

**Universidad de El Salvador
Facultad de Ciencias Agronómicas**



Evaluación del efecto de dos fertilizantes foliares quelatados en el rendimiento de biomasa y calidad del ensilaje de sorgo rojo (*Sorghum bicolor*) CENTA-CF en San Luis Talpa, La Paz, El Salvador.

**Por:
José Alberto Domínguez Saravia**

**Requisito para optar al título de:
Ingeniero Agrónomo**

**Universidad de El Salvador
Facultad de Ciencias Agronómicas
Departamento de Desarrollo Rural**



**Evaluación del efecto de dos fertilizantes foliares
quelatados en el rendimiento de biomasa y calidad del
ensilaje de sorgo rojo (*Sorghum bicolor*) CENTA-CF en San
Luis Talpa, La Paz, El Salvador.**

**Por:
José Alberto Domínguez Saravia**

**Requisito para obtener el título de:
Ingeniero Agrónomo**

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2023

Universidad de El Salvador

Rector:

Ing. Msc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla

Secretario General:

Lic. Pedro Rosalío Escobar Castaneda

Facultad de Ciencias Agronómicas

Decano:

Ing. MAECE. Nelson Bernabé Granados Alvarado

Secretario:

Ing. Msc. Edgar Geovany Reyes Melara

Jefe del Departamento de Desarrollo Rural

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

Docentes Asesores

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

Ing. Agr. Marvin Orlando Molina Escalante

Ing. Agr. Oscar Alonso Rodríguez Gracias

Ing. Carlos Andrés García López

Coordinadora de Procesos de Grado del Departamento

Licda. Cruz Gilma Ortiz de Alarcón

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo de julio 2021 a agosto 2022 en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, a una altura de 50 metros sobre el nivel del mar.

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de dos fertilizantes foliares quelatados en el rendimiento de biomasa y en la calidad del ensilaje del sorgo rojo (*Sorghum bicolor*) CENTA-CF.

Se utilizó un diseño de Bloques Completamente al Azar con 5 bloques, 20 unidades experimentales y 4 tratamientos que fueron el Testigo o Tratamiento cero en donde no se aplicó fertilizante foliar; Tratamiento uno en el cual se usó Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua; el Tratamiento dos se utilizó Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua; y el Tratamiento tres se aplicó Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua.

Se evaluaron cuatro variables: diámetro del tallo (basal, intermedio y apical); altura de las plantas (antes de la primera aplicación y cada quince días hasta la cosecha); rendimiento de biomasa; y valor nutricional a través de análisis bromatológico proximal del material recién cosechado y fermentado (25 días después de la cosecha).

El mayor rendimiento promedio de forraje verde de las plantas de sorgo y el mayor contenido de proteína promedio en el silo de sorgo se obtuvo con el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc/200 lt de agua, con 48.30 Tm.ha⁻¹ y con 9.56%, respectivamente; el mayor contenido de proteína promedio en el forraje verde de sorgo se obtuvo con el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con 9.40%.

Palabras claves: Fertilizante foliar, quelatos, biomasa, sorgo rojo, *Sorghum bicolor*, CENTA-CF, aminoácidos, forraje, ensilaje, proteína, El Salvador.

ABSTRAC

The research was carried out from July 2021 to August 2021 on the experiment and practice station of the faculty of Agronomies sciences from Universidad de El Salvador, located in Canton Tecualuya, municipality of San Luis Talpa, department of La Paz, at a height of 50 meters over level of sea. The aim research was to evaluated the effect of two chelated foliar fertilizers on biomass yield and silage quality of red sorghum (sorghum bicolor) CENTA-CF.

A completely random block design was used with 5 blocks, 20 experimental units and 4 treatments that were control or zero treatment where no foliar fertilizer was applied; treatment one what was used Metalosate crop up in dose of 250 cc/200 Lt of water plus Metalose NPK in 250 cc/200 Lt of water; treatment two had used Metalosate crop up in dose of 500 cc/200 plus Metalose NPK in 500 cc/200 Lt of water; treatment three had used Metalosate crop up in dose of 1,000 cc/200lt of water plus metalose NPK in 1,000 cc/200 Lt of water.

Four variable were evaluated: stem diameter (basal intermediate and apical); plant height (before the first application and every fifteen days until the harvest) biomass yield; nutritional value through proximal bromatological analysis of freshly harvested and fermented material (25 days after harvest).

The highest average green forage yield of sorghum and the highest average protein content in the sorghum silo was obtained with treatment two, application of Metalosate Crop Up in dose of 500 cc/200 plus Metalose NPK in 500 cc/200 Lt of water, with 48.30 cc/200 Tm. ha-1 and with 9.56% respectively; The highest average green forage yield of sorghum and the highest average protein content was got with the treatment one, application of Metalose Crop Up in dose of of 250 cc/200 Lt of water plus Metalose NPK in 250 cc/200 Lt of water, with 9.40%

Keywords: foliar fertilizer, chelates, biomass, red sorghum, CENT-CF, amino acids, forage, silage, protein, El Salvador.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarme, bendecirme y brindarme las capacidades para poder graduarme de la Universidad de El Salvador.

A mi padre Petronilo Domínguez Flores que siempre me brindo su ayuda estando en vida y siempre será un ejemplo para mí.

A mi madre Marta Concepción Saravia de Domínguez, que desde pequeño me cuido y en sus mejores años me dio lo necesario para que saliera adelante, por mis padres tengo este título universitario.

A mis asesores Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, Ing. Agr. Marvin Orlando Molina Escalante, Ing. Oscar Alonso Rodríguez Gracias, Ing. Humberto Ruiz Mejía, Ing. Carlos Andrés García López representante de BIOAGROLAT, gracias a todos por su tiempo, apoyo, orientación, consejos, por guiarnos en este camino y por creer en este proyecto.

A los trabajadores de la Estación Experimental y de Prácticas que me ayudaron en la tesis, por brindarme su ayuda en realizar las diferentes labores del cultivo.

A mis amigos que pusieron su granito de arena para terminar mi carrera y ser un profesional en esta vida, en especial a José Ulises García Ochoa, Miguel Edgardo Romero Hernández y Jonathan Alexis Santos Guerra.

A BIOAGROLAT por brindarnos su apoyo con los fertilizantes foliares y conocimientos técnicos para dar ese primer paso para llevar a cabo este sueño. Que Dios los bendiga a todos y los cuide siempre.

José Alberto Domínguez Saravia

DEDICATORIA

A mi padre Petronilo Domínguez Flores, que a pesar de todos los obstáculos y ser un pequeño agricultor y albañil con el mayor de los sacrificios nos sacó adelante.

A mi madre Marta Concepción Saravia de Domínguez, que con su esfuerzo y amor siempre está luchando por mí persona.

Dedico este título a mis amigos y compañeros de la Facultad de Ciencias Agronómicas porque fueron parte indispensable de todo este esfuerzo.

A todos los catedráticos que fueron mis maestros y me forjaron como el profesional que soy. A mis amigos de la Estación Experimental y de Prácticas que me ayudaron en la fase de campo de este proyecto.

Al Lic. Emerson Gustavo Martínez Hernández que me apoyo con los análisis bromatológicos del ensilaje.

A mis hermanos Mario Antonio Domínguez Saravia, Flor María Domínguez Saravia, Tránsito Emelina Domínguez Saravia y Cruz María Domínguez Saravia y familiares; Graciela Noemy Saravia, Carmen Daysi Saravia, María Isabel Ramírez, María Mercedes Saravia y Roberto Flores Santos, que siempre me apoyaron con sus palabras de motivación para lograr mi título.

A aquellas personas que siempre me brindaron palabras de aliento para realizar este gran logro satisfactorio.

José Alberto Domínguez Saravia

Índice general

	Página
RESUMEN	iv
ABSTRAC	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
Índice general.....	viii
Índice de cuadros	x
Índice de figuras	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible	2
2.2 Desarrollo Rural.....	2
2.3 Desarrollo Local.....	3
2.4 Recursos naturales.....	4
2.4.1 Recursos naturales renovables	5
2.4.2 Recursos naturales no renovables.....	5
2.5 Manejado integrado de cuencas	6
2.6 Cultivo de sorgo.....	6
2.6.1 Aspectos botánicos.....	7
2.6.2 Etapas fenológicas del sorgo	7
2.6.3 Requerimientos edafoclimáticos	8
2.6.4 Labores del cultivo.....	8
2.6.5 Variedades de sorgo.....	10
2.6.5.1 Variedades forrajeras	10
2.6.5.2 Variedades de sorgo color rojo con tanino.....	10
2.7 Alimentación y nutrición del ganado	11
2.7.1 Ensilaje.....	12
2.8 Nutrición de cultivos.....	14
2.8.1 Fertilizantes minerales.....	15
2.8.2 Fuentes orgánicas	15
2.8.3 Macronutrientes y micronutrientes	15
2.8.4 Fertilizantes foliares quelatados.....	16
3. OBJETIVOS	18

3.1	Objetivo general	18
3.2	Objetivos específicos.....	18
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
4.1	Ubicación de la investigación.....	19
4.2	Fase de campo.....	19
4.2.1	Material experimental	19
4.2.2.	Fertilizantes foliares.....	20
4.2.3.	Establecimiento y manejo del cultivo	20
4.2.4.	Toma de datos.....	23
4.3.	Metodología de laboratorio	25
4.4.	Metodología estadística	25
4.4.1.	Tamaño de la parcela y muestreos.....	26
4.4.2.	Tratamientos en estudio	27
4.4.3.	Modelo estadístico.....	29
4.4.4.	Análisis de varianza.....	30
4.5.	Metodología socioeconómica	31
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
5.1.	Altura de la planta a los 15 días después de la siembra.....	32
5.2.	Altura de la planta a los 30 días después de la siembra.....	32
5.3.	Altura de la planta a los 45 días después de la siembra.....	33
5.3.1.	Ganancia de altura de la planta	34
5.4.	Diámetro del tallo a los 15 días después de la siembra.....	35
5.5.	Diámetro del tallo a los 30 días después de la siembra.....	35
5.6.	Diámetro del tallo a los 45 días después de la siembra.....	36
5.7.	Longitud de la panoja.....	37
5.8.	Peso de las plantas de sorgo	38
5.9.	Rendimiento del forraje verde	38
5.10.	Análisis bromatológico de las plantas de sorgo	39
5.10.1.	Contenido de humedad en el forraje verde y en el silo de sorgo	39
5.10.2.	Contenido de materia seca en el forraje verde y en el silo de sorgo.....	40
5.10.3.	Contenido de ceniza en el forraje verde y en el silo de sorgo.....	41
5.10.4.	Contenido de proteína en el forraje verde y en el silo de sorgo.....	42
5.10.5.	Contenido de extracto etéreo en el forraje verde y en el silo de sorgo	43
5.10.6.	Contenido de fibra cruda en el forraje verde y en el silo de sorgo	44

5.10.7.	Contenido de carbohidratos en el forraje verde y en el silo de sorgo.....	45
5.11.	Análisis socioeconómico.....	47
6.	CONCLUSIONES.....	49
7.	RECOMENDACIONES.....	51
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	52
9.	ANEXOS	56

Índice de cuadros

	Página	
Cuadro 1.	Características agronómicas de la variedad de sorgo rojo CENTA-CF.....	11
Cuadro 2.	Niveles adecuados en los tejidos de nutrientes requeridos por las plantas.....	16
Cuadro 3.	Composición de los productos quelatados (porcentaje peso/peso).....	18
Cuadro 4.	Formulario para la toma de datos.	24
Cuadro 5.	Tratamientos que se evaluaron en la investigación.....	27
Cuadro 6.	Estructura de tabla del Análisis de Varianza (ANVA) bajo un Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA).....	30
Cuadro 7.	Resumen del efecto de las diferentes dosis utilizadas de los fertilizantes foliares quelatados en el rendimiento del cultivo y en la calidad del ensilaje de sorgo rojo. ..	46
Cuadro 8.	Presupuesto parcial y beneficios netos.....	48

Índice de figuras

	Página	
Figura 1.	Ubicación de la investigación.....	19
Figura 2.	Panoja de sorgo rojo CENTA-CF.....	20
Figura 3.	Fertilizantes foliares quelatados.....	20
Figura 4.	Paso de rastra para preparar el terreno.....	21
Figura 5.	Primera fertilización del sorgo.....	21
Figura 6.	Preparación de la aplicación de los fertilizantes foliares.	22
Figura 7.	Cosecha del sorgo.....	22
Figura 8.	Picado del sorgo.....	23
Figura 9.	Compactado del sorgo en bolsas plásticas.....	23
Figura 10.	Toma de datos del cultivo.....	24
Figura 11.	Área de muestreo en una parcela (Rodríguez 2021).	26

Figura 12.	Métodos de muestreo.....	27
Figura 13.	Distribución de los tratamientos en campo.	28
Figura 14.	Vista aérea de la distribución de los tratamientos en la parcela.	28
Figura 15.	Matriz de datos en Bloques Completos al Azar.....	30
Figura 16.	Altura de las plantas a los 15 días después de la siembra.....	32
Figura 17.	Altura de las plantas a los 30 días después de la siembra.....	33
Figura 18.	Altura de las plantas a los 45 días después de la siembra.....	33
Figura 19.	Ganancia de altura de las plantas de sorgo rojo CENTA-CF.	34
Figura 20.	Diámetro del tallo de las plantas a los 15 días después de la siembra.....	35
Figura 21.	Diámetro del tallo de las plantas a los 30 días después de la siembra.....	36
Figura 22.	Diámetro del tallo de las plantas a los 45 días después de la siembra.....	36
Figura 23.	Longitud promedio de las panojas de sorgo rojo CENTA-CF.	37
Figura 24.	Peso promedio de las plantas de sorgo.	38
Figura 25.	Rendimiento promedio del forraje verde de sorgo.	39
Figura 26.	Contenido de humedad en el forraje verde y en el silo de sorgo.....	40
Figura 27.	Contenido de materia seca en el forraje verde y en el silo de sorgo.	41
Figura 28.	Contenido de ceniza en el forraje verde y en el silo de sorgo.	42
Figura 29.	Contenido de proteína en el forraje verde y en el silo de sorgo.	43
Figura 30.	Contenido de extracto etéreo en el forraje verde y en el silo de sorgo.....	44
Figura 31.	Contenido de fibra cruda en el forraje verde y en el silo de sorgo.....	45
Figura 32.	Contenido de carbohidratos en el forraje verde y en el silo de sorgo.	46

Índice de anexos

	Página	
Anexo 1.	Análisis bromatológico del forraje.	56
Anexo 2.	Análisis bromatológico del ensilaje.	57

1. INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina es una importante actividad económica que constituye el sustento de miles de familias en diversas regiones de El Salvador, por consiguiente promover su desarrollo conlleva al incremento de la producción de leche y carne ayudando a satisfacer la demanda interna de algunos productos, para ello cual es importante contar con animales sanos mediante la alimentación adecuada durante todo el año y sobre todo en la época seca, periodo en donde el alimento escasea y muchas ganaderías no cuentan con planes estratégicos y operativos anuales para alimentar el ganado. Por eso es importante almacenar alimento de muy buena calidad nutricional para la época seca, este es el caso del ensilaje, para el cual, el maicillo o sorgo (*Sorghum bicolor*) es una opción para alimentar diferentes especies de la ganadería.

El sorgo es un cultivo que en algunas regiones del mundo está sustituyendo al cultivo de maíz (*Zea mays*), por su resistencia a enfermedades virosas, fungosas y poca demanda de agua. La importancia de este cultivo ha aumentado considerablemente en los últimos años debido a su utilización en la alimentación humana (Zeledón *et al.* 2007).

El sorgo forrajero es utilizado en la alimentación animal, ya sea en forma de ensilaje o corte fresco, y el grano es usado para la fabricación de alimentos concentrados en los sectores avícola, porcino y bovino (CENTA 2018).

El sorgo forrajero tiene el potencial para producir un excelente ensilaje, ya que dispone de suficiente cantidad de azúcares simples que son utilizados como sustrato por las bacterias anaeróbicas para la producción de ácido láctico, responsable fundamental de una buena fermentación (Rovira y Velazco 2012).

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de dos fertilizantes foliares quelatados en cuanto al rendimiento de biomasa y en la calidad del ensilaje del sorgo rojo CENTA-CF.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible

En septiembre de 2015, los 193 estados miembros de las Naciones Unidas, junto con un gran número de actores de la sociedad civil, el mundo académico y el sector privado, entablaron un proceso de negociación abierto, democrático y participativo, que resultó en la proclamación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, con sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas 2018).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, también conocidos como Objetivos Mundiales, se adoptaron de forma voluntaria por cada país firmante, como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para el año 2030; además, reconocen que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad medioambiental, económica y social.

Con esta investigación se busca contribuir al cumplimiento de los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivo 2: Hambre cero, Objetivo 13: Acción por el clima, y Objetivo 15: Vida de ecosistemas terrestres.

2.2 Desarrollo Rural

El principal objetivo del desarrollo rural es la reducción de la pobreza, ya que más del 75% de los pobres del mundo vive en áreas rurales. En prácticamente todos los países en desarrollo, las familias pobres de las áreas rurales superan en número a sus símiles de las zonas urbanas, sufren condiciones de limitación de recursos más visibles que su contraparte urbana y tienen un acceso más limitado a servicios sociales básicos como son higiene, agua potable, servicios de salud y educación primaria; son, en consecuencia, víctimas de niveles desproporcionados de hambre, salud deficiente y analfabetismo. Es evidente que las familias pobres rurales deben hacer frente a obstáculos abrumadores para romper el ciclo de la pobreza (Morrison y Pearce 2001).

Según la Organización de las Naciones para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la agricultura es la clave para reducir la pobreza rural, ya que da empleo a más de la mitad de toda la fuerza laboral de los países en desarrollo. La mayor parte de los habitantes del mundo que viven en extrema pobreza depende de la agricultura para subsistir, la cual, tiene

eslabonamientos tanto hacia atrás como hacia adelante con el sector rural no agrícola al que compra insumos como semillas y herramientas, provee de materias primas para las industrias que se sustentan en la actividad agrícola y donde genera una demanda por bienes y servicios locales como vivienda, muebles y vestuario. En consecuencia, el crecimiento agrícola puede incrementar los ingresos de las familias pobres de las áreas rurales en forma directa a través de una mayor producción y una demanda adicional de mano de obra agrícola, y también en forma indirecta mediante vínculos con las actividades productivas no agrícolas que se desarrollan en las áreas rurales (Morrison y Pearce 2001).

Para la Comisión Económica de América Latina y el Caribe (CEPAL), no es posible superar la pobreza ni combatir el hambre, la malnutrición y el cambio climático, si las sociedades y los actores políticos no reconocen lo rural como un motor del desarrollo económico, social y ambiental en los países en desarrollo, al menos con la misma importancia que se le asigna en los países desarrollados (CEPAL *et al.* 2019).

2.3 Desarrollo Local

Cada vez es más habitual escuchar hablar sobre la importancia que tiene para los pueblos y ciudades contar con un proyecto de desarrollo generado a nivel local. Con distinto nivel de resultados alcanzados, recursos, planificación y participación de la comunidad, muchas localidades han estado implementando, desde mediados de la década del 90 hasta la actualidad, proyectos orientados al desarrollo local (Casalis 2009).

El desarrollo local se puede entender como un proceso complejo, que es producto de una construcción colectiva a nivel local, que tiene como objetivo movilizar los recursos del territorio en torno de un proyecto común e incluir al conjunto de la población. Supone una perspectiva integral del desarrollo, es decir, que incluye la dimensión social, política, ambiental, cultural, el perfil productivo, entre otras (Casalis 2009).

Asimismo, busca articular el desarrollo productivo con la inclusión social a partir de la definición de un perfil de desarrollo para el territorio, es decir, aquellas actividades que permiten movilizar los recursos locales y mejorar las condiciones de vida de la población, en particular de los sectores más vulnerables. En ese sentido, requiere la participación tanto del gobierno local como también del sector privado, del sector social y las instituciones técnicas y del conocimiento que tienen presencia en el territorio (Casalis 2009).

El Programa de Granos Básicos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), ha trabajado con variedades de sorgo fotosensitivas y fotoinsensitivas, las primeras son destinadas a la dobla o relevo con maíz con un ciclo de cultivo de 5 meses y son utilizadas por el productor con doble propósito: obtención de grano y forraje en forma de rastrojo para la alimentación del ganado bovino en la época seca (CENTA 2018).

2.4 Recursos naturales

Los recursos naturales están constituidos por componentes bióticos y abióticos, y representan la fuente básica de provisión de materias primas, naturales y no transformadas, que son necesarias para la existencia humana (plantas, animales, minerales, agua, aire). Algunos de estos elementos están distribuidos desigualmente en el planeta, segregados o asociados entre sí y son el producto de la naturaleza misma de la tierra. En consecuencia, un componente natural se convierte en recurso en el momento en que se le agrega valor de uso, así que se incorpora al proceso de producción industrial para el consumo humano (Delgado 2010).

La Organización Mundial del Comercio (OMC) en su informe de 2010 define los recursos naturales como “materiales existentes en el entorno natural, escasos y económicamente útiles en la producción o el consumo, ya sea en estado bruto o tras haber sido sometidos a un mínimo proceso de elaboración” (Delgado 2010).

EUROSTAT (2010) citado por Delgado (2010) expresa que “los recursos naturales sustentan el funcionamiento de la economía europea y mundial, y la calidad de vida. Estos recursos incluyen materias primas como los combustibles, minerales y metales, también alimentos, el suelo, agua, aire, la biomasa y los ecosistemas”.

El pastoreo intensivo hace que la materia residual de la planta disminuya y contribuye aún más a numerosas consecuencias negativas tanto para los animales como para la tierra. El sobrepastoreo significa un serio desafío ambiental para mantener el equilibrio natural del ganado en las tierras de pastoreo, lo que reduce la productividad, la utilidad y la biodiversidad de la tierra (Decología s.f.).

Los actos de compactación y erosión como resultado del sobrepastoreo pueden causar una tremenda degradación de la tierra. En las zonas más secas la experiencia es aún peor, ya

que se destruye gran porcentaje de los pastos y la cobertura de la tierra, lo que contribuye a la progresión implacable de la desertificación (Decología s.f.).

2.4.1 Recursos naturales renovables

Son aquellos recursos cuya existencia no se agota por la utilización de los mismos. Esto puede ocurrir por dos motivos: porque su utilización no modifica su stock o su estado de los mismos: energía solar, energía eólica, energía hidráulica, energía biotermal; o porque se regeneran rápido para que puedan seguir siendo utilizados sin que se agoten: peces, bosques, biomasa en general. Este tipo de recurso natural renovable puede dejar de serlo si se utiliza en exceso, por ejemplo, la pesca excesiva está llevando a la disminución de ciertas especies, es decir, que la tasa de explotación es mayor que la tasa de regeneración. Lo mismo sucede con los bosques nativos (Fritschy 2015).

El aprovechamiento y mantenimiento de los recursos renovables depende de factores tecnológicos, económicos, políticos y culturales. El desarrollo tecnológico hace posible que recursos naturales que en períodos pasados no eran aprovechables comiencen a serlo o bien que la eficiencia con la que se aprovechan aumente, un ejemplo: la energía solar antes no era aprovechable. A medida que la tecnología evolucionó la eficiencia con la que se aprovecha es cada vez mayor (Fritschy 2015).

2.4.2 Recursos naturales no renovables

Estos recursos están formados por cantidades finitas e invariables de material. El proceso de formación y regeneración es muy lento; desde la escala temporal humana se consideran como fijos. Existen en cantidades fijas o bien aquellos cuya tasa de regeneración es menor a la tasa de explotación. A medida que son utilizados se van agotando hasta acabarse. Ejemplos: petróleo, minerales, gas natural, entre otros (Fritschy 2015).

Aunque el petróleo ha jugado un papel importante en el desarrollo de la economía local y mundial, es también cierto, su contribución al impacto que ha ocasionado en el medio ambiente, y por otra parte, algún día el petróleo se terminará, por ello se buscan alternativas como los biocombustibles, la energía solar, energía eólica y la utilización del hidrógeno como combustible. También preocupa actualmente el impacto ambiental que tiene la utilización de los combustibles fósiles, debido al calentamiento global (Fritschy 2015).

2.5 Manejado integrado de cuencas

Las cuencas hidrográficas juegan un papel importante en la conservación y manejo de los recursos naturales en El Salvador, su degradación a causa del cambio y la variabilidad climática es un tema que afecta a la sociedad en general y a todos los sectores económicos, debido a las graves consecuencias como la escasez del agua, la insuficiente producción de alimentos, la inseguridad alimentaria y nutricional de las familias, y los altos índices en los niveles de pobreza, todo ello afecta principalmente el desarrollo del sector agropecuario y del país en general (MAG 2017).

La cuenca hidrográfica es el espacio de territorio delimitado por la línea divisoria de las aguas, conformado por un sistema hídrico que conduce sus aguas a un río principal, a un río muy grande, a un lago o a un mar. Este es un ámbito tridimensional que integra las interacciones entre la cobertura sobre el terreno, las profundidades del suelo y el entorno de la línea divisoria de las aguas (World Vision s.f).

2.6 Cultivo de sorgo

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), conocido en El Salvador como maicillo, pertenece a la familia de las gramíneas, tuvo su origen en África y llegó a Centroamérica a través de la India, China y Estados Unidos. Después del maíz blanco, es el segundo grano en volumen producido en El Salvador (CENTA 2018).

El sorgo es un cultivo que en algunas regiones del mundo está sustituyendo al maíz por su resistencia a enfermedades virósicas, fungosas y poca demanda de agua. La importancia de este cultivo ha aumentado considerablemente en los últimos años debido a su utilización en la alimentación humana (Zeledón *et al.* 2007).

Según el CENTA (2018), el sorgo es muy utilizado en alimentación animal, ya sea en forma de ensilaje o corte fresco. También el grano es utilizado para la fabricación de alimentos concentrados para los sectores avícola, porcina y bovina. Por el régimen de lluvia imperante en el país se pueden obtener dos cosechas en el año, la primera siembra en el mes de mayo o cuando la época lluviosa se haya establecido, la cual se destina para ensilaje y se maneja el rebrote para obtener grano al final del año. La segunda siembra se hace a mediados o finales del mes de agosto, esto para que el grano no sea manchado por la lluvia.

2.6.1 Aspectos botánicos

El sistema radical del sorgo es adventicio fibroso, se desarrolla de los nudos más bajos del tallo; la profundidad de enraizado es generalmente de 1 a 1.3 metros, con 80% de las raíces en los primeros 30 centímetros. El número de pelos absorbentes puede ser el doble que en maíz, las raíces de soporte pueden crecer de brotes radicales, pero no son efectivas en la absorción de agua y nutrientes (CENTA 2018).

El sorgo es una planta de un solo tallo, pero puede desarrollar otros brotes (hijos) dependiendo de la variedad y el ambiente; está formado de una serie de nudos y entrenudos, su longitud varía de 0.5 a 4 m, su diámetro de 0.5 a 5 cm cerca de la base, volviéndose más angosto en el extremo superior; su consistencia es sólida con una corteza o tejido exterior duro y una médula suave. Los tallos tienen de 7 a 24 nudos y son erectos (CENTA 2018).

El número de hojas varía de 7 a 24 según la variedad y el período de longitud de crecimiento, son erectas hasta casi horizontales y se encorvan con la edad. La longitud de una hoja madura oscila entre 30 a 135 cm y su ancho entre 5 a 15 cm; son alternas y lanceoladas o linear-lanceoladas, con una superficie lisa y cerosa.

La inflorescencia es una panícula de racimo con un raquis central completamente escondido por la densidad de sus ramas o totalmente expuesto, cuando está inmadura es forzada hacia arriba dentro de la vaina más alta (buche), después que la última hoja (bandera) se expande distendiéndola a su paso. La exención es importante para la cosecha mecanizada y para la tolerancia de plagas y enfermedades. La panícula es corta o larga, suelta y abierta, y compacta o semi-compacta. Puede tener de 10 a 35 cm de largo, 5 a 20 cm de ancho y tiene entre 400 a 1,000 granos, según el tipo de panícula y variedad (CENTA 2018).

2.6.2 Etapas fenológicas del sorgo

Según el CENTA (2018), el cultivo del sorgo presenta tres etapas fenológicas bien definidas, con una duración de aproximadamente 30 días cada una, dependiendo de la variedad que se utilice, así como de las condiciones agroclimáticas:

- Etapa 1. Vegetativa: comprende desde la siembra hasta el inicio del primordio floral (30 a 35 días). Esta etapa inicia con la imbibición del agua por la semilla, la formación de la radícula y del coleóptilo, finalizando con el crecimiento de hojas y tallo.

- Etapa 2. Reproductiva: se inicia con la emergencia del primordio floral, continúa con la iniciación de ramas primarias y secundarias; agrandamiento del ápice floral, glumas, espiguillas, formación de florcillas con sus estambres y pistilos, finalizando con la maduración de los órganos reproductivos.
- Etapa 3. Comprende desde la polinización, fecundación del ovario, desarrollo y maduración del grano.

2.6.3 Requerimientos edafoclimáticos

El sorgo es bastante susceptible a deficiencia de hierro, zinc y manganeso; especialmente en suelos vertisoles con altos niveles de carbonato de calcio. Estas deficiencias pueden ser observadas por síntomas como plantas cloróticas (amarillentas) o manchas rojizas a lo largo de las hojas. Responde muy bien a una diversidad de suelos aún con características adversas de fertilidad, textura, pendiente, pedregosidad y pH (5.5 - 7.8) (CENTA 2018).

El sorgo puede cultivarse desde 0 a 1,000 metros sobre el nivel del mar (msnm), sin embargo, las mejores producciones se obtienen en zonas comprendidas de 0 a 500 msnm. El sorgo, dependiendo de su condición fisiológica, puede ser foto sensible o fotoinsensible, esto se refiere a la cantidad de horas luz que el cultivo demanda para su desarrollo y floración (CENTA 2018).

En general el sorgo requiere 550 mm de agua durante el ciclo de cultivo, que estén bien distribuidos para una óptima producción. Debido a su origen tropical el sorgo se adapta bien a temperaturas que oscilan entre 20° C y 40° C. Temperaturas fuera de este rango provocan el retardo o la aceleración de la antesis (prefloración), aborto de flores y de embriones (CENTA 2018).

2.6.4 Labores del cultivo

Según el CENTA (2018), el manejo del cultivo debe ser el óptimo para aprovechar el mayor potencial genético de las variedades o híbridos e incluye realizar las siguientes labores:

- Chapoda: Consiste en eliminar las malezas en forma manual, mecánica o química, 8 a 15 días antes de la siembra.
- Rastreado: Esta actividad permite dejar el suelo suelto para favorecer la germinación de la semilla y la emergencia de la plántula. Dependiendo del estado del terreno se darán de 2 a 3 pasos de rastra.

- Surcado: Debe tener una profundidad de 10 a 15 cm para la germinación de la semilla y favorecer el drenaje.
- Densidad y distanciamiento de siembra. La población adecuada de plantas permite obtener mejores rendimientos sin detrimento del recurso suelo y favorece las labores de cultivo; los distanciamientos menores a 0.60 m entre surco ocasionan problemas para efectuar estas labores. Las recomendadas oscilan entre 0.70 m y 0.80 m de acuerdo al cultivar a sembrar.
- Raleo. Esta labor, conocida también como deshije, consiste en eliminar el exceso de plantas para regular la densidad poblacional.
- Fertilización. Para fertilizar se recomienda hacerlo con base en los resultados del análisis de suelo, de no existir análisis de suelo se recomienda en forma general la siguiente fertilización:
 - ✓ Primera fertilización: a la siembra u ocho días después de haber sembrado, con 400 lb/mz (259.72 kg/ha) de fórmula 16-20-0.
 - ✓ Segunda fertilización: a los 25 días después de siembra con 300 lb/mz (194.80 kg/ha) de sulfato de amonio.
 - ✓ Tercera fertilización: 40 días después de la siembra, 100 lb/mz (31.81 kg/ha) de urea.
- Control de malezas. Puede realizarse en forma mecánica, manual y química. Existen ciertas prácticas culturales que contribuyen a reducir el efecto de malezas, como: utilización de semillas mejoradas, densidad adecuada de plantas y reducción en distanciamientos de siembra.
- Aporco. Debe realizarse de los 22 a 30 días después de la siembra, inmediatamente después de la segunda fertilización. Esta práctica se realiza con el objetivo de incorporar el fertilizante, controlar las malezas, ayudar a la fijación de la planta y favorecer el drenaje del suelo.
- Riego. El sorgo es una planta muy tolerante a la sequía, pero necesita satisfacer sus necesidades de agua principalmente durante los primeros estadios de crecimiento y en la floración.
- Manejo de plagas. El control de insectos debe realizarse mediante el manejo integrado de plagas (MIP), esto comprende: utilización de insecticidas apropiados, uso de variedades resistentes o tolerantes, prácticas culturales (fecha de siembra, rotación de cultivos, eliminación de hospederos de insectos, manejo de residuos de cosecha), control biológico y la observación detallada del cultivo con el objetivo de verificar las poblaciones de plagas y el daño causado.

Es muy importante, en lo que sea posible, informarse del ciclo de vida de los insectos considerados como plaga, puesto que no debe esperarse observar un cultivo totalmente libre de insectos, pues aun cuando se encuentren presentes es muy posible que no alcancen niveles de daño al cultivo que puedan transformarse en pérdidas económicas. También se debe recordar que las larvas de insectos tienen diferentes nombres, según el grupo al que pertenecen: en el grupo de las palomillas se denominan “gusanos”, las larvas de las moscas se llaman “cresas”, y las de los escarabajos se conocen como “gusanos de alambre, gallinas ciegas, orugas”. Estas larvas experimentan cambios morfológicos, los que influyen en su forma de alimentarse y es en sus fases de inicio (L2 y L3) que son más voraces y por consiguiente las fases que causan mayor daño a la planta o grano de sorgo (CENTA 2018).

2.6.5 Variedades de sorgo

El Programa de Granos Básicos del CENTA ha trabajado con variedades de sorgo foto sensitivas y fotoinsensitivas, las primeras son destinadas a la dobla o relevo con maíz con un ciclo de cultivo de 5 meses, y son utilizados por el productor con doble propósito: obtención de grano y forraje en forma de rastrojo para la alimentación del ganado bovino en la época seca.

De acuerdo a CENTA (2018), la institución cuenta con variedades de sorgo foto sensitivas como: CENTA-ZAM 911, CENTA-ZAM 912 y CENTA ChG, que poseen buena adaptación a suelos de ladera con baja fertilidad y buen rendimiento de grano. Las variedades de sorgo fotoinsensitivas que trabaja el CENTA son: CENTA Soberano, CENTA RCV, CENTA Liberal, CENTA S-3 y CENTA S-2.

2.6.5.1 Variedades forrajeras

Luego de todas las pruebas de investigación realizadas y considerando las buenas opiniones de los ganaderos de distintas zonas de El Salvador, en el año 2011 se liberó la primera variedad forrajera de sorgo “BMR” (CENTA S-2 “BMR”), mientras que en el 2012 se liberan dos nuevas variedades forrajeras (CENTA S-3 “BMR” y CENTA S-4 “BMR”) (CENTA 2018).

2.6.5.2 Variedades de sorgo color rojo con tanino

El interés en generar este tipo de sorgo ha sido incrementar la calidad nutricional al momento de ensilar y ofrecerlo al ganado para la producción de leche. Por tal razón, en el año 2016, el CENTA liberó la variedad CENTA-CF, la cual es la primera en El Salvador. Este material tiene las características de poseer color rojo y taninos en el grano dando un sabor astringente

(amargo), situación que lo hace menos apetecible y atractivo para ser consumido por los pájaros. Bajo esta condición la materia prima utilizada para el ensilaje dispondrá de mayor cantidad de grano, mejorando la fermentación y proporcionando la cantidad necesaria de almidones que se transforman en carbohidratos, ayudando a mejorar la calidad de la dieta alimenticia del ganado y por ende incrementando la producción de leche (CENTA 2018).

Cuadro 1. Características agronómicas de la variedad de sorgo rojo CENTA-CF.

Característica	Sorgo rojo CENTA-CF
Rendimiento de materia verde para ensilaje	52.13 tm.ha ⁻¹
Rendimiento de grano	55 qq/mz.
Contenido de tanino en grano	0.04%
Días a cosecha para ensilaje	87
Altura de planta	210 cm
Días a cosecha grano	110- 115
Tamaño de panoja	25 cm
Color de grano	Rojo
Color de planta	Canela
Complejo de enfermedades	Tolerante
Plagas	Tolerante
Tipo de panoja	Semi-compacta

Fuente: CENTA (2018).

2.7 Alimentación y nutrición del ganado

La ganadería bovina es una importante actividad económica que constituye el sustento de miles de familias en diversas regiones del país; para promover su desarrollo es fundamental incrementar la producción de leche y carne, lo cual se logra cuando los animales están sanos y reciben una alimentación adecuada durante todo el año (Pando y Peruando 2010).

La producción de ganado bovino lechero se basa en factores importantes como: el manejo, alimentación, sanidad y reproducción (mejoramiento genético). La alimentación puede ser a base de mezcla de forrajes y subproductos alimenticios de la agroindustria debidamente balanceados, como ración única (consume 3 - 4% de su peso vivo en materia seca). El valor nutritivo de la dieta debe ser reajustado de acuerdo al nivel de producción, edad y estado reproductivo del animal; siendo repartida en horarios de mañana y tarde de acuerdo a las necesidades del animal (Pando y Peruando 2010).

Según Wattiaux y Howard (s.f.) citados por García y Ramos (2011), dicen que el costo de los alimentos en la producción lechera representa el renglón más alto dentro de la inversión total.

Los alimentos utilizados para el ganado se clasifican en forrajes, concentrados, minerales y vitaminas. Los forrajes son las partes vegetativas de las gramíneas o de las leguminosas que contienen una alta proporción de fibra (más de 30% de Fibra Neutro Detergente). Pueden ser pastoreados directamente o cosechados y preservados como ensilaje o heno. La ingestión de energía y la producción de leche pueden estar limitadas si hay demasiado forraje en la ración. Sin embargo, los alimentos voluminosos son esenciales para estimular la rumia y mantener la salud de la vaca. En general, cuanto más alto es el contenido de fibra, más bajo es el contenido de energía del forraje.

Según la madurez, las leguminosas pueden tener 15 a 23% de proteína cruda, las gramíneas contienen 8 a 18% de proteína cruda (según el nivel de fertilización con nitrógeno) y los residuos de cosechas pueden tener solo 3 a 4% de proteína cruda (García y Ramos 2011).

Las bases de todas las raciones lecheras deben ser los forrajes secos y ensilados, o las praderas. Los forrajes succulentos y los henos constituyen las fuentes de nutrientes más económicas para la alimentación de ganado estabulado (Reaves y Pegram 1993).

2.7.1 Ensilaje

El ensilaje de forraje verde es una técnica de conservación en un medio sin oxígeno, que se basa en procesos químicos y biológicos generados en los tejidos vegetales que contienen suficiente cantidad de azúcares solubles. La estabilización se produce por el incremento de la acidez generada por las fermentaciones, la cual alcanza un valor extremo tal que paraliza toda actividad microbiana. Las condiciones necesarias para lograr un silo de adecuada calidad dependen de la elección de un buen cultivo, momento óptimo del picado, tamaño del picado, rápida expulsión del oxígeno y aislación mediante bolsa o manta plástica (Kent s.f).

Como recurso forrajero el ensilaje de sorgo y maíz se caracteriza por elevada producción de materia seca de buena calidad. Cuando se refiere a calidad es en términos de energía, no así en proteína que puede ir desde 3,5 a 12%. Sólo con el mayor nivel es posible lograr un buen resultado en la categoría de menores requerimientos proteicos, que es la vaca de cría. Para el resto de las situaciones es necesario asociarlo con otro alimento que eleve el nivel proteico de la dieta. Se debe recordar que energía y proteína son los nutrientes de base para el diseño de cualquier dieta (Kent s.f.).

Uno de los factores de mayor importancia en los sistemas ganaderos pastoriles es la oferta forrajera. Esta, independientemente de su ubicación geográfica, se caracteriza por presentar importantes variaciones en la oferta de calidad y cantidad de forraje durante el año (Kent s.f). El grano de sorgo tiene el potencial para producir un excelente ensilaje, ya que dispone de suficiente cantidad de azúcares simples, que son utilizados como sustrato por las bacterias anaeróbicas para la producción principal de ácido láctico, responsable fundamental de una buena fermentación (Rovira y Velazco 2012).

La conservación del grano se produce a través de un aumento de la acidez (o descenso del pH) del material presente dentro de la bolsa debido a la generación y acumulación de ácido láctico, el cual es producido por bacterias que crecen en ausencia de oxígeno (anaeróbicas). Al momento de terminar el ensilaje y cerrar la bolsa, cuanto menos aire haya quedado en el interior de la misma más rápido va a ser el descenso del pH y el logro de la estabilización del ambiente fermentativo, promoviendo así una mayor calidad y vida útil del ensilaje (Rovira y Velazco 2012).

Según Garces *et al.* (2004), el proceso de ensilaje tiene cuatro fases:

- Fase 1, fase aeróbica. En esta fase que dura sólo pocas horas, el oxígeno atmosférico presente en la masa vegetal disminuye rápidamente debido a la respiración de los materiales vegetales y a los microorganismos aeróbicos y anaeróbicos facultativos como las levaduras y las enterobacterias. Además, hay una actividad importante de varias enzimas vegetales como las proteasas y las carbohidrasas, siempre que el pH se mantenga en el rango normal para el jugo del forraje fresco (pH 6.5 - 6.0).
- Fase 2, fase de fermentación. Esta fase comienza al producirse un ambiente anaeróbico. Dura de varios días hasta varias semanas, dependiendo de las características del material ensilado y de las condiciones en el momento del ensilaje. Si la fermentación se desarrolla con éxito, la actividad de las bacterias que producen ácido láctico (BAC) proliferan y se convertirá en la población predominante. A causa de la producción de ácido láctico y otros ácidos el pH bajará a valores entre 3.8 a 5.0.
- Fase 3, fase estable. Mientras se mantenga el ambiente sin aire, ocurren pocos cambios. La mayoría de los microorganismos de la fase 2 lentamente reducen su presencia. Algunos microorganismos acidófilos sobreviven este período en estado inactivo; otros, como clostridios y bacilos, sobreviven como esporas. Sólo algunas proteasas y carbohidrasas, y

microorganismos especializados, como *Lactobacillus buchneri*, que toleran ambientes ácidos, continúan activos, pero a menor ritmo.

- Fase 4, fase de deterioro aeróbico. Esta fase comienza con la apertura del silo y la exposición del ensilaje al aire. Esto es inevitable cuando se requiere extraer y distribuir el ensilaje, pero puede ocurrir antes de iniciar la explotación por daño de la cobertura del silo (por ejemplo, roedores o pájaros). El período de deterioro puede dividirse en dos etapas: la primera se debe al inicio de la degradación de los ácidos orgánicos que conservan el ensilaje, por acción de levaduras y ocasionalmente por bacterias que producen ácido acético. Esto induce un aumento en el valor del pH, lo que permite el inicio de la segunda etapa de deterioro, en ella se constata un aumento de la temperatura y la actividad de microorganismos que deterioran el ensilaje, como algunos bacilos. La última etapa también incluye la actividad de otros microorganismos aeróbicos, también facultativos, como mohos y enterobacterias.

El deterioro aeróbico ocurre en casi todos los ensilajes al ser abiertos y expuestos al aire. Sin embargo, la tasa de deterioro depende de la concentración y de la actividad de los organismos que causan este deterioro en el ensilaje. Las pérdidas por deterioro que oscilan entre 1,5 y 4,5% de materia seca diarias pueden ser observadas en áreas afectadas. Estas pérdidas son similares a las que pueden ocurrir en silos herméticamente cerrados y durante períodos de almacenaje de varios meses.

2.8 Nutrición de cultivos

Según la FAO (1999), las plantas elaboran su biomasa usando agua, bióxido de carbono tomado del aire, energía solar y nutrientes extraídos del suelo y del agua. Para un óptimo crecimiento de la planta los nutrientes deben poseer las siguientes características:

- Solubles en el agua contenida en el suelo.
- En cantidades adecuadas y equilibradas, de acuerdo con el momento de demanda del cultivo.
- De forma accesible al sistema radicular (excepto cuando se proporcionan por vía foliar).

Las plantas toman los nutrientes de las reservas del suelo, de los fertilizantes minerales, fuentes orgánicas, el nitrógeno atmosférico a través de la fijación biológica, las deposiciones aéreas de origen eólico y pluvial, irrigación, aguas subterráneas o inundación, y sedimentación provocada por las escorrentías.

2.8.1 Fertilizantes minerales

Los fertilizantes minerales son fabricados en forma líquida o sólida, generalmente a través de un proceso industrial, los cuales pueden aportar los nutrientes principales y secundarios, los micronutrientes o una mezcla de nutrientes. Los fertilizantes simples suplen sólo un nutriente, mientras que los complejos pueden suministrar varios. Los fertilizantes compuestos pueden ser el resultado de la mezcla o de enlaces químicos entre los fertilizantes simples o nutrientes (FAO 1999).

El término fertilizantes químicos o artificiales es frecuentemente usado para referirse a estos productos, pero es erróneo, porque los nutrientes suministrados por los fertilizantes minerales son iguales a los que se producen en el proceso de mineralización de la materia orgánica a través de la acción de microorganismos en el suelo; en realidad algunos fertilizantes provienen directamente de procesos naturales, tal es el caso del guano, sales de potasio, o nitratos sódicos naturales (FAO 1999).

2.8.2 Fuentes orgánicas

Son materiales de origen orgánico, ya sean naturales o procesadas. El término fertilizantes orgánicos se utiliza con frecuencia de manera incorrecta para describir las fuentes de nutrientes que contienen menos del 5% de al menos uno de los tres elementos primarios, Nitrógeno, Fosforo y Potasio (FAO 1999).

2.8.3 Macronutrientes y micronutrientes

Los elementos esenciales para las plantas son 17 incluyendo el oxígeno (O), hidrógeno (H) y carbono (C) provenientes del agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y aire, los demás corresponden a los nutrientes minerales, los cuales, según la cantidad absorbida por la planta se clasifican en macronutrientes y micronutrientes (Guzmán y Gálvez 2004).

Los macronutrientes son nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), los cuales se encuentran en el tejido de las plantas en concentraciones superiores a 0,1%, con base en la masa seca. Los micronutrientes son requeridos en los tejidos de las plantas en concentraciones menores a 100 µg/g de masa seca. Con estos elementos y la luz del sol las plantas son capaces de sintetizar todos los compuestos que necesitan. Sin

embargo, otros elementos minerales son considerados beneficiosos porque son esenciales para algunas especies de plantas bajo ciertas condiciones (Guzmán y Gálvez 2004).

Según Guzmán y Gálvez (2004), existen tres criterios por los cuales un elemento es considerado esencial para las plantas, estos son:

- Un elemento es esencial si una planta no puede completar su ciclo de vida en ausencia de tal elemento.
- Un elemento es esencial si la función de este elemento no puede ser reemplazado por otro elemento mineral.
- Un elemento es esencial si forma parte de cualquier molécula o constituyente de la planta, que es en sí mismo esencial para ésta, como por ejemplo el nitrógeno en las proteínas o el magnesio en la clorofila.

Cuadro 2. Niveles adecuados en los tejidos de nutrientes requeridos por las plantas.

Elemento	Contenido mineral mg kg⁻¹ PS	Número de átomos relativos al mineral orgánico
Micronutrientes		
Níquel (Ni)	0.05	1
Molibdeno (Mo)	0.1	1
Cobre (Cu)	6	100
Zinc (Zn)	20	300
Manganeso (Mn)	50	1,000
Hierro (Fe)	100	2,000
Boro (B)	20	2,000
Cloro (Cl)	100	3,000
Macronutrientes		
Azufre (S)	1,000	30,000
Fósforo (P)	2,000	60,000
Magnesio (Mg)	2,000	80,000
Calcio (Ca)	5,000	125,000
Potasio (K)	10,000	250,000
Nitrógeno (N)	15,000	1,000,000
Oxígeno (O)	450,000	30,000,000
Carbono (C)	150,000	40,000,000
Hidrógeno (H)	60,000	60,000,000

Fuente: Kirkby y Romheld (2004).

2.8.4 Fertilizantes foliares quelatados

Los fertilizantes foliares quelatados son una serie de minerales para uso en el follaje de las plantas, que han sido quelados con una serie de aminoácidos altamente bioactivos. Los

aminoácidos son los componentes básicos de la proteína, son moléculas naturales de rápida y fácil asimilación por la planta intracelularmente. El mineral queda entonces disponible para ser utilizado por la planta en un lapso de horas después de aplicado (Albion Plant Nutrition 2013).

Los fertilizantes foliares quelatados incrementan la salud de la planta y el crecimiento, mejoran la asimilación dentro de la planta, hay una distribución más rápida de la nutrición mineral, las plantas son más robustas, se tienen mayores rendimientos, existe mejor cuaje de la flor y el fruto, hay incremento de vigor y mayor contenido de azúcares (Albion Plant Nutrition 2013).

La composición mineral de los fertilizantes foliares quelatados es de carga neutral, por lo tanto, no son atraídos ni repelidos por las cargas negativas de la superficie de la hoja, así que pasan libremente a través de la cutícula. Cuando el mineral adherido al aminoácido alcanza la membrana celular, es reconocido por los mecanismos de absorción como una fuente de nitrógeno orgánico, como resultado, el quelato entero es llevado dentro de la célula rápidamente y trasladado vía floema como un proteinato (Albion Plant Nutrition 2013).

La fórmula única de los fertilizantes foliares quelatados utiliza moléculas de aminoácido muy pequeñas, en consecuencia, estas pasan fácilmente a través de las barreras contra la absorción de la planta que incluyen la cutícula y las células de la membrana. Investigaciones realizadas indican que las plantas pueden absorber el 90% o más de los fertilizantes foliares quelatados aplicados al follaje en dos o tres horas (Albion Plant Nutrition 2013).

Los fertilizantes foliares quelatados líquidos están diseñados para aplicación a las plantas para prevenir o corregir deficiencias de nutrientes que pueden limitar el crecimiento y rendimiento de los cultivos, son solubles en agua y no tóxicos para las plantas cuando se aplican de acuerdo a lo recomendado, pueden ser utilizados en hortalizas, granos y semillas, tubérculos, cucurbitáceas, coles, vegetales, frutas, pastos, café, arroz, maíz, flores y follajes (Albion Plant Nutrition 2013).

Un quelato es un compuesto donde un nutriente metálico es ligado a un agente quelatante orgánico, que tiene la propiedad de estar disponible para la planta bajo condiciones adversas (por ejemplo, pH, presencia de fósforo, aceites, otros), en las cuales los nutrientes metálicos normalmente formarían compuestos insolubles (Barquero 1999).

Cuadro 3. Composición de los productos quelatados (porcentaje peso/peso).

Producto	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	N	S	B	P	K
Fertilizante foliar NPK						4			17	17
Fertilizante foliar Crop-up	0.5	0.25	1.25	0.25	2.5	3	2.5	0.025		

Fuente: Albion Plant Nutrition (2013).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de dos fertilizantes foliares quelatados en el rendimiento de biomasa y en la calidad del ensilaje del sorgo rojo (*Sorghum bicolor*) CENTA-CF en San Luis Talpa, La Paz, El Salvador.

3.2 Objetivos específicos

- Demostrar estadísticamente el mejor rendimiento de biomasa del sorgo rojo CENTA-CF en las diferentes dosis utilizadas de los fertilizantes foliares quelatados.
- Determinar el efecto de dos fertilizantes foliares quelatados en el contenido nutricional del ensilaje del sorgo.
- Determinar la relación costo beneficio de las diferentes dosis de fertilizantes foliares quelatados.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en el periodo de julio de 2021 a agosto de 2022, en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, a una altura de 50 msnm, con coordenadas de latitud 13°27'N y longitud de 89°03' W, temperaturas que oscilan entre 24.6° C y 28.4° C; la precipitación pluvial anual es de 1,607 mm/año.

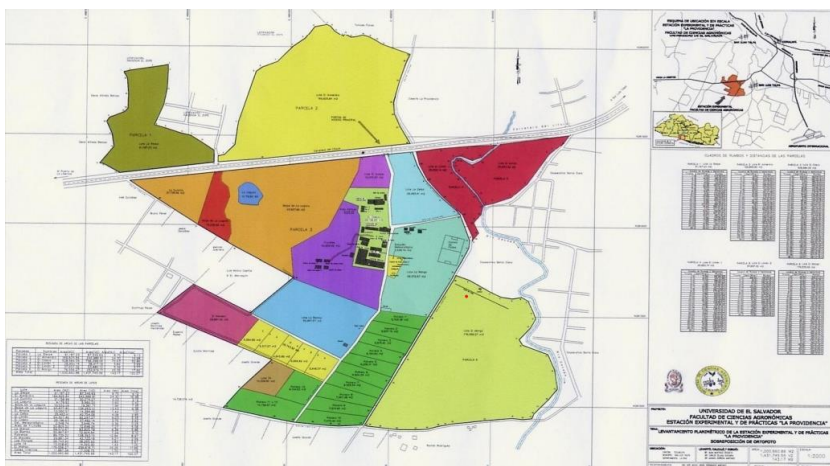


Figura 1. Ubicación de la investigación.

4.2 Fase de campo

4.2.1 Material experimental

La semilla de sorgo rojo CENTA-CF que se evaluó en esta investigación fue proporcionada gracias al Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA).



Figura 2. Panoja de sorgo rojo CENTA-CF.

4.2.2. Fertilizantes foliares

Los fertilizantes foliares quelatados que se evaluaron en esta investigación fueron Metalosate Crop up y Metalosate NPK, los cuales fueron proporcionados por la empresa BIOAGRO-LAT.



Figura 3. Fertilizantes foliares quelatados.

4.2.3. Establecimiento y manejo del cultivo

Como parte de la preparación del terreno donde se estableció la investigación, 15 días antes de la siembra se aplicó un herbicida para controlar coyolillo (*Cyperus rotundus*), y una semana después se realizó una chapoda con tractor para eliminar las malezas presentes; luego se realizaron dos pasos de rastra. Con un tractor se hicieron los surcos de siembra a una distancia entre surcos de 0.80 m y una profundidad de 0.10 m, dejando un distanciamiento entre bloques de 2 m.



Figura 4. Paso de rastra para preparar el terreno.

Una hora antes de la siembra y con el propósito de prevenir ataques de plagas del suelo, la semilla fue tratada con un insecticida a base de Imidacloprid, en dosis de 10 ml/kg de semilla. La siembra se realizó en forma manual a un distanciamiento entre posturas de 0.25 m, 0.80 m entre surcos y a una profundidad de 0.10 m; en cada postura se colocaron entre 4 a 6 semillas de sorgo. Los tratamientos fueron delimitados o separados a una distancia de 1.60 m.

La fertilización al suelo se realizó de la siguiente manera:

- Primera fertilización: Se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 5 gramos (g) por planta a los 11 días después de la siembra.
- Segunda fertilización: Se aplicó Urea en dosis de 20 g por planta a los 30 días después de la siembra.
- Tercera fertilización: Se aplicó Urea en dosis de 29 g por planta a los 40 días después de la siembra.



Figura 5. Primera fertilización del sorgo.

Los fertilizantes foliares quelatados se aplicaron entre las 7:00 am y las 10:00 am, tres veces durante el ciclo del cultivo: la primera fue a los 15 días después de la siembra, la segunda a los 25 días después de la primera aplicación y la tercera a los 35 días después de la segunda aplicación, con un equipo de fumigación manual de 17 litros de capacidad.



Figura 6. Preparación de la aplicación de los fertilizantes foliares.

Se hizo monitoreo semanal para prevenir y controlar el ataque de cualquier plaga o enfermedad. Para el control de malezas se aplicó el herbicida 2,4-D en dosis de 100 cc por 17 litros de agua. El riego del cultivo se aplicó una vez por semana a través del sistema de riego por aspersión móvil.

La cosecha del sorgo se realizó en forma manual a los 95 días después de la siembra.



Figura 7. Cosecha del sorgo.

Después de la cosecha el sorgo fue picado en trozos de 1-2 cm de tamaño, con el propósito que al momento de realizar el compactado se elimine de mejor manera el oxígeno.



Figura 8. Picado del sorgo.

Para realizar el ensilado del sorgo se utilizaron bolsas plásticas con capacidad de 100 lb para cada repetición y por tratamiento, dejando herméticamente cerrado por 25 días. En cada bolsa solo se llenó de sorgo picado.



Figura 9. Compactado del sorgo en bolsas plásticas.

4.2.4. Toma de datos

Las variables que se evaluaron fueron:

- Diámetro del tallo. Se midió con un Pie de Rey cada 15 días en la zona basal, media y apical.

- Altura de la planta. Se midió con cinta métrica cada 15 días desde la base de la planta hasta la parte apical que es donde se encuentran las hojas jóvenes y donde empieza la ramificación de la panícula.
- Rendimiento del sorgo. Se pesó la biomasa producida en verde por tratamiento en kg/ha.
- Valor nutricional del cultivo. Se tomó una muestra del follaje verde antes de la cosecha por cada tratamiento, y a los 21 días después de haber elaborado el silo se tomó una muestra de cada tratamiento, las cuales se llevaron al laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador para hacer los análisis bromatológicos.



Figura 10. Toma de datos del cultivo.

El formulario que se utilizó para hacer la toma de datos fue el siguiente:

Cuadro 4. Formulario para la toma de datos.

Cultivo: _____ (Nombre científico)

Lugar:.....Año.....

Tratamientos (Dosis de fertilizante foliar)	Bloques	Diámetro del tallo			Variable en estudio.....			Observaciones
		Día	Mes	Evaluación (mm)	Día	Mes	Evaluación (%, gr, cm, etc)	
T_0 (Testigo absoluto)	1							
T_2	1							
T_3	1							
T_4	1							

Fuente: Rodríguez (2021).

4.3. Metodología de laboratorio

Para el análisis bromatológico se tomó una muestra de cada tratamiento, 16 muestras en total, para determinar la composición química del forraje en verde y del ensilaje. Se analizaron los siguientes elementos:

- Ceniza, humedad y materia seca: se usó el método de análisis gravimétrico.
- Fibra cruda: se utilizó el método Ankom.
- Extracto etéreo: se utilizó el método Soxhlet
- Proteínas: se analizó con el método micro Kjeldahl.
- Carbohidratos: Se utilizó el método de diferencia.

4.4. Metodología estadística

La investigación se realizó bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con 5 bloques, 4 tratamientos y 5 repeticiones por tratamiento, haciendo un total de 20 parcelas experimentales. Las dimensiones del terreno fueron de 67 m de largo y 38.40 m de ancho, un área de 2,572.80 m², cada unidad experimental tenía 11 m de largo, 8 m de ancho y un área de 88 m², el distanciamiento entre bloques fue de 2 m y entre tratamientos de 1.60 m. La distribución de los tratamientos se realizó al azar.

Según Gabriel *et. al* (2017), el diseño de bloques completos al azar es uno de los más utilizados en experimentación agrícola, cuando el material experimental, campo agrícola, invernadero, otros, presentan una fuente de variabilidad conocida, factible de evaluar y logra disminuir el error experimental, lo que incrementa la precisión en la comparación entre tratamientos. Recibe este nombre porque el material experimental se fracciona en bloques o en estratos uniformes dentro de sí pero diferente entre sí. Todos los tratamientos están presentes y distribuidos al azar en cada uno de los bloques. El número de repeticiones que se realicen en una investigación es importante, pues estadísticamente a mayor cantidad de repeticiones menor será el error experimental. El número de repeticiones recomendado es entre 4 a 5 para los diseños simples. Otro aspecto importante es la aleatorización de las repeticiones, pues tal acción permite acercar a la realidad la investigación.

Arguelles y Carvajal (2013) mencionan que un experimento bien realizado requiere que los tratamientos estén debidamente repetidos, es decir, deben existir varias unidades experimentales por tratamiento. Además, dicen que las funciones de las repeticiones son

proveer un estimativo del error experimental, mejorar la precisión del experimento, aumentar el alcance de la inferencia del experimento y ejercer control sobre el error experimental.

Arning (2001) dice que en condiciones favorables una investigación debe tener de 3 a 5 repeticiones; en caso que se quiera determinar diferencias finas se deben efectuar de 6 a 8 repeticiones. El número mínimo son 3 réplicas; con menos repeticiones los datos no son suficientemente confiables.

4.4.1. Tamaño de la parcela y muestreos

Arning (2001) recomienda situar los lados largos de las parcelas a lo largo del terreno, en forma paralela al factor perturbador. La forma de las parcelas se define además por el objetivo de la investigación: en investigaciones de variedades, abonamiento, manejo de suelo o malezas, la forma rectangular suele ser la de más fácil manejo. En plantas de baja densidad de siembra deben ser mínimo 20 a 30 plantas dentro del área neta. En todo caso se necesita un mínimo de 20 a 30 datos por cada característica evaluada para eliminar la influencia individual de cada planta sobre el resultado total.

Arning (2001) dice que de cada parcela sólo se registran datos de un área neta, dejando los bordes a los lados, de un tamaño según la necesidad del ensayo. Esto depende del efecto vecinal, marginal, entre otras.

El tamaño de la muestra fueron 20 plantas de sorgo por tratamiento, seleccionadas de la parte central en cada parcela, de tal manera que se dispuso de 20 datos por cada característica o variable a evaluar dentro de los respectivos bloques. Se trabajó con un muestreo probabilístico aleatorio o sistemático.

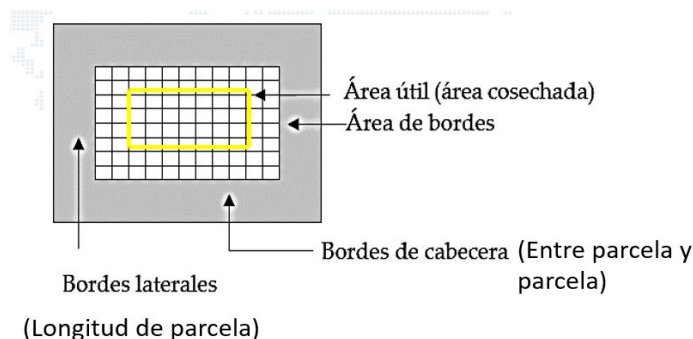


Figura 11. Área de muestreo en una parcela (Rodríguez 2021).

Según Arning (2001), se han desarrollado diferentes métodos de extracción o selección: 1. Completamente Randomizado, con el registro de un número adecuado de plantas, este método es el más ventajoso, pero como no se logra una real randomización sin planificarlo y detallarlo (haciendo sorteo para cada parcela) es trabajoso; 2. Método sistemático, evaluando cada tercera planta en cada segunda fila del área neta; se usa en parcelas grandes pero no garantiza una buena representatividad para los datos de toda la población; 3. Método de agrupación, en este se definen al azar puntos dentro de la parcela, alrededor de los cuales se evalúan varias plantas. Se aplica en casos de difícil acceso a las plantas, pero es susceptible a la heterogeneidad dentro de la parcela.

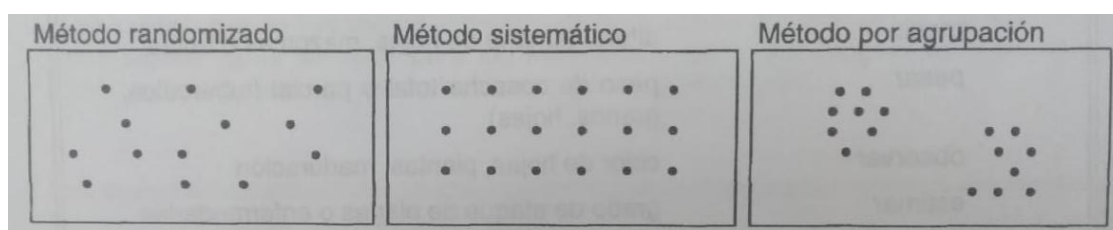


Figura 12. Métodos de muestreo.

4.4.2. Tratamientos en estudio

Los tratamientos que se evaluaron en la investigación fueron 3 dosis del fertilizante foliar Metalosate Crop Up, 3 dosis de Metalosate NPK y un testigo absoluto al que no se le aplicó fertilizante foliar, distribuidos en 5 bloques.

Cuadro 5. Tratamientos que se evaluaron en la investigación.

Tratamiento	Dosis
Tratamiento 0 (T0) o Testigo absoluto	No se aplica fertilizante foliar.
Tratamiento 1 (T1)	Aplicación del fertilizante foliar Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 250 cc/200 lt de agua.
Tratamiento 2 (T2)	Aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc/200 lt de agua.
Tratamiento 3 (T3)	Aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua.

La distribución espacial en campo de los tratamientos en estudio fue la siguiente:

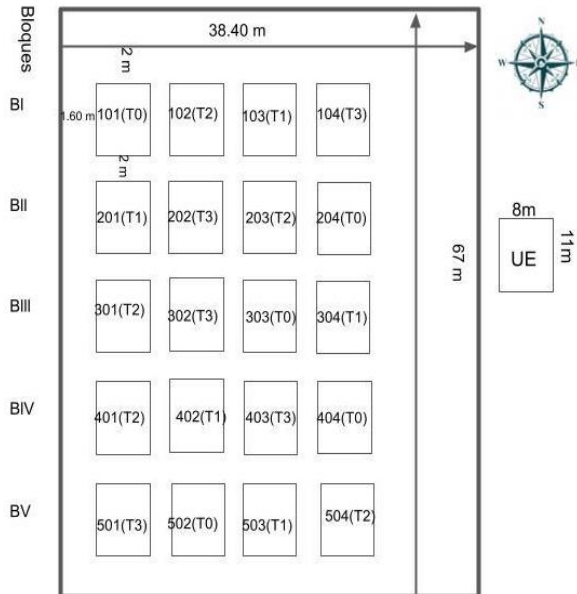


Figura 13. Distribución de los tratamientos en campo.



Figura 14. Vista aérea de la distribución de los tratamientos en la parcela.

Cada unidad experimental fue identificada con un número, por ejemplo: el código 101 significa que el primer dígito corresponde al bloque 1 (B1), los otros dos números que le acompañan corresponden a la unidad experimental o parcela (01). Los tratamientos que se aplicaron se identificaron de la siguiente manera: (T_0) corresponde al tratamiento testigo.

Para la organización, procesamiento y análisis estadístico de los datos se utilizaron métodos descriptivos univariados como representaciones gráficas, medidas de tendencia central y medidas de dispersión, e intervalos de confianza. A todas las variables cuantitativas se les aplicó el Análisis de Varianza (ANVA). Previo a la aplicación del diseño experimental se verificó que los datos cumplan con los supuestos del análisis de varianza: distribución normal y homogeneidad de varianzas (Rodríguez 2021).

Para verificar el supuesto de normalidad se aplicó las pruebas de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk, y en el caso de la homogeneidad de varianzas se ejecutó el test de Levene.

Con el propósito de demostrar cuál de las diferentes dosis de fertilizantes foliares quelatados produjeron el mejor el rendimiento de biomasa y calidad del ensilaje del sorgo rojo CENTA-CF, se aplicó la prueba estadística de comparación de medias de Tukey. Este método sirve para comparar las medias de los tratamientos y determinar cuál produce los mejores efectos. Todo el análisis se realizó con un nivel de significancia estadística (alfa) α del 5% = 0.05 y mediante la utilización de hojas de cálculo de Microsoft Excel® y el programa estadístico INFOSTAT® 20 (Rodríguez 2021).

4.4.3. Modelo estadístico

El diseño experimental de Bloques Completos al Azar es de gran utilidad cuando no es posible asegurar suficiente homogeneidad en las unidades experimentales. El bloqueo o bloqueamiento es un factor controlado que permite la partición de la variabilidad existente en el campo experimental, después de la asignación de los tratamientos. La estructura típica de una tabla o matriz de datos para un diseño experimental en Bloques Completos al Azar (DBCA) es la siguiente:

Tratamientos	Bloques					$Y_{i.}$
	1	2	3	...	B	
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	...	Y_{1b}	$Y_{1.}$
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	...	Y_{2b}	$Y_{2.}$
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	...	Y_{3b}	$Y_{3.}$
.
.
T	Y_{t1}	Y_{t2}	Y_{t3}	...	Y_{tb}	$Y_{t.}$
$Y_{.j}$	$Y_{.1}$	$Y_{.2}$	$Y_{.3}$...	$Y_{.b}$	$Y_{..}$

Figura 15. Matriz de datos en Bloques Completos al Azar.

El modelo lineal aditivo que define a un Diseño en Bloques Completos al Azar es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

4.4.4. Análisis de varianza

Según Rodríguez (2021), el análisis de varianza permite separar la variación total de los datos a analizar en la variación entre bloques, variación entre tratamientos, más la variación dentro de tratamientos o error experimental. Usualmente se utiliza el estadístico **F** como criterio para la toma de decisiones. Los componentes estructurales de una tabla de análisis de varianza (ANVA) son: fuente de variación (FV), grados de libertad (G.L.), suma de cuadrados (S.C.), cuadrados medios o varianzas (C.M.), el valor de Fisher (F), y el valor de probabilidad (p-valor), tal y como se muestra a continuación:

Cuadro 6. Estructura de tabla del Análisis de Varianza (ANVA) bajo un Diseño en Bloques Completos al Azar (DBCA).

FV	GL	SC	CM	Valor de F
Bloques	$r - 1$	$\sum_{j=1}^r \frac{Y_{.j}^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$		
Tratamientos	$t - 1$	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_{i.}^2}{r} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$	SC_{trat} / gl_{trat}	CM_{trat} / CM_{ee}
Error experimental	$(t - 1)(r - 1)$	$SC_{total} - (SC_{trat} + SC_{bloque})$	SC_{ee} / gl_{ee}	
Total	$tr - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{tr}$		

Fuente: Rodríguez (2021).

4.5. Metodología socioeconómica

Para el análisis económico de la investigación se aplicó el método propuesto por el Centro de Investigaciones para el Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT), el cual se fundamenta en un análisis de presupuesto parcial y beneficio neto.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Altura de la planta a los 15 días después de la siembra

La mayor altura promedio de la planta a los 15 días después de la siembra se obtuvo con el tratamiento 1 (T1), aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con 7.94 cm de altura; seguido por el tratamiento 3 (T3), aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua, con 7.81 cm; luego el tratamiento 2 (T2), aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua, con una altura de 7.76 cm; y finalmente el tratamiento 0 (T0) o Testigo absoluto, no se aplicó fertilizante foliar, con una altura de 7.30 cm (figura 15).

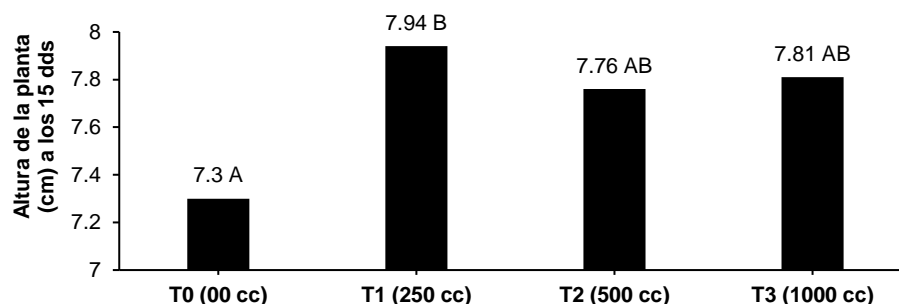


Figura 16. Altura de las plantas a los 15 días después de la siembra.

Al aplicar el análisis de varianza (ANOVA) se demostró con una probabilidad de error (p-valor) de 0.0206 menor que la significancia estadística $\alpha = 0.05$, que las dosis de Metalosate Crop Up y Metalosate NPK presentan diferencias estadísticas significativas, ya que el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) presenta diferentes resultados con el tratamiento 1, pero iguales a los tratamientos T2 y T3.

5.2. Altura de la planta a los 30 días después de la siembra

La mayor altura promedio de la planta a los 30 días después de la siembra se obtuvo con el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con 64.22 cm de altura; seguido por el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua, con 63.93 cm; luego el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua, con una altura de 61.88 cm; y finalmente el tratamiento 0 o Testigo absoluto, no se aplicó fertilizante foliar, con una altura de 60.53 cm (figura 16).

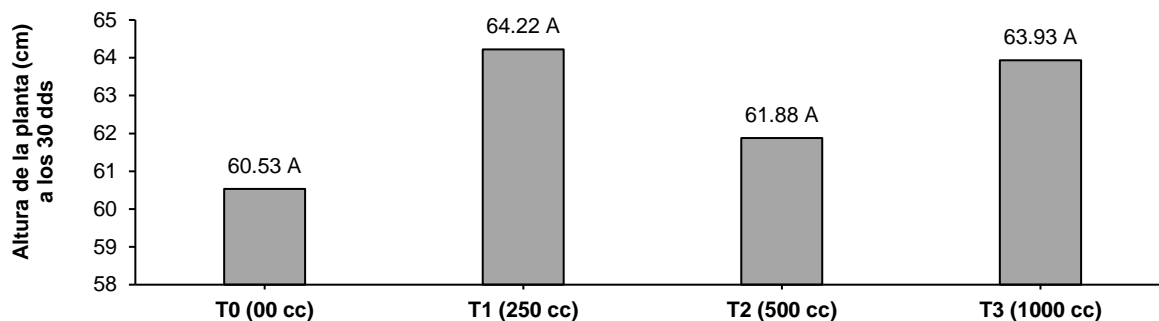


Figura 17. Altura de las plantas a los 30 días después de la siembra.

Al aplicar el análisis de varianza se demostró con una probabilidad de error (p-valor) de 0.5912 mayor que la significancia estadística $\alpha = 0.05$ que las dosis de Metalosate Crop Up y Metalosate NPK no presentan diferencias estadísticas significativas en la altura de la planta a los 30 días después de la siembra.

5.3. Altura de la planta a los 45 días después de la siembra

La mayor altura promedio de la planta a los 45 días después de la siembra se obtuvo con el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua, con 177.2 cm de altura; seguido por el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua, con una altura de 176.59 cm; luego el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con una altura de 174.89 cm; y finalmente el tratamiento 0 o Testigo absoluto, no se aplicó fertilizante foliar, con una altura de 172.52 cm (figura 17).

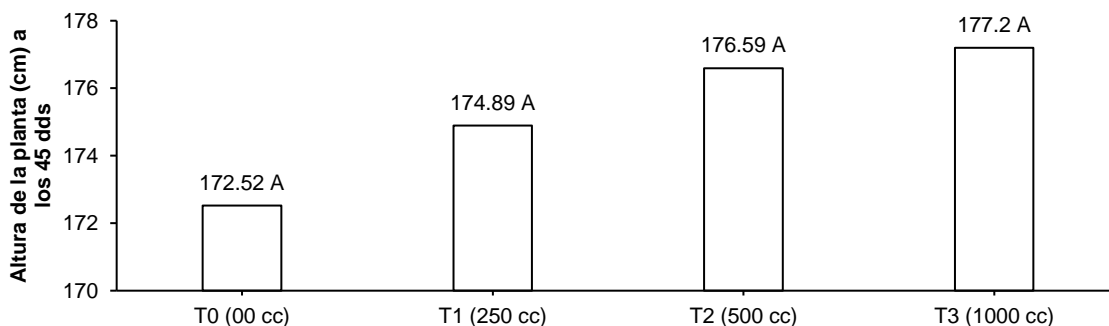


Figura 18. Altura de las plantas a los 45 días después de la siembra.

Según el CENTA (2016), el sorgo rojo CENTA-CF alcanza una altura de 210 cm, siendo un dato mayor al obtenido en esta investigación.

El CENTA (2018) reporta que la altura para las variedades de sorgo CENTA-RCV es de 180 cm, 200 cm para la variedad CENTA LIBERAL, 260 cm para CENTA S-3 y 270 cm para la variedad CENTA S-2, los cuales son datos mayores a los obtenidos con la variedad en estudio.

Al aplicar el análisis de varianza se demostró con una probabilidad de error (p-valor) de 0.7392 mayor que la significancia estadística $\alpha = 0.05$, que las dosis de Metalosate Crop Up y Metalosate NPK no presentan diferencias estadísticas significativas en la altura de la planta (cm) a los 45 días después de la siembra.

5.3.1. Ganancia de altura de la planta

La mayor ganancia de altura de las plantas de sorgo rojo CENTA-CF se obtuvo con el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua), con 169.39 cm; seguido por el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc/200 lt de agua, con 168.83 cm; luego el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 250 cc/200 lt de agua), con 166.95 cm; y finalmente el tratamiento 0, no se aplicó fertilizante foliar, con 165.22 cm.

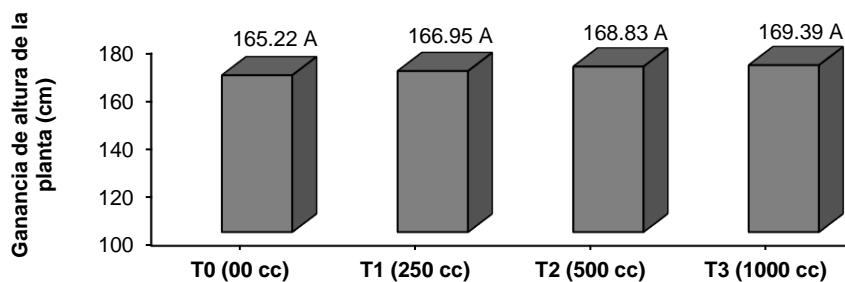


Figura 19. Ganancia de altura de las plantas de sorgo rojo CENTA-CF.

Al aplicar el análisis de varianza se demostró con una probabilidad de error (p-valor) de 0.79 mayor que la significancia estadística $\alpha = 0.05$, que las dosis de Metalosate Crop Up y Metalosate NPK no presentan diferencias estadísticas significativas en la ganancia de altura de la planta.

5.4. Diámetro del tallo a los 15 días después de la siembra

El mayor diámetro promedio del tallo de la planta a los 15 días después de la siembra se obtuvo con el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc/200 lt de agua, con 2.07 cm, seguido del tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua, con 1.99 cm; luego el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 250 cc/200 lt de agua, con 1.97 cm; y finalmente el tratamiento 0, no se aplicó fertilizante foliar, con 1.84 cm.

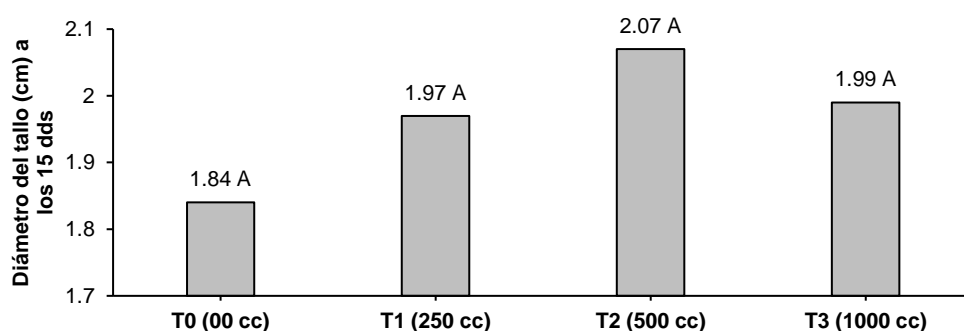


Figura 20. Diámetro del tallo de las plantas a los 15 días después de la siembra.

Al aplicar el análisis de varianza se demostró con una probabilidad de error (p-valor) de 0.1878 mayor que la significancia estadística $\alpha = 0.05$, que las dosis de Metalosate Crop Up y Metalosate NPK no presentan diferencias estadísticas significativas en cuanto al diámetro del tallo.

5.5. Diámetro del tallo a los 30 días después de la siembra

El mayor diámetro promedio del tallo de la planta a los 30 días después de la siembra se obtuvo con los tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc/200 lt de agua, y con el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 250 cc/200 lt de agua, con 2.21 cm; seguido por el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua, con 2.2 cm; y finalmente el tratamiento 0, no se aplicó fertilizante foliar, con 1.97 cm.

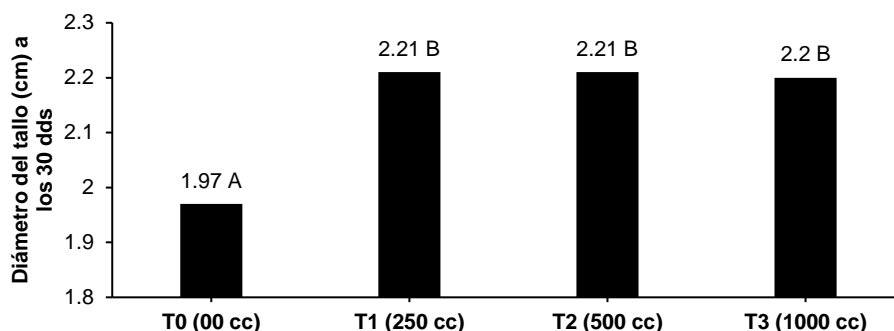


Figura 21. Diámetro del tallo de las plantas a los 30 días después de la siembra.

Al aplicar el análisis de varianza se demostró con una probabilidad de error (p-valor) de 0.0032 menor que la significancia estadística $\alpha = 0.05$, que las dosis de Metalosate Crop Up y Metalosate NPK presentan diferencias estadísticas significativas, en el cual el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) presenta diferentes efectos que los demás tratamientos en estudio; sin embargo, los tratamientos T1, T2 y T3 presentan efectos similares entre ellos.

5.6. Diámetro del tallo a los 45 días después de la siembra

El mayor diámetro promedio del tallo de la planta a los 45 días después de la siembra se obtuvo con el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc/200 lt de agua, con 2.14 cm; seguido por los tratamientos 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 250 cc/200 lt de agua, y por el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua, con 2.09 cm; y finalmente el tratamiento 0, no se aplicó fertilizante foliar, con 1.9 cm.

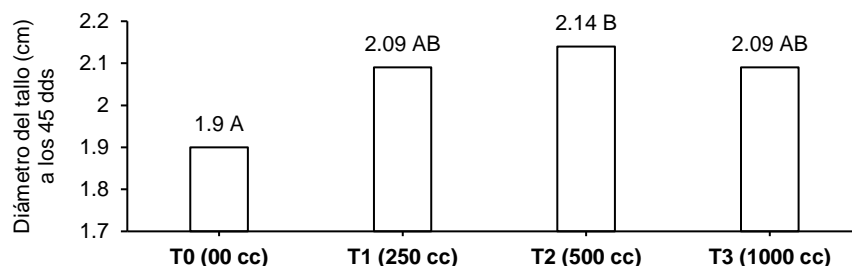


Figura 22. Diámetro del tallo de las plantas a los 45 días después de la siembra.

Al aplicar el análisis de varianza se demostró con una probabilidad de error (p-valor) de 0.0197 menor que la significancia estadística $\alpha = 0.05$, que las dosis de Metalosate Crop Up y

Metalosate NPK presentan diferencias estadísticas significativas, ya que el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) presenta diferentes efectos con el tratamiento 2, pero similares a los tratamientos T1 y T3.

5.7. Longitud de la panoja

La mayor longitud promedio de la panoja se obtuvo con el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc/200 lt de agua, con 23.94 cm; seguido por el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua, con 23.75 cm; luego el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 250 cc/200 lt de agua, con 23.59 cm; y finalmente el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) con 23.44 cm.

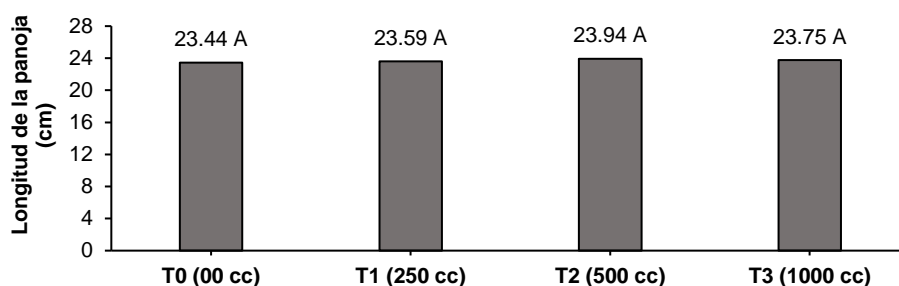


Figura 23. Longitud promedio de las panojas de sorgo rojo CENTA-CF.

Según CENTA (2016), la longitud promedio de la panoja para el sorgo rojo CENTA-CF es de 25 cm, el cual es un valor similar al obtenido en esta investigación.

El CENTA (2018) reporta para la variedad forrajera de sorgo CENTA S-3 bmr una longitud de panoja de 27 a 29 cm.

Al aplicar el análisis de varianza se demostró con una probabilidad de error (p-valor) de 0.5158 mayor que la significancia estadística $\alpha = 0.05$, que las dosis de Metalosate Crop Up y Metalosate NPK no presentan diferencias estadísticas significativas en cuanto a la longitud de la panoja.

5.8. Peso de las plantas de sorgo

El mayor peso promedio de las plantas de sorgo a los 45 días después de la siembra se obtuvo con el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc/200 lt de agua, con 975.9 gramos (g); seguido por el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 250 cc/200 lt de agua, con 911.16 g; luego el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua, con 907.01 g; y finalmente el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) con 862.36 g.

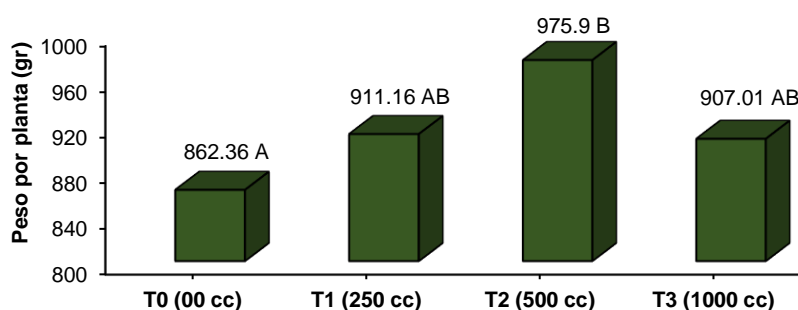


Figura 24. Peso promedio de las plantas de sorgo.

Al aplicar el análisis de varianza se demostró con una probabilidad de error (p -valor) de 0.0475 menor que la significancia estadística $\alpha = 0.05$, que las dosis de Metalosate Crop Up y Metalosate NPK presentan diferencias estadísticas significativas en cuanto al peso por planta, donde el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) presenta diferentes efectos que el tratamiento 2 pero similares a los tratamientos 1 y 3.

5.9. Rendimiento del forraje verde

El mayor rendimiento promedio del forraje verde de las plantas de sorgo se obtuvo con el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc/200 lt de agua, con 48.30 Tm.ha⁻¹; seguido por el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 250 cc/200 lt de agua, con 45.56 Tm.ha⁻¹; luego el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua, con 45.35 Tm.ha⁻¹; y finalmente el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) con 43.12 Tm.ha⁻¹.

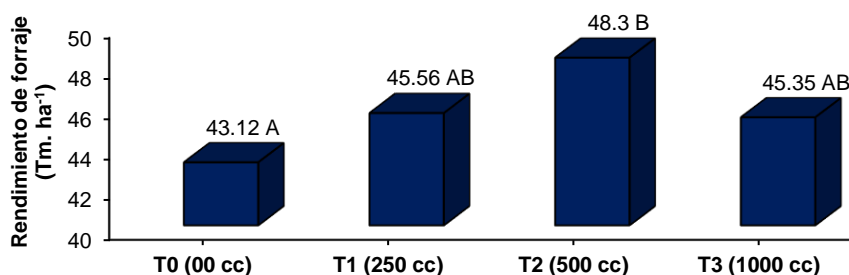


Figura 25. Rendimiento promedio del forraje verde de sorgo.

El CENTA (2016) reporta que la variedad de sorgo rojo CENTA-CF tiene un rendimiento de materia verde para ensilaje de 52.13 Tm.ha⁻¹, el cual es un dato mayor al encontrado en esta investigación.

El CENTA (2018) reporta que la variedad de sorgo CENTA S-3 tiene un rendimiento de materia verde para ensilaje de 71 Tm.ha⁻¹, 80 Tm.ha⁻¹ para la variedad CENTA S-2 y 50 Tm.ha⁻¹ para las variedades CENTA-RCV y CENTA liberal.

Al aplicar el análisis de varianza se demostró con una probabilidad de error (p-valor) de 0.0383 mayor que la significancia estadística $\alpha = 0.05$, que las dosis de Metalosate Crop Up y Metalosate NPK presentan diferencias estadísticas significativas, donde el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) presenta diferentes efectos en cuanto al rendimiento en forraje con respecto al tratamiento 2, pero similares a los tratamientos 1 y 3.

5.10. Análisis bromatológico de las plantas de sorgo

5.10.1. Contenido de humedad en el forraje verde y en el silo de sorgo

El mayor contenido de humedad promedio en el forraje verde de sorgo se obtuvo con el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 250 cc/200 lt de agua, con 83.69%; seguido del tratamiento 0 o Testigo (no se aplica foliar) con 81.41%; luego el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc/200 lt de agua, con 77.85%; y finalmente el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua, con 75.16%.

El mayor contenido de humedad promedio en el silo de sorgo se obtuvo con el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 250 cc/200 lt de agua.) con 82.09%; seguido por el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua, con 82.03%; luego el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) con 81.71%; y finalmente el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc/200 lt de agua, con 76.71%.

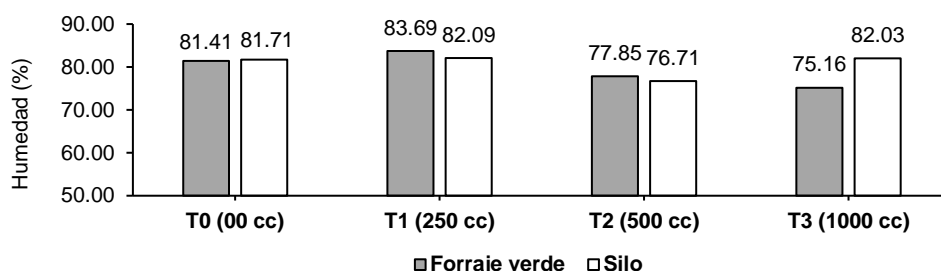


Figura 26. Contenido de humedad en el forraje verde y en el silo de sorgo.

Según el Laboratorio de Química Agrícola del CENTA, el contenido de humedad promedio en el sorgo rojo CENTA-CF es 69.90%, el cual es un valor bajo al obtenido en esta investigación (CENTA 2016).

El CENTA (2018) reporta 71% de humedad para las variedades CENTA S-2 bmr, 74% para CENTA S-3 y 72% para las variedades CENTA S-3 bmr y CENTA S-4 bmr.

5.10.2. Contenido de materia seca en el forraje verde y en el silo de sorgo

El mayor contenido de materia seca promedio en el forraje verde de sorgo se obtuvo con el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua, con 24.84%; seguido por el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc/200 lt de agua, con 22.15%; luego el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) con 18.59%; y finalmente el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 250 cc/200 lt de agua, con 16.31%.

El mayor contenido de materia seca promedio en el silo de sorgo se obtuvo con el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua, con 23.29%; seguido por el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) con 18.29%; luego el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua, con 17.97%; y finalmente el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con 17.91%.

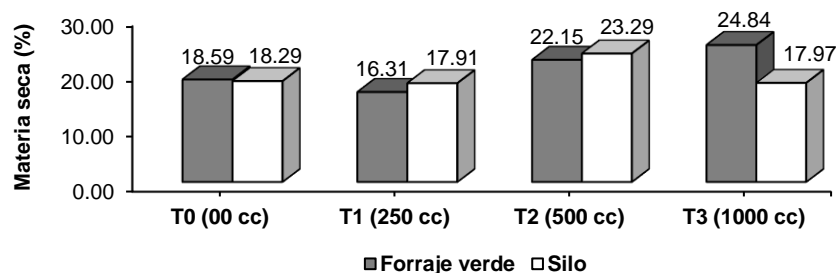


Figura 27. Contenido de materia seca en el forraje verde y en el silo de sorgo.

Según el Laboratorio de Química Agrícola del CENTA, el contenido de materia seca en el sorgo rojo CENTA-CF es 30.10%, el cual es un valor alto con los obtenidos en ésta investigación (CENTA 2016).

El CENTA (2018) reporta 29% de materia seca en el sorgo de la variedad CENTA S-2 bmr, 26% para CENTA S-3 y 28% para las variedades CENTA S-3 bmr y CENTA S-4 bmr.

5.10.3. Contenido de ceniza en el forraje verde y en el silo de sorgo

El mayor contenido de ceniza promedio en el forraje verde de sorgo se obtuvo con el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua, con 13.07%; seguido del tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua, con 10.92%; luego el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con 8.25%; y finalmente el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) con 7.59%.

El mayor contenido de ceniza promedio en el silo de sorgo se obtuvo con el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua, con 11.08%; seguido del tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop

Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con 9.89%; luego el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) con 8.33%; y finalmente el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua) con 8.02%.

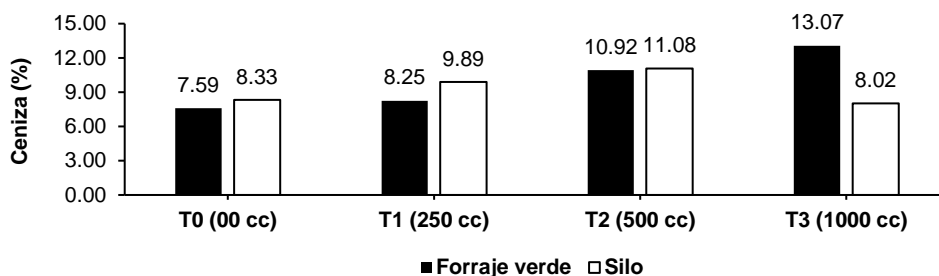


Figura 28. Contenido de ceniza en el forraje verde y en el silo de sorgo.

Según el Laboratorio de Química Agrícola del CENTA, el contenido de ceniza en el sorgo rojo CENTA-CF es 6.92%, el cual es un valor bajo al obtenido en esta investigación (CENTA 2016).

5.10.4. Contenido de proteína en el forraje verde y en el silo de sorgo

El mayor contenido de proteína promedio en el forraje verde de sorgo se obtuvo con el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con 9.40%; seguido del tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua, con 8.97%; luego el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua, con 8.88%; y finalmente el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) con 8.46%.

El mayor contenido de proteína promedio en el silo de sorgo se obtuvo con el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua, con 9.56%; seguido por el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua, con 8.40%; luego el tratamiento 0 o Testigo (no se aplica fertilizante foliar) con 7.58%; y finalmente el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua) con 3.14%.

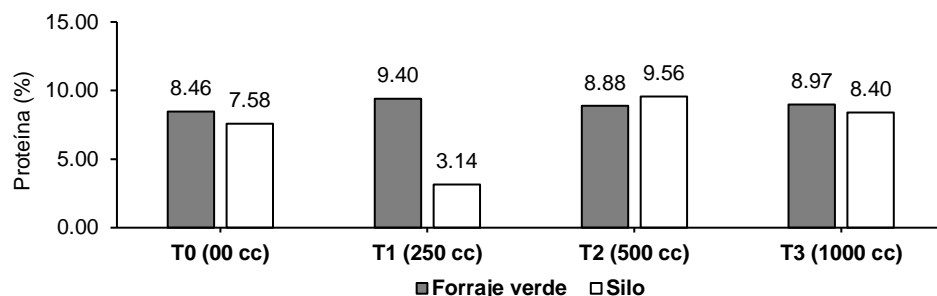


Figura 29. Contenido de proteína en el forraje verde y en el silo de sorgo.

Según el Laboratorio de Química Agrícola del CENTA, el contenido de proteína en el forraje de sorgo rojo CENTA-CF es 7%, el cual es un valor bajo al obtenido en esta investigación (CENTA 2016).

El CENTA (2018) reporta 6.01% de proteína en el forraje de sorgo de la variedad CENTA S-2 bmr, 8% para CENTA S-3 bmr, 6% para la variedad CENTA S-3 y 7% para CENTA S-4 bmr.

5.10.5. Contenido de extracto etéreo en el forraje verde y en el silo de sorgo

El mayor contenido de extracto etéreo promedio en el forraje verde de sorgo se obtuvo con el tratamiento 0 o Testigo, no se aplicó fertilizante foliar, con 3.21%; seguido del tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua, con 3.01%; luego el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con 2.96%; y finalmente el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua, con 2.74%.

El mayor contenido de extracto etéreo promedio en el silo de sorgo se obtuvo con el tratamiento 0 o Testigo, no se aplicó fertilizante foliar, con 3.40%; seguido del tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua) con 3.27%; luego el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con 2.55%; y finalmente el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua, con 2.41%.

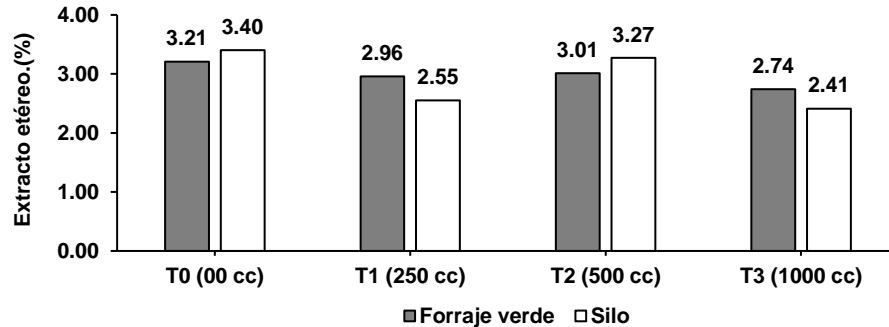


Figura 30. Contenido de extracto etéreo en el forraje verde y en el silo de sorgo.

En un estudio realizado por Anaya e Iraheta (1992) en el municipio de San Martín, El Salvador, obtuvieron valores de 2.20% a 2.93% de extracto etéreo en el cultivo de sorgo.

Vargas (2005) en el estudio “Valoración nutricional y degradabilidad ruminal de genotipos de sorgo forrajero (*Sorghum sp*)”, obtuvo 1.12% de extracto etéreo en la variedad CIAT 591 y 2.57% en la variedad CIAT 643-1, estas variedades son de Costa Rica.

5.10.6. Contenido de fibra cruda en el forraje verde y en el silo de sorgo

El mayor contenido de fibra cruda promedio en el forraje verde de sorgo se obtuvo con el tratamiento 0 o Testigo, no se aplicó fertilizante foliar, con 27.79%; seguido del tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con 26.44%; luego el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua, con 25.84%; y finalmente el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua, con 24.45%.

El mayor contenido de fibra cruda promedio en el silo de sorgo se obtuvo con el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua, con 25.69%; seguido del tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua, con 24.77%; luego el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con 24.56%; y finalmente el tratamiento 0 o Testigo, no se aplicó fertilizante foliar, con 24.41%.

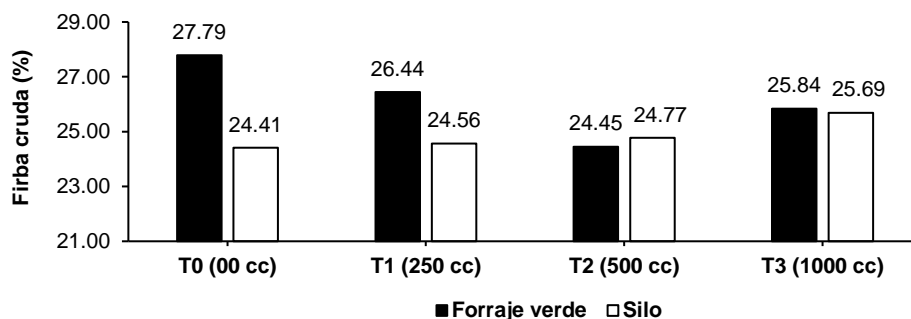


Figura 31. Contenido de fibra cruda en el forraje verde y en el silo de sorgo.

Según el Laboratorio de Química Agrícola del CENTA, el contenido de fibra cruda en la variedad de sorgo rojo CENTA-CF es de 22.21%, el cual es un valor menor a los obtenidos en esta investigación (CENTA 2016).

5.10.7. Contenido de carbohidratos en el forraje verde y en el silo de sorgo

El mayor contenido de carbohidratos promedio en el forraje verde de sorgo se obtuvo con los tratamientos 0 o Testigo, no se aplicó fertilizante foliar, y el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con 52.95%; seguido del tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua, con 52.75%; y finalmente el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua, con 49.38%.

El mayor contenido de carbohidratos promedio en el silo de sorgo se obtuvo con el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 250 cc/200 lt de agua, con 59.85%; seguido del tratamiento 0 o Testigo, no se aplicó fertilizante foliar, con 56.28%; luego el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 1,000 cc/200 lt de agua, con 55.48%; y finalmente el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc/200 lt de agua más Metalosate NPK en 500 cc/200 lt de agua, con 51.32%.

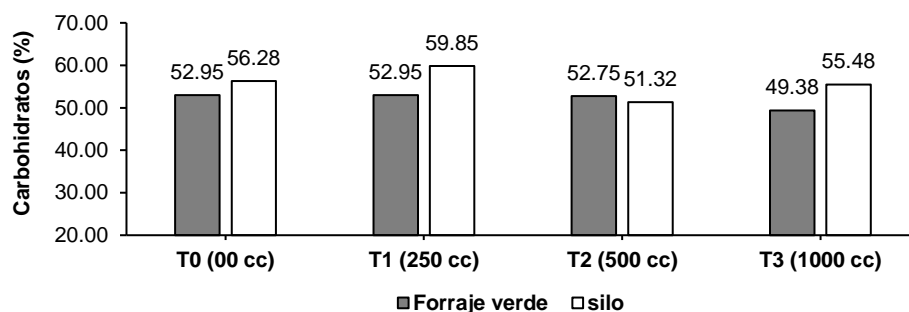


Figura 32. Contenido de carbohidratos en el forraje verde y en el silo de sorgo.

Según el Laboratorio de Química Agrícola del CENTA, el contenido de carbohidratos en la variedad de sorgo rojo CENTA-CF es de 17.09%, el cual es un valor menor a los obtenidos en esta investigación (CENTA 2016).

Cuadro 7. Resumen del efecto de las diferentes dosis utilizadas de los fertilizantes foliares quelatados en el rendimiento del cultivo y en la calidad del ensilaje de sorgo rojo.

Variable	Dosis de fertilizante quelatado	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	P valor
Altura de la planta(cm) a los 15 DDS	Tratamiento 0	7.3	1.12	15.32	0.0206
	Tratamiento 1	7.94	0.97	12.17	
	Tratamiento 2	7.76	0.78	10	
	Tratamiento 3	7.81	0.82	10.48	
Altura de la planta(cm) a los 30 DDS	Tratamiento 0	60.53	6.61	10.91	0.5912
	Tratamiento 1	64.22	7.09	11.03	
	Tratamiento 2	61.88	8.06	13.03	
	Tratamiento 3	63.93	5.02	7.85	
Altura de la planta (cm) 45 DDS	Tratamiento 0	172.52	7.24	4.19	0.7392
	Tratamiento 1	174.89	4.05	2.31	
	Tratamiento 2	176.59	4.02	2.28	
	Tratamiento 3	177.2	11.33	6.4	
Ganancia de altura de la planta	Tratamiento 0	165.22	7.35	4.45	0.79
	Tratamiento 1	166.95	4.9	2.94	
	Tratamiento 2	168.83	3.86	2.29	
	Tratamiento 3	169.39	12.09	7.13	
Diámetro del tallo medio 15 DDS	Tratamiento 0	1.84	0.28	15	0.1878
	Tratamiento 1	1.97	0.35	17.69	
	Tratamiento 2	2.07	0.28	13.75	
	Tratamiento 3	1.99	0.28	14.23	
Diámetro del tallo medio 30 DDS	Tratamiento 0	1.97	0.07	3.43	0.0032
	Tratamiento 1	2.21	0.14	6.2	
	Tratamiento 2	2.21	0.13	5.97	

	Tratamiento 3	2.2	0.13	5.69	
Diámetro del tallo medio 45 DDS	Tratamiento 0	1.9	0.16	8.4	
	Tratamiento 1	2.09	0.23	10.95	0.0197
	Tratamiento 2	2.14	0.16	7.59	
	Tratamiento 3	2.09	0.19	9.21	
Longitud de panoja (cm)	Tratamiento 0	23.44	0.19	0.83	
	Tratamiento 1	23.59	0.72	3.05	0.5158
	Tratamiento 2	23.94	0.37	1.54	
	Tratamiento 3	23.75	0.83	3.49	
Peso por planta (gr)	Tratamiento 0	862.36	63.59	7.37	
	Tratamiento 1	911.16	42.27	4.64	0.0475
	Tratamiento 2	975.9	31.08	3.19	
	Tratamiento 3	907.01	56.94	6.28	
Rendimiento de forraje (Tm)	Tratamiento 0	43.12	0.19	0.83	
	Tratamiento 1	45.56	2.11	4.64	
	Tratamiento 2	48.30	1.61	3.34	0.0383
	Tratamiento 3	45.35	2.85	6.28	

Fuente: Elaboración propia (2022).

5.11. Análisis socioeconómico

Para el análisis económico de la investigación se aplicó el método propuesto por el Centro de Investigaciones para el Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT), el cual se fundamenta en un análisis de presupuesto parcial y beneficio neto.

La tasa de retorno se calculó sin tomar en cuenta la inversión de activos fijos, solamente se tomó en cuenta la inversión de insumos, mano de obra y el uso de maquinaria, el periodo de recuperación es de 120 días.

Con el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc en 200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc en 200 lt de agua, se obtuvo una tasa de retorno mínima de 1.70, lo que indica que por cada dólar invertido se recupera \$1.70 dólares, que es una rentabilidad buena.

Cuadro 8. Presupuesto parcial y beneficios netos.

Presupuesto parcial	T₀	T₁	T₂	T₃
Rendimiento medio (Ton.ha ⁻¹)	43.12	45.56	48.30	45.35
Rendimiento ajustado (Ton.ha ⁻¹)	38.81	41.00	43.47	40.82
Beneficios brutos de campo (dólares/ha)	3,492.90	3,690.00	3,912.30	3,673.80
Insumos comprados (semilla, fertilizantes químicos, fertilizantes orgánicos, insecticidas, herbicidas, fungicidas, agua de riego) (dólares/ha)	496.04	496.04	496.04	496.04
*Equipo y maquinaria (dólares/ha) (bomba de mochila, tractor, arado, rastra, subsolador)	280.00	280.00	280.00	280.00
Mano de obra				
Siembra (dólares/ha)	35.00	35.00	35.00	35.00
Fertilización al suelo (dólares/ha)	42.00	42.00	42.00	42.00
Raleo (dólares/ha)	21.00	21.00	21.00	21.00
Limpia (dólares/ha)	28.00	28.00	28.00	28.00
Aporque (dólares/ha)	21.00	21.00	21.00	21.00
Fertilización foliar (dólares/ha)	63.00	63.00	63.00	63.00
Fertilizante Metalosate				
Crop-up (dólares/ha)		18.00	36.00	72.00
NPK (dólares/ha)		17.00	35.00	69.00
Total costos que varían (dólares/ha)	986.04	1,021.04	1,057.04	1,127.04
Costos marginales (dólares/ha)		15.98	14.57	26.42
Beneficios netos (dólares/ha)	2,506.86	2,668.96	2,855.26	2,546.76
Beneficios netos marginales (dólares/ha)		162.10	348.40	39.90
Tasa de retorno	1.54	1.61	1.70	1.26

Fuente: Elaboración propia (2021).

*En los costos de equipo y maquinaria se utilizaron datos promedio por alquiler (dólares/hectárea).

6. CONCLUSIONES

Con el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc en 200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc en 200 lt de agua, a los 45 días después de la siembra del sorgo se obtuvo el mayor diámetro del tallo con 2.14 cm; la mayor longitud de la panoja con 23.94 cm; el mayor peso de las plantas con 975.9 gramos; el mayor rendimiento de forraje verde con 48.30 Tm.ha⁻¹; el mayor contenido de materia seca en el silo con 23.29%; el mayor contenido de ceniza en el silo con 11.08%; y el mayor contenido de proteína en el silo con 9.56%.

Con el tratamiento 3, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 1,000 cc en 200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 1,000 cc en 200 lt de agua, a los 45 días después de la siembra del sorgo se obtuvo la mayor altura de la planta con 177.2 cm; el mayor contenido de materia seca en el forraje verde con 24.84%; el mayor contenido de ceniza en el forraje verde con 13.07%; y el mayor contenido de fibra cruda en el silo con 25.69%.

Con el tratamiento 1, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 250 cc en 200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 250 cc en 200 lt de agua, a los 45 días después de la siembra del sorgo se obtuvo el mayor contenido de humedad en el forraje verde con 83.69% y en el silo con 82.09%; el mayor contenido de proteína en el forraje verde con 9.40%; el mayor contenido de carbohidratos en el forraje verde con 52.95% y en el silo con 59.85%.

Con el tratamiento 0 o Testigo, dónde no se aplicó fertilizante foliar, a los 45 días después de la siembra del sorgo se obtuvo el mayor contenido de extracto etéreo en el forraje verde con 3.21% y en el silo con 3.40%; el mayor contenido de fibra cruda en el forraje verde con 27.79%; y el mayor contenido de carbohidratos en el forraje verde con 52.95%.

Con el tratamiento 2, aplicación de Metalosate Crop Up en dosis de 500 cc en 200 lt de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc en 200 lt de agua, se obtuvo una tasa de retorno mínima de 1.70, lo que indica que por cada dólar invertido se recupera \$1.70 dólares, que es una rentabilidad buena.

El uso de fertilizantes foliares quelatados aumenta el contenido nutricional de los forrajes de sorgo para utilizarlos como alimento verde o en ensilaje para el ganado bovino en El Salvador.

La nutrición animal es uno de los pilares más importantes en una ganadería, ya que proveer de los nutrientes esenciales permitirá una buena salud del ganado, mejor desarrollo en los animales obteniendo mayor ganancia de peso y rendimientos en la producción de leche y carne, volviendo a la ganadería más rentable.

Una nutrición balanceada en las plantas de sorgo garantiza que estas tengan mejor desarrollo y puedan expresar todo su potencial genético, permitiéndoles ser más resistentes a plagas y enfermedades, y obtener altos rendimientos con producciones de calidad.

7. RECOMENDACIONES

Para aumentar la producción, rendimiento y calidad nutricional del forraje verde y ensilaje del sorgo rojo (*Sorghum bicolor*) CENTA-CF aplicar los fertilizantes foliares quelatados Metalosate Crop up en dosis de 500 cc/200 litros de agua más Metalosate NPK en dosis de 500 cc/200 litros de agua.

Debido al deterioro de la fertilidad de los suelos en el país la producción de forraje de sorgo es baja, por lo que es necesario promover el uso de fertilizantes foliares quelatados para cubrir las necesidades nutritivas de los cultivos y obtener alimento para el ganado bovino con alto valor nutricional.

Usar fertilizantes foliares como complemento al programa de fertilización al suelo con el propósito de aumentar la cantidad de forraje que se produzca.

Antes de establecer un cultivo para forraje se necesita realizar muestreo de suelo y follaje para conocer el contenido de nutrientes y con base en ello hacer el programa de fertilización al suelo y al follaje.

Almacenar forraje verde de sorgo en silos elaborados en bolsas plásticas con capacidad de 100 libras para alimentar al ganado bovino en época seca.

Realizar monitoreos frecuentes de plagas y enfermedades para evitar que puedan haber afectaciones en el cultivo.

Evaluar la calidad de la leche y de la carne del ganado bovino que ha sido alimentado con forraje verde y silo de sorgo rojo CENTA-CF en donde se han aplicado fertilizantes foliares quelatados.

Realizar investigaciones sobre el cultivo de sorgo rojo CENTA-CF a diferentes alturas sobre el nivel del mar para evaluar su producción y rendimiento.

La edad adecuada del sorgo rojo CENTA-CF para realizar ensilaje es a los 90 días después de la siembra y así evitar que se lignifique y pierda calidad.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Albión Plant Nutrition. 2013. Fertilizantes foliares líquidos quelatados con aminoácidos. Utah, Estados Unidos. s. e. 13 p.
- Anaya Beltran, HA; Irahera Cruz, Helmer, I. 1992. Evaluación del incremento de la proteína utilizando tres niveles de gallinaza en el ensilado de sorgo (*Sorghum vulgare*). San Salvador. Tesis Ing. Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. 90 p.
- Arguelles, JH; Carvajal, GH. 2013. Estadística y diseño de experimentos: Aplicaciones prácticas para diseño de experimentos en sistemas agropecuarios. Recuperado de <https://repository. Agr>.
- Arning, J. 2001. Guía metodológica para investigadores agrícolas. Introducción práctica a la investigación participativa e investigación científica. RAAA. Lima, Perú. 152 p.
- Barquero, G. 1999. Clasificación de los quelatos: consideraciones prácticas. San José, Costa Rica. s. e. 357 p.
- Casalis, A. 2009. ¿Qué es el desarrollo local y para qué sirve? Buenos Aires, Argentina, s.e. 3 p.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador). 2016. Sorgo rojo CENTA-CF: primera variedad de sorgo rojo con taninos en El Salvador. San Andrés, La Libertad, El Salvador. 10 p.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, El Salvador). 2018. Cultivo del sorgo. Ciudad Arce, El Salvador. 28 p.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Costa Rica), FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Costa Rica), IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica). 2019. Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe. San José, Costa Rica. 127 p.

Decología. s.f. Sobrepastoreo, definición, causas, efectos y soluciones. (en línea). Consultado el 18 de mayo del 2021. Disponible en: <https://decologia.info/medio-ambiente/sobrepastoreo/>

Delgado, G. 2010. Los recursos naturales: tipologías, usos y comercialización. África. s. e. 5 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 1999. Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Roma, Italia. s. e. 20 p.

Fritschy, BA. 2015. 11º Olimpiada de Geografía de la República Argentina. 1 ed. Santa Fe, Argentina. s. e. 292 p.

Gabriel, J; Castro, C; Valverde, A; Indacochea, B. 2017. Diseños experimentales: Teoría y práctica para experimentos agropecuarios. Grupo COMPAS, Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM), Jipijapa, Ecuador. 146 p.

Garces, AM; Berrio, L; Ruiz, S; Serna, JG; Builes, AF. 2004. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. Antioquia, Colombia. s. e. p. 66-71.

García, RA; Ramos, RA. 2011. Alimentación de vacas lecheras con dietas basadas en ensilado elaborado con mezcla de canavalia (*Canavalia ensiformis*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) y su efecto en la producción, eficiencia en el uso de nutrientes y rentabilidad. San Pedro Masahuat, El Salvador. 54 p.

Guzmán, JM; Gálvez, JL. 2004. Fertirriego: tecnologías y programación en agroplasticultura. 1 ed. Madrid, España. CYTED. 311 p.

Kent, F. s.f. Ensilaje de sorgo y maíz. Argentina. s.e. 11 p.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2017. Estrategia Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas de El Salvador. San Salvador, El Salvador. s.e. 26 p.

Morrison, J; Pearce, R. 2001. Desarrollo rural: algunos temas en el contexto de la OMC sobre la agricultura (en línea). Consultado el 8 de febrero del 2021. Disponible en: <http://www.fao.org/3/Y3733S/y3733s04.htm>

Naciones Unidas. 2018. La agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: una oportunidad para américa latina y el caribe. Santiago, Chile, Imprenta Naciones Unidas. 91 p.

Naciones Unidas. s.f. Objetivos de desarrollo sostenible (en línea). Consultado el 8 de febrero del 2021. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Pando, G; Peruando, D. 2010. Manejo y alimentación del ganado bovino de leche. 1 ed. Lima, Perú. s.e. 16 p.

Ramos, HE. 2018. Comparación de fertilizantes foliares sobre desarrollo y rendimiento en sorgo variedad ICTA MICTLAN. Escuintla, Guatemala. s.e. 63 p.

Reaves, P; Pegram, C. 1993. El Ganado Lechero y las Industrias Lácteas en la Granja. México, D.F. Editorial Limusa, S.A. de C.V. 594 p.

Rodríguez, OA. 2021. Asesoría de ante proyecto de tesis. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador.

Rovira, P; Velazco, J. 2012. Ensilaje de grano húmedo de sorgo: Guía práctica para su uso en la alimentación de ganado en regiones ganaderas. Montevideo, Uruguay. s.e. 20 p.

Vargas Rodríguez, CF. 2005. Valor nutricional y degradabilidad ruminal de genotipos de sorgo forrajero (*Sorghum sp*). Alajuela, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.

Zeledón, HS; Hernández, MA; Ayala, JE; Guzmán, RF; Borja, CA; Alvarado, M; Calderón, VR. 2007. Guía técnica del Sorgo. 1 ed. La libertad, El Salvador. Impresiones Digitales Diversas. 37 p.

9. ANEXOS

Anexo 1. Análisis bromatológico del forraje.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA



RESULTADO DE ANÁLISIS

Fecha de Emisión : Ciudad Universitaria, 23 de agosto de 2021.

Tipos de Muestras: forraje de sorgo centa rojo cf

Análisis solicitado: análisis bromatológico

Usuario: José Domínguez

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO PROXIMAL									
Muestra			Metodología						
			Gravimétrico			micro-Kjedahl	Soxhlet	AnKom	Diferencia
ID interno	ID Usuario		%Humedad Total	%Materia Seca	%Ceniza	%Proteína Cruda	%Extracto Etéreo	%Fibra Cruda	%Carbohidratos
MXP144	2021	T0	81.41	18.59	7.59	8.46	3.21	27.79	52.95
MXP145	2021	T1	83.69	16.31	8.25	9.40	2.96	26.44	52.95
MXP146	2021	T2	77.85	22.15	10.92	8.88	3.01	24.45	52.75
MXP147	2021	T3	75.16	24.84	13.07	8.97	2.74	25.84	49.38

Resultados expresados en Base Seca.

Analistas: Lic. Guillermo Jacob Pineda Magaña
Ing. Wilmer Vladimir López Avilés

“HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA”



Lic. Emerson Gustavo Martínez Hernández
Jefe del Departamento de Química Agrícola

Anexo 2. Análisis bromatológico del ensilaje.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRÍCOLA



RESULTADO DE ANÁLISIS

Fecha de Emisión : Ciudad Universitaria, 23 de agosto de 2021.

Tipos de Muestras: ensilaje de sorgo centa rojo cf

Análisis solicitado: análisis bromatológico

Usuario: José Domínguez

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO PROXIMAL									
Muestra		Metodología							
		Gravimétrico			micro-Kjedahl	Soxhlet	AnKom	Diferencia	
ID interno	ID Usuario	%Humedad Total	%Materia Seca	%Ceniza	%Proteína Cruda	%Extracto Etéreo	%Fibra Cruda	%Carbohidratos	
MXP158	2021 T0	81.71	18.29	8.33	7.58	3.40	24.41	56.28	
MXP159	2021 T1	82.09	17.91	9.89	3.14	2.55	24.56	59.85	
MXP160	2021 T2	76.71	23.29	11.08	9.56	3.27	24.77	51.32	
MXP161	2021 T3	82.03	17.97	8.02	8.40	2.41	25.69	55.48	

Resultados expresados en Base Seca.

Analistas: Lic. Guillermo Jacob Pineda Magaña
Ing. Wilmer Vladimir López Avilés

“HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA”



Lic. Emerson Gustavo Martínez Hernández
Jefe del Departamento de Química Agrícola