recomendados para forrajes (Schweizer, 2011), luego se extrajo la muestra y se colocaron en recipientes de aluminio respectivamente identificados y limpios para llevarlos al laboratorio (Figura 9A).
  - En el laboratorio, primero se pesaron las muestras de suelo húmedo individualmente en sus contenedores de transporte y se abren para ingresarlos al horno secador a una temperatura de 110°C durante 24 horas (Figura 10A).

- Después del secado, las muestras se pesaron de nuevo en sus contenedores. La diferencia entre el peso húmedo y el peso seco de una muestra es la medida de su contenido de agua original.
- Finalmente, se determinó el porcentaje de humedad en el suelo con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de humedad en el suelo} = \frac{\text{Peso de suelo húmedo} - \text{peso de suelo seco}}{\text{Peso de suelo húmedo}} * 100$$

- **Muestra de pasto**

Con el fin de determinar el rendimiento de materia verde del pasto y con ello obtener la muestra correspondiente para los análisis bromatológicos del mismo, se identificaron los 6 sitios para cada sistema seleccionados, utilizando un método de muestreo no probabilístico, considerando el estrato Tanzania, y que, por consiguiente, la toma de muestra tuvo un efecto destructivo del sistema mediante corte de los materiales en estudio.

La estimación de biomasa se realizó a los 35, 45 y 56 días después del corte de nivelación de ambos sistemas, para ello se cortó el pasto Tanzania que se encontraba dentro del sitio de muestreo a 5 cm del suelo y se pesó la producción de materia verde utilizando una balanza de reloj con una capacidad de 25kg para cada uno de los sistemas evaluados (Figura 11A).

Los datos obtenidos se promediaron y la media obtenida se multiplicó por el área total (4096 m<sup>2</sup>) obteniendo la producción y luego se convirtió en Kg de materia verde producido por metro cuadro a Tm de MV producido por ha.

- **Análisis bromatológicos**

Para el análisis de laboratorio se tomaron 6 muestras de materia verde del pasto Tanzania, 250 g de cada una de las unidades experimentales (parcela neta) a los 35, 45 y 56 días después del corte (Figura 12A).

El rendimiento de materia verde en kg/ha, se obtuvo al medir el rendimiento por parcela neta y convertirla a rendimiento en toneladas por hectárea (Tm/Ha) para las tres edades en ambos sistemas.

A cada una de las muestras se les realizó el análisis proximal completo, se determinó el contenido de materias seca (MS), proteína cruda (PC), fibra cruda (FC), extracto etéreo (EE), cenizas; y con el método Wendee se determinó por diferencia el extracto libre de nitrógeno (ELN), el total de nutrientes digestibles (TND) y energía digestible (ED); así también se realizó el análisis de fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro detergente (FND), y con ello se determinó el rendimiento de materia seca (Tm/Ha), rendimiento de proteína cruda (Kg/Ha) y rendimiento de energía digestible (Mcal/Ha). Para ello se realizó lo siguiente:

1. Para determinar el contenido de materia seca y humedad, se pesaron 250g de materia verde del pasto Tanzania para cada una de las muestras y se ingresaron al horno de aire forzado a una temperatura de 60°C, hasta que la muestra alcanzó peso constante (Figura 12A); se pesó nuevamente y se determinó el porcentaje de MS con la siguiente formula:

$$\%MS = \frac{\text{Peso de la muestra seca - bandeja}}{\text{Peso de la muestra fresca}} * 100$$

Posteriormente, se determinó el rendimiento de materia seca para cada uno de los sistemas en las tres edades, por lo que se multiplicó el porcentaje de MS promedio con el rendimiento de MV, dando con ello el rendimiento de MS en Tm/Ha.

2. La proteína cruda se determinó por el método de análisis Micro-Kjeldahl, en el cual se determinó el porcentaje de nitrógeno de la muestra, digiriendo las proteínas y otros componentes orgánicos en una mezcla de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en presencia de catalizadores. La mezcla se neutralizó con una base y se destiló posteriormente.

El resultado se recogió en una solución de ácido bórico  $H_3BO_3$ , los aniones del borato se titularon con Ácido clorhídrico (HCl) 0.2N estandarizado para determinar el nitrógeno de la muestra (Figura 13A). El porcentaje de nitrógeno contenido en la muestra se determinó a partir de la siguiente formula:

$$\%N = \frac{(\text{Titulación-blanco}) * 14.007 * 0.2}{\text{Muestra (mg)}} * 100$$

Para determinar el porcentaje de proteína a partir del contenido de nitrógeno se empleó la siguiente fórmula para cada una de las muestras:

$$\%PC = \%N * 6.25$$

Posteriormente, para determinar el rendimiento de proteína en Kg/Ha, se multiplicó el promedio del contenido de proteína por el rendimiento de materia seca y se convirtió a kg de PC/Ha.

3. Para determinar el extracto etéreo (EE) se utilizó el método de extracción Soxhelt, que consiste en la separación sólido-líquido en continuo, empleando un disolvente (Benzina de petróleo), con posterior evaporación de este y se pesó al final el residuo de grasa que queda en el recipiente (Figura 14A). Para determinar el contenido de EE se empleó la siguiente formula:

$$\%EE = \frac{\text{Peso final del Beaker} - \text{Peso inicial del Beaker}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

4. La fibra cruda o bruta es el residuo orgánico lavado y seco, y resultó de la exposición de la muestra desengrasada con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio diluidos.

5. Para determinar la FND y la FAD se utilizó el método de Van Soest, que se basa en una digestión con detergente neutro para separar el contenido celular que representa el 60% de la MS del forraje y una digestión en detergente ácido para separar la pared celular que está compuesta por celulosa, lignina y hemicelulosa, constituyendo casi el 98% de la fracción no digestible del forraje (Figura 15A).
6. Para determinar el contenido de cenizas totales se empleó el método de calcinación, el cual consiste en evaporar el agua y las sustancias volátiles de la muestra, a través de la incineración, por medio de una mufla a 700 °C (Figura 16A).

El contenido de cenizas para cada muestra determinó con la siguiente fórmula:

$$\text{Cenizas} = \frac{\text{Peso muestra después de la mufla} - \text{peso crisol}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

7. Finalmente, se determinó la energía digestible (ED) la cual se obtuvo realizando varios procedimientos, como primer paso se calculó el extracto libre de nitrógeno, para el cual se utilizaron los datos obtenidos del análisis proximal, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{ELN} = 100 - (\text{Cenizas} + \text{EE} + \text{PC} + \text{FC})$$

Seguidamente, se calculó el porcentaje total de nutrientes digestibles (TND). Para eso se utilizó la fórmula contenida en la edición de *Latin American tables of feed composition* (Mc Dowell; Conrad; Thomas y Harris, 1974 citado por Salazar, 2018), que se presenta a continuación:

$$\text{TND} = -72.943 + 4.675 * \text{FC} - 1.28 * \text{EE} + 1.611 * \text{ELN} + 0.497 * \text{PC} - 0.044 * \text{FC} * \text{FC} - 0.76 * \text{EE} * \text{EE} - 0.039 * \text{FC} * \text{ELN} + 0.087 * \text{EE} * \text{ELN} - 0.152 * \text{EE} * \text{PC} + 0.074 * \text{EE} * \text{EE} * \text{PC}$$

Por último, se determinó la energía digestible con la siguiente conversión:

$$\text{ED} = \% \text{TND} * 0.04409$$

Con el promedio de los resultados de ED obtenidos se calculó el rendimiento de energía en (Mcal/kg) para cada uno de los sistemas a las diferentes edades multiplicando el dato obtenido con el rendimiento de MS, obteniendo el rendimiento total de ED en Mcal/Ha.

Las anteriores variables nutricionales fueron analizadas en el laboratorio de bromatología de la carrera de Zootecnia del Centro Universitario de Oriente (CUNORI) (Anexos).

### **7.6.5 Análisis de datos**

Los resultados obtenidos para los tratamientos o sistemas fueron sometidos a una prueba t de Student, utilizando para ello, el paquete estadístico Infostat, [Versión: 2/08/2016].

### **7.6.6 Análisis experimental**

Para cada variable bajo estudio, se obtuvo la media, la desviación estándar y los grados de libertad, utilizando la tabla de distribución de "t" y construir las curvas Studentizadas para muestras pequeñas, utilizando para ello el paquete estadístico Infostat. Estas tendencias de los estimadores de cada variable tienen el propósito de describir la estabilidad de la tecnología propuesta versus la típica de los productores.

La prueba de t de Student, que incluye la diferencia entre las medias de dos poblaciones o muestras, se utiliza con más frecuencia para determinar si es razonable o no concluir que ambas son distintas entre sí, cuando son muestras pequeñas, en este caso, estas tendencias de los estimadores de cada variable tuvieron el propósito de describir la estabilidad de los tratamientos, en relación con la retención de humedad y su influencia en la producción y calidad del forraje.

## VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Derivado del estudio sobre el efecto de la *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham, en la retención de humedad en el suelo y su repercusión en la producción y calidad nutricional del *Panicum máximum* cv. Tanzania, en los SSPi y STP, en época de lluvia, en Chiquimula, se desprenden los resultados que a continuación se someten al respectivo análisis.

En relación con el porcentaje de humedad en el suelo, a los 5 y 10 días después de la lluvia, medidos en el sistema típico del productor (STP) y en el sistema silvopastoril intensivo (SSPi), los valores encontrados fueron sometidos al análisis comparativo de t de Student, en donde se encontró diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) a los 5 días y 10 días después de la lluvia entre las medias obtenidas en los sistemas evaluados. El resumen de las variables evaluadas se muestra en la tabla 4.

Así también, se realizaron los análisis bromatológicos del pasto Tanzania para evaluar la calidad nutricional del pasto a los 35, 45 y 56 días después del corte de nivelación los cuales fueron sometidos al análisis comparativo de t de Student, encontrando diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en el rendimiento de MV, MS y PC a los 35 días de edad, sin embargo, en los valores absolutos de las medias obtenidas el sistema sobresaliente es el silvopastoril en comparación con el sistema típico del productor. El resumen de las variables evaluadas se muestra en la tabla 7.

### 8.1 Curva de retención de humedad en suelo y porcentaje de humedad a los 5 y 10 días después de la lluvia

Para la variable rendimiento del porcentaje de humedad en el suelo a los 5 días después de la lluvia (>4mm) de los dos sistemas evaluados, los resultados fueron sometidos a una prueba t de Student, determinando que existe diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre los dos sistemas; el porcentaje de humedad en suelo fue de 12%, para SSPi y de 19% para el STP, los cuales se muestran en la tabla 4.

Los resultados obtenidos del porcentaje de humedad a los 10 días después de la lluvia de los sistemas evaluados fueron sometidos a una prueba de t de Student, determinando que existe diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) entre los dos sistemas; el porcentaje de humedad en suelo fue de 12%, para SSPi y de 18% para el STP, los cuales se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4. Resumen de los análisis de la variable % de humedad en el suelo a 5 y 10 días posteriores a la lluvia**

Variable	Sistema	Media	T	P-valor
% de humedad a los 5 días	STP	0.19	2.88	0.0105*
	SSPi	0.12		
% de humedad a los 10 días	STP	0.18	2.68	0.0215*
	SSPi	0.12		

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Nota:** STP=Sistema silvopastoril intensivo. STP=Sistema típico del productor

\* Significancia P-valor <0.05

Así también, para un mejor análisis de los resultados se realizó una evaluación del porcentaje de humedad en el suelo a capacidad de campo (1/3 atm), como también, a punto de marchitez permanente (15 atm), los cuales se muestran en la tabla 5; y finalmente, el análisis de la estructura del suelo, la cual se muestra en la tabla 6.

**Tabla 5. Porcentaje (%) de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente para el STP y el SSPi**

Sistema	% Humedad	
	Capacidad de campo (1/3 atm)	Punto de marchitez permanente (15 atm)
STP	23.68	14.56
SSPi	14.44	9.23

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Nota:** STP: Sistema Típico del productor. SSPi: Sistema Silvopastoril intensivo

El porcentaje de humedad en el suelo para el sistema típico del productor a los 5 días después de la lluvia fue de 18.73% y a los 10 días fue de 17.58%, y para el sistema silvopastoril intensivo fue de 12.43 % y 11.67%, respectivamente. Esto indicia que el STP tiene mayor porcentaje de agua, lo cual está influido por la textura del suelo como se muestra en la tabla 6.

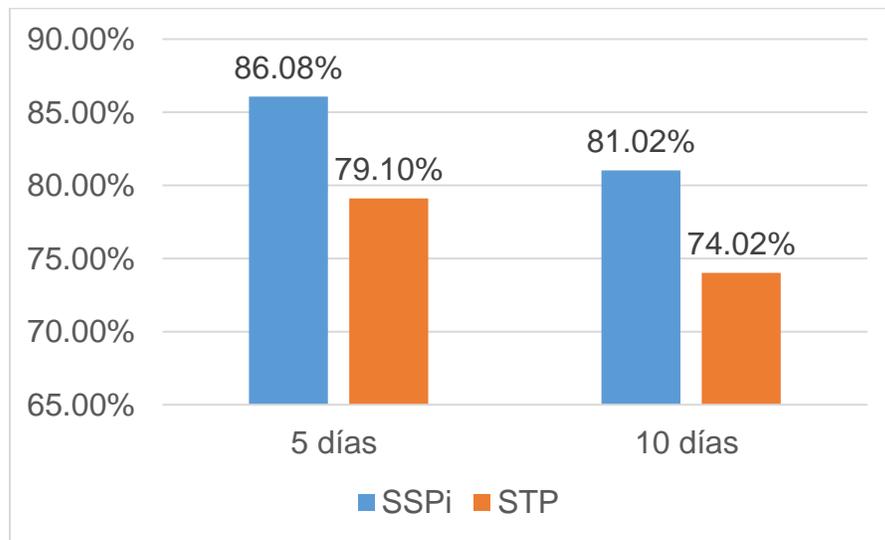
Sin embargo, al comparar estos resultados con la curva de retención de humedad, como se muestra en la figura 3, se puede observar que el SSPi mantiene el porcentaje de humedad más constante comparado con el STP.

En la figura 3 se muestra la curva de retención de humedad para ambos sistemas y donde se encuentran ubicados los porcentajes de humedad obtenidos a los 5 y 10 días después de la lluvia.



**Figura 3.** Curva de retención y porcentaje (%) de humedad en el suelo a los 5 y 10 días después de la lluvia para el STP y SSPi

Cabe resaltar que el STP disminuyó el porcentaje de humedad entre los 5 y 10 días 1.15% mientras que el SSPi perdió la humedad mucho más despacio que el STP, reduciendo únicamente entre el día 5 y 10 después de la lluvia, un 0.7%. Mostrando el SSPi mayor % de agua mostrada a capacidad de campo comparado con el STP, como se muestra en la figura 4.



**Figura 4.** Porcentaje de humedad en el suelo mostrada a capacidad de campo en el STP y el SSPi a los 5 y 10 días después de la lluvia

Los resultados sugieren que el SSPi provee de mejores condiciones al suelo para retener más agua disponible para la planta durante más tiempo, comparado con el sistema típico del productor ya que a los 5 y 10 días después de la lluvia el sistema silvopastoril a los 10 días aún poseía el 81.02% de la humedad mostrada a capacidad de campo, mientras que el sistema típico del productor poseía el 74.24%.

Según Zotarelli *et al.* (2013), en el documento “Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos”, resume las directrices para la determinación de la capacidad de campo; indica que los suelos contienen diferente cantidad de agua dependiendo de su textura y estructura.

Después de un evento de lluvia o de riego que satura el suelo, hay un rápido movimiento descendente (drenaje) de una parte del agua del suelo debido a la fuerza de gravedad. Durante el proceso de drenaje, la humedad del suelo disminuye continuamente.

Por lo que se determinó la textura del suelo de los sistemas en estudio siendo un franco arcilloso arenoso para ambos, sin embargo, los porcentajes de limo y arena difieren entre ellos como se muestran los resultados en la tabla 6.

**Tabla 6. Análisis de textura del suelo para el STP y SSPi, ubicados en la Vega del CUNORI**

Sistema	Materia orgánica (%)	Textura			Clase textural
		Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	
STP	1.18	21.44	25.32	53.24	Franco arcilloso arenoso
SSPi	1.32	21.44	21.1	57.46	Franco arcilloso arenoso

Fuente: Elaboración propia, 2021.

Según Buckman y Brady (1966, citados en Fertilab, s.f.), las partículas de arena presentan un diámetro entre 0.05 y 2 mm; y debido a esto, aumentan el tamaño de los espacios de los poros entre las partículas, facilitando el movimiento del aire y del agua de drenaje.

El tamaño de partícula de los limos va de 0.002 a 0.05 mm, tiene una velocidad de intemperización más rápida y una liberación de nutrimentos solubles para el crecimiento vegetal mayor que la arena. Los suelos limosos presentan una gran capacidad para retener agua disponible para el crecimiento vegetal. Por su parte, las partículas de arcilla poseen un diámetro menor a 0.002 mm y tienen la capacidad de retener agua contra la fuerza de gravedad.

Así también, en el análisis de la composición del suelo se observa en los resultados obtenidos que, el sistema típico del productor contiene menos % de materia orgánica que el sistema silvopastoril intensivo siendo de 1.18% y 1.32% respectivamente

La diferencia encontrada entre los sistemas y los resultados obtenidos en el porcentaje de humedad, indican que el rango de porcentaje de agua disponible para la planta es mayor en el STP del productor debido a que en él existe mayor porcentaje de limo en el suelo el cual ayuda a la permeabilidad; por otro lado, el SSPi tiene un rango menor de humedad sin embargo la media obtenida a los 5 y 10 días no cambia es decir a pesar de ser un suelo con menos porcentaje de limo y mayor porcentaje de arcilla, este retuvo por más tiempo la humedad, así también en el sistema silvopastoril intensivo se obtuvo mayor cantidad de materia orgánica, lo cual es aportado por la leucaena y ayuda a mantener la humedad en el suelo por más tiempo.

Al realizar el análisis del suelo para formar la curva de retención de humedad, se puede observar en los resultados y el comportamiento de estos, como se muestra en la figura 3 y 4 antes mostradas, que el SSPi favorece para que en el suelo de dicho sistema la pérdida de humedad disponible para la planta sea menor que en el suelo del STP.

Otro factor importante en la retención de humedad es el contenido de materia orgánica, el cual es favorecido por un sistema más ecológico como es el caso del SSPi, a medida que el sistema en asocio se mantenga con el tiempo la materia orgánica será mayor por lo tanto la retención de humedad también será favorecida.

Si bien, ambos sistemas presentan las mismas condiciones climáticas, estas son diferentes en cualidades edáficas ya que el SSPi presentó mayor cantidad de materia orgánica y mejor retención de humedad lo que mejora el rendimiento productivo del pasto.

## **8.2 Rendimiento de materia verde (Tm/MV/Ha/corte)**

Al evaluar estadísticamente los resultados obtenidos de materia verde a los 35, 45, 56 días de edad, después del corte de nivelación se observó que, existe diferencia significativa a los 35 días de edad al comparar los rendimientos productivos entre los sistemas, siendo ( $P \leq 0.0299$ ) obteniendo rendimientos de 4.20 Tm/MV/Ha/corte para el STP y de 6.67 Tm/MV/Ha/corte para el SSPi; y que no existe diferencia significativa al comparar los rendimientos de los mismos sistemas a los 45 y 56 días de edad siendo ( $P \leq 0.1667$ ) ( $P \leq 0.3955$ ) respectivamente; obteniendo rendimientos de 5.04 Tm/MV/Ha/corte para el STP y de 7.43 Tm/MV/Ha/corte para el SSPi a los 45 días y de 7.75 Tm/MV/Ha/corte para el STP y 8.93 Tm/MV/Ha/corte para el SSPi a los 56 días.

En las condiciones del estudio realizado se puede observar que, a las tres edades hay mayor producción de materia verde en el sistema silvopastoril intensivo lo cual está relacionado con la cantidad de nutrientes que recibe la planta a través del suelo, ya que el SSPi contiene mayor cantidad de materia orgánica, que es aportada por la *Leucaena* con sus raíces muertas, tallos, hojas en senescencia. Por lo tanto, hay mayor capacidad de intercambio catiónico en el SSPi que le permite a la planta recibir los nutrientes del suelo, sumado a eso la gramínea de dicho sistema, tiene mayor disponibilidad de nitrógeno el cual es aportado por la *Leucaena*.

Nair, 1993, citado por Romero (2018), menciona que los árboles en los sistemas agroforestales tienen el efecto de bombeo de nutrientes de los horizontes más bajos para hacerlos eventualmente disponibles a los pastos a través de la mineralización de hojas, ramas y raíces superficiales que alcanzan la fase de senescencia.

Según Apraéz *et al.* (2019) se determinó que una capacidad de intercambio catiónico alto es favorable para obtener una mayor producción de biomasa y calidad nutritiva, debido a que el pasto está recibiendo adecuadamente los elementos necesarios de parte de la solución del suelo.

### **8.3 Rendimiento de materia seca (TmMS/Ha/corte)**

Al evaluar estadísticamente los resultados obtenidos de materia seca del pasto Tanzania a los 35, 45, 56 días de edad después del corte de nivelación, se observó que existe diferencia significativa al  $P < 0.05$  a los 35 días de edad con rendimientos de 0.94 para STP y 1.10 para SSPi. Luego, al comparar los rendimientos productivos entre los sistemas; en los cortes 45 y 56 días los rendimientos fueron 1.13 y 1.64 Tm/MS/Ha/corte respectivamente, para el STP; y de 1.4 y 1.65 Tm/MS/Ha/corte respectivamente, para el SSPi; sin existir diferencia significativa al comparar los rendimientos a esas edades.

Sin embargo, en todos los análisis bromatológicos realizados y según los resultados obtenidos se puede observar que, a las tres edades del corte, el SSPi produce mayor cantidad de forraje en promedio), obteniendo la mayor producción de biomasa a los 56 días (1.65 Tm/MS/Ha/corte), rendimiento que es directamente proporcional con la cantidad de forraje verde producido.

En una investigación efectuada por Ramírez *et al.* (2010) sobre el rendimiento de materia seca y la calidad nutritiva del pasto *Panicum maximum* cv. Likoni en la región oriental de Cuba; este obtuvo rendimientos a una edad de 90 días, de 7.23 Tm/MS/ha/corte en periodo lluvioso y 2,16 Tm/MS/ha/corte en periodo poco lluvioso.

El rendimiento de materia seca en el período lluvioso fue superior al del periodo poco lluvioso en tres veces a los 90 días con precipitaciones mayores a 400 mm anuales en época poco lluviosa. Así también, indica que dichos valores están relacionados con los factores edafoclimáticos, ya que los mínimos se obtuvieron en regiones con menos precipitación, lo cual limita la eficiencia en los procesos fisiológicos y, por tanto, en el desarrollo de la planta.

Así también, Quintero *et al.* (1994) señalan que la evaporación es el factor más influyente en el porcentaje de materia seca. Se reporta que cuando el aire se seca alrededor de una superficie foliar las estomas se cierran, y la luz no es utilizada eficientemente.

Por ende, el comportamiento de los resultados obtenidos en el incremento del porcentaje de MS conforme la edad del pasto está relacionada con el aumento del proceso fotosintético y con ello, con la síntesis de carbohidratos estructurales, como la celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que trae consigo acumulación de materia seca.

Se puede afirmar entonces, que la diferencia en el porcentaje de MS del STP y SSPi está influido también por las condiciones edafoclimáticas en dichos sistemas principalmente por la cantidad de agua disponible para la planta, la cual se mantuvo constante durante más tiempo en el SSPi, factor que favorece el proceso de maduración y lignificación de la planta manteniéndola más turgente con mayor porcentaje de agua, por ende, menor porcentaje de materia seca.

#### 8.4 Rendimiento de proteína cruda (KgPC/Ha/Corte)

Al evaluar estadísticamente los resultados obtenidos de proteína cruda a los 35, 45, 56 días de edad después del corte de nivelación del pasto Tanzania, se observó que existe diferencia significativa a los 35 días de edad al ( $P < 0.05$ ), pues al comparar los rendimientos productivos entre los sistemas, los rendimientos fueron de 78.77 KgPC/Ha/Corte para el STP y de 137.49 KgPC/Ha/Corte para el SSPi; no existiendo diferencia significativa en los cortes a las frecuencias de corte de 45 y 56 días de edad, con rendimientos de 85.16 y 111.52 KgPC/Ha/Corte para el STP y de 122.76 y 145.61 KgPC/Ha/corte, para el SSPi; notándose además que en valores absolutos, siempre fue superior el rendimiento del pasto Tanzania del SSPi.

En las condiciones del estudio realizado se puede observar que a las tres edades hay mayor rendimiento de proteína cruda por hectárea en el sistema silvopastoril intensivo con porcentajes de proteína cruda de 12% a los 35 días y 9% a los 45 y 56 días; y el sistema típico del productor obtuvo porcentajes menores con 8% a los 35 y 45 días y 7% a los 56 días.

Datos similares presenta Verdecia et al. (2008) en una investigación sobre el rendimiento del pasto Tanzania en época lluviosa en la región oriental de Cuba, obteniendo un porcentaje de 11.62% a los 30 días, 9.75% a los 45 días y 8.05% a los 60 días del corte. Romero (2018) concluye que a mayores contenidos de MO se refleja en mayores concentraciones de proteína cruda de debido a que la planta tiene mayor disponibilidad de aumentó el contenido de MO,  $\text{CaCO}_3$ , P y Ca en el suelo.

Las diferencias en los rendimientos del pasto Tanzania para los sistemas se debe a que en el SSPi la leucaena aporta significativamente en la retención de humedad en el suelo, dándole a la planta mayor disponibilidad de agua durante más tiempo mejorando con ello, la capacidad de absorción de nutrientes para la planta.

Por otro lado, también el pasto de dicho sistema tiene mayor disponibilidad de nitrógeno el cual es aportado por la leucaena principalmente, por raíces, hojas y ramas muertas y demás material en senescencia; así también la leucaena mejora la calidad del suelo con su aporte de materia orgánica lo que hace más fértil el suelo con mayor disponibilidad de nutrientes.

### **8.5 Rendimiento de energía digestible (Mcal/Ha) al corte.**

Al evaluar estadísticamente los resultados obtenidos de la energía digestible a los 35, 45, 56 días de edad después del corte de nivelación del pasto Tanzania, se observó que no existe diferencia significativa al ( $P < 0.05$ ) en ninguna de las edades al comparar los rendimientos productivos entre los sistemas; los rendimientos fueron de 2209, 2681.04 y 3774.57 Mcal/Ha, respectivamente; para el STP y de 2573.92, 3308.89 y 3870.28 Mcal/Ha, respectivamente, para el SSPi; notándose además que en valores absolutos, siempre fue superior el rendimiento del pasto Tanzania del SSPi.

En las condiciones del estudio realizado se puede observar que, a las tres edades hay mayor rendimiento de la energía digestible por hectárea en el sistema silvopastoril intensivo, aunque este disminuye con la edad en ambos sistemas.

Bereau (*et al.*, 1989, citado en Verdecia *et al.*, 2008) considera dicha disminución debido a las transformaciones químicas y bioquímicas en los componentes de las plantas como la disminución de los niveles de carbohidratos solubles de las proteínas digestibles y de digestibilidad de la materia seca.

En un estudio de Padilla y colaboradores (2002, citados en Verdecia *et al.*, 2008) concluye que las plantas se desarrollaron en los meses de mayor intensidad luminosa, temperatura y precipitaciones, que son condiciones necesarias para que el pasto exprese su máximo potencial. Así también Padilla y colaboradores (2001), señaló que el déficit de humedad en el suelo inhibe la asimilación del  $\text{CO}_2$ , debido al cierre de las estomas y de esta forma disminuye la actividad fotosintética, con una reducción del crecimiento y desarrollo de la planta.

En un estudio similar Maya y colaboradores (2005) compararon los rendimientos productivos del pasto estrella *Cynodon nlemfluensis* en monocultivo y en asocio con leucaena, presentando comportamientos similares que dicho estudio, ya que el pasto que presentó mejores rendimientos en todas las variables fue el pasto en asocio. Así también Verdecia y colaboradores (2008) al comparar la energía metabolizable del pasto Tanzania a 30, 45 y 60 días de edad, observa disminución en el rendimiento de este conforme a la edad en época lluviosa obteniendo valores de EM de 10.09 Mj/kg (2.93 Mcal/kg de ED), 8.87 Mj/kg (2.58 Mcal/Kg de ED) y 8.45 Mj/kg (2.46 Mcal/kg de ED), respectivamente, los cuales son similares a los valores obtenidos en la investigación.

**Tabla 7. Resumen de los análisis estadísticos para las variables del pasto evaluadas**

Variable	Sistema	Media	T	P-valor
Rendimiento de Tm/MV/Ha a 35 días de edad	STP	4.2	-3	0.0299*
	SSPi	6.67		
Rendimiento de Tm/MV/Ha a 45 días de edad	STP	5.04	-1.62	0.1667
	SSPi	7.43		
Rendimiento de Tm/MV/Ha a 56 días de edad	STP	7.75	-0.93	0.3955
	SSPi	8.93		
Rendimiento de Tm/MS/Ha a los 35 días de edad	STP	0.94	3.49	0.0175*
	SSPi	1.1		
Rendimiento de Tm/ MS/Ha a los 45 días de edad	STP	1.13	-1.08	0.3311
	SSPi	1.4		
Rendimiento de Tm/MS/Ha a los 56 días de edad	STP	1.64	-0.05	0.9619
	SSPi	1.65		
Rendimiento de PC en kg/Ha a los 35 días	STP	78.77	-2.6	0.0483*
	SSPi	137.49		
Rendimiento de PC en kg/Ha a los 45 días	STP	85.16	-1.81	0.13
	SSPi	122.76		
Rendimiento de PC en kg/Ha a los 56 días	STP	111.52	-2.01	0.1001
	SSPi	145.61		
Rendimiento de Energía digestible Mcal/Ha a los 35 días	STP	2209	-0.72	0.5063
	SSPi	2573.92		
Rendimiento de Energía digestible Mcal/Ha a los 45 días	STP	2681.04	-1.07	0.3318
	SSPi	3308.89		
Rendimiento de Energía digestible Mcal/Ha a los 56 días	STP	3774.57	-0.14	0.8916
	SSPi	3870.28		

Fuente: Elaboración propia, 2021.

**Nota:** STP=Sistema silvopastoril intensivo. SSPi=Sistema típico del productor

\* Significancia P-valor <0.05

## IX. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que la inclusión de *Leucaena* en el sistema silvopastoril intensivo (SSPi) mejora las características físicas del suelo, la producción y la calidad del pasto Tanzania, causados por la mayor retención de humedad en el suelo, mostrada a capacidad de campo a los 5 y 10 días después de la lluvia; por tanto, se acepta la hipótesis planteada.
2. El pasto *Panicum maximum* cv. Tanzania presenta mejores rendimientos productivos, tanto de materia verde (MV) como materia seca (MS), en el sistema silvopastoril intensivo (SSPi) en todas las edades después del corte de nivelación, comparado con el STP, por lo que el sistema sobresaliente favorece la disponibilidad del pasto.
3. La calidad nutricional del pasto Tanzania asociado al sistema pastoril intensivo (SSPi) presentó mejores rendimientos de proteína cruda (Kg/Ha) y de energía digestible (Mcal/Ha) en todas las edades, comparado con los rendimientos productivos obtenidos del pasto desarrollado en el STP.
4. Existe una evidente mejora en la retención de humedad en el suelo del sistema silvopastoril intensivo, por el efecto de la leucaena sobre las cualidades físicas del suelo en dicho sistema, efecto que influye favorablemente en la cantidad y calidad de la gramínea asociada al mismo, comparado con el sistema típico del productor.

## **X. RECOMENDACIONES**

1. Con base en los resultados obtenidos en la investigación, se sugiere implementar los sistemas silvopastoriles intensivos en regiones en donde las lluvias irregulares predominan, debido a que el sistema mejora la disponibilidad del pasto y su calidad nutricional en comparación con el sistema tradicional.
2. Comparar los rendimientos, tanto de materia verde (MV) como de materia seca (MS), del pasto Tanzania en ambos sistemas en época seca.
3. Efectuar la misma evaluación en más localidades del corredor seco o en áreas de riego controlado, que permita evaluar la disponibilidad de agua hasta 45 días después de la lluvia o riego y determinar la correlación de las características físicas y químicas del suelo con los rendimientos y calidad nutricional del pasto Tanzania en el sistema silvopastoril intensivo.
4. Determinar la diferencia del carbono retenido en el sistema típico del productor y el sistema silvopastoril intensivo, para la búsqueda de incentivos que promuevan el establecimiento del SSPi.

## XI. REFERENCIAS

- Acero Henao, JD; Novoa Zapata, JC. 2014. Comparación de costos de ganadería tradicional con sistemas ganaderos silvopastoriles, en el departamento del Meta (Colombia) (en línea). Tesis Lic. Bogotá, Universidad de la Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 43 p. Consultado 27 oct. 2018. Disponible en [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1112&context=administracion\\_agronegocios](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1112&context=administracion_agronegocios)
- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente (en línea). Revista Cubana de Ciencia Agrícola 45(2):107-115. Consultado 28 oct. 2018. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193022245001.pdf>
- Apráez, E; Gálvez, A; Apráez, J. 2019. Edaphoclimatic factors in the production and quality of Saboya grass (*Holcus lanatus* L.) in the highland of Nariño (en línea). Revista de Ciencias Agrícolas 36(1):16-32. Consultado 19 may. 2021. Disponible en <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/4689> Doi: <http://.doi.org/10.22267/rcia.193601.95>
- Arias, JH; Balcázar Vanegas, A; Hurtado, R. 1989. Caracterización de sistemas de producción de la ganadería bovina en Colombia (en línea). Colombia, CEGA. 121 p. Consultado 27 oct. 2018. Disponible en [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/31474/38377\\_20591.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/31474/38377_20591.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bacab, HM; Madera, NB; Solorio, FJ; Vera, F.; Marrufo, DF. 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical (en línea). Avances en Investigación Agropecuaria 17(3):67-81. Consultado 27 oct. 2018. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83728497006>



- Baguet, HA; Bavera, GA. 2001. Relación suelo-planta-animal (en línea). Argentina, UNRC, FAV, Curso de Producción Bovina de Carne. 3 p. Consultado 5 may. 2018. Disponible en [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pastoreo%20sistemas/05-relacion\\_suelo-planta-animal.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/05-relacion_suelo-planta-animal.pdf)
- Beer, J; Harvery, C; Ibrahim, M; Harmand, JM; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales (en línea). *Agroforestería en las Américas* 10(37-28):80-87. Consultado 22 abr. 2018. Disponible en [https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6806/Servicios\\_ambientales\\_de\\_los\\_sistemas.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6806/Servicios_ambientales_de_los_sistemas.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Bueno López, L; Camargo García, JC. 2015. Nitrógeno edáfico y nodulación de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit en sistemas silvopastoriles (en línea). *Acta agronómica* 64(4).349–354. Consultado 26 oct 2018. Disponible en [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/45362/53193](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/45362/53193)
- Buitrago-Guillen, ME; Ospina-Daza, LA; Narváez-Solares, W. 2018. Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático (en línea). *Boletín Científico Museo de Historia Natural* 22(1):31-42. Consultado 19 may. 2021. Disponible en <https://revistasojs.ucaldas.edu.co/index.php/boletincientifico/article/view/2724/2520>
- EcuRed. s.f. *Leucaena* (en línea, sitio web). Consultado 5 may. 2021. Disponible en <https://www.ecured.cu/Leucaena>



Facultad de Agronomía, Uruguay. 2015. Agua en el suelo (en línea). Uruguay, Universidad de la República, Fagro, Unidad hidrología, Departamento de Suelos y Aguas. 54 p. Consultado 28 oct 2018. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Agua%20en%20el%20suelo%20intensivos2015.pdf>

Fertilab (Laboratorio de Análisis Agrícolas). s.f. Interpretación de resultados de textura y humedad del suelo (en línea). México. 4 p. Consultado 5 ago. 2021. Disponible en [fertilab.com.mx/Sitio/notas/INTERPRETACION%20DE%20RESULTADOS%20DE%20TEXTURA%20Y%20HUMEDAD%20DE%20L%20SUELO.pdf](http://fertilab.com.mx/Sitio/notas/INTERPRETACION%20DE%20RESULTADOS%20DE%20TEXTURA%20Y%20HUMEDAD%20DE%20L%20SUELO.pdf)

Flores Bardales, M. 2012. Abonamiento con cama blanda (Cerdaza + Cascarilla de Arroz) y su efecto sobre las características agronómicas y bromatológicas del pasto *Panicum máximum* cultivar Tanzanea en Zungarococha - Iquitos – Loreto (en línea). Tesis Lic. Perú, UNALM, Facultad de Agronomía. 64 p. Consultado 28 abr. 2018. Disponible en <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/1863/T-631.816-F65.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura, México). 2017. Propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas (en línea, sitio web). Consultado 26 abr. 2018. Disponible en <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>

MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). 2012. Política ganadera bovina nacional (en línea). Guatemala. 34 p. Consultado 26 oct. 2018. Disponible en [https://www.maga.gob.gt/download/politica-ganadera\(2\).pdf](https://www.maga.gob.gt/download/politica-ganadera(2).pdf)

Maya, GE; Duran, CV; Ararat, E. 2005. Valor nutritivo del pasto estrella solo y en asociación con leucaena a diferentes edades de corte durante el año (en línea). Acta agronómica 54(4):41-46. Consultado 23 may. 2021. Disponible en [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/download/123/190](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/download/123/190)

Murgueito, E; Galindo, WF; Chará, JD; Uribe, F (eds.). 2016. Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles intensivos con leucaena (en línea). Cali, Colombia, Editorial CIPAV. 220 p. Sólo abstrac. Consultado 28 oct. 2018. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/310460876\\_Establecimiento\\_y\\_manejo\\_de\\_sistemas\\_silvopastoriles\\_intensivos\\_con\\_leucaena](https://www.researchgate.net/publication/310460876_Establecimiento_y_manejo_de_sistemas_silvopastoriles_intensivos_con_leucaena)

Murillo Solano, J; Barros Henríquez, JA; Roncallo Fandiño, B; Arrieta Pico, G. 2014. Requerimientos hídricos de cuatro gramíneas de corte para uso eficiente del agua en el Caribe seco colombiano (en línea). Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria 15(1):83-99. Consultado 10 ago. 2021. Disponible en <http://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/399/316>



Oñate Hernández, KL. 2016. Evaluación comparativa de un sistema silvopastoril implementado en la finca Rancho Alegre del municipio de San Diego (departamento del Cesar) con un sistema de producción convencional, para evaluar la producción de carne y leche en vacas de la raza Cebú (en línea). Tesis Lic. Vallepar, Colombia, Universidad Nacional Abierta y Adistancia, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. 77 p. Disponible en <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13881/1065629976.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Padilla, C; Colom, S; Díaz, MF; Cino, DM; Curbelo, F. 2001. Efecto del intercalamiento de *Vigna unguiculata* y *Zea maiz* en el establecimiento de *Leucaena leucocephala* vc Perú y *Panicum maximum* vc likoni (en línea). Revista Cubana de Ciencia Agrícola 35(2):167-173. Consultado 23 may. 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193018220013>
- Pérez López, O. 2014. Eficiencia de uso de nitrógeno en pasturas de *Panicum máximum* y *Brachiaria sp.* solas y asociadas con *Pueraria phaseoloides* en la altillanura colombiana (en línea). Tesis M.Sc. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. 201 p. Consultado 26 oct. 2018. Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52164/780219.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quintero, BC; Clavero, T; Castro del Rincón, C; del Villar, A; Araujo Febres, O. 2012. Efecto de los factores climáticos y altura de corte sobre el valor nutritivo y producción de materia seca del pasto elefante enano (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Mott) (en línea). Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia 12(1):81-94. Consultado 15 jun. 2021. Disponible en <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/26009>
- Ramírez, JL; Verdecia, D; Leonard, I; Álvarez, Y. 2010. Rendimiento de materia seca y calidad nutritiva del pasto *Panicum maximum* vc. Likoni en un suelo fluvisol de la región oriental de Cuba (en línea). Revista Electrónica de Veterinaria 11(7):1-14. Consultado 15 jun. 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63614251011>



Romero Delgado, G. 2018. Estado nutricional del pasto guinea (*Panicum maximun Jacq*) asociado con faique (*Acacia macracanthaq*) en un sistema silvopastoril en Jaén–Cajamarca (en línea). Tesis M.Sc. Lima, Perú, UNALM. 69 p. Consultado 18 jun 2021. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3514/romerodelgado-gelver2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ruiz Solera, FA; GZ-Janica Marzola, HL. 2012. Efectos ambientales y socio-económicos del sistema de producción ganadero con enfoque ambientalmente sostenible y el sistema tradicional, implementados en las fincas Escocia y Alejandría, respectivamente en el municipio de Montería, departamento de Córdoba (en línea). Tesis M. Sc. Cartagena, Colombia, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. 107 p. Consultado 26 oct. 2018. Disponible en <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/2505/RuizSoleraFlorAngela2012.pdf>



Salazar Mayen, HE. 2018. Comparación productiva del sistema silvopastoril intensivo y el sistema típico del productor en el municipio de Chiquimula (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC, Cunori. Zootecnia. 83 p. Consultado 5 may. 2018. Disponible en [https://hksoluciones.sfo2.digitaloceanspaces.com/hksoluciones/tesisusac/libros/19\\_Z\\_TG-3318-CD\\_2738.pdf?X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=EDVVKX7GE6M4PQ6FC2BS%2F20211031%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4\\_request&X-Amz-Date=20211031T035059Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=772de7b33a0db75fba97156b1043ae35e3b1797ac4327d4189a0fdbdb95f6956](https://hksoluciones.sfo2.digitaloceanspaces.com/hksoluciones/tesisusac/libros/19_Z_TG-3318-CD_2738.pdf?X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=EDVVKX7GE6M4PQ6FC2BS%2F20211031%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20211031T035059Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Signature=772de7b33a0db75fba97156b1043ae35e3b1797ac4327d4189a0fdbdb95f6956)

Sánchez, A. 2001. Leguminosas como potencial forrajero en la alimentación bovina (en línea). Venezuela. FONAIAP/Estación Experimental del Estado Falcón. 4 p. Consultado 5 may. 2018. Disponible en [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas%20artificiales/38-leguminosas\\_como\\_potencial\\_forrajero.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/38-leguminosas_como_potencial_forrajero.pdf)

Schweizer Lassaga, S. 2011. Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad (en línea). Mesém Villalobos, M; Ramírez Carlín, L (eds.). San José, Costa Rica. INTA/MAG. 19 p. Consultado 28 ene. 2019. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P33-9965.pdf>

SICTA (Sistema de Integración Centroamericano de Tecnología Agrícola). s.f. Obras de conservación de suelos y agua en laderas (en línea). Costa Rica, Proyecto Red SICTA del ICCA/Cooperación Suiza en América Central. 20 p. Consultado 25 abr. 2018. Disponible en <http://repiica.iica.int/docs/b3470e/b3470e.pdf>



SIG (Sistema de Información Geográfica). 2019. Precipitación anual del 2014 al 2019 (correspondencia personal). Chiquimula, Guatemala, CUNORI.

Torres, A; Ramos, J; García, J. 2014. Evaluación de mediciones *in situ* de humedad de suelo a escala puntual: sensores alámbricos e inalámbricos (en línea). In Congreso de instrumentación (29, 2014, Puerto Vallarta, Jalisco, México). Memorias SOMI. México, CCADET. 8 p. Consultado 8 ene. 2019. Disponible en <http://somi.ccadet.unam.mx/somi29/memoriassomi29/PDFS/Instrumentacion/153-ANSOMI-19-153.pdf>

Uribe, F; Zuluaga, AF; Valencia C, L; Murgueitio R, E; Ochoa S, L. 2011. Manual 3: buenas prácticas ganaderas (en línea). Uribe T, F (ed.). Bogotá, Colombia, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible, GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGÁN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. 86 p. Consultado 8 may. 2018. Disponible en <http://ganaderiacolombianasostenible.co/web/wp-content/uploads/2015/04/3.-Buenas-Practicas-Ganaderas.pdf>

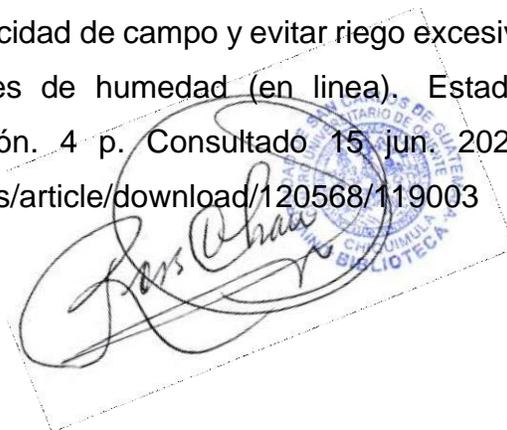
Vallejo-Quintero, VE. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles (en línea). Revista Colombia Forestal 16(1):83-99. Consultado 26 oct. 2018. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423939619006>

Verdecia, DM; Ramírez, JL; Leonard, I; Pascual, Y; López, Y. 2008. Rendimiento y componentes del valor nutritivo *del Panicum maximum* cv. Tanzania (en línea). Revista Electrónica de Veterinaria 9(5):1-9. Consultado 19 may. 2021. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63611397008>



Zambrano B, G; Apráez G, JE; Navia E, JF. 2014. Relationship between soil properties and bromatological variables grasses in a dairy system of Nariño (en línea). Revista de Ciencias Agrícolas 31(2):106-121. Consultado 19 may. 2021. Disponible en <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/2120>

Zotarelli, L; Dukes, MD; Morgan, KT. 2013. Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad (en línea). Estador Unidos de América, UF/IFAS Extensión. 4 p. Consultado 15 jun. 2021. Disponible en <https://journals.flvc.org/edis/article/download/120568/119003>



## XII. APÉNDICES



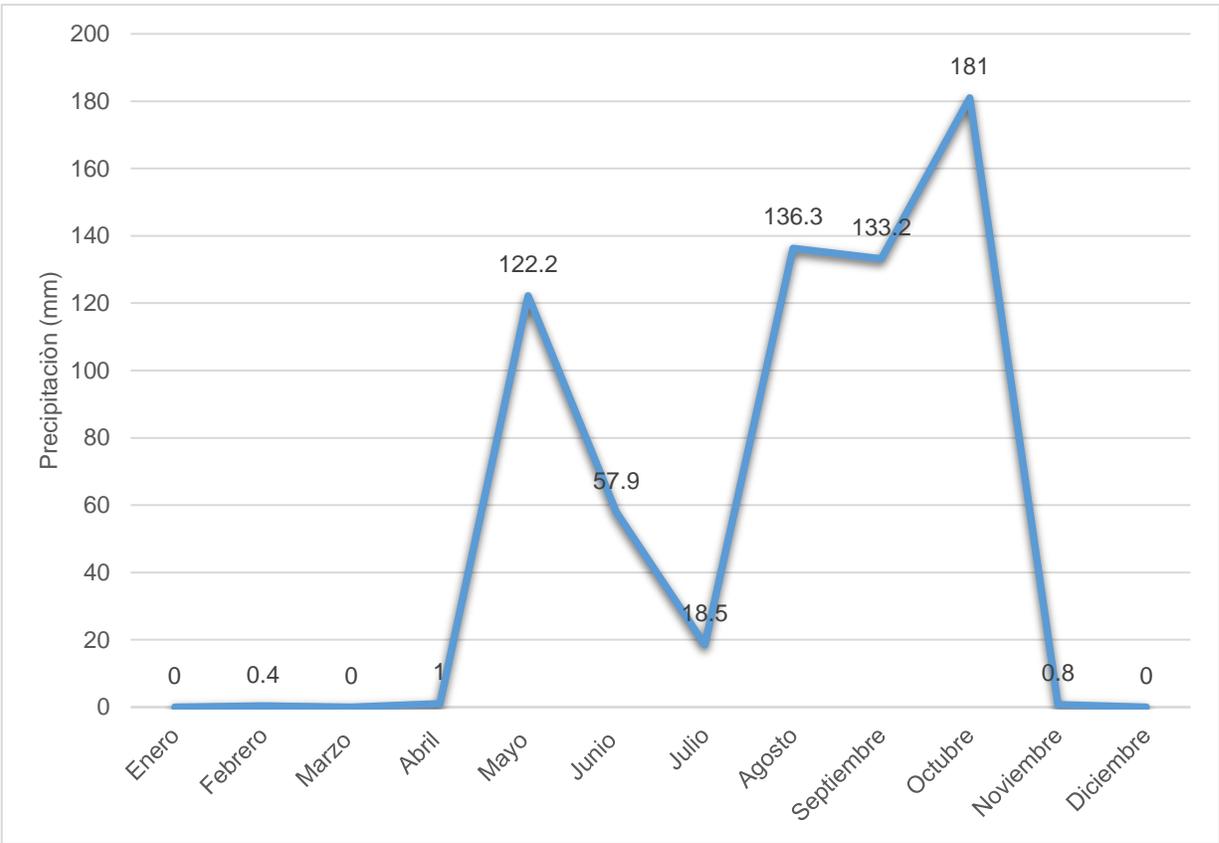
**Figura 5A.** Sistema silvopastoril intensivo, Finca el Zapotillo, CUNORI



**Figura 6A.** Sistema típico del productor, Finca el Zapotillo, CUNORI



**Figura 7A.** Recolección de muestra compuesta de suelo del STP y del SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI



**Figura 8A.** Comportamiento de la lluvia en Chiquimula, Chiquimula



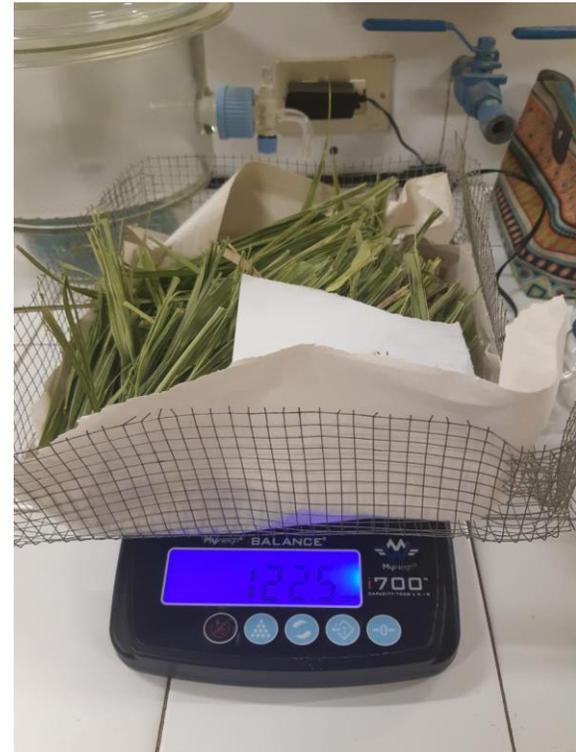
**Figura 9A.** Recolección de muestra de suelo en el STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI



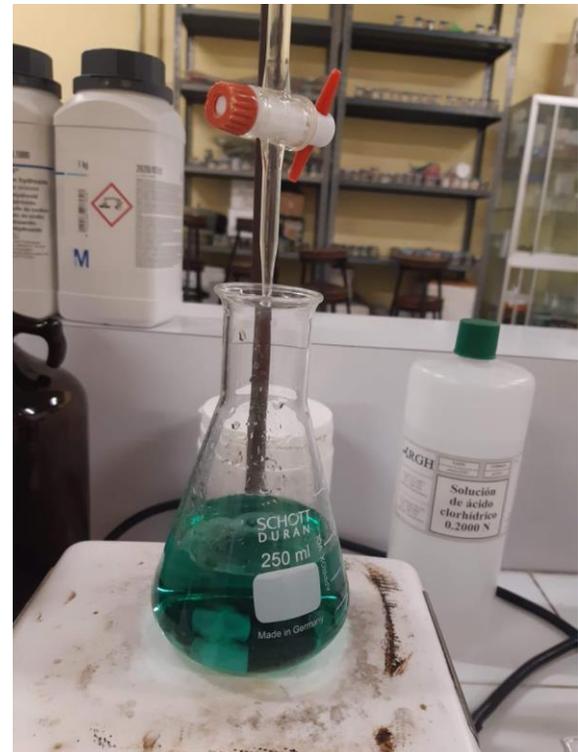
**Figura 10A.** Determinación del porcentaje de humedad en el suelo para el STP y el SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI



**Figura 11A.** Recolección de muestras del pasto Tanzania del STP y el SSPi, en la finca el Zapotillo, CUNORI



**Figura 12A.** Muestras del pasto Tanzania para determinar %MS del STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI



**Figura 13A.** Determinación del % de PC mediante el método Kjeldahl del pasto Tanzania en el STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI



**Figura 14A.** Determinación de grasas del pasto Tanzania del STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI



**Figura 15A.** Determinación de la FND y FAD del pasto Tanzania del STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI



**Figura 16A.** Determinación de las cenizas totales del pasto Tanzania del STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI,2019

### XIII. ANEXOS

**Tabla 8. Porcentaje de humedad en el suelo a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente del STP y del SSPi, de la finca el Zapotillo del CUNORI, 2021**

Orden: 26-3905  
Cliente: CUNORI USAC  
Finca: EL ZAPOTILLO  
Localización: Chiquimula, CHIQUIMULA



INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOS DE SUELOS - CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE

LAB\_Pr108\_FAS13

Versión 1

No. Laboratorio	Identificación	% Humedad	
		Capacidad de Campo (1/3 atm)	Punto de Marchitez Permanente (15 atm)
15229	LOTE SISTEMA TÍPICO DEL PRODUCTOR	23.68	14.56
15230	LOTE SISTEMA SILVOPASTORIL INTENSIVO	14.44	9.23

Capacidad de campo y punto de marchitez permanente método de olla de presión.  
Análisis realizado por subcontratación.

Fecha Ingreso: lunes, 01 de julio de 2019  
Fecha de Ejecución: miércoles, 10 de julio de 2019  
Fecha Entrega: viernes, 12 de julio de 2019

Nombre de Especialista  
Especialista de Suelos

Los resultados de este informe son validos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.  
Los resultados de este informe corresponden a muestras recibidas de acuerdo a los Criterios de Aceptación establecidos por Analab  
El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.  
La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.

**Tabla 9. Textura del suelo y % de MO del STP y del SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI, 2021**



**CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE -CUNORI-  
LABORATORIO DE SUELOS**

Finca El Zapotillo, Zona 5, Municipio de Chiquimula, Chiquimula  
Tel 78730300

Referido: Karla Castañeda

Localización: Finca Zapotillo ( Vega CUNORI)

No.	Identificación	Materia Orgánica (%)	Textura			Clase Textural
			Arcilla %	Limo %	Arena %	
1	STP	1.18	21.44	25.32	53.24	Franco Arcillosa Arenosa
2	SSPi	1.32	21.44	21.10	57.46	Franco Arcillosa Arenosa

  
 Licda. Vilma Leticia Ramos  
 Laboratorio Ambiental



**Tabla 10. Resultados de análisis bromatológicos de las muestras del pasto Tanzania a los 35,45 y 56 días después del corte de nivelación del STP y SSPi de la finca el Zapotillo, CUNORI, 2021**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA  
ZOOTECNIA

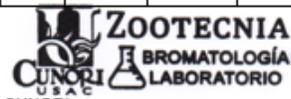


### RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Solicitado por: Karla Castañeda Procedencia: Chiquimula, Chiquimula Fecha: 16 de enero de 2020

Registro	Descripción	BASE	Materia Seca (%)	Proteína Cruda (%)	Extracto Etéreo (%)	Fibra Cruda (%)	FND (%)	FAD (%)	Cenizas totales (%)	ELN (%)	TND (%)	ED (Mcal/kg)
0620	STP (35 días)	SECA	26.68	5.55	0.25	32.78	76.45	54.90	9.45	51.99	53.65	2.37
		COMO ALIMENTO	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0820	STP (35 días)	SECA	20.60	8.67	0.60	34.59	78.38	56.05	12.44	43.70	52.58	2.32
		COMO ALIMENTO	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1020	STP (35 días)	SECA	24.37	7.35	1.28	34.28	77.23	54.99	11.72	45.37	53.33	2.35
		COMO ALIMENTO	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1120	STP (35 días)	SECA	19.39	9.09	0.51	33.12	76.68	55.08	12.77	44.51	52.95	2.33
		COMO ALIMENTO	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1220	STP (35 días)	SECA	18.40	9.45	1.45	34.35	77.18	54.92	13.56	41.19	52.73	2.32
		COMO ALIMENTO	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

  
 Lic. Zoot. Luis Fernando Córdón  
 Responsable Lab. Bromatología ZOOTECNIA-CUNORI



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA  
ZOOTECNIA



## RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Solicitado por: Karla Castañeda

Procedencia: Chiquimula, Chiquimula

Fecha: 16 de enero de 2020

Registro	Descripción	BASE	Materia Seca (%)	Proteína Cruda (%)	Extracto Etéreo (%)	Fibra Cruda (%)	FND (%)	FAD (%)	Cenizas totales (%)	ELN (%)	TND (%)	ED (Mcal/kg)
1320	STP (35 días)	SECA	26.25	8.75	1.09	32.53	76.82	53.84	11.64	45.99	54.05	2.38
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
1420	SSPi (35 días)	SECA	14.76	10.85	1.93	32.13	73.60	53.99	14.42	40.67	53.13	2.34
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
1520	SSPi (35 días)	SECA	17.24	7.70	1.79	33.32	78.29	56.53	11.94	45.24	53.95	2.38
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
1620	SSPi (35 días)	SECA	14.36	13.99	2.05	32.23	74.05	53.36	11.69	40.04	54.47	2.40
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
1720	SSPi (35 días)	SECA	17.8	13.98	1.78	29.57	76.32	50.97	11.16	43.51	55.24	2.44
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Lic. Zoot. Luis Fernando Cordón  
Responsable Lab. Bromatología ZOOTECNIA-CUNORI



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA  
ZOOTECNIA



## RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Solicitado por: Karla Castañeda

Procedencia: Chiquimula, Chiquimula

Fecha: 08 de febrero de 2020

Registro	Descripción	BASE	Materia Seca (%)	Proteína Cruda (%)	Extracto Etéreo (%)	Fibra Cruda (%)	FND (%)	FAD (%)	Cenizas totales (%)	ELN (%)	TND (%)	ED (Mcal/kg)
1820	SSPi (35 días)	SECA	17.60	15.04	2.08	28.77	65.03	49.77	11.32	42.79	55.39	2.44
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
1920	SSPi (35 días)	SECA	16.96	13.29	2.98	32.58	74.06	51.69	10.88	40.27	55.57	2.45
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
3520	STP (45 días)	SECA	24.53	6.99	0.79	32.04	78.07	53.47	8.82	51.36	55.24	2.44
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
3620	STP (45 días)	SECA	27.15	7.00	0.69	32.14	79.13	56.28	10.77	49.40	54.23	2.39
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
3720	STP (45 días)	SECA	19.16	10.14	1.42	31.46	76.92	56.94	14.01	42.97	53.41	2.35
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Lic. Zoot. Luis Fernando Cordón  
Responsable Lab. Bromatología ZOOTECNIA-CUNORI



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA  
ZOOTECNIA



## RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Solicitado por: Karla Castañeda

Procedencia: Chiquimula, Chiquimula

Fecha: 08 de febrero de 2020

Registro	Descripción	BASE	Materia Seca (%)	Proteína Cruda (%)	Extracto Etéreo (%)	Fibra Cruda (%)	FND (%)	FAD (%)	Cenizas totales (%)	ELN (%)	TND (%)	ED (Mcal/kg)
3820	STP (45 días)	SECA	19.39	8.04	1.09	32.85	77.82	58.72	14.06	43.96	52.89	2.33
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
3920	STP (45 días)	SECA	23.01	6.30	0.94	34.38	80.06	57.84	11.05	47.34	53.20	2.35
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
4020	STP (45 días)	SECA	19.74	7.35	0.90	33.18	78.10	55.80	12.15	46.42	53.40	2.35
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
4120	SSPi (45 días)	SECA	19.51	7.35	1.21	35.50	78.45	55.57	11.55	44.39	52.73	2.32
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
4220	SSPi (45 días)	SECA	25.81	6.65	1.44	33.06	80.42	54.37	9.34	49.51	55.11	2.43
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

  
Lic. Zoot. Luis Fernando Cordón  
Responsable Lab. Bromatología ZOOTECNIA-CUNORI



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA  
ZOOTECNIA



## RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Solicitado por: Karla Castañeda

Procedencia: Chiquimula, Chiquimula

Fecha: 08 de febrero de 2020

Registro	Descripción	BASE	Materia Seca (%)	Proteína Cruda (%)	Extracto Etéreo (%)	Fibra Cruda (%)	FND (%)	FAD (%)	Cenizas totales (%)	ELN (%)	TND (%)	ED (Mcal/kg)
4320	SSPi (45 días)	SECA	13.51	9.79	1.55	35.53	73.61	57.23	13.16	39.97	52.50	2.31
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
4420	STP (45 días)	SECA	18.27	11.20	1.66	32.09	75.36	55.01	11.70	43.35	54.42	2.40
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
4520	STP (45 días)	SECA	16.27	11.20	0.53	33.06	74.43	53.97	13.03	42.19	53.04	2.34
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
4620	SSPi (45 días)	SECA	23.07	7.00	0.83	35.50	78.38	57.51	12.53	44.14	52.12	2.30
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
5420	STP(56 días)	SECA	18.64	5.59	1.14	36.26	77.64	55.84	10.36	46.65	52.43	2.31
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

  
Lic. Zoot. Luis Fernando Cordón  
Responsable Lab. Bromatología ZOOTECNIA-CUNORI



## RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Solicitado por: Karla CastañedaProcedencia: Chiquimula, ChiquimulaFecha: 08 de febrero de 2020

Registro	Descripción	BASE	Materia Seca (%)	Proteína Cruda (%)	Extracto Etéreo (%)	Fibra Cruda (%)	FND (%)	FAD (%)	Cenizas totales (%)	ELN (%)	TND (%)	ED (Mcal/kg)
5520	STP (56 días)	SECA	24.64	4.20	1.52	37.98	80.80	57.85	9.95	46.34	51.42	2.27
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
5620	STP (56 días)	SECA	20.4	8.74	1.11	35.96	79.56	58.34	12.48	41.71	52.31	2.31
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
5720	STP (56 días)	SECA	16.41	9.09	0.94	34.63	75.13	56.96	12.57	42.76	52.76	2.33
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
5820	STP (56 días)	SECA	23.48	8.04	1.23	35.48	78.13	57.66	11.48	43.77	52.83	2.33
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
5920	STP (56 días)	SECA	20.51	5.95	1.08	36.26	79.14	56.95	10.63	46.07	52.35	2.31
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Lic. Zoot. Luis Fernando Cordón  
Responsable Lab. Bromatología ZOOTECNIA-CUNORI



## RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

Solicitado por: Karla CastañedaProcedencia: Chiquimula, ChiquimulaFecha: 08 de febrero de 2020

Registro	Descripción	BASE	Materia Seca (%)	Proteína Cruda (%)	Extracto Etéreo (%)	Fibra Cruda (%)	FND (%)	FAD (%)	Cenizas totales (%)	ELN (%)	TND (%)	ED (Mcal/kg)
6020	SSPI (56 días)	SECA	19.27	7.00	0.90	35.19	78.66	56.21	11.66	45.26	52.59	2.32
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
6120	SSPI (56 días)	SECA	25.35	5.60	0.95	34.56	77.35	56.01	11.41	47.47	52.94	2.33
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
6220	SSPI (56 días)	SECA	18.92	9.80	1.48	34.40	76.34	57.78	11.00	43.31	53.75	2.37
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
7020	SSPI (56 días)	SECA	16.83	9.80	1.81	34.63	76.22	57.29	11.66	42.11	53.52	2.36
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
7120	SSPI (56 días)	SECA	15.31	11.55	1.44	32.68	73.51	56.30	12.99	41.33	53.50	2.36
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
7220	SSPI (56 días)	SECA	20.06	7.69	0.89	35.65	79.28	58.52	12.64	43.13	52.15	2.30
		COMO ALIMENTO	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----



Lic. Zoot. Luis Fernando Cordón  
Responsable Lab. Bromatología ZOOTECNIA-CUNORI



**Tabla 11. Constancia de datos proporcionados por SIG-CUNORI sobre precipitación pluvial en el municipio de Chiquimula, Chiquimula del 2015 al 2019**



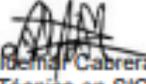
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE  
CARRERA TÉCNICO EN AGRIMENSURA E  
INGENIERÍA EN ADMINISTRACIÓN DE TIERRAS



Chiquimula, 23 de septiembre de 2021  
Ref. SIG-AT-11-2021

Por este medio se hace contar que a la estudiante Karla Alejandra Castañeda Sánchez con número de carnet 201442498 de la carrera de Zootecnia en esta casa de estudio, se le compartieron los datos obtenidos de la estación meteorológica marca y modelo Davis Vantage Pro 2 a cargo del SIG-CUNORI, los datos de precipitación fueron proporcionados en milímetros correspondientes a los años desde 2015 al 2019.

*"Id y Enseñad a todos"*

  
Alcides Walberia F. Cabrera M.  
Técnico en SIG

