

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria
Ingeniería Agronómica



Proyecto Especial de Graduación
Evaluación de la calidad de forraje utilizando diferentes proporciones
de Maíz (*Zea mays* L.), Crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) y Botón de Oro
(*Tithonia diversifolia* L.).

Estudiante

Victor Emiliano Posadas Rivera
José Maynor Rossal Pérez

Asesores

Celia Odila Trejo, Ph.D.
Ángel Suazo, M.AE.
Rony Francisco Muñoz, M.Sc.

Honduras, agosto 2024

Autoridades

SERGIO ANDRÉS RODRIGUEZ ROYO

Rector

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

CELIA O. TREJO RAMOS

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

ANA M. MAIER ACOSTA

Secretaría General, a.i.

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Figuras	6
Índice de Anexos.....	7
Resumen	8
Introducción.....	10
Materiales y Métodos.....	14
Ubicación del Experimento.....	14
Diseño y Establecimiento de los Cultivos.....	15
Descripción de los tratamientos	20
Manejo de los Cultivos.....	20
Fertilización.....	20
Control de Malezas	21
Control de Plagas y Enfermedades	21
Riego	22
Variables Evaluadas	22
Fase de Campo.....	22
Fase de Laboratorio	22
Rendimiento (Tn de MS. ha ⁻¹).....	23
Recolección de Muestras de Forrajes.....	23
Análisis Estadístico	23
Modelo estadístico.....	24
Resultados y Discusión.....	25
Rendimiento (Tn. ha ⁻¹)	25
Materia Seca (MS).....	26

Extracto Etéreo (EE)	28
Proteína Cruda (PC).....	29
Fibras Ácidos Detergentes (FAD)	31
Fibras Neutros Detergentes (FND).....	33
Cenizas (CNZ)	33
Energía Neta de Lactancia (ENL)	35
Valores de pH.....	37
Conclusiones	38
Recomendaciones.....	39
Referencias.....	40
Anexos.....	43

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Análisis de suelo del lote “Parcela” que se encuentra a la par de la bodega de herramientas y enfrente del CEPIRS, realizado en el laboratorio de Suelos, EAP, Zamorano, Honduras.....	15
Cuadro 2. Cuadro de tratamientos con sus respectivas proporciones con los diferentes cultivos.	20
Cuadro 3. Componentes nutricionales estudiados con sus abreviaciones.....	23
Cuadro 4. Composición bromatológica de <i>Tithonia diversifolia</i> y <i>Crotalaria juncea</i> a los 65 días del corte, obtenidos de Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).....	25
Cuadro 5. Rendimientos de producción en toneladas por hectárea (Tn MS. ha ⁻¹) de cada cultivo.	26
Cuadro 6. Efecto del uso de socios en el porcentaje de la Materia Seca (MS), Extracto Etéreo (EE) y Proteína Cruda (PC).....	28
Cuadro 7. Efecto del uso de socios en el porcentaje de Fibra Ácido Detergente (FAD) y Fibra Neutro Detergente (FND).....	32
Cuadro 8. Efecto del uso de socios en el porcentaje de Cenizas (CNZ) y Energía Neta de Lactancia (ENL) en los valores de pH.	35

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación de la plantación, donde se realizó la siembra de los cultivos de maíz, botón de oro y crotalaria, área delimitada en azul con relleno verde, de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	14
Figura 2. Croquis del establecimiento del cultivo, donde se realizó la siembra de maíz, botón de oro y crotalaria en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.	16
Figura 3. Diagrama del proceso de establecimiento del <i>Tithonia diversifolia</i> en la etapa de vivero con su respectivo manejo.	18
Figura 4. Diagrama del proceso de establecimiento del <i>Tithonia diversifolia</i> en la etapa de campo con su respectivo manejo.	18
Figura 5. Diagrama del proceso de establecimiento del <i>Zea mays</i> L. y <i>Crotalaria juncea</i> en la etapa de campo con su respectivo manejo.	19
Figura 6. Proceso de cosecha mecanizada y manual sobre los forrajes para sus mezclas en las proporciones dadas.	19

Índice de Anexos

Anexo A. Requerimiento nutricional del botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>) para su establecimiento como forraje de corte por Ramírez (2018)	43
Anexo B. Muestreo del cultivo de maíz para su cosecha en forraje	44
Anexo C. Efecto del uso de asocio en el porcentaje de Extracto Libre de Nitrógeno (ELN), Fibra Cruda (FC) y la Energía Bruta (EB)	45
Anexo D. Efecto del uso de asociados en los valores de pH del ensilado.....	46

Resumen

Este estudio investigó el impacto de la asociación del maíz (*Zea mays* L.) con crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) y botón de oro (*Tithonia diversifolia* L.) en diferentes proporciones (4:1 y 3:2) sobre la producción y calidad del forraje. Se evaluaron el rendimiento de forraje fresco y de materia seca (Tn/ha) de cada cultivo, y se realizó un análisis nutricional a través de un análisis proximal completo y fraccionamiento de fibra utilizando el método Van Soest. El experimento se llevó a cabo en el “Lote Parcelas” de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. El análisis estadístico se realizó con el programa SAS académico, empleando un diseño completamente al azar con arreglo factorial (asociaciones y proporciones) con cinco tratamientos y tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) y se utilizó una separación de medias ajustadas por cuadrados mínimos (LSMEANS). No se encontraron interacciones significativas entre los factores para las variables de materia seca, extracto etéreo, proteína cruda, fibras ácidas detergentes, fibras neutras detergentes, cenizas y energía neta de lactancia ($P > 0.05$), excepto para el pH. Sin embargo, tanto las asociaciones como las proporciones tuvieron un efecto significativo ($P \leq 0.05$) en la mayoría de las variables, excepto el pH en la proporción. Las asociaciones mostraron mejoras ($P \leq 0.05$) en la calidad nutricional, particularmente en el contenido de extracto etéreo, proteína cruda, fibras neutras detergentes y cenizas. El cultivo de maíz presentó el mayor rendimiento en forraje fresco (56.5 Tn/ha) y en materia seca (16.9 Tn/ha).

Palabras clave: Análisis bromatológico, asocio, botón de oro, crotalaria, maíz.

Abstract

This study investigated the impact of the association of corn (*Zea mays* L.) with Sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) and Mexican sunflower (*Tithonia diversifolia* L.) in different proportions (4:1 and 3:2) on forage production and quality. Fresh forage and dry matter yield (Tn/ha) of each crop were evaluated, and a nutritional analysis was carried out through a complete proximate analysis and Van Soest fiber analysis. The experiment was carried out in the "Parcelas" lot of the Panamerican Agricultural School, Zamorano. Statistical analysis was performed with the academic SAS program, using a completely randomized design with factorial arrangement (associations and proportions) with five treatments and three replications. An analysis of variance (ANOVA) was performed and a least squares adjusted mean separation (LSMEANS) was used. No significant interactions between factors were found for the variables dry matter, ether extract, crude protein, acid detergent fibers, neutral detergent fibers, ash and net lactation energy ($P > 0.05$), except for pH. However, both associations and proportions had an effect ($P \leq 0.05$) on most variables, except pH in proportion. The associations showed improvements ($P \leq 0.05$) in nutritional quality, particularly in the content of ethereal extract, crude protein, neutral detergent fiber and ash. The corn crop presented the highest yield in fresh forage (56.5 Tn/ha) and dry matter (16.9 Tn/ha).

Keywords: Association, bromatological analysis, maize, Sunn hemp, Mexican sunflower.

Introducción

La ganadería y la agricultura han mantenido una estrecha relación a lo largo de la historia, siendo la nutrición uno de los pilares fundamentales que ilustra esta interconexión, ya que la materia prima proviene del sector agrícola. Los forrajes, obtenidos de la agricultura, se destacan por su valor nutricional, su gran variedad y cantidad en el campo. Uno de los principales desafíos en este sector es reducir los costos sin comprometer la productividad. Por ello, se buscan constantemente alternativas que puedan apoyar eficazmente los requisitos necesarios para la producción ganadera.

La eficiente y sostenible producción de carne y leche bovina representa un desafío constante en la industria agropecuaria. Según Molina y Moreno (2007), un programa de alimentación animal debe enfocarse en un mejoramiento continuo de la calidad de los forrajes, satisfaciendo los requerimientos nutricionales tanto en calidad como en cantidad, lo cual se evidencia en los parámetros productivos y reproductivos, siendo la nutrición un factor crítico que influye directamente en estos indicadores.

En este contexto, la búsqueda de alternativas nutritivas y económicamente viables para alimentar al ganado es una prioridad para los productores e investigadores en zootecnia. Esto incluye la utilización estratégica de forrajes y cultivos en sistemas de asocio para maximizar la productividad, el valor nutricional y la reducción de costos. Por ende, realizar un análisis bromatológico es esencial para determinar el valor nutricional y la viabilidad del forraje, como menciona Díaz (2017), el análisis bromatológico revela el contenido nutricional y los compuestos dentro del alimento permitiendo producir alimentos seguros, nutritivos y deseables para el productor y consumidor, ayudando a formular alimentos equilibrados para el consumo humano y animal.

En los últimos años, la integración de especies forrajeras en sistemas de asocio ha emergido como una opción prometedora para mejorar la calidad y cantidad de forraje disponible para el ganado bovino. Por ende, la siembra de leguminosas en asocio es una estrategia clave para añadir proteína a otras especies energéticas para el consumo animal, y también para la incorporación de nitrógeno y

otros nutrientes al suelo, contrarrestando los efectos agotadores de un monocultivo como los cultivos extensivos (Muñoz, 2014).

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta gramínea de gran importancia económica y alimentaria, originaria de América. Se destaca como uno de los cultivos predominantes en la producción animal, y su asociación con otras especies forrajeras ofrece la oportunidad de complementar sus beneficios nutricionales. En cuanto a su fenología, el maíz se caracteriza por un sistema radicular extenso y profundo, lo que le proporciona una capacidad eficiente de absorción de nutrientes y una mayor resistencia a condiciones adversas, como las sequías (Deras, 2020). Sus hojas amplias y largas son cruciales para la fotosíntesis, contribuyendo significativamente a la producción de carbohidratos necesarios para el crecimiento de la planta. Además, el grano del maíz presenta una variabilidad de colores dependiendo su origen, lo que refleja su diversidad genética y composición nutricional (Andrade et al., 2023).

La versatilidad del maíz también se manifiesta en su capacidad para adaptarse a diversas condiciones de suelos y climas. Este cultivo requiere entre 500 y 800 milímetros (mm) de agua para obtener una cosecha con grano de madurez media, siendo las etapas críticas la floración y la formación de granos, con un pH entre 5.5. a 7.5 y temperaturas mínimas de 15 °C y máximas de hasta 40 °C, aunque la ideal oscila entre 20 y 30 °C (Zamora et al., 2010).

En la alimentación de rumiantes, uno de los subproductos más importantes del maíz es el ensilaje, que contiene entre un 30% y un 50% de granos. Este se considera un suplemento energético de la ración o como complemento de la dieta. Comparado con el sorgo, el maíz presenta un mayor contenido de almidones, lo que le confiere una mayor densidad energética (Minervet, 2021). Por otro lado, el sorgo, aunque es una alternativa viable, tiene un contenido almidón inferior, entre 4 a 10%, y puede contener taninos que reducen su digestibilidad y valor nutritivo. Así, el maíz con un contenido de almidón entre 10 a 24%, se posiciona como un excelente alimento, actuando como el componente

energético principal en la dieta de los animales (Fundación Española de Desarrollo de Nutrición Animal FEDNA, 2016).

En resumen, el maíz es un cultivo versátil y resiliente, con características fenotípicas y requerimientos específicos que lo convierten en un pilar fundamental tanto en la agricultura como en producción pecuaria por su valor nutricional y su capacidad de producir grano en cantidad y calidad, lo hacen esencial en las dietas de los rumiantes (Salvador, 2001).

Entre las alternativas forrajeras, el botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y la crotalaria (*Crotalaria juncea*) han llamado la atención, debido a su potencial para enriquecer las dietas del ganado con aportes proteicos significativos, por tal razón, se traduce en una reducción de costos de producción al disminuir la necesidad del uso de concentrados.

El botón de oro (*Tithonia diversifolia*) es una planta de la familia Asteraceae nativa de América tropical y subtropical que ha demostrado un alto contenido de vitaminas, minerales y proteínas, propiedades antioxidantes y antiparasitarias, su nivel de proteína oscila entre el 16 al 24% e incluso superiores en determinadas etapas de desarrollo siendo las hojas ricas en el contenido nutricional para el desarrollo y mantenimiento saludable del ganado bovino (Zapata y Vargas, 2014).

Por otra parte, la crotalaria (*Crotalaria juncea*), perteneciente a la familia Fabaceae, es apreciada por su capacidad para fijar nitrógeno en el suelo, mejorar la fertilidad y controlar las malezas, siendo una opción sostenible para el manejo de pastizales y la producción ganadera. Además, contiene entre 18 a 22% de proteína y otros nutrientes valiosos para la dieta del ganado, contribuyendo al aumento de la productividad y la calidad de la carne y la leche (Alarcón, 2022).

De acuerdo con el contexto, el objetivo principal fue evaluar la viabilidad y los efectos de la combinación de botón de oro y crotalaria con el cultivo de maíz, en términos de calidad nutricional, rendimiento forrajero y potencial impacto en la ganadería. Esto permitió aportar nuevos conocimientos a los productores, para tomar decisiones informadas sobre la incorporación de estas

asociaciones en sus sistemas de producción, contribuyendo al avance de la zootecnia y a la búsqueda de soluciones más sostenibles y eficientes en la producción de carne y leche bovina.

Materiales y Métodos

Ubicación del Experimento

El estudio se desarrolló entre noviembre del 2023 y mayo del 2024 en el Lote Parcelas, de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano ($14^{\circ}00'46''$ latitud norte y $87^{\circ}00'24''$ longitud oeste), a 32 km de Tegucigalpa, Honduras (Figura 1). Las condiciones presentes en la zona son: una altitud de 793 msnm, una temperatura promedio anual de 26°C y precipitaciones anuales de 1200 mm (Hernández, 2019).

Figura 1.

Ubicación de la plantación, donde se realizó la siembra de los cultivos de maíz, botón de oro y crotalaria, área delimitada en azul con relleno verde, de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.



Nota. Tomada de Google Earth

Se realizó un análisis físico y químico de suelo para determinar los nutrientes aportados del suelo a la plantación. Este suelo presentó una textura franco arcilloso arenoso (FArA), con un pH de 6.07 y un contenido de materia orgánica del 3.07%.

Cuadro 1.

Análisis de suelo del lote "Parcela" que se encuentra a la par de la bodega de herramientas y enfrente del CEPIRS, realizado en el laboratorio de Suelos, EAP, Zamorano, Honduras.

Textura	g/100 g		mg/kg (extractable)					
	M.O.	N total	P	K	Ca	Mg	Na	S
FArA*	3.07-M	0.15-M	18-M	592-A	2557-A	246-M	9-M	2-B

Nota. *FArA = Franco arcilloso arenoso; A = Alto; M = Media; B= Bajo

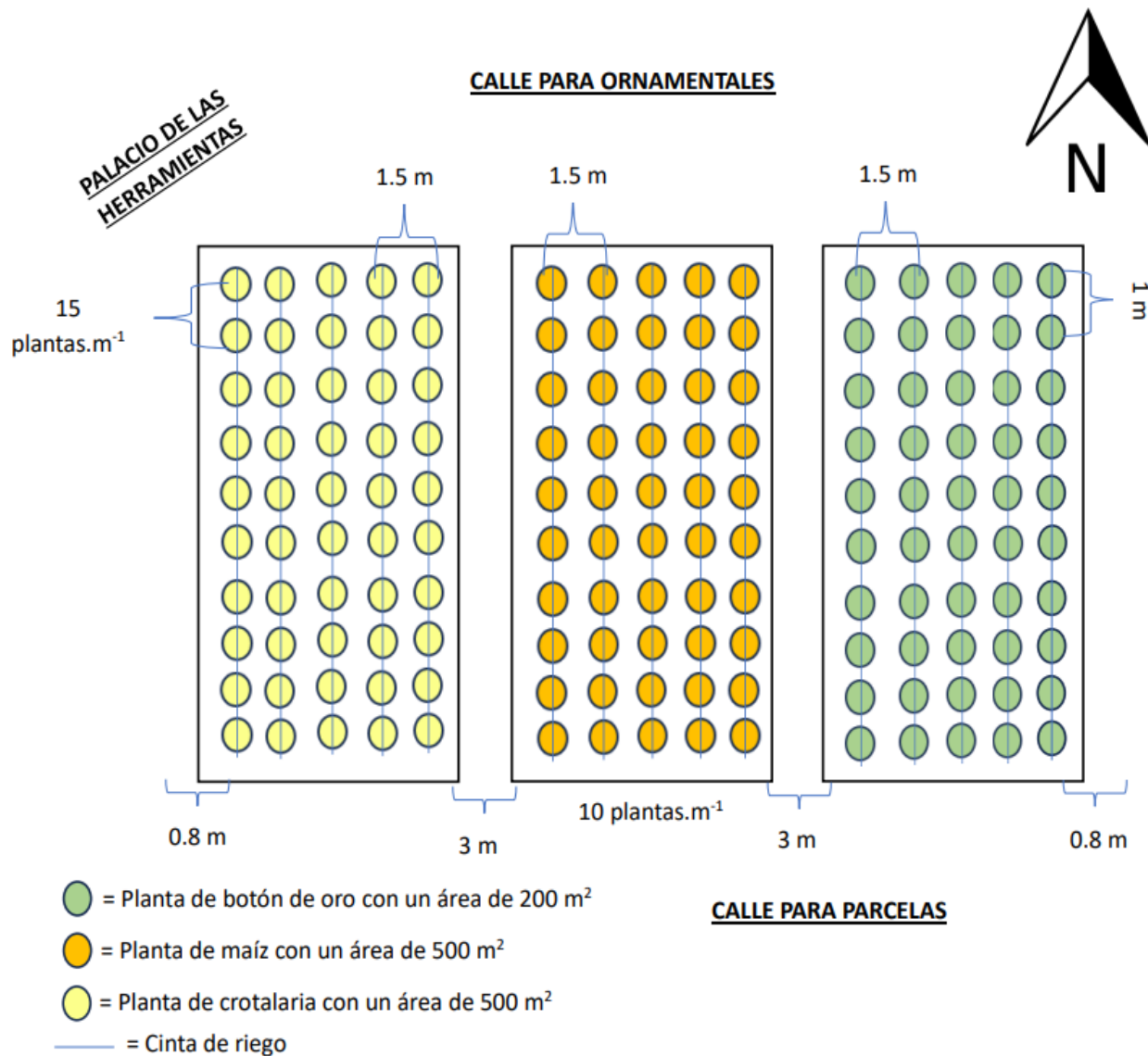
Diseño y Establecimiento de los Cultivos

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial (DCA) para evaluar las muestras de forraje en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ). Los factores de estudio fueron los socios y las proporciones dadas. El experimento consistió en cinco tratamientos con tres repeticiones cada uno, resultando un total de 15 unidades experimentales (UE), donde cada unidad representa una bolsa de silo de 22.73 kg.

El enfoque estadístico de esta investigación se centró en las muestras obtenidas de cada proporción puesta en los tratamientos enviados al laboratorio, y no en el manejo de las plantaciones. El manejo de cada cultivo fue realizado conforme a los procedimientos de la Unidad de Pastos y Forrajes. Para ello, se sembraron tres lotes, asignando un lote para cada cultivo. La preparación del suelo incluyó el uso de una rastra pesada y una liviana. El área de los cultivos se dividió en 500 m² para la crotalaria, 500 m² para el maíz y 200 m² para el botón de oro, siendo un total de 1200 m².

Figura 2.

Croquis del establecimiento del cultivo, donde se realizó la siembra de maíz, botón de oro y crotalaria en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.



Para el establecimiento de los cultivos, se realizó la siembra en diferentes fechas para la sincronización de los tres cultivos al momento óptimo del corte, ya que, fue necesario para realizar la mezcla de los forrajes en las proporciones dadas para realizar la evaluación bromatológica.

La primera siembra fue del botón de oro (*Tithonia diversifolia*), debido a su ciclo de crecimiento más largo en comparación de los otros cultivos, lo que requiere establecerlo primero para su uso como forraje de corte. Se utilizó la reproducción asexual con esquejes de cinco a siete nudos

con una longitud de 35 a 40 cm de largo, introduciendo dos nudos en el sustrato de la bolsa y dejando de tres a cinco nudos en la superficie. El establecimiento del botón de oro se realizó en dos etapas: vivero y en campo definitivo.

En el vivero, se sembraron los esquejes en el último trimestre del 2023 en bolsas de polietileno de 20.32 cm de diámetro y 30.48 cm de altura llenadas con 0.91 kg de compost. Luego, se aplicó agua diariamente para mantener el sustrato húmedo. Un mes después, se trasplantó a campo definitivo con un distanciamiento de 1 m entre cada planta y 1.5 m entre surco. Posteriormente, se cortaron cuatro meses después, a una altura de 35 cm, quedando las plantas establecidas como forraje de corte, y se esperaron 65 días para que el rebrote fuera utilizado para la evaluación (Figura 3 y 4).

En el primer trimestre de 2024, se sembró el maíz (*Zea mays* L.) a una densidad de 10 plantas por metro lineal mediante siembra directa con su respectiva curación de la semilla. Mientras, el cultivo de crotalaria (*Crotalaria juncea*) se sembró a siembra directa en el mismo trimestre a una densidad de 15 plantas por metro lineal, lo que permitió que ambas especies alcanzaran su punto óptimo de corte para ser mezcladas y evaluadas como forraje junto con el botón de oro (Figura 5).

El maíz se cosechó a los 80 días después de la siembra, en su etapa reproductiva entre R3 y R4, caracterizada por un estado lechoso-pastoso de los granos. Por otro lado, la crotalaria se cosechó a los 65 días después de la siembra. En cuanto al botón de oro, se cosechó a los 65 días después del corte inicial a una altura de 35 cm. Para la cosecha se utilizó una cosechadora de forraje modelo JF C-120, con un tamaño de corte de 1 a 3 cm. El forraje obtenido se almacenó en 15 silo-bolsas de 22.73 kg, una por cada unidad experimental, y se conservó con el uso inoculante para proceder con el ensilaje (Figura 5 y 6).

Figura 3.

*Diagrama del proceso de establecimiento del *Tithonia diversifolia* en la etapa de vivero con su respectivo manejo.*



Figura 4.

*Diagrama del proceso de establecimiento del *Tithonia diversifolia* en la etapa de campo con su respectivo manejo.*



Figura 5.

Diagrama del proceso de establecimiento del Zea mays L. y Crotalaria juncea en la etapa de campo con su respectivo manejo.



Figura 6.

Proceso de cosecha mecanizada y manual sobre los forrajes para sus mezclas en las proporciones dadas.



Descripción de los Tratamientos

Se emplearon cinco tratamientos con tres repeticiones cada uno en este experimento, que se detallan a continuación en el Cuadro.

Cuadro 2.

Cuadro de tratamientos con sus respectivas proporciones con los diferentes cultivos.

Tratamiento	Cultivo principal	Asocio	Proporción	%
1	Maíz	-	5:0	100
2	Maíz	Crotalaria	4:1	80:20
3	Maíz	Crotalaria	3:2	60:40
4	Maíz	Botón de oro	4:1	80:20
5	Maíz	Botón de oro	3:2	60:40

Nota. Maíz (*Zea mays*), Crotalaria (*Crotalaria juncea*) y Botón de oro (*Tithonia diversifolia*).

Manejo de los Cultivos

Los tres cultivos se manejaron de manera independiente, por sus diferentes requerimientos nutricionales y ciclos fenológicos. No obstante, se aseguró de proporcionar las condiciones ideales a cada lote para sincronizarlos al momento del corte. Esto permitió realizar las mezclas de forraje que posteriormente fueron analizadas en el laboratorio.

Fertilización

La fertilización de los cultivos se determinó según sus requerimientos nutricionales y el análisis del suelo, utilizando fertilizantes granulados aplicados en banda. En el caso del cultivo del maíz (*Zea mays* L.), se siguió el manejo agronómico establecido por la Unidad de Pastos y Forrajes de Zamorano. La fertilización del maíz se dividió en dos etapas: la primera al momento de la siembra con 50 kg ha⁻¹ N, 60 kg ha⁻¹ P y 41.8 kg. ha⁻¹ K; la segunda a los 35 días después de la siembra aplicando 160 kg ha⁻¹ N.

En el caso de la crotalaria (*Crotalaria juncea*), al ser un cultivo de cobertura fijador de nitrógeno y de bajo requerimiento nutricional, no se aplicó fertilización adicional, siguiendo las prácticas agronómicas de la Unidad de Pastos y Forrajes de Zamorano.

En cuanto al botón de oro (*Tithonia diversifolia*), la fertilización se dividió en dos partes, la primera al momento de la siembra al campo definitivo con 55 kg ha⁻¹ N, 50 kg ha⁻¹ P y 20 kg. ha⁻¹ K; la segunda a los 60 días después de la siembra aplicando 50 kg ha⁻¹ N. Después de cinco meses en campo, se realizó un corte uniforme para establecerlo como forraje de corte, a una altura de 35 cm del suelo. En este corte, se aplicaron 28.1 g de urea, 15.8 g de fosfato di-amónico (DAP) y 10.1 g de cloruro de potasio (KCl) por planta, sumando un total de 54 g por planta por cada corte de 65 días, siguiendo las recomendaciones de Botero et al. (2019).

Control de Malezas

El control de malezas se realizó mediante específicos para cada cultivo. Para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), se aplicó glifosato a los 25 días después de la siembra, con especial cuidado para evitar afectar al botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y la crotalaria (*Crotalaria juncea*). En el caso del botón de oro, el control de malezas se llevó a cabo de manera mecánica a los 60 días después de la siembra en campo, y nuevamente cinco meses después del corte. Para el cultivo de la crotalaria no se realizó ningún control de malezas.

Control de Plagas y Enfermedades

Se hicieron muestreos del cultivo para evaluar la incidencia y severidad de las plagas y enfermedades, para decidir sobre el manejo y la aplicación de plaguicidas.

En el caso del cultivo botón de oro (*Tithonia diversifolia*), se aplicó el agroquímico granulado sulfluramid durante la etapa de vivero para controlar las hormigas (*Atta* spp.), espolvoreándolo alrededor y dentro de las bolsas de vivero para proteger los brotes de los esquejes. En el campo definitivo, no se realizó ningún control químico para el botón de oro, debido a su alta tolerancia natural a diversas plagas y enfermedades durante el crecimiento y desarrollo, lo cual, demostró su vigorosidad.

En el cultivo de la crotalaria (*Crotalaria juncea*), no se realizó ningún control químico, dado que esta planta es conocida por ser muy resistente y tolerante a diversas plagas y enfermedades, mostrando un vigor excelente.

Con respecto al cultivo de maíz (*Zea mays* L.), se llevó a cabo una aplicación preventiva a los 50 días de la siembra utilizando azoxystrobin + terbuconazole para el control de la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllachorae*), aplicando una dosis de 1 litro por hectárea.

Riego

Se implementó un sistema de riego por goteo en cada lote de los cultivos, utilizando una cinta de riego por surco con un caudal de 1.2 litros por hora. Los riegos se realizaron tres veces por semana, con una duración de una hora y 30 minutos. Durante los últimos 30 días, se aumentó la duración a dos horas y 30 minutos para facilitar el llenado de grano en el cultivo de maíz.

Variables Evaluadas

El experimento se desarrolló en dos fases: En la primera fase, llevada a cabo en el campo de producción, se evaluaron los rendimientos de cada lote para extrapolar los resultados a una escala equivalente a una hectárea de referencia. En la segunda fase, realizada en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ), se llevó a cabo un análisis bromatológico para determinar el contenido nutricional de cada tratamiento.

Fase de Campo

En esta fase, se determinó el rendimiento en producción en biomasa de cada cultivo en toneladas de materia seca por hectárea (ton MS. ha⁻¹), considerando que el contenido de agua de cada cultivo varía a lo largo de su ciclo fenológico.

Fase de Laboratorio

En esta fase, se realizaron análisis a las muestras obtenidas de cada tratamiento con sus respectivas repeticiones, donde se determinaron sus componentes nutricionales como la materia

seca, pH, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo, fibra ácido detergente, fibra neutro detergente y energía neta de lactancia con los protocolos del Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).

Cuadro 3.

Componentes nutricionales estudiados con sus abreviaciones.

Componente	Abreviación
Materia seca	MS
Cenizas	CNZ
Proteína cruda	PC
Extracto etéreo	EE
Fibra ácido detergente	FAD
Fibra neutro detergente	FND
Energía neta de lactancia	ENL
pH	pH

Rendimiento (Tn de MS. ha⁻¹)

Se obtuvo el peso en kilogramos mediante una balanza. En el caso del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y crotalaria (*Crotalaria juncea*), se tomó de 1 m² en tres puntos diferentes de cada lote respectivo. En cuanto al botón de oro (*Tithonia diversifolia*), se realizó un muestreo de 1.5 m² en tres puntos diferentes del lote respectivo. Estos datos sirvieron como base para estimar la producción total de biomasa que se obtendría en 1 hectárea de producción.

Recolección de Muestras de Forrajes

Se tomaron muestras a partir de los cinco tratamientos y sus repeticiones, con un total de 15 muestras, que se transportaron al Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ). En dicho laboratorio, se llevaron a cabo análisis bromatológicos para determinar la materia seca (MS), pH (pH), cenizas (CNZ), proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra ácida detergente (FAD), fibra neutro detergente (FDN) y la energía neta de lactancia (ENL).

Análisis Estadístico

El análisis se llevó a cabo utilizando el programa SAS[®] Academic, que incluyó un análisis de varianza (ANOVA), una prueba para la separación de medias ajustadas de cuadrados mínimos

(LSMEANS) y una prueba de normalidad de los datos. Además, se realizó un análisis comparativo/descriptivo de la variable de rendimiento entre cada cultivo con la literatura disponible.

Modelo Estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + A_i * B_j + \varepsilon_{ijk} \quad [1]$$

Donde:

Y_{ijk} : Variable respuesta.

μ : Corresponde a la media general del estudio.

A_i : Efecto del i-ésimo nivel de los socios.

B_j : Efecto del j-ésimo nivel de las proporciones.

$A_i * B_j$: Efecto de la interacción entre los niveles de los socios y de las proporciones.

ε_{ijk} : Error experimental asociado con la observación Y_{ijk} .

Resultados y Discusión

Los resultados de este experimento muestran que la composición nutricional de los tratamientos, expresada en términos de rendimiento, materia seca, extracto etéreo, proteína, cenizas, fibra ácido detergente, fibra neutra detergente, energía neta de lactancia y pH, fue afectada por la asociación de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) y crotalaria (*Crotalaria juncea*) con el maíz (*Zea mays* L.) (Cuadro 4).

Cuadro 4.

Composición bromatológica de Tithonia diversifolia y Crotalaria juncea a los 65 días del corte, obtenidos de Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).

Variable	Botón de Oro (%)	Crotalaria (%)
Materia Seca	20.00	26.86
Extracto etéreo	1.90	2.33
Proteína Cruda	16.22	14.28
Cenizas	14.50	7.80
Fibra Ácido Detergente	35.82	39.25
Fibra Neutro Detergente	40.70	45.65
ENL (Mcal.kg ⁻¹)	1.47	1.45
Materia Seca	20.00	26.86

Nota. Crotalaria (Crotalaria juncea) y Botón de oro (Tithonia diversifolia).

Rendimiento (Tn. ha⁻¹)

Se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos de cada cultivo, encontrándose que la crotalaria (*Crotalaria juncea*) obtuvo un rendimiento de 11.6 toneladas de materia seca por hectárea (Tn de MS. ha⁻¹). Estos resultados son consistentes con el estudio de Mora et al. (2021), que reportó rendimientos de 12.5 a 14 Tn de MS. ha⁻¹ en plantas fertilizadas. La diferencia en el rendimiento se atribuye a la fertilización, subrayando así la importancia de este factor en el aumento de la producción de materia seca.

El resultado del botón de oro (*Tithonia diversifolia*) alcanzó un rendimiento de 9.86 toneladas de materia seca por hectárea (Tn de MS. ha⁻¹) en un periodo de 65 días. Estos hallazgos son consistentes con el estudio de Ramírez (2018), que reportó rendimientos de 6.29 Tn MS. ha⁻¹ en

plantas que habían sido cortadas a los 49 días. La variación en el rendimiento entre los dos estudios puede ser atribuida principalmente a la diferencia en el tiempo de corte.

En el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) se obtuvo un rendimiento de 16.9 Tn MS. ha⁻¹ en un período de 80 días de corte. Estos resultados son coherentes con el estudio de Elizondo (2013), que reportó rendimientos de diferentes híbridos de maíz, con valores que oscilan entre 16.7 y 20.21 Tn MS. ha⁻¹ a los 82 días de corte. La pequeña diferencia en los días de corte entre los estudios no afecta la comparación, mostrando que los rendimientos obtenidos están dentro del mismo rango. Los híbridos de maíz pueden presentar variaciones en el rendimiento por factores genéticos, y las prácticas de manejo y las condiciones ambientales.

Cuadro 5.

Rendimientos de producción en toneladas por hectárea (Tn MS. ha⁻¹) de cada cultivo.

Cultivo	Rendimiento FV	Rendimiento MS
	Tn/ha ± EE	Tn/ha ± EE
Maíz	56.50 ± 0.64	16.90 ± 0.19
Crotalaria	43.30 ± 0.46	11.60 ± 0.12
Botón de Oro	49.30 ± 3.77	9.86 ± 0.75

Nota. Maíz (*Zea mays*), Crotalaria (*Crotalaria juncea*), Botón de oro (*Tithonia diversifolia*), FV = Forraje verde, MS= Materia seca, EE = Error estándar.

Materia Seca (MS)

El análisis estadístico demostró que la interacción entre los factores no fue significativa ($P = 0.0588$), indicando independencia entre los efectos de asocio y proporción. Por otro lado, los factores de asocio y proporción muestran efectos significativos ($P \leq 0.05$) sobre la materia seca. Los resultados muestran una menor cantidad de materia seca al utilizar los asociados en comparación con el control. Esto se debe a que tanto la crotalaria como el botón de oro tiene mayor cantidad de humedad, lo que reduce la materia seca a medida que aumenta su inclusión.

Con respecto al tratamiento control, presentó la mayor materia seca, con un 29.92% de MS. Este resultado es similar al reportado por Martínez (2017), que evaluó el contenido de materia seca del maíz entre los estadios R3 y R4, obteniendo un rango de 27.80 a 29.30% de MS. De manera similar,

el estudio de Barrera y Bonilla (2019) mostró un rango de 25.33 a 27.69% de MS. Según Oller (2022), el contenido de materia seca del forraje de maíz puede variar según su estado fenológico con respecto al estadio.

En cuanto al tratamiento 2 (80% maíz: 20% crotalaria), presentó el segundo valor más alto en materia seca, con un 28.14% de MS. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos 3 y 4. Los resultados obtenidos de materia seca en los asocis de crotalaria coinciden con los reportados por Gulkan y Ozkan (2021), quienes obtuvieron valores de materia seca del 32.5% en la proporción 80:20 (maíz: crotalaria) y del 30.6% en la proporción 60:40 (maíz: crotalaria), disminuyendo los valores al aumentar la inclusión de crotalaria. De manera similar, el estudio de Mora et al. (2021), obtuvo valores de materia seca de 19.61% y 23% en forraje de crotalaria a los 60 días después de la siembra, mediante un análisis bromatológico para establecer diferencias entre los asocis y su influencia agronómica. Por último, el estudio de Zavala (2011), determinó que la asociación de maíz con mazorca y de crotalaria, cosechándolos a los 83 días, resultó en un 27.18% de MS, siendo similar al tratamiento 2 (80% maíz: 20% crotalaria) y 3 (60% maíz: 40% crotalaria).

Con respecto el tratamiento 5 (60% maíz: 20% botón de oro), presentó el contenido más bajo de materia seca en comparación con los demás tratamientos, con un valor de 23.71% de MS. Esto se debe a que el botón de oro contiene una materia seca (20% MS) aún menor que la crotalaria (26.86% MS), resultando en valores mucho más bajos que los tratamientos 1 (100% maíz), 2 (80% maíz: 20% crotalaria) y 3 (60% maíz: 40% crotalaria). Estos resultados concuerda con Garza (2017), quien obtuvo 26.8% de MS en una mezcla del 80% de maíz y 20% de botón de oro, y con una inclusión del 30% disminuyó a 25.80%, demostrando de que, a mayor inclusión, menor porcentaje de materia seca. De manera similar, en el estudio de Castaño et al. (2023), el botón de oro presentó una media de 18.42% de MS. Así mismo, el estudio de Castillo et al. (2014), observaron diferentes valores en su literatura consultada sobre la planta, variando de 13.5 a 24.4% de MS, siendo los tratamientos 4 (80% maíz: 20%

botón de oro) y 5 (60% maíz: 40% botón de oro) de los valores más bajo debido al contenido de materia seca del botón de oro.

Cuadro 6.

Efecto del uso de socios en el porcentaje de la Materia Seca (MS), Extracto Etéreo (EE) y Proteína Cruda (PC).

Tratamiento		Materia Seca (%) ± EE	Extracto Etéreo (%) ± EE	Proteína Cruda (%) ± EE
1	100% Maíz	29.92 ± 0.10 ^a	1.78 ± 0.02 ^d	9.03 ± 0.04 ^d
2	80% M + 20% CT	28.14 ± 0.48 ^b	1.93 ± 0.04 ^{bc}	10.55 ± 0.18 ^c
3	60% M + 40% CT	26.59 ± 0.12 ^c	2.19 ± 0.05 ^a	12.08 ± 0.26 ^b
4	80% M + 20% BO	26.45 ± 0.26 ^c	1.81 ± 0.01 ^{cd}	11.78 ± 0.39 ^b
5	60% M + 40% BO	23.71 ± 0.27 ^d	1.99 ± 0.06 ^b	13.45 ± 0.03 ^a
Valor P	Asocio***	<0.0001	0.0002	<0.0001
	Proporción **	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Asocio × Proporción*	NS	NS	NS
	CV (%)	1.79	3.90	3.40

Nota. M = Maíz (*Zea mays* L.) CT = Crotalaria (*Crotalaria juncea*), BO = Botón de oro (*Tithonia diversifolia*), CV = Coeficiente de Variación, EE= Error estándar, NS= No significativo ($P > 0.05$), *Interacción entre los socios con las proporciones, **Efecto de las proporciones, ***Efecto de los socios, ^{abcd} Las medias con diferentes letras en cada columna son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) de acuerdo con la separación de medias ajustadas de cuadrados mínimos (LSMEANS).

Extracto Etéreo (EE)

El análisis estadístico demostró que no hubo una interacción entre los factores ($P = 0.3986$), indicando independencia entre los efectos de asocio y proporción. Por otro lado, los factores de asocio y proporción muestran efectos ($P \leq 0.05$) sobre el extracto etéreo. Los resultados muestran una mayor cantidad de extracto etéreo al utilizar los socios en comparación con el control.

El análisis de los resultados obtenidos del tratamiento control mostró un extracto etéreo del 1.78%, el valor más bajo registrado en el experimento. Este resultado está en el rango reportado por Barillas (2008), que va del 1.1% al 3.94%. Esto sugiere que los valores observados son consistentes con los rangos esperados y que el tratamiento control presenta niveles de extracto etéreo comparables a los establecidos en estudios previos.

Con respecto al tratamiento 3 (60% maíz: 40% crotalaria), este presentó el valor más alto de extracto etéreo, con un 2.19%. Este resultado se debe a que dicho tratamiento contiene la mayor cantidad de crotalaria. Según Mora et al. (2021), en su estudio sobre el cultivo de crotalaria, se

obtuvieron valores de extracto etéreo de hasta un 3.56%. Esto demuestra que la inclusión de crotalaria es un factor determinante para el incremento en los niveles de extracto etéreo, lo que confirma que el tratamiento 3 (60% maíz: 40% crotalaria) es el más efectivo en este aspecto.

El tratamiento 5 (60% maíz: 40% botón de oro) fue el segundo mayor resultado, con un extracto etéreo de 1.99%. La inclusión mayor de botón de oro en este tratamiento es relevante. Según Mahecha y Rosales (2005), el contenido de extracto etéreo en el botón de oro ronda entre 1.4% y 2.43%. Por esta razón, también se observó un aumento en el extracto etéreo en este tratamiento.

Los otros tratamientos presentaron valores intermedios de extracto etéreo: T2 (80% maíz: 20% crotalaria) con 1.93%, T4 (80% maíz: 20% botón de oro) con 1.81%, y T1 (100% maíz) con 1.78%. Estos resultados reflejan que la variación en los componentes de cada tratamiento influye en el contenido de extracto etéreo, siendo T3 (60% maíz: 40% crotalaria) el más efectivo. En cuanto a las diferencias, no se observan diferencias entre los tratamientos 5 (60% maíz: 40% botón de oro) y 2 (80% maíz: 20% crotalaria), ni entre el tratamiento 2 y el 4 (80% maíz: 20% botón de oro). Sin embargo, sí hay diferencias significativas entre los tratamientos 2 y 5 (60% maíz: 40% botón de oro). Por otro lado, entre el tratamiento 4 (80% maíz: 20% botón de oro) y el tratamiento 1 (100% maíz) no se presentan diferencias significativas.

Proteína Cruda (PC)

El análisis estadístico demostró que no existe una interacción entre los factores ($P = 0.7606$), indicando independencia entre los efectos de asocio y proporción. Por otro lado, los factores de asocio y proporción mostraron efectos ($P \leq 0.05$) sobre la proteína cruda. Los resultados muestran una mayor cantidad de proteína al utilizar los socios en comparación con el control. Esto se debe a que tanto la crotalaria como el botón de oro tiene alta cantidad de proteína. A medida que aumenta su inclusión, se incrementa el contenido proteico de la mezcla.

Con respecto al tratamiento control, presentó el valor más bajo de proteína, con un 9.03% de PC. A diferencia de lo reportado por Martínez (2017), quien evaluó el contenido de proteína del maíz

entre los estadios R3 y R4, obteniendo un rango de 6.68 a 6.70% de PC. De manera similar, el estudio de Barrera y Bonilla (2019) mostró un rango de 9.56 a 10.12% de PC. Según Oller (2022), el contenido de proteína del forraje de maíz puede variar según su estado fenológico con respecto al estadio en que se corta; a medida que avanza la etapa reproductiva, disminuye la proteína, describiendo un rango entre el 5.1 hasta un 11.7% de PC.

En cuanto al tratamiento 2 (80% maíz: 20% crotalaria), presentó el segundo valor más bajo en proteína, con un 10.55% de PC. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos 3 (60% maíz: 40% crotalaria) y 4 (80% maíz: 20% botón de oro). Los resultados de proteína en los asociados de crotalaria coinciden con los reportados por Gulkan y Ozkan (2021), quienes obtuvieron valores de proteína del 10.02% en la proporción 80:20 (maíz: crotalaria) y del 11.58% en la proporción 60:40 (maíz: crotalaria), incrementando los valores al aumentar la inclusión de crotalaria. De manera similar, el estudio de Velasco (2019), obtuvo valores de proteína de 13.9% al combinar el heno de pasto millo perla con la crotalaria a los 49 días de cosecha. Por último, el estudio de Zavala (2011), determinó que la asociación de maíz con mazorca y de crotalaria, cosechándolos a los 83 días resultó en un 10.73% de PC, siendo similar al tratamiento 2 (80% maíz: 20% crotalaria).

Con respecto al tratamiento 5 (60% maíz: 40% botón de oro), presentó el contenido más alto de proteína en comparación con los demás tratamientos, con un valor de 13.45% de PC. Esto se debe a que el botón de oro contiene mayor proteína (16.22% PC) que la crotalaria (14.28% PC), resultando en valores significativamente más altos que los tratamientos 1 (100% maíz), 2 (80% maíz: 20% crotalaria) y 3 (60% maíz: 40% crotalaria), exceptuando el tratamiento 4 (80% maíz: 20% botón de oro) con el tratamiento 3 (iguales estadísticamente). Estos resultados concuerdan con los de Garza (2017), quien obtuvo 9.15% de PC en una mezcla del 80% de maíz y 20% de botón de oro, y con una inclusión del 30% aumento a 9.87%, demostrando la tendencia de que, a mayor inclusión, mayor porcentaje de proteína. De manera similar, en el estudio de Castaño et al. (2023), el botón de oro presentó una media de 19.38% de PC. Así mismo, el estudio de Castillo et al. (2014), observaron diferentes valores

en su literatura consultada, variando de 19.5 a 25.7% de PC, siendo el tratamiento 5 (60% maíz: 40% botón de oro) el valor más alto debido al contenido de proteína del asocio.

Fibras Ácidos Detergentes (FAD)

El análisis estadístico demostró que no hubo una interacción entre los factores ($P = 0.3092$), indicando independencia entre los efectos de asocio y proporción. Por otro lado, los factores de asocio y proporción mostraron efectos ($P \leq 0.05$) sobre las fibras ácidas. Esto se debe a que tanto la crotalaria como el botón de oro tiene una mayor cantidad de fibras ácidas (FAD). A medida que aumenta su inclusión, se incrementa el contenido de fibras ácidas de la mezcla.

Con respecto al tratamiento control, presentó el valor más bajo de fibras ácidas, con un 30.22% de FAD. A diferencia de lo reportado por Martínez (2017), quien evaluó el contenido de fibras ácidas del maíz entre los estadios R3 y R4, obteniendo un rango de 31.44 a 32.60% de FAD. De manera similar, el estudio de Barrera y Bonilla (2019) mostró un rango de 32.13 a 33.25% de FAD. Según Fundación Española de Desarrollo de Nutrición Animal FEDNA (2016), el contenido de fibras ácidas del forraje de maíz puede variar según su estado fenológico con respecto al estadio en que se corta y la cantidad de materia seca; a medida que avanza la etapa reproductiva, disminuye las fibras ácidas, describiendo un rango entre el 25.3 hasta un 40.3% de FAD.

En cuanto al tratamiento 3 (60% maíz: 40% crotalaria), presentó el valor más alto en fibras, con un 34.15% de FAD. No hubo diferencias significativas entre los tratamientos 2 (80% maíz: 20% crotalaria) y 4 (80% maíz: 20% botón de oro). Los resultados de fibras ácidas en los asocios de crotalaria coinciden con los reportados por Gulkan y Ozkan (2021), quienes obtuvieron valores de 34.02% en la proporción 80:20 (maíz: crotalaria) y del 35.66% en la proporción 60:40 (maíz: crotalaria), incrementando los valores al aumentar la inclusión de crotalaria. De manera similar, el estudio de Velasco (2019), obtuvo valores de fibras ácidas de 36.6% al combinar el heno de pasto millo perla con la crotalaria a los 63 días de cosecha. Por último, el estudio de Zavala (2011), determinó que la

asociación de maíz con mazorca y de crotalaria, cosechándolos a los 83 días resultó en un 39.14% de FAD, siendo superior al tratamiento 2 (80% maíz: 20% crotalaria) y 3 (60% maíz: 40% crotalaria).

Con respecto el tratamiento 5 (60% maíz: 40% botón de oro), presentó el segundo contenido más alto de fibras ácidas en comparación con los demás tratamientos, con un valor de 33.04%. Esta diferencia se explica porque el botón de oro contiene menor fibras ácidas (35.82% FAD) que la crotalaria (39.25% FAD), resultando en valores significativamente más bajos que los tratamientos 2 (80% maíz: 20% crotalaria) y 3 (60% maíz: 40% crotalaria), excepto el tratamiento 1 (100% maíz). A diferencia con los resultados de Garza (2017), quien obtuvo 47.34% de FAD en una mezcla del 80% de maíz y 20% de botón de oro, incrementando a 48.39% con una inclusión del 30%, valores muy superiores a los de este estudio. Este incremento se debe a que el corte fue a los 75 días, demostrando de que, a mayor inclusión, mayor porcentaje de fibras ácidas. De manera similar, en el estudio de Castaño et al. (2023), el botón de oro presentó una media de 31.46% de FAD, con un máximo de 48.5% y un mínimo de 16.19%. En la investigación de Botero et al. (2019), se observaron diferentes valores de FAD a través de distintos niveles de fertilización, variando de 18.5 a 28.7% a los 50 días del corte.

Cuadro 7.

Efecto del uso de socios en el porcentaje de Fibra Ácido Detergente (FAD) y Fibra Neutro Detergente (FND).

Tratamiento		Fibra Ácido Detergente (%) ± EE	Fibra Neutro Detergente (%) ± EE
1	100% Maíz	30.22 ± 0.27 ^d	50.53 ± 0.73 ^a
2	80% M + 20% CT	31.80 ± 0.30 ^c	50.00 ± 0.27 ^a
3	60% M + 40% CT	34.15 ± 0.27 ^a	48.50 ± 0.25 ^b
4	80% M + 20% BO	31.31 ± 0.43 ^c	48.24 ± 0.28 ^b
5	60% M + 40% BO	33.04 ± 0.14 ^b	46.44 ± 0.04 ^c
	Asocio***	<0.0001	0.0001
Valor P	Proporción **	<0.0001	0.0016
	Asocio × Proporción*	NS	NS
	CV (%)	1.59	1.37

Nota. M = Maíz (*Zea mays* L.) CT = Crotalaria (*Crotalaria juncea*), BO = Botón de oro (*Tithonia diversifolia*), CV = Coeficiente de Variación, EE= Error estándar, NS= No significativo (P > 0.05), *= Interacción entre los socios con las proporciones, **Efecto de las proporciones, ***Efecto de los socios, ^{abcd} Las medias con diferentes letras en cada columna son significativamente diferentes (P ≤ 0.05) de acuerdo con la separación de medias ajustadas de cuadrados mínimos (LSMEANS).

Fibras Neutros Detergentes (FND)

El análisis estadístico reveló que no hubo interacción entre los factores de asocio y proporción ($P = 0.7024$), indicando que estos factores actúan de manera independiente. Sin embargo, ambos factores tienen efectos significativos sobre el contenido de fibras neutras ($P \leq 0.05$). Los resultados indican una menor cantidad de fibras neutras cuando se utilizan tratamientos con asociados en comparación con el control. Este efecto se debe a que el maíz, con su mayor contenido de fibras neutras, disminuye el porcentaje de fibras ácidas en la mezcla a medida que su proporción aumenta.

Con respecto al tratamiento 1 (100% maíz) y el tratamiento 2 (80% maíz: 20% crotalaria) presentan los valores más altos de fibras neutras, con 50.53% y 50.00%, respectivamente, sin diferencias significativas entre ellos. Estos resultados se alinean con el rango reportado por Barillas (2008), que oscila entre 51.3% y 72.91%, indicando que nuestros valores están cerca del límite inferior de este rango. El tratamiento 2 (80% maíz: 20% crotalaria), que contiene una proporción de 80% de maíz y 20% de crotalaria, también es consistente con los resultados de Velasco (2019), quien reportó un 49.7% de fibras neutras en crotalaria cosechada a los 63 días, mostrando una concordancia en los valores obtenidos.

En contraste, los tratamientos que incluyen una mayor proporción de botón de oro muestran los valores más bajos de fibras neutras. En particular, los tratamientos T4 (80% maíz: 20% botón de oro) y T5 (60% maíz: 40% botón de oro), presentan los menores porcentajes de fibras neutras. Este resultado es respaldado por Castaño et al. (2023), quienes reportaron un contenido de fibras neutras de 42.23% para el botón de oro, explicando por qué estos tratamientos con mayor inclusión de botón de oro tienen menores valores en comparación con los otros.

Cenizas (CNZ)

El análisis estadístico demostró que no hubo interacción entre los factores ($P = 0.1222$), indicando independencia entre los efectos de asocio y proporción. Por otro lado, los factores de asocio y proporción mostraron efectos ($P \leq 0.05$) sobre las cenizas. Los resultados muestran más cenizas al

usar los asociados en comparación con el control; pero se obtuvieron mejores resultados con el botón de oro.

El análisis de los resultados obtenidos muestra que el tratamiento 5 (60% maíz: 40% botón de oro), con un 9.76%, presentando la mayor cantidad de cenizas. Esto se atribuye a la mayor cantidad de asocio de botón de oro en este tratamiento. Según Botero Londoño et al. (2019), el botón de oro presentó un contenido medio de 15.08% de cenizas, lo que respalda la superioridad del tratamiento 5.

En cuanto a los tratamientos 3 (60% maíz: 40% crotalaria) y 4 (80% maíz: 20% botón de oro), que no tienen diferencias significativas entre sí, son los segundos más altos en contenido de cenizas. El tratamiento 3, que es una proporción de 60:40 (maíz: crotalaria), presenta un contenido de cenizas de 8.47%. Aunque la crotalaria tiene un menor contenido de cenizas en comparación con el botón de oro, su proporción en el tratamiento contribuye al aumento del contenido de cenizas. Esto es respaldado por Mora et al. (2021), quien reportó un contenido de cenizas de 7.66% en crotalaria cosechada a los 60 días, mostrando una similitud que explica los resultados observados en el tratamiento 3.

Los otros tratamientos presentaron valores intermedios de cenizas: tratamiento 2 (80% maíz: 20% crotalaria) con 7.75% y tratamiento 1 (100% maíz) con 5.53%. Estos resultados reflejan que la variación en los componentes de cada tratamiento influye en el contenido de cenizas, siendo tratamiento 5 (60% maíz: 40% botón de oro) el más efectivo y tratamiento 1 el menos efectivo.

Cuadro 8.

Efecto del uso de socios en el porcentaje de Cenizas (CNZ) y Energía Neta de Lactancia (ENL) en los valores de pH.

	Tratamiento	ENL (Mcal/kg) \pm EE	Cenizas (%) \pm EE	pH \pm EE
1	100% Maíz	1.517 \pm 0.003 ^a	5.53 \pm 0.21 ^d	5.57 \pm 0.01 ^b
2	80% M + 20% CT	1.507 \pm 0.003 ^b	7.75 \pm 0.22 ^c	5.56 \pm 0.03 ^b
3	60% M + 40% CT	1.490 \pm 0.001 ^c	8.47 \pm 0.26 ^b	5.23 \pm 0.14 ^c
4	80% M + 20% BO	1.507 \pm 0.003 ^b	8.40 \pm 0.18 ^b	5.68 \pm 0.07 ^b
5	60% M + 40% BO	1.497 \pm 0.001 ^c	9.76 \pm 0.12 ^a	6.13 \pm 0.01 ^a
	Asocio***	0.0016	<0.0001	<0.0001
Valor P	Proporción **	0.0012	0.0003	NS
	Asocio \times Proporción*	NS	NS	0.0002
	CV (%)	0.34	4.13	2.15

Nota. M = Maíz (*Zea mays* L.) CT = Crotalaria (*Crotalaria juncea*), BO = Botón de oro (*Tithonia diversifolia*), CV = Coeficiente de Variación, EE = Error estándar, NS = No significativo ($P > 0.05$), *Interacción entre los socios con las proporciones, **Efecto de las proporciones, ***Efecto de los socios, ^{abcd} Las medias con diferentes letras en cada columna son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) de acuerdo con la separación de medias ajustadas de cuadrados mínimos (LSMEANS).

Energía Neta de Lactancia (ENL)

El análisis estadístico demostró que no hubo interacción entre los factores ($P = 0.2897$), indicando independencia entre los efectos de asocio y proporción. Por otro lado, los factores de asocio y proporción mostraron efectos significativos ($P \leq 0.05$) sobre los valores de energía. Los resultados muestran una menor cantidad de energía al utilizar los socios en comparación con el control. Esto se debe a que tanto la crotalaria como el botón de oro no aportan significativamente energía en forma de almidón. A medida que aumenta su inclusión, se disminuye el contenido de energía de la mezcla.

Con respecto al tratamiento control, presentó el valor más alto en energía, con un 1.5176 Mcal.kg⁻¹. Este resultado es similar a lo reportado por Martínez (2017), quien evaluó el contenido de energía del maíz entre los estadios R3 y R4, obteniendo un rango de 1.51 a 1.50 Mcal.kg⁻¹. De manera similar, el estudio de Barrera y Bonilla (2019) mostró un rango de 1.50 a 1.49 Mcal.kg⁻¹. Según Oller (2022), el contenido de energía maíz puede variar según su estado fenológico con respecto al estadio en que se corta; a medida que avanza la etapa reproductiva, aumenta la energía, describiendo un rango entre el 1.4 hasta 1.55 Mcal.kg⁻¹.

En cuanto a los tratamientos 2 (80% maíz: 20% crotalaria) y 4 (80% maíz: 20% botón de oro), presentaron el segundo valor más alto en energía, con 1.5067 Mcal.kg⁻¹ y no hubo diferencias

significativas entre ellos. Así mismo, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos 3 (60% maíz: 40% crotalaria) y 5 (60% maíz: 40% botón de oro), siendo estos los valores más bajos de energía. Los resultados obtenidos de energía en los asocis de crotalaria coinciden con los reportados por Gulkan y Ozkan (2021), quienes obtuvieron valores de energía del 1.49 Mcal.kg⁻¹ en la proporción 80:20 (maíz: crotalaria) y del 1.48 Mcal.kg⁻¹ en la proporción 60:40 (maíz: crotalaria), disminuyendo los valores al aumentar la inclusión de crotalaria. De manera similar, el estudio de Velasco (2019), obtuvo valores de energía de 1.48 Mcal.kg⁻¹ al combinar el heno de pasto millo perla con la crotalaria a los 63 días de cosecha. Por último, el estudio de Zavala (2011), determinó que la asociación de maíz con mazorca y de crotalaria, cosechándolos a los 83 días, resultó en un 1.45 Mcal.kg⁻¹, siendo un poco inferior al tratamiento 2 (80% maíz: 20% crotalaria) y 3 (60% maíz: 40% crotalaria).

Con respecto a los tratamientos 3 (60% maíz: 40% crotalaria) y 5 (60% maíz: 40% botón de oro), presentaron el contenido más bajo de energía en comparación con los demás tratamientos, con un valor de 1.4900 y 1.4967 Mcal.kg⁻¹. Esto se debe a que el botón de oro contiene una energía (1.47 Mcal.kg⁻¹) similar a la de crotalaria (1.45 Mcal.kg⁻¹), resultando en valores mucho más bajos que los tratamientos 1 (100% maíz), 2 (80% maíz: 20% crotalaria) y 4 (80% maíz: 20% botón de oro). A diferencia de los resultados de Garza (2017), quien obtuvo 1.39 Mcal.kg⁻¹ en una mezcla del 80% de maíz y 20% de botón de oro, y con una inclusión del 30% disminuyó a 1.38 Mcal.kg⁻¹, demostrando la tendencia de que, a mayor inclusión, menor energía. De manera similar, en el estudio de Castaño et al. (2023), el botón de oro presentó una media de 1.51 Mcal.kg⁻¹, con un mínimo de 1.38 y un máximo de 1.62 Mcal.kg⁻¹. En la investigación de Botero et al. (2019), se observaron diferentes valores de energía a través de distintos niveles de fertilización, variando de 1.53 a 1.61 Mcal.kg⁻¹ a los 50 días del corte, siendo muy superiores al estudio realizado.

Valores de pH

El análisis estadístico demostró que una interacción entre los factores ($P = 0.0002$), indicando dependencia entre los efectos de asocio y proporción. Además, el factor de proporción no mostró efectos ($P > 0.05$), mientras el factor de asocio sí mostró ($P \leq 0.05$) sobre el pH. Los resultados muestran una dirección para cada tratamiento: la inclusión de crotalaria disminuyó el pH de la mezcla en comparación al control, mientras que la inclusión de botón de oro incrementa el pH de la mezcla respecto al control.

El tratamiento 5 (60% maíz: 40% botón de oro) presentó el pH más alto con 6.13, notablemente diferente de los otros tratamientos, mientras que los tratamientos 1 (100% maíz), 2 (80% maíz: 20% crotalaria) y 4 (80% maíz: 20% botón de oro) no mostraron diferencias, manteniendo valores intermedios de pH. Por último, el tratamiento 3 (60% maíz: 40% crotalaria) mostró el pH más bajo de todos, con 5.23.

El tratamiento 5 (60% maíz: 40% botón de oro) presentó el pH más alto con 6.13, notablemente diferente de los otros tratamientos, mientras que los tratamientos 1 (100% maíz), 2 (80% maíz: 20% crotalaria) y 4 (80% maíz: 20% botón de oro) no mostraron diferencias significativas, manteniendo valores intermedios de pH. Por último, el tratamiento 3 (60% maíz: 40% crotalaria) mostró el pH más bajo de todos, con 5.23. Estos valores de los tratamientos coinciden con el rango del pH recomendado por Castillo (2024), quien establece que los forrajes verdes deben estar en el rango 5 a 6.5 antes de ensilar, siendo crucial para el inicio del proceso de ensilaje, ya que un pH bajo facilita su descenso durante la fermentación para conservarse adecuadamente. Por lo tanto, nuestros tratamientos presentan un pH óptimo para su posterior conservación.

Conclusiones

El cultivo de maíz destacó con el mejor rendimiento en forraje verde y en materia seca en Tn. ha⁻¹.

El uso de socios de botón de oro y crotalaria, demostraron mejorar significativamente el contenido y la calidad nutricional de los forrajes en términos de extracto etéreo (EE), proteína cruda (PC), cenizas (CNZ) y fibra neutro detergente (FND), con respecto al tratamiento control. Los socios con botón de oro fueron más efectivos en mejorar el contenido nutricional de PC, CNZ Y FND en comparación con el resto de los tratamientos de socios.

Recomendaciones

Realizar un ensayo de cosecha de maíz en los estadios reproductivos R5 y R6 para analizar su efecto en el rendimiento y en la calidad nutricional en la asociación de los forrajes.

Realizar un análisis económico de cada tratamiento con el fin de identificar el que ofrezca los menores costos y la mejor relación insumo/producto.

Evaluar la respuesta del animal al consumo de las mezclas de forraje que incluyen a la crotalaria y botón de oro añadidos al maíz.

Evaluar el ensilado de estos tratamientos mediante análisis bromatológico, para determinar su calidad nutricional y el estado de fermentación.

Evaluar un programa de fertilización de precisión al cultivo de crotalaria para conocer su efecto en su composición nutricional.

Referencias

- Alarcón, A. (2022). *Evaluación de rendimiento y calidad de forraje verde en métodos de socios: Sorgo (Sorghum bicolor L.) con Girasol (Helianthus annuus) y con Crotalaria (Crotalaria juncea) en proporciones 5:1 y 4:2 por asocio* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/96efdb1e-77e7-4de4-9163-c80f2ae4c745/content>
- Andrade, F. H., Otegui, M. E., Cirilo, A. G. y Uhart, S. (2023). *Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz (MAIZAR, Asociación Maíz y Sorgo Argentino núm. 978-987-88-8326-7)*. MAIZAR, Asociación Maíz y Sorgo Argentino. <https://repositorio.inta.gov.ar/handle/20.500.12123/14738>
- Barrera, J. y Bonilla, J. (2019). *Efecto de ensilaje de maíz (Zea mays) cosechado en diferentes estados fenológicos y dos tamaños de partícula sobre el consumo de materia seca y la ganancia diaria de peso en ganado de carne: Efecto de ensilaje de maíz (Zea mays) cosechado en diferentes estados fenológicos y dos tamaños de partícula sobre el consumo de materia seca y la ganancia diaria de peso en ganado de carne* [Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras]. [bdigital.zamorano.edu. https://bdigital.zamorano.edu/items/0f037a3e-612a-47f9-bc32-0bd527835943](https://bdigital.zamorano.edu/items/0f037a3e-612a-47f9-bc32-0bd527835943)
- Botero, J. M., Gómez Carabalí, A. y Botero Londoño, M. A. (2019). Rendimiento, parámetros agronómicos y calidad nutricional de la Tithonia diversifolia con base en diferentes niveles de fertilización. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 10(3), 789–800. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i3.4667>
- Castaño, G. A., Barragán-Hernández, W. A., Mahecha-Ledesma, L. y Angulo-Arizala, J. (2023). Revisión de la calidad nutricional de botón de oro y de afrecho de yuca para la producción de ensilajes en ganadería de leche. *Veterinaria México OA*, 10. <https://doi.org/10.22201/fmvz.24486760e.2023.1201>
- Castillo, J., von-Hessberg, C. y Narváez, W. (2014). Botanical characteristics of Tithonia diversifolia (Asterales: Asteraceae) and its use in animal diet. *Boletín Científico Centro De Museos Museo De Historia Natural*, 18(2), 45–58. https://www.researchgate.net/publication/288662970_Botanical_characteristics_of_Tithonia_diversifolia_Asterales_Asteraceae_and_its_use_in_animal_diet
- Deras, H. (2020). *Guía técnica: el cultivo de maíz*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893>
- Díaz, D. (2017). *Manual del laboratorio de bromatología*. Universidad Veracruzana. <https://www.uv.mx/pozarica/cba/files/2017/09/MANUAL-DE-BROMATOLOGIA-2017.pdf>
- Elizondo, J. O. (2013). *Evaluación del rendimiento de los híbridos de maíz DK357VTPRO®, DK7088VTPRO® y P4082WHR® para la producción de ensilaje, Zamorano, Honduras* [Proyecto Especial de Graduación, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras]. [bdigital.zamorano.edu. https://bdigital.zamorano.edu/items/a41e1b35-084d-4f21-b9ad-97051cd51531](https://bdigital.zamorano.edu/items/a41e1b35-084d-4f21-b9ad-97051cd51531)

- Fundación Española de Desarrollo de Nutrición Animal FEDNA. (2016). *Tablas de contenido nutricional de ensilados de gramíneas*. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. <https://www.fundacionfedna.org/forrajes/ensilado-de-maiz>
- Garza, G. D. (2017). *Efecto de tres niveles de adición de planta de botón de oro (Tithonia diversifolia) en la calidad bromatológica del ensilado de planta de maíz (Zea mays)* [USAC, Guatemala]. Catálogo de bibliotecas. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/13073/1/19%20Z%20TG-3099-2519-Garza.pdf>
- Gulkan, T. y Ozkan, S. (2021). *View of Quality properties of sunn hemp (Crotalaria juncea L.) and maize (Zea mays L.) silages*. <https://www.tropicalgrasslands.info/index.php/tgft/article/view/924/458>
- Hernández, D. G. (2019). *Evaluación del crecimiento, desarrollo y rendimiento de tres variedades de maíz en asocio con frijol y soya, bajo dos arreglos de siembra* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/2ace215a-4604-4c05-bbcb-f068d5ede9e2/content>
- Mahecha, L. y Rosales, M. (2005). *Nutritional value of of the foliage of Wild Sunflower (Botón de Oro; Tithonia diversifolia [Hemsl]. Gray) for tropical animal production*. <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd17/9/mahe17100.htm>
- Martínez, D. A. (2017). *Evaluación nutricional del ensilaje de maíz cosechado en cuatro etapas fenológicas elaborado con tres calibres de picado* [Proyecto Especial de Graduación]. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/items/0ca7076e-05df-4775-a129-ab9e3eec75c1>
- Minervet. (2021). *La importancia del maíz en la producción animal*. Sociedad Anónima. <https://www.veterinariadigital.com/articulos/importancia-del-maiz-en-la-produccion-animal/>
- Molina, D. y Moreno, F. (2007). *Buenas prácticas agropecuarias (BPA) en la producción de ganado doble propósito bajo confinamiento, con caña panelera como parte de la dieta: manual técnico*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13487>
- Mora, H., Yopez, V. y Agnerys, E. (2021). *Respuesta agronómica del cultivo de kudzú (Pueraria phaseoloides) y crotalaria (Crotalaria juncea) en el Cantón La Maná recinto Selva Alegre*. Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7727>
- Muñoz, L. (2014). *Asociación de Cultivos en el Huerto: Las asociaciones beneficiosas*. AgroHuerto. <https://www.agrohuerto.com/asociacion-de-cultivos-compatibilidad-entre-plantas/>
- Oller, A. (2022). *Ficha materia prima: Ensilado de Maíz*. NutriNews. <https://nutrinews.com/ficha-materia-prima-ensilado-de-maiz-silo-ensilaje/>
- Ramírez, R. (2018). *Extracción de nutrientes y productividad del botón de oro (Tithonia diversifolia) con varias dosis de fertilización nitrogenada*. InterSedes, 19(39). <https://doi.org/10.15517/isucr.v19i39.34076>
- Salvador, C. (2001). *Guía didáctica: Cultivo de maíz*. Programa Nacional de Etnobotánica. https://bibliofep.fundacionempresaspoler.org/media/1280157/guia_maiz.pdf

- Velasco, M. (2019). *Rendimiento y valor nutricional de especies forrajeras en sistemas de almacenamiento* [Tesis]. Recinto Universitario de Mayaguez, Puerto Rico. <https://scholar.uprm.edu/entities/publication/76e0719e-bb0f-47fc-b026-e378e1f3b8aa>
- Zamora, S., Ruiz, F., Beltran, F., Fenech, L., Murillo, B., Loya, J. y Troyo, E. (2010). Régimen hidrico del maíz en una zona árida, determinando porcentajes de evaporación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(2), 181–186. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/tsa/article/view/739>
- Zapata, A. y Vargas, J. (2014). *Botón de oro: Manual para su establecimiento y manejo en sistemas ganaderos* (1ª ed.). Unidad de desarrollo rural. https://www.researchgate.net/publication/300114148_Boton_de_oro_Manual_para_su_establecimiento_y_manejo_en_sistemas_ganaderos_1_ed_Manizales_Caldas_Colombia_Universidad_de_Caldas
- Zavala, D. (2011). *Rendimiento de materia seca y características fermentativas de ensilajes de maíz (Zea mays L. asociados con leguminosas anuales* [Tesis, Recinto Universitario de Mayaguez, Puerto Rico]. scholar.uprm.edu. <https://scholar.uprm.edu/entities/publication/de14183f-ac23-4555-bf96-3bb4fffd92c7>

Anexos**Anexo A.**

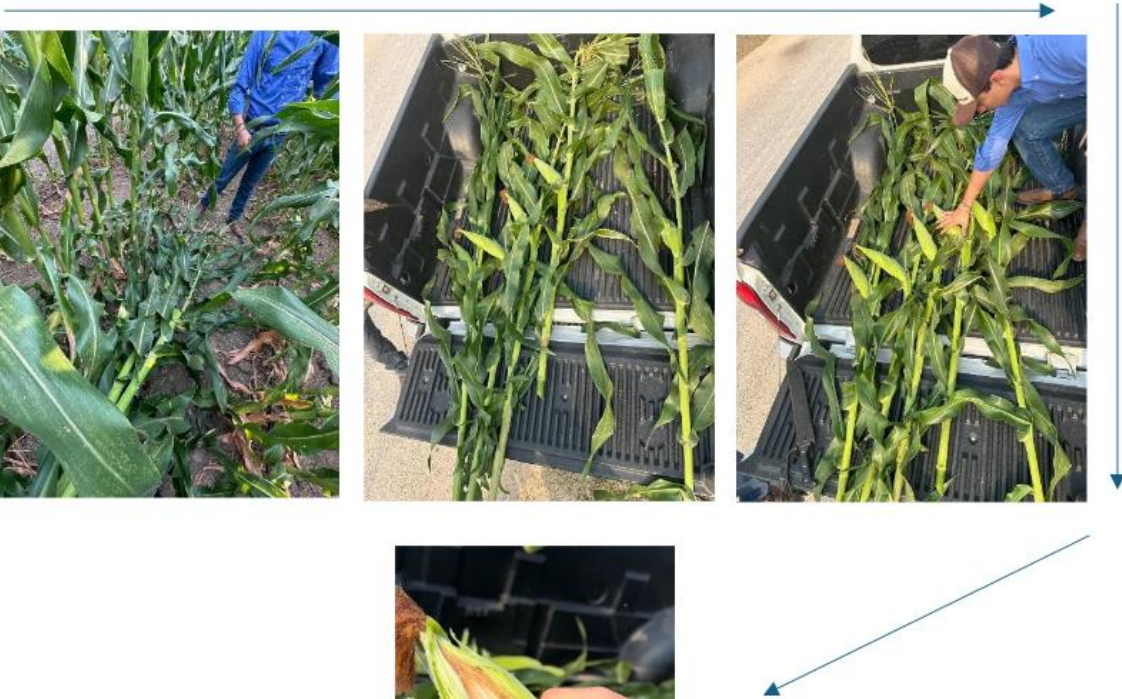
Requerimiento nutricional del botón de oro (Tithonia diversifolia) para su establecimiento como forraje de corte por Ramírez (2018)

Elemento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Kg. ha ⁻¹	203	102	35

Nota. N = Nitrógeno, P₂O₅ = Pentóxido de Di fosforó, K₂O = Óxido de potasio

Anexo B.

Muestreo del cultivo de maíz para su cosecha en forraje



Anexo C.

Efecto del uso de asocio en el porcentaje de Extracto Libre de Nitrógeno (ELN), Fibra Cruda (FC) y la Energía Bruta (EB)

	Tratamiento	Extracto Libre de Nitrógeno (%)	Fibra Cruda (%)	Energía Bruta (kcal.kg ⁻¹)
1	100% Maíz	66.91 ^a	16.76 ^d	3197 ^a
2	80% M + 20% CT	60.63 ^b	19.13 ^b	3021 ^b
3	60% M + 40% CT	53.33 ^d	23.93 ^a	2813 ^d
4	80% M + 20% BO	60.46 ^b	17.76 ^{cd}	3033 ^b
5	60% M + 40% BO	56.03 ^c	18.76 ^{bc}	2958 ^c
	Asocio***	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Valor P	Proporción **	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
	Asocio × Proporción*	0.0081	0.0004	0.0035
	CV (%)	1.27	3.27	1.01

Nota. M = Maíz (*Zea mays* L.) CT = Crotalaria (*Crotalaria juncea*), BO = Botón de oro (*Tithonia diversifolia*), CV = Coeficiente de Variación, EE = Error estándar, NS = No significativo ($P > 0.05$), *Interacción entre los socios con las proporciones, **Efecto de las proporciones, ***Efecto de los socios, ^{abcd} Las medias con diferentes letras en cada columna son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) de acuerdo con la separación de medias ajustadas de cuadrados mínimos (LSMEANS).

Anexo D.

Efecto del uso de socios en los valores de pH del ensilado

	Tratamiento	pH
1	100% Maíz	3.50 ^d
2	80% M + 20% CT	3.53 ^c
3	60% M + 40% CT	3.59 ^a
4	80% M + 20% BO	3.57 ^b
5	60% M + 40% BO	3.59 ^a
	Asocio	<0.0001
Valor P	Proporción	NS
	Asocio × Proporción*	0.0002
	CV (%)	0.21

Nota. M = Maíz (*Zea mays* L.) CT = Crotalaria (*Crotalaria juncea*), BO = Botón de oro (*Tithonia diversifolia*), CV= Coeficiente de Variación, EE= Error estándar, NS = No significativo ($P > 0.05$), *Interacción entre los socios con las proporciones, abcd Las medias con diferentes letras en cada columna son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$) de acuerdo con la separación de medias ajustadas de cuadrados mínimos (LSMEANS).