

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



**ANÁLISIS PROXIMAL Y DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE  
ASOCIACIONES DE CULTIVOS FORRAJEROS EN EL  
VALLE DE MEXICALI**

**T E S I S**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

**PRESENTA**

**BELÉN BANDERAS HERRERA**

**DIRECTOR**

**DRA. MARISOL GALICIA JUÁREZ**

**EJIDO NUEVO LEÓN, MEXICALI, B.C. MAYO DE 2025**

La presente tesis titulada “**Análisis proximal y digestibilidad *in vitro* de asociaciones de cultivos forrajeros en el Valle de Mexicali**”, realizada por la **C. Belén Banderas Herrera** y dirigida por la **Dra. Marisol Galicia Juárez**, ha sido evaluada y aprobada por el Consejo particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL**

**Consejo particular**



---

Dra. Marisol Galicia Juárez  
Directora de tesis



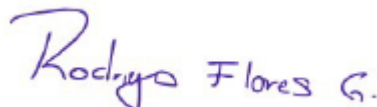
---

Dr. Carlos E. Aíl Catzim  
Sinodal



---

Dra. María de los Ángeles López Baca  
Sinodal



---

Dr. Rodrigo Flores Garivay  
Sinodal

**“POR LA REALIZACIÓN PLENA SER”**

Ejido Nuevo León, Mexicali Baja California México, 2025.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado, que me brindó durante mi estancia en la maestría, para la realización de este proyecto.

A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), y en especial al Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA) por darme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría dentro de sus instalaciones.

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)-Hub Pacífico Norte, por donarnos el material genético (semilla) utilizado para la siembra de este trabajo.

A los miembros de mi comité de tesis, Dra. Marisol Galicia Juárez, Dr. Rodrigo Flores Garivay, Dr. Carlos Enrique Ail Catzim, Dra. María de los Ángeles López Baca por sus aportaciones durante el desarrollo de este trabajo.

A todo el personal del ICA, investigadores, técnicos, administrativos y estudiantes, por su apoyo y amabilidad durante estos años.

En especial a mi directora de tesis Dr. Marisol Galicia Juárez, por todo el apoyo, paciencia, calidad humana y por la dirección de este proyecto.

Al laboratorista Ing. Alejandro López por todo su apoyo durante el desarrollo de este trabajo tanto en la parte de laboratorio como en campo.

A la Dra. Vielka Castañeda por todo su apoyo y paciencia, por atenderme siempre que tenía dudas de algún tema.

A mis compañeros de maestría por el apoyo y ánimos, les deseo lo mejor.

## **DEDICATORIAS**

A mi familia, mis padres y mi hermano por todo el apoyo, por siempre confiar en mí. A pesar de la distancia sé que están conmigo y en cada llamada me brindan palabras de apoyo. Sin todo su apoyo nada de esto sería posible, mis éxitos son suyos.

A mi esposo gracias por todo el apoyo y amor durante esta etapa de mi vida, tanto en lo personal como profesional, sin tu apoyo todo hubiera sido más complicado. Gracias al nuevo integrante de mi familia, mi bebé por darme más fuerzas para seguir adelante con este proceso aun cuando sentía que ya no podía.

## ÍNDICE TEMÁTICO

Agradecimientos.....	ii
Dedicatorias.....	iii
Índice temático .....	iv
Índice de cuadros .....	vii
Índice de figuras .....	viii
índice de abreviaturas .....	ix
Resumen general .....	xi
Abstract .....	xii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVO GENERAL.....	4
2.1 Objetivos específicos .....	4
3 REVISIÓN DE LITERATURA .....	5
3.1 Importancia de las asociaciones forrajeras en alimentación animal.....	5
3.2 Uso de leguminosas y gramíneas en la alimentación animal.....	6
3.3 Rendimiento y componentes nutricionales de gramíneas y sus asociaciones ..	7
3.4 Rendimiento y componentes nutricionales de leguminosas y sus asociaciones	8
3.5 Rendimiento y componentes nutricionales de oleaginosas y sus asociaciones	9
3.6 Importancia y descripción de los métodos para la evaluación de los componentes nutricionales de los forrajes.....	11

3.7 Digestibilidad <i>in vitro</i> en cultivos forrajeros .....	16
3.8 Relación de la digestibilidad <i>in vitro</i> con los componentes nutricionales.....	17
3.9 Cinética de la degradabilidad ruminal .....	18
4 MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
4.1 Ubicación del campo experimental.....	18
4.2 Asociación forrajera Canola-Triticale-Ebo en ciclo otoño-invierno .....	20
4.3 Establecimiento de la asociación y su evaluación en campo .....	20
4.4 Manejo agronómico asociación otoño-invierno .....	20
4.5 Asociación forrajera Maíz-Dolichos-Girasol en ciclo primavera-verano .....	21
4.6 Establecimiento de la asociación y su evaluación en campo .....	22
4.7 Manejo agronómico (primavera-verano) .....	22
4.8 Medición de variables.....	22
4.8.1 Datos climáticos .....	22
4.8.2 Rendimiento de biomasa forrajera .....	23
4.8.3 Análisis bromatológico .....	24
4.8.4 Preparación de muestras para la fermentación <i>in vitro</i> .....	25
4.8.5 Adaptación dietaria y preparación de inóculo ruminal.....	25
4.8.6 Prueba de digestibilidad <i>in vitro</i> .....	25
4.8.7 Producción de gas <i>in vitro</i> .....	26
4.8.8 Cálculos para el porcentaje digestibilidad de MS <i>in vitro</i> .....	26

4.9 Diseño experimental y análisis estadístico .....	27
4.9.1 Rendimiento de biomasa forrajera y análisis proximal .....	27
4.9.2 Pruebas de digestibilidad .....	27
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
5.1 Asociación forrajera Canola-Triticale-Ebo en ciclo otoño-invierno .....	28
5.2 Asociación forrajera Maíz-Dolichos-Girasol en ciclo primavera-verano .....	36
6 CONCLUSIONES .....	43
7 LITERATURA CITADA .....	44

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Clasificación taxonómica de las especies de estudio.....	20
<b>Cuadro 2.</b> Clasificación taxonómica de las especies de estudio.....	21
<b>Cuadro 3.</b> Resultados de rendimiento y del análisis proximal de la asociación (C+T+E) y sus monocultivos. ....	29
<b>Cuadro 4.</b> Rendimiento y análisis proximal de la asociación (M+D+G) y sus monocultivos.....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Temperaturas mínima, media y máxima mensual ciclo otoño-invierno en el Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. ....	23
<b>Figura 2.</b> Temperaturas mínima, media y máxima mensual ciclo primavera-verano en el Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California. ....	23
<b>Figura 3.</b> Análisis bromatológico en el Laboratorio de Nutrición Animal. ....	24
<b>Figura 4.</b> Digestibilidad <i>in vitro</i> , en la asociación (C+T+E) y sus monocultivos. ....	33
<b>Figura 5.</b> Producción de gas durante la prueba de fermentación <i>in vitro</i> , en la asociación (C+T+E) y sus monocultivos.....	35
<b>Figura 6.</b> Niveles de pH durante la prueba de fermentación <i>in vitro</i> , en la asociación (C+T+E) y sus monocultivos.....	35
<b>Figura 7.</b> Digestibilidad <i>in vitro</i> , en la asociación (M+D+G) y sus monocultivos. ....	39
<b>Figura 8.</b> Producción de gas durante la prueba de fermentación <i>in vitro</i> , en la asociación (M+D+G) y sus monocultivos. ....	41
<b>Figura 9.</b> Niveles de pH durante la prueba de fermentación <i>in vitro</i> , en la asociación (M+D+G) y sus monocultivos. ....	42

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Definición
AP	Altura de Planta
AGV	Ácidos Grasos Volátiles
C+T+E	Canola + Triticale + Ebo
CEN	Cenizas
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
°C	Grados Centígrados
CaCl <sub>2</sub>	Cloruro de Calcio
CoCl <sub>2</sub>	Cloruro de Cobalto
DIVMS	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la Materia Seca
DIVMO	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la Materia Orgánica
EE	Extracto Etéreo
FDA	Fibra Detergente Ácida
FDN	Fibra Detergente Neutra
FeCl	Cloruro de Hierro
HCl	Ácido Clorhídrico
H <sub>2</sub> O	Agua
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Fosfato monopotásico
LDA	Lignina insoluble en Detergente Ácida
LIG	Lignina
MS	Materia Seca
MO	Materia Orgánica
M+D+G	Maíz + Dolichos + Girasol
M <sub>5</sub> +D+G	Maíz variedad 5 + Dolichos + Girasol
M <sub>8</sub> +D+G	Maíz variedad 8 + Dolichos + Girasol
M <sub>11</sub> +D+G	Maíz variedad 11 + Dolichos + Girasol
M <sub>13</sub> +D+G	Maíz variedad 13 + Dolichos + Girasol
Maíz 5	Maíz variedad 5
Maíz 8	Maíz variedad 8

<b>Abreviatura</b>	<b>Definición</b>
Maíz 11	Maíz variedad 11
Maíz 13	Maíz variedad 13
MAP	Fosfato Monoamónico
MnCl <sub>2</sub>	Cloruro de Magnesio
MgSO <sub>4</sub>	Sulfato de Magnesio
NaHC <sub>3</sub>	Bicarbonato de Sodio
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Fosfato Disódico
NaOH	Hidróxido de Sodio
Na <sub>2</sub> S	Sulfuro de Sodio
N	Nitrógeno
PC	Proteína Cruda
PF	Peso Fresco
PS	Peso Seco
pH	Potencial de Hidrógeno
1N	1 Normal de solución de HCl o 1 molar de solución

## RESUMEN GENERAL

En regiones áridas y semiáridas, se presentan largos períodos de sequía con altas temperaturas que resultan en baja producción y disponibilidad de forraje para los rumiantes, por lo cual es esencial encontrar cultivos alternativos que incrementen la disponibilidad y valor nutricional de los forrajes utilizados en la alimentación animal durante todo el año. El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento de biomasa fresca y seca, análisis proximal y digestibilidad *in vitro* de diferentes asociaciones de cultivos forrajeros y sus monocultivos para los ciclos primavera-verano y otoño-invierno en el Valle de Mexicali. Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones para el ciclo otoño-invierno, y diez tratamientos con tres repeticiones para el ciclo primavera-verano. El análisis de datos se realizó mediante un análisis de varianza, y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey, considerando un nivel de significancia de  $P < 0.05$ . Los tratamientos para el ciclo otoño-invierno fueron; la asociación canola-triticale-ebo (C+T+E) y sus monocultivos; para el ciclo primavera-verano fueron: la asociación maíz-dolichos-girasol (M+D+G, con cuatro variedades diferentes de maíz) y sus monocultivos. Se determinó el rendimiento de biomasa forrajera de los cultivos durante la etapa fenológica de floración. Los análisis bromatológicos que se determinaron fueron materia seca, materia orgánica y proteína cruda, fibra detergente ácido, fibra detergente neutro y lignina insoluble en detergente. Se determinó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) y orgánica (DIVMO) para cada uno de los tratamientos. El uso de las asociaciones forrajeras C+T+E y M+D+G, incrementan el rendimiento, contenido de proteína cruda y extracto etéreo comparado con sus monocultivos, lo que evidencia una asociación exitosa en términos de rendimiento de forraje fresco y valor nutricional. El comportamiento de la digestibilidad *in vitro* en los diferentes tiempos evaluados fue similar en las asociaciones y sus monocultivos, en general los forrajes y asociaciones evaluadas presentaron valores de digestibilidad superiores al 50 % por lo que se consideran de buena calidad.

Palabras clave: Digestibilidad, valor nutricional, gramínea-leguminosa-oleaginosa.

## ABSTRACT

In arid and semi-arid regions, long periods of drought with high temperatures result in low forage production and availability for ruminants, making it essential to find alternative crops that increase the availability and nutritional value of forages used in animal feeding throughout the year. The objective of this study was to evaluate the fresh and dry biomass yield, proximate analysis, and *in vitro* digestibility of different forage crop associations and their monocultures for the spring-summer and fall-winter cycles in the Mexicali Valley. A completely randomized design was used with four treatments and three replications for the fall-winter cycle, and ten treatments with three replications for the spring-summer cycle. Data analysis was performed using an analysis of variance, and treatment means were compared using the Tukey test, considering a significance level of  $P < 0.05$ . The treatments for the fall-winter cycle were; canola-triticale-ebo association (C+T+E) and its monocultures, for the spring-summer cycle were; corn-dolichos-sunflower associations (M+D+G), with four different varieties of corn, respectively, and their monocultures. The forage biomass yield of the crops was determined during the flowering phenological stage. The bromatological analyses that were determined were dry matter, organic matter and crude protein, acid detergent fiber, neutral detergent fiber and detergent insoluble lignin. The *in vitro* digestibility of dry matter (IVDMD) and organic matter (IVMOD) was determined for each of the treatments. The use of forage associations C+T+E and M+D+G increases the yield, crude protein content and ether extract compared to their monocultures, which shows a successful association in terms of fresh forage yield and nutritional value. *In vitro* digestibility behavior at the different times evaluated was similar in the associations and their monocultures. In general, the forages and associations evaluated presented digestibility values above 50%, which is why they are considered to be of good quality.

Keywords: Digestibility, nutritional value, grass-legume-oilseed.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los forrajes son la fuente principal de alimento en rumiantes (Chacon-Carlos, 2015), aportan a través de la dieta; fibra, proteínas y minerales, además, su uso representa un bajo costo comparado con los granos (Zurita, 2024). Sin embargo, la disponibilidad, y calidad, de este recurso forrajero depende de varios aspectos, entre los que podemos destacar la época del año y la región en la que se establezca un sistema de producción. Por ejemplo, en zonas áridas y semiáridas como el noroeste de México, debido a las particularidades de temperatura de estas regiones, la obtención de altos rendimientos en forrajes de calidad presenta un gran desafío (Sadeghpour et al., 2013). Así mismo, en temporada de invierno, la disponibilidad de este recurso forrajero es fluctuante y de baja calidad (Hancock, 2006), lo que dificulta cumplir con los requerimientos nutricionales de los animales, generando la necesidad de encontrar alternativas agronómicas en la región que permitan abastecer estas necesidades, y con ello permitir al ganado expresar un óptimo desempeño productivo (Chacon-Carlos, 2015).

El Valle de Mexicali, clasificado como una zona árida, al cierre del ciclo agrícola del año 2022, se posicionó en el sexto lugar a nivel nacional en cuanto al valor de su producción agrícola, con 158,113 mil hectáreas destinadas a la agricultura. Dentro de los principales cultivos de esta región se encuentran: trigo, algodón y alfalfa, ocupando el 31, 29 y 27 %, de la superficie agrícola, respectivamente (SADERBC, 2022). Algunos de los cultivos forrajeros de mayor importancia son: alfalfa, avena, maíz y sorgo, destacando la alfalfa con un 75 % de las 52,248 ha destinadas para este fin, con rendimientos desde 6 a 8 t ha<sup>-1</sup>, posicionándolo como el cultivo forrajero de mayor importancia en la región (SIAP, 2023). La alfalfa es el principal alimento utilizado en la alimentación de los rumiantes debido a su alta calidad nutricional y digestibilidad, además de ser un cultivo que se adapta a diferentes climas (Farshadfar et al., 2022), sin embargo, en invierno, su producción es limitada (Delgado, 2015).

Dentro de los cultivos forrajeros alternativos para el ciclo otoño-invierno utilizados en el Valle de Mexicali son el rye-grass (*Lolium multiflorum* L.), la avena y la cebada forrajera. La evaluación de otros cultivos forrajeros en la región podría generar nuevas

alternativas para la alimentación animal, por ejemplo, el uso de leguminosas y sus asociaciones, que, a pesar de generar rendimientos más bajos en comparación con los cereales, debido a factores como el acame de las plantas, su producción es importante ya que aportan mayor contenido proteico (Chacon-Carlos, 2015), sin embargo, las asociaciones forrajeras de gramíneas y leguminosas no se encuentran documentadas (Rakeih et al., 2010). En este sentido, es posible establecer asociaciones entre leguminosas y gramíneas en un sistema agrícola, para que estas últimas sirvan de soporte facilitando la cosecha y el secado, de manera que se incremente el rendimiento, se mejore el aprovechamiento de la luz, la absorción de agua y de nutrientes, disminución de presencia de malezas y se promueva mayor conservación y fertilidad del suelo (Lauriault & Kirksey, 2004).

Las asociaciones gramínea-leguminosa han mostrado mayor potencial de rendimiento y valor nutricional (Hernández, 2007) en diferentes regiones, por ejemplo; al establecer el maíz en monocultivo se obtuvo un rendimiento de forraje verde de 64.82 t ha<sup>-1</sup>, y al combinar el maíz con diversas variedades de frijol (*Phaseolus* spp.), se observó un incremento en la producción de forraje promedio de 3 a 5 % de MS; y de 11.41 a 21.21% de proteína bruta (Guerra-Guzmán et al., 2021). Otros estudios con asociaciones de veza o ebo (*Vicia sativa* L.) con cereales como avena, cebada y triticale, reportan un incremento del forraje de hasta 33 % (Dhima et al., 2007). Dicho esto, el establecimiento de asociaciones forrajeras en la región podría ser una opción para cubrir los requerimientos nutricionales del ganado en los meses donde la producción de alfalfa es limitada, cabe mencionar que a la par deberá evaluarse el valor y la calidad nutricional de este forraje para, de este modo, asegurar la nutrición del ganado.

La evaluación del valor nutricional deberá realizarse a través de técnicas precisas y efectivas (Araiza-Rosales et al., 2022). Una de las técnicas empleadas comúnmente es la digestibilidad *in vitro*, la cual es útil para evaluar nuevos ingredientes de alimentos para medir la digestibilidad del alimento sin la necesidad de contar con cierto número de animales vivos. Esta técnica estima la proporción de nutrientes presentes en los alimentos y determina el potencial que tienen de ser absorbidos por el tracto digestivo (Giraldo et al., 2006). Cabe recordar que uno de los componentes nutricionales de

mayor importancia en la nutrición de los rumiantes, es la cantidad de energía (Torres et al., 2009), por lo que la determinación de este componente en los forrajes ya sea *in vitro* o *in situ*, es de suma importancia (Arce et al., 2003).

## 2 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el rendimiento de biomasa fresca y seca, análisis proximal y digestibilidad *in vitro* de diferentes asociaciones de cultivos forrajeros para los ciclos primavera-verano y otoño-invierno en el Valle de Mexicali.

### 2.1 Objetivos específicos

- ❖ Evaluar el rendimiento en fresco y en seco de los monocultivos y asociaciones de cultivos forrajeros para los ciclos primavera-verano y otoño-invierno.
- ❖ Evaluar la materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente acida (FDA), lignina (LIG), cenizas (CEN) y extracto etéreo (EE) de los monocultivos y asociaciones de cultivos forrajeros para los ciclos primavera-verano y otoño-invierno
- ❖ Evaluar la digestibilidad *in vitro* de los monocultivos y asociaciones de cultivos forrajeros para los ciclos primavera-verano y otoño-invierno.

### 3 REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Importancia de las asociaciones forrajeras en alimentación animal

La principal fuente de alimento para los animales son los forrajes, especialmente en el caso de los rumiantes, que tienen la capacidad de convertir alimentos con bajo contenido de proteínas en productos de alto valor biológico, como la carne y la leche para consumo humano (Plaza et al., 2021). Entre los principales cultivos utilizados como forrajes se encuentran los cereales como la cebada, la avena o el trigo debido al alto rendimiento de materia seca, bajo costo de producción y grandes cantidades de energía aportadas a los animales, sin embargo, carecen de proteína, reduciendo así su calidad nutricional (Nadeem et al., 2010). Aumentar la calidad de dichos forrajes es un método mucho más efectivo para mejorar la eficiencia alimentaria general, por lo tanto, una estrategia rentable para mejorar la calidad del forraje es realizando mezclas de la materia seca de los cereales con cultivos de leguminosas, las cuales aportan grandes cantidades de proteína (Plaza et al., 2021).

Estas asociaciones de cultivos muestran varias ventajas potenciales sobre los forrajes de cultivos individuales, ya que son más consistentes de una temporada a otra y se obtienen mayores rendimientos, además de que son más resistentes a plagas y enfermedades, mejoran la calidad del forraje, mantienen la fertilidad del suelo debido a la fijación biológica de nitrógeno de las leguminosas y aumentan la biodiversidad de los microorganismos del suelo (Staniak, Ksiak, y Bojarszczuk 2014). Existen relaciones complejas entre especies de cultivos mixtos que afectan la productividad y la calidad del forraje, que depende de la proporción de cada uno de los cultivos forrajeros, por ejemplo, la asociación leguminosa-gramíneas (Bozhanska y Churkova, 2020).

La extracción constante de nitrógeno (N) de los suelos agrícolas para el desarrollo de los forrajes contribuye a la degradación de los suelos, así como al incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados para obtener los rendimientos esperados (Santillano-Cázares et al., 2018). La introducción de leguminosas en asociación con gramíneas se ha propuesto como una estrategia para mejorar el suministro de nitrógeno a través de la fijación y biotransformación del nitrógeno atmosférico en nitratos disponibles

para las plantas, pero el aporte y los beneficios de nitrógeno para las gramíneas asociadas apenas se están evaluando. En una reciente investigación se menciona que la integración de leguminosas aumentó la producción de biomasa de pasturas en aproximadamente un 74%, mientras que la absorción de nitrógeno se duplicó, por lo que las leguminosas derivaron alrededor del 80% de su nitrógeno a través de la fijación biológica (Villegas et al., 2020).

### **3.2 Uso de leguminosas y gramíneas en la alimentación animal**

En regiones áridas se presenta la necesidad de forrajes de calidad en los meses de invierno (Barsila, 2018); uno de los forrajes con mayor número de investigaciones en los que se ha evaluado la asociación con leguminosas es la avena, entre ellas se encuentran su asociación con especies como arveja (*Vicia sp.*), guisantes y el trébol (Johnston et al., 1998; Ross et al., 2004; Undersander, 2003). Son variados los beneficios que se reportan por esta asociación, entre ellos, disminuir las enfermedades, control de malezas, aportan mutuamente protección y aporte de nutrientes, sin embargo, en términos de rendimientos no se presentan variaciones (Undersander, 2003).

En contraste, en regiones tropicales se ha reportado que la inclusión de leguminosas como *Leucaena spp.* es beneficiosa para aumentar la productividad bovina ya que aumenta el aporte de proteína altamente digestible, reduce la cantidad de carbohidratos estructurales y contribuye a aumentar la ingesta de materia seca (CMS), además de esto, reduce la intensidad de emisiones de metano por unidad de ingesta de materia seca y materia seca digerida (MSD) (Gaviria-Urbe et al., 2020). Se ha considerado que los forrajes de leguminosas son medios para mejorar el estado nutricional de los rumiantes en las regiones tropicales y áridas (Barsila, 2018; Gaviria-Urbe et al., 2020). Las leguminosas tienen la “capacidad de establecer una relación simbiótica con las bacterias *Rhizobium* que permite la fijación biológica de nitrógeno del nitrógeno atmosférico”, lo que lleva a una acumulación de este mineral en sus tejidos y por lo tanto a una mayor concentración de proteína bruta (PC). La proteína es uno de los nutrientes decisivos para el crecimiento microbiano en el rumen, y es particularmente limitante en las dietas de rumiantes en los trópicos y subtrópicos.

Además, generalmente las leguminosas tienen una mayor digestibilidad de la materia orgánica (MO) que las gramíneas (Castro-Montoya & Dickhoefer, 2020).

### **3.3 Rendimiento y componentes nutricionales de gramíneas y sus asociaciones**

El triticale (X Triticosecale Wittmack) es el resultado de un cruce entre trigo (*Triticum*) y centeno (*Secale*), su uso principal como grano para alimentación animal es debido a su baja versatilidad para el mercado de alimentos para humanos en comparación con otros cereales convencionales como el trigo (Widodo et al., 2015). Demuestra muchas ventajas agronómicas como; adaptabilidad a suelos poco fértiles, resistencia al invierno, tolerancia a sequía y enfermedades, además de un excelente potencial productivo (De Zutter et al., 2023).

En cuanto a calidad nutricional del triticale, existen estudios que han evaluado su rendimiento y calidad nutricional. En una región semiárida, se evaluaron tres diferentes etapas de desarrollo; espigamiento, grano en la etapa de masa blanda y maduración de la cosecha, observándose que el rendimiento de materia seca fue de 8.28, 10.26 y 12.60 t ha<sup>-1</sup>, la producción de materia seca digestible 2.47, 3.58 y 3.42 t ha<sup>-1</sup>, proteína bruta 12.9, 9.89 y 11.83 %, lignina 2.75, 6.90 y 13.83 %, nutrientes digestibles totales (TND) 50.24, 49.25 y 42.30 %, resultados promedio de la digestibilidad *in vitro* de FDN (DIVFDN) 46.64, 45.30 y 35.21 %, resultados promedio de FDN no digestible (FDNin) 29.11, 25.37 y 23.53 %, respectivamente para cada etapa de desarrollo (Vieira et al., 2022).

Por otra parte, el maíz (*Zea mays L.*) es un cultivo de cereales que pertenece a la familia *Gramineae* o *Poaceae* y a la tribu *Andropogoneae*, es un forraje muy extendido en el mundo y se utiliza como alimento humano y animal, es de rápido crecimiento, con una alta producción de biomasa que puede alcanzar 40-50 t ha<sup>-1</sup> de forraje fresco (Chaudhary et al., 2014). Su valor nutricional depende de muchos factores, como la variedad, las condiciones climáticas, las prácticas agronómicas y, en particular, las prácticas de manejo de la nutrición vegetal (Salama, 2019).

En comparación con otras gramíneas forrajeras, el maíz se caracteriza por su alto contenido energético, considerable contenido proteico, alta palatabilidad y

digestibilidad. Además, está libre de compuestos antinutricionales como el ácido oxálico o del ácido cianhídrico (prúsico), como es el caso del sorgo. El contenido de proteína cruda oscila alrededor de 7.5-8.5%, fibra cruda 32-34%, extracto etéreo de 1-2.5%, materia seca de 32-34%, cenizas 7-9% y extracto libre de nitrógeno 50% (Iqbal et al., 2015).

### **3.4 Rendimiento y componentes nutricionales de leguminosas y sus asociaciones**

Ebo o veza común (*Vicia sativa*), se trata de una planta leguminosa que puede ser anual o bianual, alcanzando alturas de entre 20 y 80 cm, es trepadora y utiliza sus zarcillos foliares para sostenerse, su raíz es profunda y contiene nódulos en los que residen bacterias simbióticas del género *Rhizobium*, las cuales se encargan de fijar nitrógeno atmosférico (Álvarez-García, 2018). Se utiliza en la alimentación animal debido al bajo costo y alto valor nutritivo, ya que es rico en proteínas y minerales, puede crecer en una variedad de condiciones climáticas, tanto frías como secas, con un requerimiento de agua de 325 a 450 mm, aunque se adapta a diferentes tipos de suelo, no sobresale en suelos salinos (Huang et al., 2017). De acuerdo con diversos estudios, las cualidades nutricionales de esta planta varían según su grado de madurez. Su concentración de proteína cruda oscila entre el 7.7% y el 27.8%, con los valores más bajos encontrados en la paja de veza y los más altos en la planta cortada en verde. La fibra detergente neutro (FDN) varía entre el 15% y el 65%, mientras que la fibra insoluble en detergente ácido (FDA) se sitúa entre el 22% y el 30% y su digestibilidad es aproximadamente del 60% (Guerrero-Rodríguez, 2009).

*Dolichos lablab* es un arbusto leguminoso de doble propósito que está ganando rápidamente aceptación entre los agricultores agropecuarios y se ha utilizado ampliamente para alimentar a los rumiantes, debido a su alto potencial de rendimiento (5-6 t ha<sup>-1</sup> MS) de forraje en comparación con otros cultivos de leguminosas comúnmente cultivados, tiene alrededor del 25 % de proteína bruta en las hojas, puede crecer con éxito en áreas secas con pluviosidad de tan solo 40 mm, por lo que se considera tolerante a la sequía (Kanani, 2006; Bawa et al., 2013). Puede ser utilizado en pastoreo, heno o ensilaje, en ciertos países, esta planta se siembra al final

de la estación y se usa como pasto durante la estación seca (Murphy y Colucci, 1999). Tiene un alto contenido de proteínas, que varía entre el 15% y el 30%, con altos niveles de lisina y una digestibilidad de aproximadamente el 55% (Mullen et al., 2003). La FDN es del 43% y la FDA es del 38.6%, no se observa una disminución en el contenido de proteínas cuando la planta tiene entre 86 y 100 días de edad, las semillas son ricas en vitaminas A, B y C, y contienen entre un 20% y un 28% de proteína cruda (PC), es altamente palatable y mejora la producción de leche (Peters et al., 2011).

### **3.5 Rendimiento y componentes nutricionales de oleaginosas y sus asociaciones**

La canola (*Brassica napus* L.) es una especie oleaginosa que pertenece a la familia Brassicaceae, es conocida como colza, nabo o rape, se siembra en diferentes partes del mundo, tiene diferentes usos como la producción de aceite, pasta y miel. Es considerada de buena calidad para uso forrajero (Balakhial et al., 2008), con rendimientos de materia seca (MS) entre 8.9 y 10.3 t ha<sup>-1</sup> bajo irrigación (Reta et al., 2015), también puede ser utilizada como heno e incluso conservar en forma de ensilaje (Koch et al., 2002). Tiene una amplia adaptación climática, los requerimientos hídricos para completar su ciclo son de 450 mm, siendo indispensable aproximadamente el 50% de esta cantidad durante el período de floración hasta el llenado de grano (Ruiz et al., 2013), es tolerante a bajas temperaturas (Fiebelkorn y Rahman, 2016), salinidad de los suelos (Purty et al., 2008) y es precoz para la producción de forraje (Reta et al., 2017) lo que incrementa su potencial como cultivo alternativo.

En la Comarca Lagunera, México, los rendimientos de MS fluctúan de 5.3 a 10.3 t ha<sup>-1</sup>, con concentraciones de proteína cruda (PC) de 159 a 280 g kg<sup>-1</sup>, fibra detergente ácido (FDA) de 340 a 433 g kg<sup>-1</sup>, fibra detergente neutro (FDN) de 389 a 466 g kg<sup>-1</sup>, energía neta para lactancia (ENL) de 3.7 a 6.1 MJ kg<sup>-1</sup> MS (Reta et al., 2008; Reta et al., 2010; Reta et al., 2015).

De acuerdo con Reta-Sánchez et al. (2017), la adecuada selección de la variedad de canola para forraje puede incrementar los rendimientos de materia seca y nutrientes, situación que pudieron observar en la Comarca Lagunera al evaluar durante dos ciclos

agrícolas, seis cultivares de canola (tres primaverales y tres invernales), obteniendo rendimientos de 7.2 a 8.4 t ha<sup>-1</sup> de MS en los cultivares primaverales sobresalientes, de 1270 a 1456 kg ha<sup>-1</sup> de proteína cruda, y de 39,663 a 47,928 MJ ha<sup>-1</sup> de energía neta para lactancia.

El girasol (*Helianthus annuus L.*) es un importante cultivo oleaginoso que pertenece a la familia de las oleaginosas compuestas (Anas *et al.*, 2017). Esta planta tolera bien las variaciones de temperatura entre invierno y verano, es muy rústica, requiere pocos fertilizantes y crece rápidamente, se adapta a diversas condiciones de suelo y clima, y es altamente resistente a la salinidad, prosperando con una precipitación anual de 250 mm, lo que la convierte en una opción viable para producir forraje en áreas con escasez de agua y bajas temperaturas, tolera una falta moderada de humedad durante su ciclo vegetativo, al ser utilizada como forraje, proporciona 20.5 t ha<sup>-1</sup>, un valor notable para la estación seca, en periodos con poca lluvia, puede rendir entre 44.7 y 74.5 t ha<sup>-1</sup> de forraje verde en solo 70 días (Zambrano, 2019). El aceite de la flor de girasol es bastante agradable al paladar y contiene vitaminas solubles A, D, E y K, y un contenido de aceite de entre el 40 y el 47 %. Su semilla contiene un 23 % de proteínas y entre el 40 y el 50 % de aceite libre de elementos tóxicos. Su aceite contiene 110 g kg<sup>-1</sup> de ácidos grasos saturados, entre el 4 y el 9 % de ácido palmítico, el 1 y el 7 % de ácido esteárico, el 14 y el 40 % de ácido oleico y el 48 y el 74 % de ácido linoleico (Anas *et al.*, 2017).

El cultivo de girasol es una alternativa interesante para su uso como forraje, aportando no sólo una mayor rusticidad en comparación con el sorgo y maíz, sino también la posibilidad de incluir un cultivo de hoja ancha en la rotación, permitiendo entre otras cosas, un mejor control de plagas, enfermedades y malezas. Sumado a esto, la disponibilidad de variedades de bajo costo y una amplia versatilidad de fechas de siembra desde agosto hasta enero, hace posible ofrecer un importante volumen de forraje desde noviembre hasta junio. (Fassio *et al.*, 2001).

Arana (2022) evaluó el comportamiento agronómico, la productividad y el contenido nutricional del girasol forrajero a través de dos sistemas de producción. La densidad de siembra se clasificó en: D1 (6.5 plantas m<sup>-2</sup>), D2 (5 plantas m<sup>-2</sup>) y D3 (4 plantas m<sup>-2</sup>)

<sup>2</sup>), utilizando fertilización orgánica e inorgánica. En términos de producción de forraje, el tratamiento D1 con fertilización química alcanzó rendimientos de 53.82 t ha<sup>-1</sup>, de forraje fresco y 4.78 t ha<sup>-1</sup> de forraje seco. El contenido nutricional del girasol, considerando tallos y hojas, mostró un 17.54% de proteína, 9.01% de materia seca, 10.08% de cenizas, 2.11% de extracto etéreo, 19.43% de fibra y 50.84% de extracto libre de nitrógeno. En cuanto a la altura de la planta, a los 30 días después de siembra (dds), la densidad D3 presentó 21 cm, aumentando a 126 cm a los 66 dds, siendo esta la mayor altura registrada. La densidad más baja fue D1, que a los 30 dds registró 19 cm y aumentó a 123 cm a los 66 dds.

### **3.6 Importancia y descripción de los métodos para la evaluación de los componentes nutricionales de los forrajes**

La evaluación de la composición nutricional de los alimentos y los materiales forrajeros es importante para la formulación de la dieta y así lograr una alta productividad y bienestar animal (Rukundo et al., 2021).

El valor nutritivo de los forrajes puede variar significativamente dependiendo de factores ambientales, incluido el clima y las prácticas culturales (Jack et al., 2020). Uno de los principales factores que afectan la calidad del forraje a lo largo del tiempo es la etapa fenológica determinada por la temporada. En la fase inicial, los órganos vegetativos de las plantas crecen tanto en número como en tamaño, lo que lleva a altos valores nutricionales del forraje. Luego, se generan órganos reproductores y aumentan las fracciones de fibra, mientras que las proteínas disminuyen. Finalmente, al final de la temporada de crecimiento, se produce una pérdida progresiva de carbohidratos y compuestos nitrogenados, con la consiguiente caída en la calidad del forraje relacionada también con la senescencia de las plantas (Mainetti et al., 2023). Esto requiere una evaluación continua de estos recursos forrajeros para informar su gestión y uso óptimo en los sistemas agrícolas (Jack et al., 2020). Para determinar el valor nutricional de los forrajes, los métodos de Weende, Van Soest y el método de evaluación de la digestibilidad *in vitro* de Tilley y Terry todavía se emplean ampliamente (Katoch, 2022). Los métodos de laboratorio que son más rápidos y

rentables se utilizan comúnmente como alternativas a los métodos *in vivo* (Jack et al., 2020).

Durante más de un siglo, los alimentos han sido evaluados mediante un método desarrollado por los científicos Henneberg y Stohmann en 1865, en Weende, Gotinga, Alemania (Reyes, 2000). Este método, conocido como Análisis Próximo o Método de Weende, clasifica los nutrientes presentes en una muestra de alimento en seis categorías: agua (humedad), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC), proteína cruda (PC), cenizas totales (CEN) y extracto libre de nitrógeno (ELN), es un método simple, y descriptivo, da una idea sobre el valor nutritivo aproximado de un alimento sin usarlo realmente en una prueba de alimentación (Mishra et al., 2023).

El contenido de las paredes celulares de las gramíneas se determina utilizando técnicas con detergentes desarrolladas por Van Soest. Estas técnicas permiten separar las células vegetales en fracciones como fibra detergente ácida (FDA) y fibra detergente neutra (FDN). La FDA forma parte de la pared celular y está compuesta por celulosa y lignina, mientras que la FDN incluye todos los componentes de la pared celular, además de la hemicelulosa (Guanuquiza et al., 2023).

La materia seca se refiere al material que queda después de la eliminación de la humedad de los forrajes. En los forrajes, la composición de nutrientes se representa en base a la MS, la mayoría de los alimentos secos suelen tener un contenido de MS de alrededor del 85-92 %, mientras que los alimentos húmedos, como el ensilaje, tienen un contenido de MS del 25-35 %, los alimentos intermedios generalmente tienen aproximadamente entre un 50 y un 70 % de MS. La digestibilidad de la materia seca (DMS) se estima con base en los resultados de las rutas de alimentación y el contenido de FDA del forraje. Generalmente a medida que aumenta la FDA, la DMS disminuye. El consumo diario de materia seca es la cantidad de forraje (excluyendo el contenido de humedad) consumido diariamente que podría estimarse mediante pruebas de alimentación y el contenido de FDN en un forraje (Katoch, 2022).

“Las proteínas son estructuras químicas que contienen carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, este último constituye aproximadamente el 16% de la mayoría de las proteínas de la dieta”. Este tipo de biomoléculas forma parte de la estructura de las

células, y se encuentran también en moléculas que circulan en la sangre, así como en hormonas y enzimas, por lo tanto, su presencia en la dieta es esencial, lo que resalta la importancia de la calidad y cantidad de las proteínas en la alimentación, así como de sus fuentes y su metabolismo (Salazar, 2016).

El contenido de proteínas en los alimentos puede ser determinado utilizando varios métodos (García et al., 2013). Los métodos actuales para determinar las proteínas totales se basan en la cuantificación del nitrógeno total. El método universalmente aceptado como estándar para esta determinación es el conocido como método de Kjeldahl, considera tres etapas fundamentales: Digestión, destilación y titulación (Zenteno, 2019).

El método Kjeldahl consiste en descomponer la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado para formar sulfato de amonio. Este, al reaccionar con un exceso de hidróxido de sodio, libera amoníaco, que se destila y se recibe en: a) ácido sulfúrico, donde se forma sulfato de amonio, y el exceso de ácido se valora con hidróxido de sodio en presencia de rojo de metilo, o b) ácido bórico, formando borato de amonio, que se titula con ácido clorhídrico. En este método, 1 mL de HCl o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1 M es equivalente a 1.401 mg de nitrógeno, con un límite de detección de 0.0005 mg mL<sup>-1</sup> (0.5 mg L<sup>-1</sup>), equivalente al 0.00005% de nitrógeno (Salazar, 2016).

Las cenizas son el “residuo inorgánico que queda después de la ignición o la oxidación completa de la materia orgánica en un alimento”. Esto permite determinar la cantidad de minerales presentes en los alimentos, evaluar su calidad y estabilidad microbiológica, así como monitorear el proceso tecnológico de producción alimentaria (Flores, 2021).

Los forrajes con alto contenido total de cenizas pueden sesgar las estimaciones de energía del forraje y las estimaciones de consumo de materia seca de vacas alimentadas con dietas con alto contenido de cenizas (Hoffman, 2005).

La determinación de cenizas se realiza colocando la muestra en un crisol de porcelana, se incinera la muestra en una mufla a temperaturas entre 550 y 600°C, durante este proceso, la materia orgánica se oxida, y el residuo que contiene la

materia mineral se denomina cenizas, las cuales pueden utilizarse para determinar minerales específicos y para estimar el extracto libre de nitrógeno (Reyes, 2000).

El extracto etéreo (EE) o grasa bruta (GB) se refiere al conjunto de compuestos solubles en solventes orgánicos como el éter y el hexano, estos compuestos incluyen triglicéridos, ácidos grasos libres, aceites volátiles, fosfolípidos, esteroides, pigmentos, vitaminas liposolubles, ceras, entre otros, de manera que la composición del EE varía entre los diferentes alimentos (Espinoza, 2016). Este método se fundamenta en la “extracción continua mediante calor de todas las sustancias solubles en éter, el cual debe ser anhidro, de una muestra completamente seca para evitar que se disuelvan compuestos polares principalmente carbohidratos solubles, los cuales, al extraerse alteran el valor del EE”. La extracción puede hacerse con éter etílico (punto de ebullición 34.6°C) o éter de petróleo (34-35°C) (Reyes, 2000).

Las semillas de oleaginosas son los alimentos más ricos en extracto etéreo (EE), con concentraciones que varían entre el 20 y 40 %. Aunque estas semillas se cultivan principalmente para la producción de aceite, sus residuos se utilizan en la alimentación animal y, dependiendo del método de extracción, pueden contener entre un 1 y 8% de EE (Reyes, 2000).

La fibra detergente neutra (FDN) “mide la mayoría de los componentes estructurales de las células vegetales, es decir, lignina, hemicelulosa y celulosa, pero no la pectina. El proceso de determinación del contenido de FDN implica el uso de un detergente neutro que disuelve pectinas, proteínas, azúcares y lípidos vegetales (Fukushima, 2021).

Una medida de la calidad del forraje son los porcentajes de FDN y fibra detergente ácida (FDA), sus cantidades determinan el grado de digestión del forraje en los animales, además, se correlaciona negativamente con el contenido de energía y la digestibilidad. La madurez en el momento de la cosecha tiene la mayor influencia en la digestibilidad del FDN. A medida que el forraje madura, la digestibilidad del FDN podría disminuir más del 40%, en pastos y ensilajes de granos pequeños es particularmente evidente a medida que avanza la madurez. La alfalfa contiene

alrededor del 48% de FDN durante la etapa tardía de la floración, mientras que durante la prefloración temprana contiene menos del 35% (Katoch, 2022).

Las leguminosas forrajeras que tienen un contenido de FDN inferior al 40% se considera de buena calidad, mientras que superior al 50% se considera de mala calidad. Los pastos con un contenido de FDN inferior al 50 % se considerarían de alta calidad y más del 60 % de baja calidad.

La FDA es una medida de los componentes vegetales de los forrajes que son menos digeribles para el ganado, incluidas la celulosa y la lignina. A medida que aumenta la FDA, la digestibilidad disminuye, por lo que los forrajes con altas concentraciones de FDA son típicamente más bajos en energía. La alfalfa contiene más del 41% de FDA durante la etapa tardía de la floración, mientras que durante la etapa previa a la floración contiene menos del 30%, por lo que, un objetivo sería tener menos del 35% de contenido de FDA en los forrajes (Katoch, 2022).

La lignina es un polímero heterogéneo y complejo sintetizado por el acoplamiento de radicales oxidativos de monómeros de lignina, principalmente los tres monolignoles canónicos: *p-cumario*, coniferil y alcohol sinapílico, que difieren en su grado de metoxicación. El polímero de lignina refuerza e impermeabiliza las paredes celulares de las plantas, ocluyendo las microfibrillas de celulosa y protegiéndolas físicamente de la degradación enzimática (Oliveira, 2020). Es un componente de las paredes celulares de las plantas que resiste la digestión de los animales rumiantes, limitando su valor como fuente de energía. Existen numerosos métodos para determinar la lignina en los forrajes, pero no existe un único método analítico aceptado (Fukushima, 2021).

Van Soest (1963) desarrolló la fibra detergente ácida (FDA), que incluye un detergente para eliminar proteínas, y desde entonces el LDA se ha utilizado ampliamente para cuantificar la lignina en las plantas forrajeras. Sin embargo, existe cierta preocupación de que el método LDA subestime la lignina, principalmente en las especies de *gramíneas*, debido a la solubilidad de la lignina en la solución de detergente ácido utilizada para obtener FDA (Fukushima, 2021).

### 3.7 Digestibilidad *in vitro* en cultivos forrajeros

Las técnicas *in vitro* prometen convertirse en una herramienta importante para la evaluación de los alimentos para rumiantes. Sin embargo, los métodos disponibles en la actualidad aún requieren mucho tiempo y no son precisos. Las investigaciones de Tilley y Terry (1963) marcan un paso importante en este campo. El uso de la determinación de fibra detergente neutra propuesta por Goering y Van Soest, en lugar del tratamiento con enzimas reduce el tiempo requerido en, aproximadamente, un 30 %, pero no tiene ventajas en cuanto a reproducibilidad y precisión en comparación con los experimentos *in vivo* (Tassone et al., 2020). Para abordar estos problemas, se han utilizado diversas técnicas de valoración *in vitro* que imitan los procesos digestivos a lo largo del tracto digestivo descritos por Tilley y Terry. El primer método, descrito fue la técnica con pepsina y fluido ruminal de dos etapas, proporcionando estimaciones satisfactorias de la digestibilidad aparente *in vivo* (Tassone et al., 2020).

En experimentos previos diseñados para estudiar la estequiometría de la fermentación ruminal (Menke y Ehrensvard, 1974), se utiliza un sistema cerrado tipo jeringa y observamos una tasa casi constante de producción de gas ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_3$ ) cuando se administró el mismo sustrato en las mismas cantidades. Experimentos posteriores con alimentos de diferentes digestibilidades mostraron marcadas diferencias en la cantidad de gas producido en 24 h, siendo de alrededor de 20 mL con 200 mg de madera molida, pero de hasta 70 mL con el mismo peso de alimentos con alto contenido de carbohidratos digestibles. Se han llevado varias determinaciones para conocer el porcentaje de digestibilidad de los forrajes y se han ajustados varios métodos basados en observaciones en diferentes ensayos. Aunque los resultados permiten recomendar el método para su aplicación pueden existir variaciones en el uso de técnicas *in vitro*, sin embargo, se considera una técnica que nos proporciona información importante sobre la digestibilidad de los alimentos en poco tiempo. comparándola con la estimación *in vivo* del valor nutritivo de los alimentos para rumiantes está limitada por la necesidad de disponer de un número representativo de animales homogéneos y de alimento suficiente para mantenerlos. Esto debe asegurarse durante el tiempo necesario tanto para la adaptación de los animales como para llevar a cabo la valoración propiamente dicha, considerando el trabajo

involucrado en la aplicación de estas técnicas, que involucran mayor tiempo y recursos económicos (Fondevila y Barrios, 2001).

### **3.8 Relación de la digestibilidad *in vitro* con los componentes nutricionales**

El valor nutricional del forraje está en función de su composición química y digestibilidad, y de sus efectos sobre la ingesta de materia seca. Se dispone de métodos de laboratorio que pueden medir o utilizarse para estimar las concentraciones de nutrientes, la digestibilidad y el potencial de ingesta de los forrajes (Weiss et al., 2020).

El valor nutritivo del forraje se puede evaluar en función de varios parámetros clave, como el contenido de proteína, la concentración total de fibra, la relación hoja-tallo y la digestibilidad. En particular, la concentración de lignina se correlaciona negativamente con la digestibilidad del forraje para los animales rumiantes. La lignina se deriva de la polimerización deshidrogenativa de tres alcoholes hidroxil-cinámicos diferentes (alcohol *p-cumario*, alcohol de coníferas y alcohol sinapílico). Estas sustancias dan lugar a unidades del polímero de lignina, como el *p*-hidroxifenilo (H), el guayacil (G) y el siringilo (S). En la industria forrajera, una pequeña reducción en el contenido de lignina puede mejorar la digestibilidad del ganado, beneficiando así a los agricultores o ganaderos. Además, el forraje se valora por sus altas concentraciones de proteína, ya que un alto contenido de proteína puede reducir el costo de la suplementación con proteínas en los alimentos (Cui et al., 2021).

El coeficiente de digestibilidad de la materia seca *in vitro* (DIVMS) es uno de los caracteres más críticos de los forrajes. Los altos valores de DIVMS y los contenidos reducidos de lignina son los principales criterios de selección para identificar cultivos forrajeros de alta calidad nutricional. Una mayor digestibilidad de la fibra detergente neutra (FDN) de los forrajes es beneficiosa para aumentar la ingesta de alimento y, por lo tanto, los rendimientos de leche y proteína de las vacas lecheras (Weiss et al., 2020). La FDN contiene celulosas, hemicelulosas y ligninas, mientras que la fibra detergente ácida (FDA) es el residuo de FDN obtenido mediante tratamiento con detergente ácido; el residuo incluye celulosa y ligninas. Los contenidos de FDN y FDA tienen una influencia crucial en la digestibilidad del forraje. Por lo tanto, la calidad

nutricional del forraje y los niveles de digestibilidad son los factores más importantes para seleccionar los cultivos forrajeros (Huang et al., 2020).

La proteína es uno de los nutrientes decisivos para el crecimiento microbiano en el rumen, y es particularmente limitante en las dietas de rumiantes en los trópicos y subtrópicos. Además, generalmente las leguminosas tienen una mayor digestibilidad de la materia orgánica (MO) que las gramíneas (Castro y Dickhoefer, 2020).

### **3.9 Cinética de la degradabilidad ruminal**

En la nutrición de los rumiantes, la degradación de carbohidratos y proteínas estructurales y no estructurales disminuirá las pérdidas innecesarias de nutrientes (por ejemplo, nitrógeno) del rumen, lo que es un tema importante en un sistema de producción animal sustentable en el mundo. El lugar o sitio de digestión y la proporción en la que se forman los ácidos grasos volátiles y el ácido láctico están determinados en gran parte por la cinética de degradación y las características de fermentación (por ejemplo, degradabilidad) de un alimento en el rumen. Ambos son importantes porque influyen en el tipo de nutrientes que estarán disponibles para el animal. En un modelo de evaluación moderno, la información detallada sobre la cinética de degradación y las características de fermentación de cada componente de un alimento se vuelve cada vez más importante (Christensen y McKinnon, 2004).

En los sistemas modernos de formulación de dietas para rumiantes se tiene en cuenta la cinética de degradación de las diferentes fracciones de alimentos, considerando la máxima eficiencia de la síntesis proteica microbiana y la reducción de las pérdidas de energía y nitrógeno resultantes de la fermentación ruminal. Este enfoque permite observar la sincronización en la degradación de nitrógeno y carbohidratos en el rumen entre diferentes fuentes de alimentos (Diego et al., 2024).

## **4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 Ubicación del campo experimental**

La investigación se realizó en el campo experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, localizado en Carretera a




Delta S/N Ejido Nuevo León, a 50 km al sur de Mexicali, Baja California México, a una altitud de 12 msnm. La temperatura media anual es de 18 a 19 °C y la precipitación media anual es de 72 mm. El clima es tipo desértico, donde el mes más frío es enero, con una temperatura mínima alrededor de 5 °C y el mes más cálido julio y agosto con una temperatura máxima de 45 °C (INEGI, 2020).

Las características de siembra, manejo agronómico y evaluaciones en la presente investigación fueron por igual en las diferentes asociaciones forrajeras, siguiendo la “Norma Oficial Mexicana de Actividades Agrícolas-Uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes-Condiciónes de seguridad e higiene (NOM-003-STPS-1999)”.

El material genético (semilla) utilizado para la siembra fue donado por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)-Hub Pacifico Norte. En seguida se describe el establecimiento en campo por tipo de asociación forrajera:

## 4.2 Asociación forrajera Canola-Triticale-Ebo en ciclo otoño-invierno

**Cuadro 1.** Clasificación taxonómica de las especies de estudio.

<b>Canola</b> <b>(<i>Brassica napus</i>)</b>	<b>Triticale</b> <b>(<i>×Triticosecale</i>)</b>	<b>Ebo o veza</b> <b>(<i>Vicia Sativa L.</i>)</b>
		
Reino: Plantae	Reino: Plantae	Reino: Plantae
División: Magnoliophyta	División: Magnoliophyta	División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida	Clase: Liliopsida	Clase: Magnoliopsida
Orden: Brassicales	Orden: Poales	Orden: Fabales
Familia: Brassicaceae	Familia: Poaceae	Familia: Fabaceae
Género: <i>Brassica</i>	Género: <i>Triticosecale</i>	Género: <i>Vicia</i>
Especie: <i>Brassica napus</i>	Especie: <i>Triticum aestivum L.</i>	Especie: <i>Sativa L.</i>

Fuente: Jiménez, 2017.

## 4.3 Establecimiento de la asociación y su evaluación en campo

En la época de otoño-invierno y dentro de una misma parcela, se formaron tres subparcelas (15 surcos de 6.2 m de largo y 0.8 m de ancho) para cada tratamiento, los cuales estuvieron representados por la asociación y el monocultivo de cada gramínea o leguminosa que conformaron la asociación, de la siguiente manera; 1) Asociación Canola-Triticale-Ebo (C+T+E); 2) Monocultivo triticale; 3) Monocultivo ebo y 4) Monocultivo canola.

## 4.4 Manejo agronómico asociación otoño-invierno




La siembra se realizó el 12 de diciembre del 2021 de forma manual, utilizando una densidad de siembra para los monocultivos de 100 kg ha<sup>-1</sup> de triticale, 40 kg ha<sup>-1</sup> de

ebo y 5 kg ha<sup>-1</sup> de canola, en la asociación forrajera fue de 80-20-1, respectivamente. La fertilización se realizó de forma manual con urea granular 200 kg ha<sup>-1</sup> y fosfato monoamónico (MAP) 50 kg ha<sup>-1</sup>. La aplicación del riego fue por el método rodado, se realizaron cuatro riegos, uno al momento de la siembra y tres riegos de auxilio a los 49, 83 y 105 días después de la siembra (dds) de acuerdo con las necesidades de suelo.

El control de malezas se llevó a cabo de forma manual en los primeros días, a los 43 dds se realizó una aplicación de herbicida select ultra® al 7.5 %, surfacid® 10 % y pixxaro® al 2.5 % y sigma® al 7.5 %. Se monitoreo la presencia de plagas y enfermedades de manera constante, y se observó presencia de pulgón verde (*Myzus persicae*), trips (*Frankliniella occidentalis*) y mosca blanca (*Bemisia tabaci*), para lo cual se aplicó un insecticida orgánico (Cridor® 3 ml L<sup>-1</sup> de agua).

#### 4.5 Asociación forrajera Maíz-Dolichos-Girasol en ciclo primavera-verano

**Cuadro 2.** Clasificación taxonómica de las especies de estudio.

<b>Maíz (<i>Zea mays</i>)</b>	<b>Dolichos (<i>Lablab purpureus</i>)</b>	<b>Girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>)</b>
		
Reino: Plantae	Reino: Plantae	Reino: Plantae
División: Magnoliophyta	División: Magnoliophyta	División: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida	Clase: Magnoliopsida	Clase: Magnoliopsida
Orden: Poales	Orden: Faboideae	Orden: Asterales
Familia: Gramíneas	Familia: <i>Fabaceae</i>	Familia: <i>Asteraceae</i>
Género: <i>Zea</i>	Género: <i>Lablab</i>	Género: <i>Helianthus</i>
Especie: <i>Zea mays</i>	Especie: <i>Lablab purpureus</i>	Especie: <i>Annuus L.</i>

Fuente: López et al., 2023;  
Tamayo, 2023.

#### **4.6 Establecimiento de la asociación y su evaluación en campo**

En la época primavera-verano y dentro de una misma parcela, se formaron tres subparcelas (4 surcos de 4 m de largo y 0.8 m de ancho) para cada tratamiento, los cuales estuvieron representados por las asociaciones: 1) Maíz variedad 5+Dolichos+Girasol ( $M_5+D+G$ ); 2) Maíz variedad 8+Dolichos+Girasol ( $M_8+D+G$ ); 3) Maíz variedad 11+Dolichos+Girasol ( $M_{11}+D+G$ ); 4) Maíz variedad 13+Dolichos+Girasol ( $M_{13}+D+G$ ); y los monocultivos de cada gramínea o leguminosa que conformaron la asociación: 5) Maíz variedad 5 (Maíz 5); 6) Maíz variedad 8 (Maíz 8); 7) Maíz Maíz variedad 13 (Maíz 13); 9) Dolichos y 10) Girasol.

#### **4.7 Manejo agronómico (primavera-verano)**

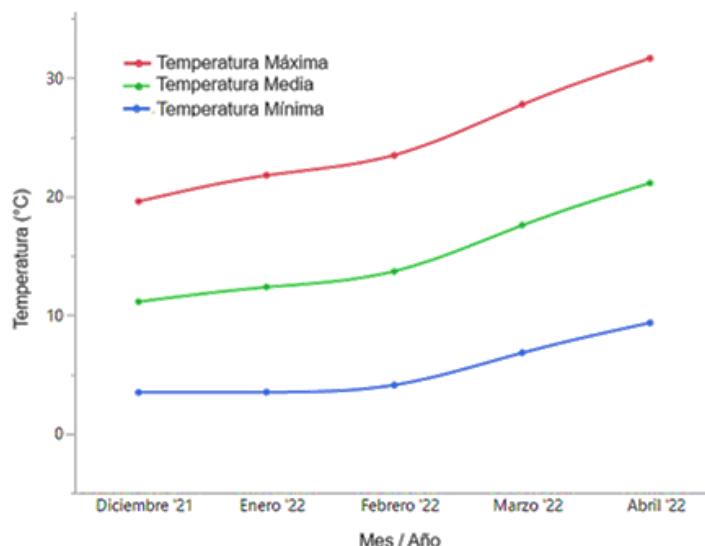
La siembra se realizó el día 22 de junio del 2022 de forma manual, utilizando una densidad de siembra para los monocultivos de 6 semillas (s)  $m^{-1}$  de maíz, 6 s  $m^{-1}$  de girasol y 12 s  $m^{-1}$  de dolichos, en la asociación forrajera fue de 5-4-4 s  $m^{-1}$ . La fertilización fue de forma manual con urea 350 kg  $ha^{-1}$ . La aplicación de riego fue por el método rodado, se realizó al momento de la siembra y 4 riegos de auxilio a los 19, 40, 57 y 68 dds.

El control de malezas se llevó a cabo de forma manual en los primeros días. Se monitoreo la presencia de plagas y enfermedades de manera constante, y se observó presencia de pulga saltona (*Epitrix cucumeris*), chinche verde (*Nezara viridula*) y mosca blanca (*Bemisia tabaci*), para lo cual se aplicó dimetoato® 3 mL  $L^{-1}$  de agua y cuarton® 300 mL  $ha^{-1}$ .

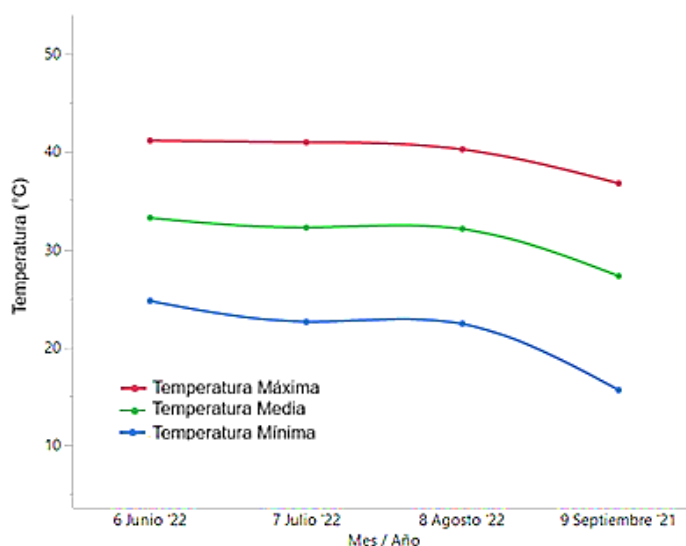
#### **4.8 Medición de variables**

##### **4.8.1 Datos climáticos**

Para cada ciclo se obtuvieron los promedios mensuales de temperatura (máxima, media y mínima) de la Red de estaciones agroclimáticas del Sistema de Información para el Manejo de Agua de Riego en Baja California (SIMARBC), y se presentan en la Figura 1 y 2.



**Figura 1.** Temperaturas mínima, media y máxima mensual ciclo otoño-invierno en el Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California.



**Figura 2.** Temperaturas mínima, media y máxima mensual ciclo primavera-verano en el Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California.

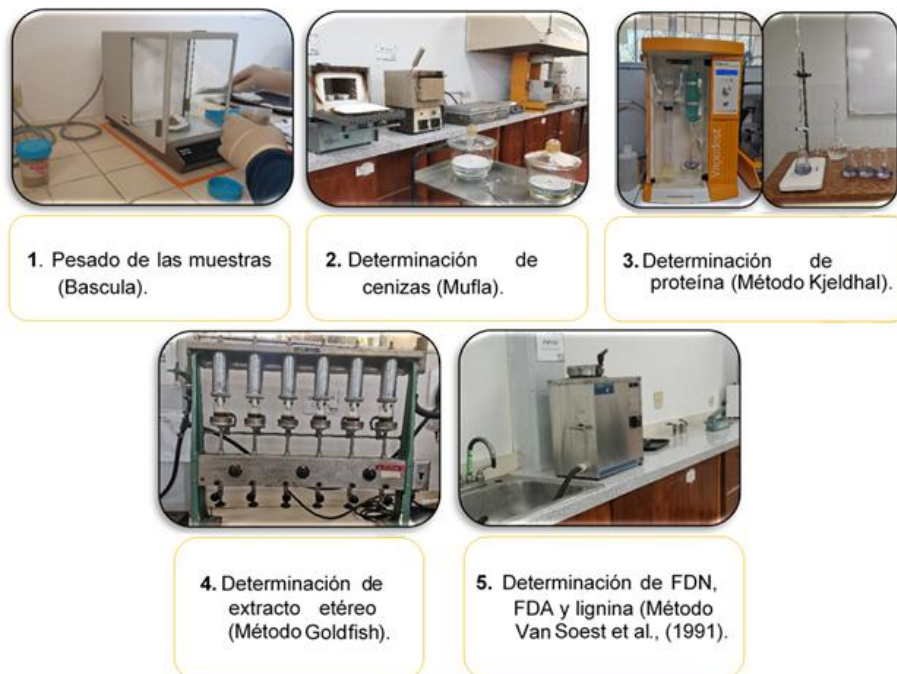
#### 4.8.2 Rendimiento de biomasa forrajera

La medición y colecta de muestras se realizó en la etapa fenológica de floración. Se tomaron dos muestras de forraje en un metro lineal, el corte se realizó manualmente a 5 cm de la base del suelo. Para estimar el rendimiento, después del corte se pesó el forraje en fresco (peso fresco, PF). La muestra se secó en una estufa de aire forzado

a 105°C durante 24 horas en el Laboratorio de Nutrición Animal, cuando alcanzó un peso constante, se determinó el porcentaje de materia seca.

#### 4.8.3 Análisis bromatológico

Las muestras secas obtenidas en el análisis de rendimiento de biomasa y composición botánica, se molieron en un molino de la marca Willey utilizando un cedazo de 1 mm. La muestra molida se mezcló y se cuarteó para obtener una muestra representativa para realizar el análisis bromatológico (Figura 3). Una vez molidas, las muestras de forraje se secaron durante 24 horas a 105°C en una estufa de aire forzado para determinar la materia seca (MS). Luego, se incineraron durante 6 horas a 600°C en un horno de mufla para determinar la materia orgánica (MO), también conocida como cenizas (AOAC, 2000). La proteína cruda se calculó como 6.25 veces el porcentaje de nitrógeno (%N), determinado por el método Kjeldahl. La fibra insoluble en detergente ácido (FDA), la fibra insoluble en detergente neutro (FDN) y la lignina insoluble en detergente ácido (LDA) se analizaron según el procedimiento descrito por Van Soest et al. (1991), utilizando el ANKOM-Fiber Analyzer (Ankom-Technology, Fairport, NY).



**Figura 3.** Análisis proximal en el Laboratorio de Nutrición Animal.

#### **4.8.4 Preparación de muestras para la fermentación *in vitro***

Los forrajes se sometieron a secado al aire libre (88-92% contenido de materia seca), se molieron con tamiz de 1 mm, y se tomaron muestras representativas de cada forraje. Las muestras se almacenaron en recipientes cerrados herméticamente y de fácil manipulación.

#### **4.8.5 Adaptación dietaria y preparación de inóculo ruminal**

El líquido ruminal se recolectó de un cordero macho (5 meses de edad), la dieta del animal consistió en pastoreo de día y heno de alfalfa por las tardes con una dieta a base de forraje con heno de alfalfa. El líquido ruminal se filtró con una gasa de cuatro capas y se utilizó una solución tampón (amortizado) como lo describe McDougall (1948) en proporción de 1:2. El pH del líquido ruminal tamponado se ajustó a 6.8 utilizando una solución de HCl 1 N. El inóculo ruminal se mantuvo en un baño maria de agua a 39 °C, se saturó continuamente con CO<sub>2</sub> y se agitó constantemente.

#### **4.8.6 Prueba de digestibilidad *in vitro***

Una parte de líquido ruminal se mezcló con dos partes de un medio que consistía en 400 ml de H<sub>2</sub>O, 0.1 ml de solución A (13.2 g CaCl<sub>2</sub> \* 2H<sub>2</sub>O, 10.0 g MnCl<sub>2</sub> \* 4H<sub>2</sub>O, 1.0 g CoCl<sub>2</sub> \* 6H<sub>2</sub>O, 8.0 g FeCl<sub>3</sub> \* 6H<sub>2</sub>O y aforado hasta 100 ml con H<sub>2</sub>O), 200 ml de solución B (39 g NaHCO<sub>3</sub>/1 H<sub>2</sub>O), 200 ml de solución C (5.7 g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 6.2 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.6 g MgSO<sub>4</sub> \* 7H<sub>2</sub>O y aforando hasta 1000 ml con H<sub>2</sub>O), 1 ml de resazurina (0.1 %, p/v) y 40 ml de solución de reducción (95 ml H<sub>2</sub>O, 4 ml 1 N NaOH y 625 mg Na<sub>2</sub>S \* 9H<sub>2</sub>O). La mezcla se saturó continuamente CO<sub>2</sub> en un baño maria a 39 °C y se agitó mediante un agitador magnético. Se tomaron 30 ml del medio de cultivo de rumen con una bomba automática en cada jeringa precalentada a 39 °C. Se eliminaron las burbujas de gas en la jeringa de 60 ml, se cerró con plástico parafil del tubo de silicona, se leyó y registró la posición del pistón y se colocó la jeringa en el aparato de incubación. Mediante un rotor se agitó la mezcla con las muestras continuamente. Las lecturas se tomaron a distintas horas para la producción de gas *in vitro*, pH, análisis de FDA y FDN.

#### 4.8.7 Producción de gas *in vitro*

Para las incubaciones *in vitro* se realizaron siguiendo la metodología de Tilley y Terry (1963), con adaptaciones por Fleming et al (2020) y Tánori-Lozano et al. (2024), se llevaron a cabo durante 48 h en jeringas de 60 mL provistas de émbolos. Las jeringas se llenaron bajo una corriente de CO<sub>2</sub> con 30 mL de inóculo ruminal y 50 mg de cada muestra. Las jeringas se colocaron a 39 °C en un baño maria. La producción de gas se registró a las 2, 4, 6 y 8 h; y para el pH 2, 4, 6, 8, 12, 24 y 48 h durante el período de fermentación *in vitro*. Las incubaciones se detuvieron a las 8, 12, 24 y 48 h para medir la digestibilidad de la fermentación ruminal por medio del análisis de FDA y FDN. El gas acumulado producido (mL) en cada etapa se registró antes de detener la incubación leyendo la posición del pistón (Fleming et al., 2020). En resumen, todos los pistones se colocaron en una posición inicial. Antes de que el pistón llegara a la parte superior, se purgó la jeringa (sin romper la anaerobiosis) y se colocó nuevamente en la posición pistón volvía a la posición de 30 mL. Se recolectó todo el contenido de cada jeringa en un tubo de polipropileno de 50 mL y se midió el pH inmediatamente utilizando un medidor de pH portátil (Waterproof pHTest®). La producción total de gas se expresó como mL g<sup>-1</sup> de materia seca del sustrato incubado y se corrigió para los blancos.

#### 4.8.8 Cálculos para el porcentaje digestibilidad de MS *in vitro*

Para realizar los cálculos de MO *in vitro*, se consideró el peso de muestra secada al aire colocada en tubo (A); porcentaje de materia seca en la muestra (B); porcentaje de materia orgánica en la muestra en base MS (C); peso tarado del filtro seco y limpio (D); peso seco del filtro con el residuo (E); peso incinerado del filtro con el residuo (F); materia seca inicial, g= (A\*B), expresada como (G); materia seca residual en muestra, g= E-D, expresada como (H); materia seca residual en el blanco, g= E-D (promedio de los 4 tubos repeticiones) expresado como (I):

$$\% \text{ Digestibilidad de MS } \textit{in vitro} = \frac{G - (H - I) * 100}{G}$$

Donde para calcular el porcentaje de digestión de MO *in vitro* la materia orgánica inicial,  $g = (G - C) / 100$  se expresa como (J); materia orgánica residual en muestra,  $g = E - F$  expresado como (K); materia orgánica residual en blanco,  $g = E - F$  (promedio de los 4 tubos) se expresa como (L):

$$\% \text{ Digestibilidad de MO } in vitro = \frac{J - (K - L) * 100}{J}$$

## 4.9 Diseño experimental y análisis estadístico

### 4.9.1 Rendimiento de biomasa forrajera y análisis proximal

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones para el ciclo otoño-invierno; diez tratamientos y tres repeticiones para el ciclo de primavera-verano. Se realizó un análisis de varianza, utilizando una prueba de medias Tukey, considerando un nivel de significancia de 0.05. El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico SAS (2004) empleando el siguiente modelo estadístico:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:  $y_{ij}$  es la variable de estudio de biomasa forrajera y análisis proximal;  $\mu$  es la media general;  $\tau_i$  es el efecto fijo del  $i$ -ésimo tratamiento; y  $\varepsilon_{ij}$  es el error experimental en la unidad  $j$  del tratamiento  $i$ .

### 4.9.2 Pruebas de digestibilidad

Para las variables digestibilidad *in vitro* (8, 12, 24 y 48 h), producción de gas (2, 4, 6 y 8 h) y pH (2, 4, 6, 8, 12, 24 y 48 h) se empleó un diseño completamente al azar con medidas repetidas en el tiempo con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones para ambos ciclos. Los tratamientos para el ciclo primavera-verano fueron, dolichos, girasol, maíz y la asociación (dolichos-girasol-maíz); y para el ciclo otoño-invierno fueron canola, triticale, ebo y su asociación (canola-triticale-ebo). Se consideró un nivel de significancia de 0.05; y se realizó una prueba de comparación de medias por el método de Tukey. El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico SAS (2004) empleando el siguiente modelo estadístico:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + d_{ij} + \tau_k + (\alpha\tau)_{ik} + e_{ijk}$$

Donde:  $y_{ijk}$  es el valor de la variable de respuesta del tratamiento  $i$  en la repetición  $j$  en el tiempo  $k$ ;  $\mu$  es la media general;  $\alpha_i$  es el efecto fijo del tratamiento  $i$ ;  $d_{ij}$  es el efecto aleatorio de la repetición  $j$  en el tratamiento  $i$ ;  $\tau_k$  es el efecto fijo del tiempo  $k$ ;  $(\alpha\tau)_{ik}$  es el efecto fijo de la interacción del tratamiento  $i$  en el tiempo  $k$ ; y  $e_{ijk}$  es el efecto aleatorio del error experimental de la repetición  $j$  en el tratamiento  $i$  en el tiempo  $k$ .

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Asociación forrajera Canola-Triticale-Ebo en ciclo otoño-invierno

En el Cuadro 3, se presentan las medias de las variables altura de planta, rendimiento y componentes nutricionales de las asociaciones forrajeras y sus monocultivos. Se obtuvieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para todas las variables evaluadas, con excepción de FDA. El rendimiento en peso fresco de la asociación forrajera con respecto al de la gramínea no mostró diferencia significativa ( $P < 0.05$ ), lo que se considera bueno, ya que las gramíneas tienen mayor rendimiento y la leguminosa aporta proteína cruda, lo que evidencia una asociación exitosa en términos de rendimiento de forraje fresco. Con respecto a la variable AP, la canola (108.33 cm) y el triticale (105.5 cm) no mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). Estos resultados coinciden con López-Arias et al. (2023), quienes reportan una media de 115 cm de AP de canola, empleando diferentes tratamientos de fuentes nitrogenadas, sin embargo, en triticale reportaron AP de 52 y 86 cm, en diferentes ciclos agrícolas, variación debida a la presencia de heladas intensas en el primer ciclo agrícola (Wilson et al., 2020).

**Cuadro 3.** Resultados de rendimiento y del análisis proximal de la asociación (C+T+E) y sus monocultivos.

Tratamientos <sup>a</sup>	AP (cm)	PF (t ha <sup>-1</sup> )	MS (%)	CEN (%)	PC (%)	EXE (%)	FDN (%)	FDA (%)	LIG (%)
<b>C + T + E <sup>b</sup></b>	87.9 b	42.2 a	25.43 a	10.50 bc	13.05 ab	2.97 a	52.10 b	31.89 a	5.00 a
<b>Canola</b>	108.3 a	46.2 a	17.35 c	12.63 ab	13.84 ab	2.28 ab	48.40 b	32.52 a	4.86 a
<b>Ebo</b>	46.3 c	18.8 b	21.13 b	14.11 a	16.74 a	1.96 b	64.15 a	37.28 a	4.16 a
<b>Triticale</b>	105.5 a	47.8 a	25.72 a	10.17 c	11.59 b	2.45 ab	68.27 a	35.91 a	2.96 a
<b>EE</b>	3.9	0.25	0.8	0.65	1.13	0.21	3.44	1.92	0.59
<b>Valores de P</b>	<0.0001	0.0015	<0.0001	0.0004	0.0191	0.0106	0.0003	0.1081	0.0317

Letras diferentes en columnas indican diferencia estadística a P<0.05.

<sup>a</sup> AP= Altura de planta; PF; Peso fresco; MS; Materia seca; CEN; Cenizas; PC; Proteína cruda; FDN; Fibra detergente neutro; FDA; Fibra detergente acida; LIG; Lignina; EXE; Extracto etéreo.

<sup>b</sup> C; Canola; T; Triticale ; E; Ebo.

Es importante mencionar que el porcentaje de materia seca reportado en el Cuadro 3, es el que presentaban los forrajes al momento del corte, por ello fluctuaron entre un 17 y 26 % de MS, sin diferencias estadísticas entre el triticale (25.7 %) y la asociación forrajera (25.4 %). Álvarez-García et al. (2022) reportaron un 32 % de MS en la asociación forrajera de triticale+ebo, es decir un 6 % superior a lo reportado por C+T+E en la presente investigación, quizá debido a que la canola y el ebo presentaron porcentajes de 17 y 21 % de MS, mientras que el triticale presentó un 26 % de MS. Akbag (2022) en etapa de macollaje, elongación de tallo y emergencia de espiga reportó valores de MS 18.9, 19.9 y 25.3 %, respectivamente, mientras Evci et al., (2024), en etapa de madurez fisiológica, lechosa y masosa reportaron valores 43.11%, 61.94% y 91.41%, respectivamente. El contenido de MS en los alimentos no siempre es un indicador directo de la calidad, pero es esencial para la evaluación del valor nutricional de los alimentos para rumiantes, con valores que generalmente oscilan entre el 14% y el 25% (Álvarez, 2018).

El rendimiento de la asociación C+T+E fue de 10.7 t ha<sup>-1</sup> MS, sin diferencia estadística con triticale (12.3 t ha<sup>-1</sup> MS), canola (8.0 t ha<sup>-1</sup> MS) y ebo (4 t ha<sup>-1</sup> MS). Se reporta un rendimiento más bajo de triticale (8.7 t ha<sup>-1</sup> MS) por Wilson-García et al. (2020), con respecto a canola, Reta-Sánchez et al. (2016) en dos ciclos de producción en Coahuila, México, reportaron rendimientos de 6 a 9.4 t ha<sup>-1</sup> de MS.

Con respecto al contenido de cenizas fue el triticale el cultivo que presentó el valor más bajo de 10.2 %, resultados similares fueron reportados en la variedad bicentenario y siglo XXI con valores de 10.3 y 10.7 %, respectivamente (Medel & de Lourdes., 2019). Sin embargo, los resultados contrastan con los reportados por Akbag (2022), en etapa de macollaje, elongación de tallo y emergencia de espiga con valores de 8.3, 6.8 y 3.4 %, respectivamente. La asociación C+T+E presentó un valor de 10.5 % de cenizas, sin diferencias estadísticas con triticale, en una asociación de triticale+ebo. Álvarez-García et al., (2022) reportaron un 9 % de cenizas, mientras que Medel y de Lourdes (2019) reportaron para la variedad bicentenario+ebo un 13.2 % y para sigloXXI+ebo 13.1 %, para ebo en monocultivo un 17.1 % de cenizas, similar al valor reportado en la presente investigación (14.1 %), y donde la leguminosa presentó el mayor porcentaje de cenizas.

El valor de PC más alto fue para ebo con un 16.7 %, con un porcentaje superior de 18.9 % reportado por Medel y de Lourdes (2019), ambos resultados coinciden con la literatura donde las leguminosas presentan valores más altos de proteína cruda que las gramíneas. La asociación C+T+E presentó un 13% de PC, valor superior a lo reportado por Álvarez-García y colaboradores (2022) en la asociación forrajera triticale+ebo con 10.9 % de PC, e inferior a los valores reportados por Medel & de Lourdes (2019) con la asociación de la variedad bicentenario+ebo 14.9 % y siglo XXI+ebo de 15.4 % de PC. Con respecto a la canola, este cultivo presentó un valor de 13.8 %, valor por debajo de lo reportado de acuerdo con Reta et al., (2016), quienes reportaron valores de 14 a 23 % de PC. El valor más bajo fue de 11.6 % de PC para triticale, sin embargo, es superior a lo reportado por Akbag (2022) en la etapa de emergencia de espiga con 7.1 % PC, lo cual es debido a que la época de cosecha de triticale, debido a que en la presente investigación se encontraba en estado de grano masoso, por lo que el aporte de proteína fue evidente.

El contenido de extracto etéreo en la asociación fue diferente estadísticamente ( $P < 0.05$ ) solo en ebo con un valor de 1.9 %. Este valor coincide a lo encontrado por Medel y de Lourdes (2019) en ebo. Para canola (2.28%) y triticale (2.45%) no existieron diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ). Se han observado resultados similares en triticale en la etapa de macollaje, elongación de tallo y emergencia de espiga; 2.25, 2.06 y 1.87 %, respectivamente (Akbag, 2022). El contenido de extracto etéreo fue superior en la asociación C+T+E con un 2.97 %, este porcentaje supera a lo reportado en la asociación de la variedad bicentenario+ebo 1.3 % y siglo XXI+ebo 2 % por Medel y de Lourdes (2019).

Para FDN la media más alta fue de 68.3 % para triticale en la etapa fenológica de grano masoso. Se han reportado valores similares por Evci et al. (2024), en etapa de madurez fisiológica, lechoso y masoso; 62.3, 60.8 y 63.6 %, respectivamente. De igual manera, Medel y de Lourdes (2019) reportaron para triticale bicentenario 71.1 % y siglo XXI 71.5 %.

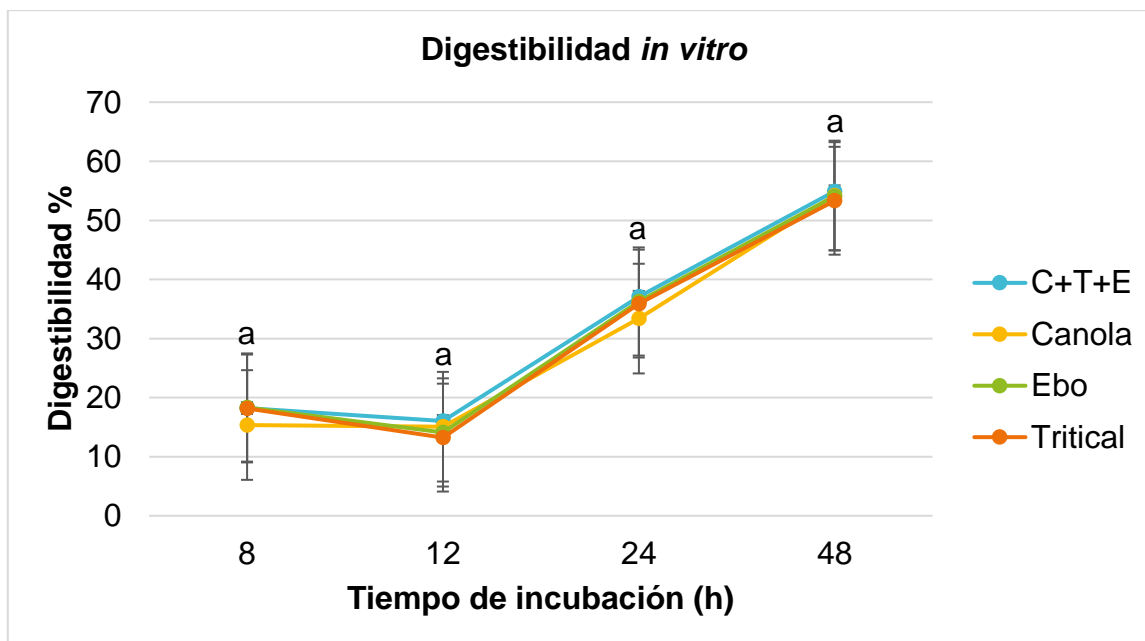
Así también, Akbag (2022) reportó en etapa de macollaje, elongación de tallo y emergencia de espiga valores de 53.2, 55.9, 56.1 %, respectivamente. Lo que

respalda que el contenido de FDN aumenta conforme avanza el grado de madurez de la planta. Es importante mencionar que el triticale no presentó diferencia estadística del contenido de FDN con ebo (64.2%), sin embargo, el valor es mayor al reportado por Medel y de Lourdes (2019) de 51.7 % de FDN. La canola y la asociación C+T+E, conformaron un subgrupo que no presentó diferencias estadísticas entre ambos, con valores de 48.4 y 52.1 %, respectivamente. Lo anterior, coincide con el 50 % reportado por Reta-Sánchez et al. (2016) en canola y el 49.8 % reportado por Álvarez-García et al (2022) en la asociación triticale+ebo. Sin embargo, valores superiores fueron reportados por Medel y de Lourdes (2019) en la asociación de la variedad bicentenario+ebo 62.6 % y para siglo XXI+ebo 60.8 % de FDN.

En cuanto al contenido de FDA los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas ( $P>0.05$ ), el porcentaje más bajo lo presentó la asociación C+T+E con 31.9 % de FDA, coincidiendo con el 31.2 % encontrado en la asociación triticale+ebo por Álvarez-García et al. (2022). Por otra parte, Akbag (2022) reportó valores en triticale en etapa de macollaje, elongación de tallo y emergencia de espiga de 21.5, 23.9 y 27.1 %, respectivamente. Mientras Evci et al. (2024) reportaron en etapa de madurez fisiológica, lechoso y masoso valores de 33.3, 31.2 y 33.6 %, respectivamente. La digestibilidad es inversamente proporcional a los valores de FDA, por lo que resulta conveniente que la asociación C+T+E presentara el valor más bajo.

En cuanto a lignina el valor más bajo lo obtuvo el triticale con un 2.96 %, estos resultados contrastan con los reportados por Akbag (2022), en etapa de macollaje, elongación de tallo y emergencia de espiga; 10.1, 14.9 y 18.1 % respectivamente.

En la figura 4, se presentan los resultados de los porcentajes de digestibilidad *in vitro* de las asociaciones forrajeras y sus monocultivos. La variable de digestibilidad *in vitro* no presentó diferencia significativa ( $p<0.05$ ) durante los tiempos de incubación (8h, 12h, 24h y 48 h). Sin embargo, es importante resaltar que los porcentajes más altos corresponden a la asociación forrajera C+T+E a las 12, 24 y 48 horas con porcentajes de 16.03, 37.05 y 54.91 %, respectivamente. Mientras que a las 8h de incubación la media más alta la presentó el ebo con un 18.32%. Los porcentajes de digestibilidad fueron más altos durante las 48h.



**Figura 4.** Digestibilidad *in vitro*, en la asociación (C+T+E) y sus monocultivos.

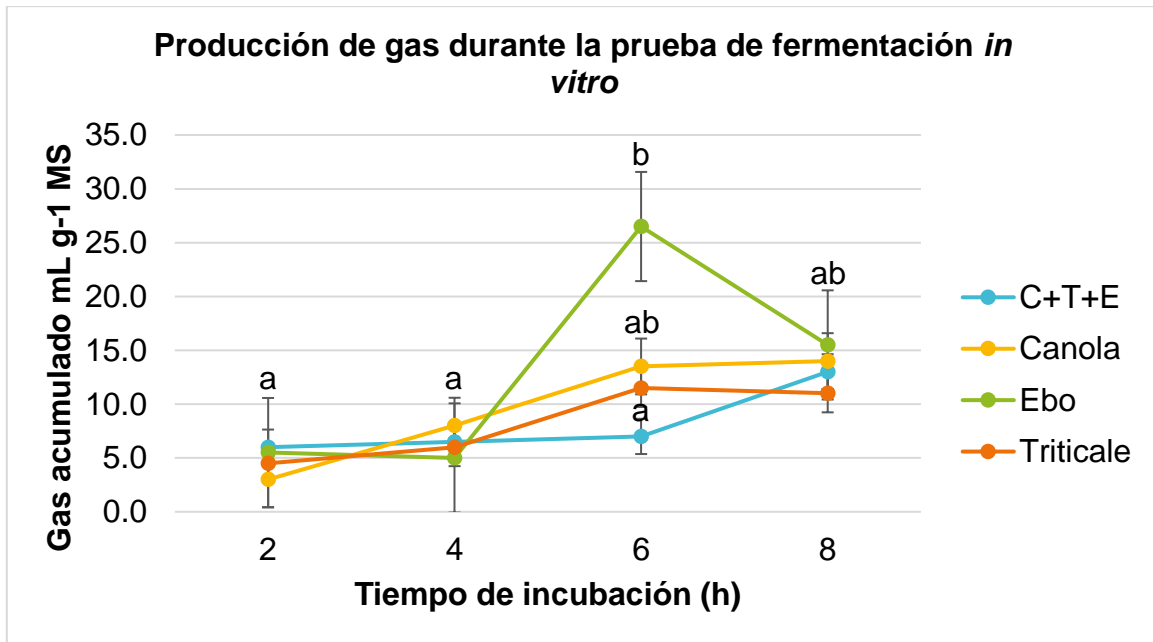
Los forrajes evaluados se consideran de buena calidad, particularmente la asociación forrajera que presentó la media superior a los demás, ya que de acuerdo con Álvarez (2018), un porcentaje superior al 50 % de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se considera de buena calidad. Reportes de DIVMS para cinco diferentes variedades de triticale fluctuó de un 84.2 a 86.5 % (Evcı et al., 2024), lo que contrasta con Akbag (2022), quien reportó valores en triticale en etapa de macollaje, elongación de tallo y emergencia de espiga de 63.64, 69.12 y 71.23 %, respectivamente. En canola se reporta un valor de de 56.2 % de DIVMS utilizando la incubadora Ankom Daisy por un periodo de 48 horas (Kılıç et al., 2021).

Los resultados de la digestibilidad *in vitro* del ciclo otoño-invierno, mostraron que la fibra de las leguminosas es generalmente menor que la de las gramíneas (Evcı et al., 2024). Las leguminosas tienen más lignina que las gramíneas en términos de MS. Lo que puede ser indicador de contener más lignina las leguminosas y que se concentra en el xilema, mientras que la de las gramíneas se distribuye uniformemente entre todos los tejidos, excepto el floema (Akbag, 2022). El xilema de las leguminosas es casi completamente indigerible, pero los tejidos restantes son muy digeribles; por lo tanto, la tasa de paso de las leguminosas es más rápida que la de las gramíneas

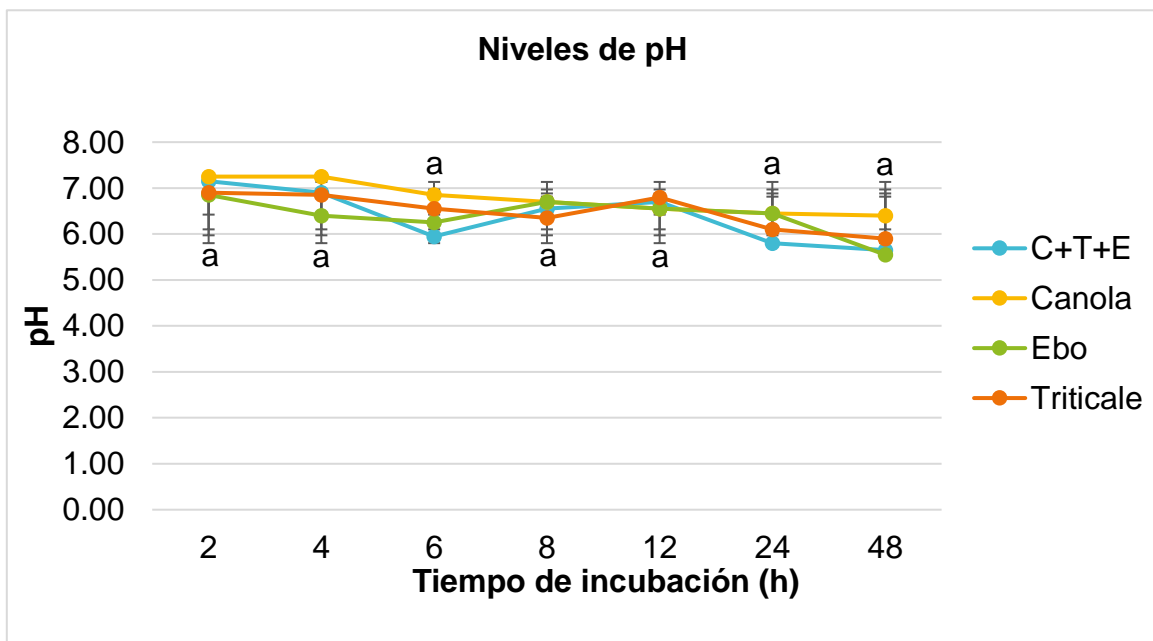
porque la menor concentración de fibra indigerible inhibe la tasa de paso de las gramíneas (Akbag, 2022). La mayor concentración de lignina y la tasa de paso más rápida disminuyen la digestibilidad de la fibra de las leguminosas. Sin embargo, las leguminosas suelen tener una menor concentración de fibra y una mayor concentración de fibra cruda en comparación con las gramíneas. Por lo tanto, aunque en algunos casos se redujo la digestibilidad *in vitro* con la adición de leguminosas, la concentración de componentes no fibrosos altamente digestibles fue mayor en las mezclas que en los monocultivos, manteniendo así el valor nutritivo.

Los resultados de la producción de gas durante la prueba de fermentación *in vitro* de las asociaciones forrajeras y sus monocultivos se presentan en la Figura 5. La variable de producción de gas presentó diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) durante los tiempos de incubación (2h, 4h, 6h y 8h). Para el tiempo de 2h el valor más alto lo obtuvo la asociación C+T+E (6.0 mL/g MS), a las 4h el valor más alto lo obtuvo la canola (8.0 mL/g MS), mientras que el ebo obtuvo el valor más alto durante las 6h (26.5 mL/g MS) y 8h (15.5 mL/g MS). La mayor producción de gas se dio durante el tiempo de incubación de 6h, donde destaca el ebo. Existe una relación parcial del contenido de PC y pH, ya que está asociada con el ciclo del N y la producción de nitrógeno amoniacal como consecuencia del balance metabólico proteína-carbohidratos (Castro-Rincón et al., 2021).

Akbag (2022), reportó una producción de gas *in vitro* en siete tiempos de incubación (4, 8, 12, 24, 48, 72 y 96 h), reportó para las 4 h de incubación en triticale en etapa de macollaje, elongación de tallo y emergencia de espiga, valores de 11.69, 11.50 y 13.78 mL, respectivamente, mientras que a las 8 h para esas mismas etapas de desarrollo presentó valores de 17.88, 17.06 y 20.78 mL. La mayor producción de gas se dio durante el tiempo de incubación de 6h, donde destaca el ebo. La relación en la producción de gas por la fermentación *in vitro* está relacionada con el contenido de carbohidratos estructurales y PC, o mayor fibra retenida en rumen, asociada con bacterias metanogénicas que produce elevadas cantidades de metano y CO<sub>2</sub> como consecuencia de su metabolismo energético, al mantener en constante producción AGV en los rumiantes (Castro-Rincón et al., 2021).



**Figura 5.** Producción de gas durante la prueba de fermentación *in vitro*, en la asociación (C+T+E) y sus monocultivos.



**Figura 6.** Niveles de pH durante la prueba de fermentación *in vitro*, en la asociación (C+T+E) y sus monocultivos.

## 5.2 Asociación forrajera Maíz-Dolichos-Girasol en ciclo primavera-verano

Con respecto a la asociación forrajera M+D+G, en el Cuadro 4, se presentan los valores de medias de las variables altura de planta, rendimiento y componentes nutricionales de las asociaciones forrajeras y sus monocultivos. La comparación de medias indica que presentan diferencias estadísticas todas las variables evaluadas ( $P < 0.05$ ), a excepción de MS y FDA.

Con respecto a la variable AP el valor de media más alto fue para la variedad de maíz 5 (1.92 m), al igual que para PF con  $63.36 \text{ t ha}^{-1}$ . Resultados similares se reportan en maíz forrajero bajo dos sistemas de riego, la cosecha la realizaron cuando el grano se encontraba en la etapa de grano lechoso y reportan una altura de 1.38 a 2.05 m, y rendimientos de PF de  $36.38$  a  $55.08 \text{ t ha}^{-1}$  (Gutiérrez-Guzmán et al., 2022). Otro estudio en donde evaluaron diferentes volúmenes de agua aplicada mediante riego por goteo superficial, y tres diferentes densidades de siembra, obtuvieron medias de AP de 2.57 a 2.82 m, y rendimientos de PF de  $37.08$  a  $57.66 \text{ t ha}^{-1}$  (Yescas et al., 2015), se reporta también un rendimiento de  $40$ - $50 \text{ t ha}^{-1}$  (Chaudhary et al., 2014).

Con respecto a girasol se obtuvo una media de altura de 0.65 m y  $44.4 \text{ t ha}^{-1}$  de FV, lo que contrasta con Arana (2022) quien reporta 1.26 m de altura y  $53.8 \text{ t ha}^{-1}$  de PF, otros estudios sobre la respuesta del girasol a diferentes niveles de nitrógeno y azufre obtuvieron alturas de planta de 160.8 a 181.1 (Pavani et al., 2013), 106.4 a 115.9 cm (Rasool et al., 2013), el contraste con los resultados se debe a que una lluvia en el mes de agosto causó que la planta de girasol se pudriera, aunque los rebrotes fueron los que se midieron para la presente investigación. Es importante mencionar que dolichos en monocultivo no presentó diferencias estadísticas en las variables AP y PF con respecto a girasol, con un valor de media para AP de 0.78 m y rendimiento de PF de 27.6

**Cuadro 4.** Rendimiento y análisis proximal de la asociación (M+D+G) y sus monocultivos.

Tratamientos <sup>a</sup>	AP (cm)	PF (t ha <sup>-1</sup> )	MS (%)	CEN (%)	PC (%)	EXE (%)	FDN (%)	FDA (%)	LIG (%)
<b>M<sub>11</sub>+D+G</b> <sup>b</sup>	1.72 abc	39.6 bc	15.64 a	12.50 bc	13.92 ab	1.96 b	58.92 ab	31.99 a	4.74 bc
<b>M<sub>13</sub>+D+G</b>	1.40 c	43.2 bc	16.20 a	12.53 bc	13.41 b	2.17 b	58.79 ab	33.84 a	5.40 bc
<b>M<sub>5</sub>+D+G</b>	1.49 bc	51.6 ab	16.37 a	12.34 bc	12.76 bc	2.53 b	57.40 abc	30.16 a	4.59 bc
<b>M<sub>8</sub>+D+G</b>	1.50 bc	43.2 bc	15.58 a	12.83 bc	13.48 b	2.27 b	55.29 abc	31.04 a	5.19 bc
<b>Dolichos</b>	0.78 d	27.6 c	14.80 a	17.93 ab	17.61 a	2.25 b	48.00 bc	30.44 a	7.17 ab
<b>Girasol</b>	0.65 d	44.4 bc	16.07 a	20.70 a	12.83 bc	5.73 a	43.88 c	29.24 a	9.14 a
<b>Maíz 11</b>	1.85 ab	46.08 ab	16.19 a	8.75 c	8.91 c	1.91 b	66.33 a	32.94 a	3.03 c
<b>Maíz 13</b>	1.74 abc	43.20 b	16.95 a	10.22 c	11.23 bc	1.78 b	68.44 a	34.29 a	3.21 c
<b>Maíz 5</b>	1.92 a	63.36 a	18.15 a	8.65 c	12.54 bc	1.44 b	67.44 a	32.63 a	3.16 c
<b>Maíz 8</b>	1.83 ab	48.00 ab	18.94 a	10.03 c	10.80 bc	2.07 b	66.92 a	32.13 a	2.67 c
<b>EE</b>	0.1	0.04	0.9	1.33	0.83	0.5	2.93	1.23	0.66
<b>Valores de P</b>	<.0001	<.0001	0.0783	<.0001	<.0001	0.0006	<.0001	0.1418	<.0001

Letras diferentes en columnas indican diferencia estadística a P<0.05

<sup>a</sup> AP= Altura de planta; PF; Peso fresco; MS; Materia seca; CEN; Cenizas; PC; Proteína cruda; FDN; Fibra detergente neutro; FDA; Fibra detergente acida; LIG; Lignina; EXE; Extracto de etéreo.

<sup>b</sup> M; Maíz; D; Dolichos; G; Girasol

Los porcentajes de MS fluctuó en el valor más bajo de 15.6 % en la asociación M<sub>11</sub>+D+G y el más alto de 18.9 % en la variedad de maíz 8, dichos valores son bajos comparados con lo que reportan otros autores para maíz en rangos 22.42 a 28.24 % MS (Gutiérrez-Guzmán et al., 2022) de 24.9 a 33.4 % MS (Yescas et al., 2015), y de 32 a 34 % MS (Iqbal et al., 2015). Las diferencias pueden deberse a la etapa de desarrollo en que se cosechó el maíz, aunque en todas se menciona que fue en estado lechoso-masoso. La leguminosa dolichos presentó el porcentaje más bajo de materia seca de 14.8 %, lo que contrasta con una evaluación de cuatro morfotipos de dolicho, donde reportan valores del 24.52 a 34.63 % MS (Daouda et al., 2023).

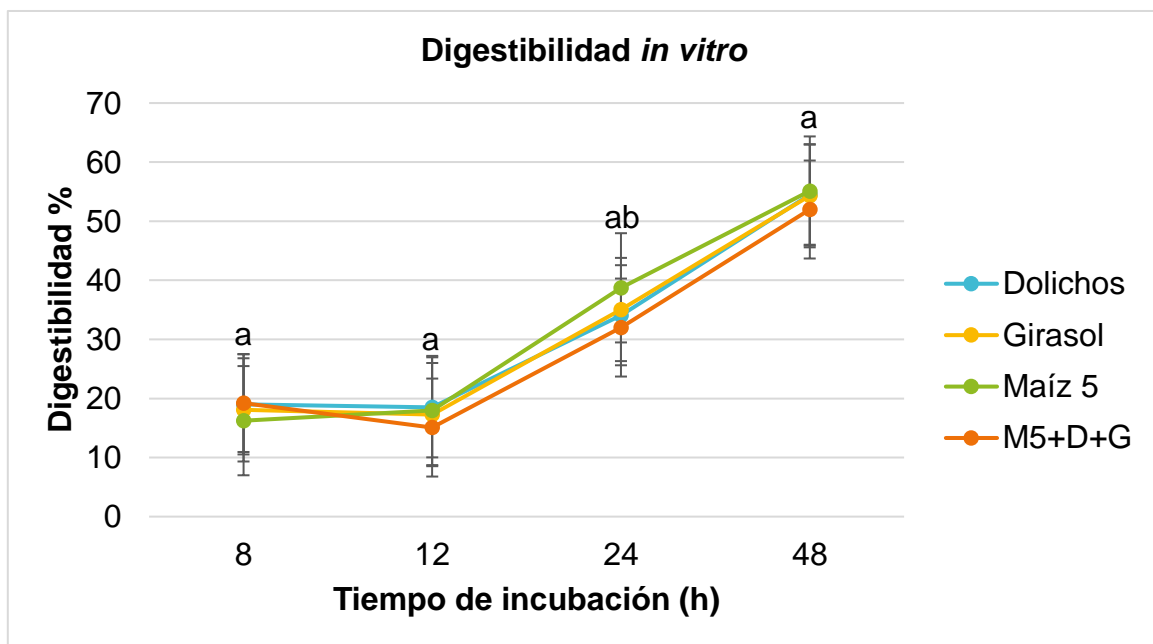
En cuanto a los componentes nutricionales, el valor del porcentaje de proteína más alto fue para dolichos con un 17.61%, un estudio realizado en diferentes épocas de corte (semanas 6, 12, 18 y 24) reportan valores de 9.1 a 17.1 % PC (Bawa et al., 2013), lo que coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación. Por otro lado, la variedad de maíz 11, presentó el valor de media más bajo con un 8.9 % de PC, otras investigaciones en maíz bajo fertilización orgánica reportan un 9.6 % de PC, mientras que bajo fertilización inorgánica 8.6 % de PC (Moreno et al., 2017), en una variedad que se cosecho a los 140 días después de la siembra se reportó un 9.03 % PC (Cetinkaya et al., 2020), el maíz varío de 7.5 a 8.5 % de PC (Iqbal et al., 2015) y de 7.65 a 9.34 % PC (Yescas et al., 2015).

El porcentaje de EE fue mayor en el girasol (5.73%), lo que supera a un estudio realizado en girasol en Ecuador donde se reporta un 2.2 % (Arana, 2022). Mientras que las variedades de maíz reportan valores que van de 1.4 a 2.1 % y superan a otros resultados reportados de 0.40 % de EE (Cetinkaya et al., 2020). El valor menor de CEN lo obtuvo la variedad de maíz 5 (8.65%), que supera al valor reportado de 5.02% cenizas en otro estudio realizado por Cetinkaya et al. (2020). Mientras que el mayor porcentaje de cenizas lo presentó el girasol con un 20.7 %.

En FDN el valor más alto fue para la variedad de maíz 13 (68.44%), resultados similares se reportan por Yescas et al. (2015) en un rango de 65.5 a 67.5 %FDN, mientras que en maíz bajo fertilización orgánica reportan un 53.5 % y en fertilización inorgánica un 42.6 % (Moreno et al., 2017), bajo dos condiciones de riego en maíz se reportaron valores de 51.3 a 60.5 % (Gutiérrez-Guzmán et al., 2022).

En cuanto a FDA no presentaron diferencia significativa ( $P < 0.05$ ), sin embargo, el porcentaje más bajo de FDA lo presentó el girasol (29.24%), mientras que la variedad de maíz 13 presentó un 34.3 %, resultados similares se reportan en un rango de 35.9 a 38.5 % FDA (Yescas et al., 2015), en maíz forrajero bajo fertilización orgánica con un 35.9 % e inorgánica con un 27.2 % FDA (Moreno et al., 2017), bajo dos condiciones de riego en maíz se reportaron valores de 30.4 a 36.8 % (Gutiérrez-Guzmán et al., 2022). El porcentaje más bajo de LIG lo presentó la variedad de maíz 8 con un 2.67 %, bajo dos condiciones de riego en maíz se reportaron valores de 3.6 a 5.2 % (Gutiérrez-Guzmán et al., 2022).

En la figura 7, se presentan los resultados de los porcentajes de digestibilidad *in vitro* de las asociaciones forrajeras (M+D+G) y sus monocultivos. La variable de digestibilidad *in vitro* presentó diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) durante los tiempos de incubación (8, 12, 24 y 48 h).



**Figura 7.** Digestibilidad *in vitro*, en la asociación (M+D+G) y sus monocultivos.

La variable de digestibilidad *in vitro* presentó diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) durante los tiempos de incubación (8, 12, 24 y 48 h), el valor de la media más alta durante las 8h de incubación la presentó la asociación M<sub>5</sub>+D+G (19.23%), durante las 12h el valor más alto fue el dolichos (18.49%), durante las 24h el valor más alto lo obtuvo el Maíz

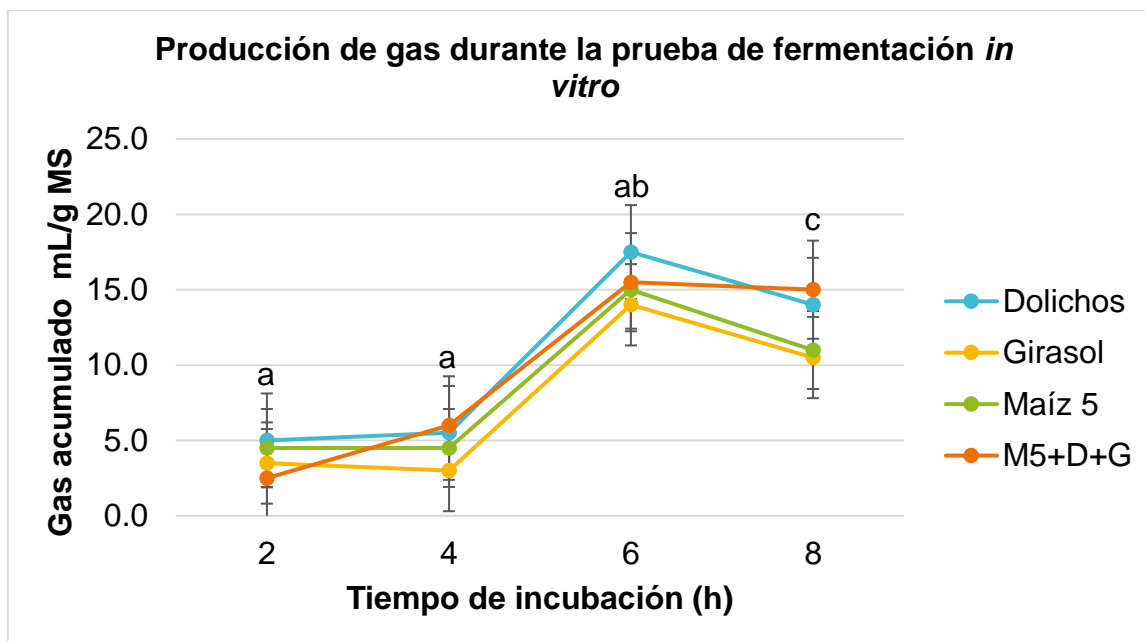
5 (38.72%), en el tiempo de 48h la media más alta también fue el Maíz 5 (55.11%), es importante destacar que los porcentajes de digestibilidad fueron más altos durante las 48h.

Un estudio realizado en el trópico alto de Colombia evaluó la calidad nutricional de cinco gramíneas para clima frío: *Holcus lanatus* (L), *Bromus catharticus* (Vahl), *Festuca arundinacea* (Schreb), *Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov (naturalizado), *Dactylis glomerata*, asociadas con *Lotus uliginosus* (Schkuhr) se tuvo en cuenta la asociación y la edad de rebrote de 45 y 70 días, los resultados de *L. uliginosus* asociado a gramíneas, durante la época de altas precipitaciones: presentó valores a los 45 días de 60.3 a 71.6 % DIVMS, a los 70 días de 58.7 a 70.4; mientras que, durante la época de bajas precipitaciones a los 45 días presentó 68.3 a 75.7 % DIVMS y a los 70 días de 67.6 a 76.8 % DIVMS (Castro-Rincón et al., 2021). Se reportan valores de DIVMS entre 61.9 a 66.6 % de 4 variedades diferentes de girasol híbrido (Özelçam et al., 2017). En maíz se reporta una digestibilidad *in vitro* de la materia seca de 51.57% (Cetinkaya et al; 2020).

En el Salvador se evaluaron tres especies de leguminosas *Vigna* (*Vigna sinensis*), Lablab (*Dolichos lablab*) y Canavalia (*Canavalia ensiformis*) que fueron cosechadas y henificadas a los 70 días y se reporta una digestibilidad *in vitro* de 61.43 % (Cuellar; 2018).

Se evaluó el ensilado de girasol, solo y en diferentes proporciones con ensilado de maíz mediante digestibilidad *in vitro* de plantas de maíz y girasol antes de ensilar (DIVMS g kg<sup>-1</sup>) = digestibilidad *in vitro* de materia seca; (DIVMO g kg<sup>-1</sup> DM) = digestibilidad *in vitro* de materia orgánica; (DIVFDN g kg<sup>-1</sup> DM) = digestibilidad *in vitro* de fibra detergente neutra; (MS= materia seca); Maíz: 688, 646, 635; girasol: 632, 569, 493. Digestibilidad *in vitro* de los ensilados de maíz y girasol solos o combinados; T1: 698.0, 656.0, 520.0; T2: 673, 627.0, 552.0; T3: 609.0, 563.0, 473.0; T4: 595.0, 548.0, 441.0; T5: 591.0, 529.0, 428.0 (Aragadvay-Yungán et al., 2015).

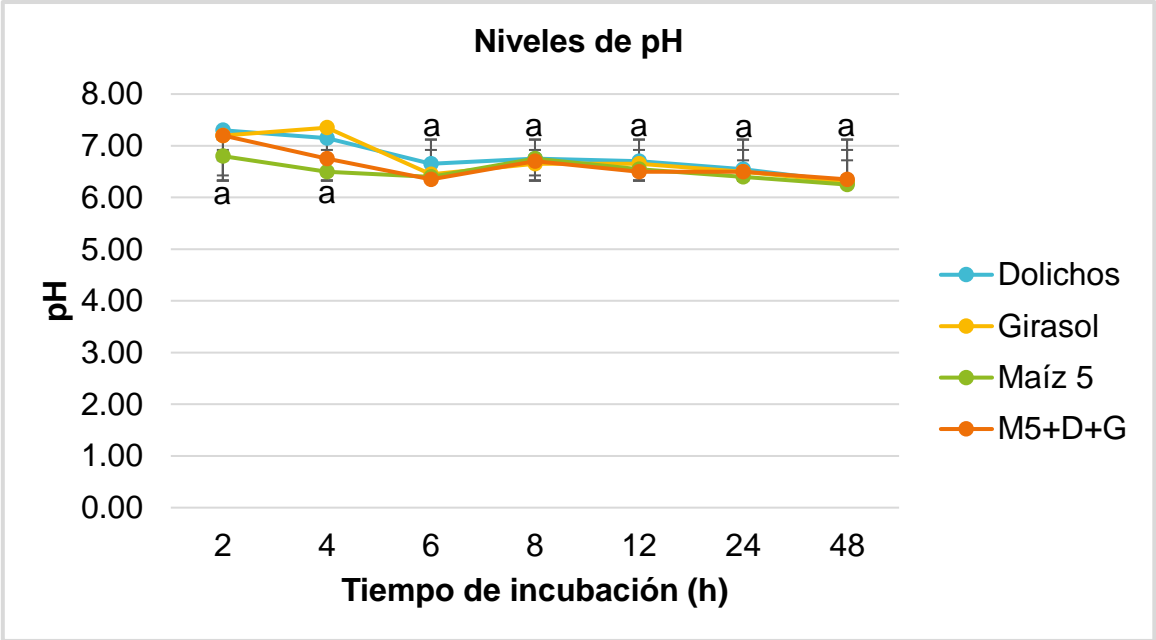
En la figura 8, se presentan los resultados de la producción de gas durante la prueba de fermentación *in vitro* de las asociaciones forrajeras (M+D+G) y sus monocultivos. La variable de producción de gas presentó diferencia significativa (<0.05) durante los tiempos de incubación (2, 4, 6 y 8 h).



**Figura 8.** Producción de gas durante la prueba de fermentación *in vitro*, en la asociación (M+D+G) y sus monocultivos.

La variable de producción de gas presentó diferencia significativa ( $<0.05$ ) durante los tiempos de incubación (2, 4, 6 y 8 h), durante el tiempo de 2h la media con el valor más alto fue el dolichos ( $5.0 \text{ mL g}^{-1} \text{ MS}$ ), en el tiempo de incubación de 4h el valor más alto lo obtuvo la asociación  $M_5+D+G$  ( $6.0 \text{ mL g}^{-1} \text{ MS}$ ), durante las 6h el valor más alto fue el dolichos ( $17.5 \text{ mL g}^{-1} \text{ MS}$ ), en las 8h de incubación el valor más alto lo obtuvo la asociación  $M_5+D+G$  ( $15.0 \text{ mL g}^{-1} \text{ MS}$ ). La mayor producción de gas se dio durante el tiempo de incubación de 6h. Los resultados de la producción de gas en los cultivos del ciclo primavera-verano mostraron que los dolichos se mantuvieron en valores arriba que los demás hasta las 6 h, posiblemente se deba al contenido de PC con  $176.1 \text{ g kg}^{-1}$ . Cabe mencionar que los cultivos con leguminosas aumentan la concentración de PC, mientras que disminuyen las concentraciones de FDN y carbohidratos no estructurales. Por lo anterior, los tejidos de las leguminosas tienen paredes celulares más lignificadas, puede haber una disminución en la digestibilidad de la fibra cuando los forrajes se cultivan en asociaciones. A pesar de presentar menor digestibilidad de la fibra, la energía se puede mantener ya que la concentración de fibra por otros forrajes en asociación con leguminosas o gramíneas.

Para los resultados de los niveles de pH observados en ciclo primavera-verano, en los tiempos 6, 8, 12, 24 y 48 h no se encontraron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) entre los tratamientos. Sin embargo, en las primeras 2 y 4 h incremento el pH de dolichos y girasol con respecto a Maíz 5 y M5+D+G.



**Figura 9.** Niveles de pH durante la prueba de fermentación *in vitro*, en la asociación (M+D+G) y sus monocultivos.

## 6 CONCLUSIONES

El uso de las asociaciones forrajeras C+T+E y M+D+G, en los diferentes ciclos agrícolas incrementaron el rendimiento y los porcentajes de proteína cruda y extracto etéreo comparado con alguno de los monocultivos, lo que evidencia una asociación exitosa en términos de rendimiento de forraje fresco y valor nutricional.

El comportamiento de la digestibilidad en los diferentes tiempos evaluados fue similar en las asociaciones y sus monocultivos. Es importante resaltar que los porcentajes más altos corresponden a la asociación forrajera C+T+E. La asociación forrajera M+D+G (establecida en la época primavera-verano) también es una buena alternativa en la producción animal debido a su alto porcentaje de PC y digestibilidad.

Los forrajes evaluados se consideran de buena calidad, particularmente las asociaciones forrajeras, ya que presentaron porcentajes superiores al 50 % de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS).

Se requiere de más investigaciones con respecto a digestibilidad y producción de gas *in vitro* en estos cultivos y asociaciones forrajeras, ya que es casi nula la información al respecto.

## 7 LITERATURA CITADA

- Arce, C., Arbaiza, T., Carcelén, F., & Lucas, O. (2003). Estudio comparativo de la digestibilidad de forrajes mediante dos métodos de laboratorio. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 14(1), 07-12.
- Anas, M., Jabbar, A., Sarwar, M. A., Ullah, R., Abuzar, M. K., Ijaz, A., y Latif, S. (2017). Intercropping sunflower with mungbean for improved productivity and net economic return under irrigated conditions. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 30(4), 338-345.
- Arana Arias, C. E. (2022). *Evaluación del girasol forrajero (Helianthus annuus L.) en dos sistemas productivos, Quiroga, Cotacachi*. Tesis de licenciatura, Universidad Técnica del Norte. Recuperado de <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12429>.
- Álvarez García, C. D. (2018). *Calidad nutritiva de forraje de la asociación ebo (Vicia sativa)-Triticale (X Triticosecale Wittmack) para sistemas de producción de leche a pequeña escala en el noroeste del estado de México*. URI: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/94357>. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México
- Álvarez García, C. D., Arriaga Jordán, C., y López González, F. (2022). Valor nutricional *in vitro* de heno de triticale asociado con ebo para sistemas de producción de leche en pequeña escala. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 25 (2022): #028, 1-8.
- Akbag, H. (2022). Effects of growth stage on nutritional value of barley and triticale forages for goats. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 10(2), 116-123, doi: [10.17138/tgft\(10\)116-123](https://doi.org/10.17138/tgft(10)116-123).
- Aragadvay-Yungán, R. G., Rayas Amor, A. A., Heredia-Nava, D., Estrada-Flores, J. G., Martínez-Castañeda, F. E., y Arriaga-Jordán, C. M. (2015). *In vitro* evaluation of sunflower (*Helianthus annuus L.*) silage alone or combined with maize silage. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 6(3), 315-327.

- Balakhial A., A. A. Naserian, A. Herabi Moussavi, F. Eftekhari Shahrodi and R. Vali Zadeh (2008) Changes in chemical composition and *in vitro* DM digestibility of urea and molasses treated whole crop canola silage. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 7:1042- 1044.
- Barsila, S. R. (2018). The fodder oat (*Avena sativa*) mixed legume forages farming: Nutritional and ecological benefits. *Journal of Agriculture and Natural Resources*, 1(1), 206–222. <https://doi.org/10.3126/janr.v1i1.22236>
- Bawa, G. S., Abia, E. E., Ombaga, J. J., Hassan, M. R., y Abdu, S. B. (2013). Nutritive Value of Dolichos Lablab (*Lablab purpureus* CV. Rongai) Forage cut at Different Stages of Growth on Performance of Weaned Rabbits. *Nigerian Journal of Animal Science*, 15, 23-36.
- Bozhanska, T., y Churkova, B. (2020). Correlation and regression relationships between quantitative and qualitative indicators of perennial grass and legume mixtures. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26(3), 567-573.
- Castro-Montoya, J. M., y Dickhoefer, U. (2020). The nutritional value of tropical legume forages fed to ruminants as affected by their growth habit and fed form: A systematic review. *Animal Feed Science and Technology*, 269, 114641. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114641>.
- Chacón - Carlos, P. (2015). *Cultivo de pastos: Manual práctico para productores*, Lima – Perú, SN Power Proyecto Cheves, Lima – Perú, 1-47.
- Cui, J., Lu, Z., Wang, T., Chen, G., Mostafa, S., Ren, H., ... y Jin, B. (2021). The genome of *Medicago polymorpha* provides insights into its edibility and nutritional value as a vegetable and forage legume. *Horticulture Research*, 8(47), 1-12, <https://doi.org/10.1038/s41438-021-00483-5>.
- Chaudhary DP, Jat SL, Kumar R, Kumar A, Kumar B, 2014. Fodder quality of maize: its preservation. In: D.P. Chaudhary, S. kumar, S. S. Singh (Eds.), *Maize: Nutrition dynamics and novel uses*. Springer, New Delhi, India, pp. 153-160.

- Cetinkaya, N., Aykanat, S., Ayaşan, T., y Celik, C. (2020). Contenido de nutrientes y digestibilidad *in vitro* de diferentes partes de la planta de maíz. *Revista Sudafricana de Ciencia Animal*, 50(2), 302-309.
- Cuellar, B. G. S. A. (2018). *Evaluación de la calidad nutricional y rendimiento de leguminosas tropicales, Vigna (Vigna sinensis L.), Lablab (Dolichos lablab L.) y Canavalia (Canavalia ensiformis L.)*. Tesis de licenciatura, Universidad del Salvador.
- Castro-Rincón, E., Carulla-Fornaguera, J. E., y Cárdenas-Rocha, E. A. (2021). Calidad nutricional de cinco gramíneas asociadas a *Lotus uliginosus Schkuhr* en el trópico alto de Colombia. *Pastos y Forrajes*, 44, 1-8.
- Delgado, D. F. F. (2015). La alfalfa (*Medicago sativa*): origen, manejo y producción. *Conexión Agropecuaria JDC*, 5(1), 27-43.
- De Zutter, A., De Boever, J., Muylle, H., Roldán-Ruiz, I., y Haesaert, G. (2023). *In vitro* digestibility as screening tool for improved forage quality in triticale. *Field Crops Research*, 301, 109009.
- Dhima, K. V., Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., y Dordas, C. A. (2007). Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research*, 100(2-3), 249-256.
- Diego, E. A., Rodrigo, H. J., Manuelv, C. V., Paul, M. M., Luis, C. P. J., Alfonso, C. F., y Carhuas, J. N. (2024). Rumen kinetics of nutrient degradability of forage barley (*Hordeum vulgare L.*) with different levels of quinoa (*Chenopodium quinoa*) residues supplementation: <https://doi.org/10.12982/VIS.2024.072>. *Veterinary Integrative Sciences*, 22(3), 1073-1087.
- Daouda, A. K. T., Souley, M. H. I., Saidou, S. I., y Atta, S. (2023). Effects of early cutting and harvesting at physiological maturity on forage production and growth of dolichos (*Lablab purpureus (L.)*). *Tropical Agriculture*, 100(4), 308-316.

- Espinoza Dávila, G. (2016). *Determinación de macronutrientes en alimentos Cárnicos y Pescados más Consumidos en la Ciudad de Huancayo*. URL: <http://repositorio.uroosevelt.edu.pe/handle/20.500.14140/18>. Tesis de licenciatura, Universidad Privada de Huancayo Franklin Roosevelt.
- Evci, Ş., Kara, K., y Demirci, M. (2024). Determination of yield nutrient contents and *in vitro* digestibility of some triticale varieties harvested at different maturity stages. *Turkish Journal of Veterinary y Animal Sciences*, 48(4), 174-179.
- Farshadfar, M., Kakaei, M., Salehabadi, Y., Baghaeifar, Z., y Jaffari, A. A. (2022). Study of Diversity for Yield and Quality Traits in Alfalfa (*Medicago sativa L.*) and Determination of the Best Population for Cultivation in Dryland Farming in Iran. *Journal of Rangeland Science*, 12(1), 87-101.
- Fiebelkorn D. and M. Rahman (2016) Development of a protocol for frost-tolerance evaluation in rapeseed/canola (*Brassica napus L.*). *The Crop Journal* 4:147-152
- Flores, L., Ruiz, A., y Oscanoa, A. (2021). Protocolo para determinación de cenizas de microalgas liofilizadas. *Institución del Mar de Perú*, 48(1), 8-10, URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3537>
- Fondevila, M., y Barrios, A. (2001). La técnica de producción de gas y su aplicación al estudio del valor nutritivo de los forrajes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 35(3), 197-207.
- Fukushima, R. S., Kerley, M. S., Ramos, M. H., y Kallenbach, R. L. (2021). The acetyl bromide lignin method accurately quantitates lignin in forage. *Animal Feed Science and Technology*, 276, 114883.
- Fassio, A. L. B. E. R. T. O., Cozzolino, D., y Fernández, E. (2001). Girasol, alternativa forrajera. *Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. El país agropecuario*, 25-28.
- García Martínez, E. M., Fernández Segovia, I., Fuentes López, A. (2013). Aplicación de la determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl.

Valoración con una base fuerte. ETSIAMN. Universidad Politécnica de Valencia, <https://riunet.upv.es/handle/10251/29832>.

- Gaviria-Urbe, X., Bolivar, D. M., Rosenstock, T. S., Molina-Botero, I. C., Chirinda, N., Barahona, R., y Arango, J. (2020). Nutritional quality, voluntary intake and enteric methane emissions of diets based on novel Cayman grass and its associations with two *Leucaena* shrub legumes. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 579189. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.579189>.
- Giraldo C, Valderrama E, Montoya L, Armbrecht I. (2006). Efecto de *Tithonia diversifolia* (Asteraceae) sobre herbivoría de *Atta cephalotes* (Hymenoptera: Formicidae). En: Resúmenes IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción animal sostenible y III Simposio sobre sistemas silvopastoriles para la producción ganadera sostenible. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. Enero, 2006:113.
- Guanuquiza, G. M., Jimenez-Yanez, S., Novillo, S. A., Arias, P. E., y Reyes-Silva, F. (2023). Nutritional composition of Cuba om-22 hybrid grass (*Pennisetum purpureum Schumacher* x *Pennisetum glaucum* L.) at three cutting ages. *Journal of Namibian Studies: History Politics Culture*, 33, 3574-3584.
- Guerra-Guzmán, D. G., Guevara-Ohara, J. E., y Morazán-Núñez, H. J. (2021). Selección de leguminosas de hábito trepador tipo IV en asocio con maíz para alimentación bovina. *Agronomía Costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 45(1), 129-141.
- Gutiérrez-Guzmán, U. N., Ríos-Vega, M. E., Núñez-Hernández, G., Esquivel-Romo, A., Vázquez-Navarro, J. M., y Anaya-Salgado, A. (2022). Producción de maíz forrajero con dos sistemas de riego y tres niveles de la evaporación aplicada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(SPE28), 263-273.
- Guerrero-Rodríguez, J. D. D. (2009). Leguminosas forrajeras: opciones para la producción de rumiantes en el Estado de Puebla. *Agro Productividad*, 2(3), 16-22.

- Hancock, D. W., y Collins, M. (2006). Forage preservation method influences alfalfa nutritive value and feeding characteristics. *Crop Science*, 46(2), 688-694.
- Hernández A. (2007): Evaluación en la calidad en una mezcla forrajera de avena-ebo. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Saltillo Coahuila, México.
- Huang, Z., Dunkerley, D., López-Vicente, M., y Wu, G. L. (2020). Trade-offs of dryland forage production and soil water consumption in a semi-arid area. *Agricultural Water Management*, 241, 106349.
- Huang, Y. F., Gao, X. L., Nan, Z. B., y Zhang, Z. X. (2017). Potential value of the common vetch (*Vicia sativa* L.) as an animal feedstuff: a review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101(5), 807-823.
- Hoffman, P. C. (2005). Ash content of forages. *Focus on forage*, 7(1), 1-2.
- Iqbal, M. A., Iqbal, A., Akbar, N., Khan, H. Z., y Abbas, R. N. (2015). A study on feed stuffs role in enhancing the productivity of milch animals in Pakistan-Existing scenario and future prospect. *Global Veterinaria*, 14(1), 23-33.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI) (2020). Recuperada el 19 de abril de 2022. <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bc/territorio/clima.aspx?tema=meye=02> Clima. Baja California (inegi.org.mx).
- Jack, H. A., Cranston, L., Burke, J. L., Knights, M., y Morel, P. C. H. (2020). Determining the chemical composition and *in vitro* digestibility of forage species used in small ruminant production systems in the english speaking Caribbean– Part 1. *Tropical agriculture*, 97(1), 32-45.
- Johnston, J., Wheeler, B. S., y McKinlay, J. (1998). Forage production from spring cereals and cereal-pea mixtures. Ministry of Agriculture, Food & Rural Affairs. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/98-041.htm>.

- Jiménez Benavides, H. E. (2017). *Respuesta del cultivo de canola (brassica napus L.) a la aplicación de tres niveles de fertilización química en dos distanciamientos de siembra, en san pedro de huaca Provincia del Carchi*. (Bachelor's thesis, El Ángel: 2017) <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16284>. Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo.
- Kanani, J., Lukefahr, S. D., y Stanko, R. L. (2006). Evaluation of tropical forage legumes (*Medicago sativa*, *Dolichos lablab*, *Leucaena leucocephala* and *Desmanthus bicornutus*) for growing goats. *Small Ruminant Research*, 65(1-2), 1-7.
- Katoch, R. (2022). General Scheme for Forage Quality Analysis. In *Techniques in Forage Quality Analysis* (pp. 39-45). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Koch D. W., C. Kercher and R. Jones (2002) Fall and winter grazing of brassicas – a value-added opportunity for lamb producers. *Sheep and Goat Research Journal* 17:1-13.
- Kılıç, U., Erişek, A., Garipoğlu, A., Ayan, İ., y Önder, H. (2021). The effects of different forage types on feed values and digestibilities in some brassica fodder crops. *Turkish Journal of Agriculture and Natural Sciences*, 8(1), 94-102.
- Lauriault, L. M., and Kirksey, R. E. (2004). Yield and Nutritive Value of Irrigated Winter Cereal Forage Grass–Legume Intercrops in the Southern High Plains, USA. *Agronomy Journal*, 96(2), 352. doi:10.2134/agronj2004.3520.
- López-Arias, C. A., Escalante Estrada, J. A. S., Rodríguez-González, M. T., y Aguilar Carpio, C. (2023). Crecimiento, biomasa, rendimiento y componentes de canola (*Brassica napus L.*) en respuesta a la fuente nitrogenada. *Biotecnia*, 25(3), 65-70.
- López Torres, L. S., y Gonzales Cruz, S. M. (2023). Efecto en manejo químico de semilla para el cultivo de maíz (*Zea Mays L.*) con Imidacloprid + Thiodicarb y Clotianidina + nutrientes para el control de plagas. [Proyecto aplicado].

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/56808>.

- Mainetti, A., Ravetto Enri, S., Pittarello, M., Lombardi, G., y Lonati, M. (2023). Main ecological and environmental factors affecting forage yield and quality in alpine summer pastures (NW-Italy, Gran Paradiso National Park). *Grass and Forage Science*, 78(2), 254-267.
- Mishra, P., Thakur, M. S., y Khan, A. (2023). Proximate analysis of poultry and fish feed ingredients in Madhya Pradesh and Chhattisgarh states. *The Pharma Innovation*, 12(9), 1659-1662.
- Mullen, C. L., Holland, J. F., y Heuke, L. (2003). Cowpea, lablab and pigeon pea. *AGFACTS-NSW Agriculture*, P4.2.21(3), 16.
- Murphy, A. M., y Colucci, P. E. (1999). A tropical forage solution to poor quality ruminant diets: A review of *Lablab purpureus*. *Livestock Research for Rural Development*, 11(2), <http://www.lrrd.org/lrrd11/2/colu112.htm>.
- Medel, R., y de Lourdes, M. (2019). Rendimiento y calidad del forraje de la asociación cereal-ebo (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma Chapingo).
- Moreno-Reséndez, A., Cantú Brito, J. E., Reyes-Carrillo, J. L., y Contreras-Villarreal, V. (2017). Forage maize nutritional quality according to organic and inorganic fertilization. *Scientia Agropecuaria*, 8(2), 127-135.
- Menke, K. H., y Ehrensvärd, U. (1974). The determination of the material balance and the calculation of stoichiometry and the energy balance in the fermentation of rumen juice *in vitro*, 1st *Journal of Animal Physiology, Animal Nutrition and Feed Science*, 34(1-6), 24-35.
- McDougall, E. I. (1948). Studies on ruminant saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. *Biochemical journal*, 43(1), 99.
- Nadeem, M., Ansar, M., Anwar, A., Hussain, A., y Khan, S. (2010). performance of winter cereal-legumes fodder mixtures and their pure stand at different growth

- stages under rainfed conditions of pothowar. *Journal of Agricultural Research* (03681157), 48(2), 181-192.
- Oliveira, D. M., Mota, T. R., Grandis, A., de Morais, G. R., de Lucas, R. C., Polizeli, M. L., ... y dos Santos, W. D. (2020). Lignin plays a key role in determining biomass recalcitrance in forage grasses. *Renewable Energy*, 147, 2206-2217.
- Özelçam, H., İpçak, H. H., y Özüretmen, S. (2017). Feed value of sunflower heads in different varieties. *International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch*, 2(4), 58-63.
- Plaza, J., Criado, M., Sánchez, N., Pérez-Sánchez, R., Palacios, C., y Charfolé, F. (2021). UAV multispectral imaging potential to monitor and predict agronomic characteristics of different forage associations. *Agronomy*, 11(9), 1697.
- Peters, Michael, Franco, Luis Horacio, Schmidt, Axel, Hincapie, Belisario. (2011). *Especies forrajeras multipropósito: opciones para productores del trópico americano*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ); Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GIZ), Cali, CO. vii, 212 p. (Publicación CIAT no. 374)
- Purty R. S., G. Kumar, S. L. Singla-Pareek and A. Pareek (2008) Towards sa-linity tolerance in *Brassica*: an overview. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 14:39-49.
- Pavani, S., Rekha, K. B., Babu, S. N., y Moguloju, M. (2013). Effect of nitrogen and sulphur on growth, yield and quality of sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Crop Research*, 45(1to3), 152-154.
- Rakeih N., Kayya, H. Larb A. and Habib N. 2010. Forage yield and competition indices of triticale and barley mixed intercropping with common vetch and grasspea in the Mediterranean Region. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 6(2):194-207.

- Reta S., D. G., J. S. Serrato C., R. Figueroa V., J. A. Cueto W., S. Berumen P. y J. Santamaría C. (2008) Cultivos alternativos con potencial de uso forrajero en la Comarca Lagunera. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP-CIRNOC-CELALA. Torreón, Coah. 268 p.
- Reta-Sánchez, D. G., Figueroa-Viramontes, U., Faz-Contreras, R., Núñez-Hernández, G., Gaytán-Mascorro, A., Serrato-Corona, J. S., y Payán-García, J. A. (2010). Sistemas de producción de forraje para incrementar la productividad del agua. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(Especial\_4), 83. [https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial\\_4.83](https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial_4.83).
- Reta S., D. G., U. Figueroa V., J. S. Serrato C., H. M. Quiroga G., A. Gaytán M. y J. A. Cueto W. (2015) Potencial forrajero y productividad del agua en patrones de cultivos alternativos. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 6:153-170.
- Reta-Sánchez, D. G., Serrato-Corona, J. S., Quiroga-Garza, H. M., Figueroa-Viramontes, U., Gaytán-Mascorro, A., y Cueto-Wong, J. A. (2016). Respuesta de canola para forraje a la densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(3), 253-258.
- Reta-Sánchez D. G., J. S. Serrato-Corona, H. M. Quiroga-Garza, U. Figueroa-Viramontes y A. Gaytán-Mascorro (2017) Potencial forrajero de cultivares de canola primaverales e invernales en la Comarca Lagunera, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 40:227-233.
- Reyes Sánchez, N., y Mendieta Araica, B. (2000). Determinación del valor nutritivo de los alimentos. Repositorio Institucional RIUNA (Nicaragua), 1-77, <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/3125>.
- Ross, S. M., King, J. R., O'Donovan, J. T., y Spaner, D. (2004). Forage Potential of Intercropping Berseem Clover with Barley, Oat, or Triticale. *Agronomy Journal*, 96(4), 1013–1020. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.1013>.
- Ruiz C. J. A., G. Medina G., I. J. González A., H. E. Flores L., G. Ramírez O., C. Ortiz T., K. F. Byerly M. y R. A. Martínez P. (2013) Requerimientos Agroecológicos

de Cultivos. 2ª edición. Libro Técnico Núm. 3. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, Centro de Investigación Regional Pacífico, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.

Rukundo, I. R., Danao, M. G. C., Mitchell, R. B., Masterson, S. D., y Weller, C. L. (2021). Comparing the use of handheld and benchtop NIR spectrometers in predicting nutritional value of forage. *Applied Engineering in Agriculture*, 37(1), 171-181.

Rasool, F. U., Hasan, B., Jahangir, I. A., Ali, T., y Mubarak, T. (2013). Nutritional yield and economic responses of sunflower (*Helianthus annuus L.*) to integrated levels of nitrogen, sulphur and farmyard manure. *Journal of Agricultural Sciences–Sri Lanka*, 8(1).

Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M.B., Hashemi, M. (2013). Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. *Field Crops Research*, (148); 43-48. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.021>.

Salazar Moya, A. M. (2016). Implementación del Método Kjeldahl para la determinación de proteína para diferentes matrices en el Laboratorio ECUACHEMLAB Cía. Ltda (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería Bioquímica).

Santillano-Cázares, J., Núñez-Ramírez, F., Ruíz-Alvarado, C., Cárdenas-Castañeda, M. E., y Ortiz-Monasterio, I. (2018). Assessment of Fertilizer Management Strategies Aiming to Increase Nitrogen Use Efficiency of Wheat Grown Under Conservation Agriculture. *Agronomy*, 8(12), 304. <https://doi.org/10.3390/agronomy8120304>.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) (2022) Recuperado el 20 de enero de 2022. Presenta cosecha de alfalfa, una producción de 265 mil 555

toneladas | Delegación SADER Baja California | Gobierno | gov.mx (www.gob.mx) Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) (2022) Recuperado el 21 de enero de 2022. Evalúan productores de maíz del Valle de Mexicali 4 variedades de semilla: Secretaría de Agricultura | Delegación SADER Baja California | Gobierno | gov.mx ([www.gob.mx](http://www.gob.mx))

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2023) recuperado el 22 de febrero de 2023. Avance de Siembras y Cosechas. [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/).

Sistema de Información para el manejo de agua de Riego de Baja California (SIMARBC) (2024) Recuperado el 28 de agosto de 2024. Red de estaciones agroclimáticas: Sistema de Información para el Manejo de Agua de Riego en Baja California. <https://www.simarbc.gob.mx>.

Staniak, M., Księżak, J., & Bojarszczuk, J. (2014). *Organic agriculture towards sustainability*. Mixtures of legumes with cereals as a source of feed for animals, edited by Vytautas Pilipavicius.

Salama, H. S. A. (2019). Yield and nutritive value of maize (*Zea mays L.*) forage as affected by plant density, sowing date and age at harvest. *Italian Journal of Agronomy*, 14(2), 114-122.

Tassone, S., Fortina, R., y Peiretti, P. G. (2020). *In vitro* techniques using the DaisyII incubator for the assessment of digestibility: A review. *Animals*, 10(5), 775.

Tilley, J. M. A., y Terry, D. R. (1963). A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and Forage Science*, 18(2), 104-111.

Torres, G., Arbaiza, T., Carcelén, F., & Lucas, O. (2009). Comparación de las técnicas *in situ*, *in vitro* y enzimática (celulasa) para estimar la digestibilidad de forrajes en ovinos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 20(1), 5-9.

Tamayo Morales, A. G. (2023). *Caracterización morfológica, patogénica y molecular del agente causal de la roya blanca en girasol (Helianthus annuus L.)*. URI:

<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/37817>, Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Ambato.

Tánori-Lozano, A., López-Baca, M. Á., Muhlia-Almazán, A., Montalvo-Corral, M., Pinelli-Saavedra, A., Islava-Lagarda, T. Y., ... & González-Rios, H. (2024). Ferulic Acid and Clinoptilolite Affect *In vitro* Rumen Fermentation Characteristics and Bacterial Abundance.

Undersander, D. (2003). Pea and small grain mixtures. *Seeds, Focus on Forage*, 4(8), 12.

Van Soest, P.J. (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. *Journal of the Association of official Agricultural Chemists*, 46(5), 829-835. <https://doi.org/10.1093/jaoac/46.5.829>.

Villegas, D. M., Velasquez, J., Arango, J., Obregon, K., Rao, I. M., Rosas, G., y Oberson, A. (2020). Urochloa grasses swap nitrogen source when grown in association with legumes in tropical pastures. *Diversity*, 12(11), 419.

Vieira, E. M., Albuquerque, C. J. B., Rigueira, J. P. S., Gomes, V. M., de Oliveira Coelho, M. A., Júnior, V. R. R. R., ... y Gomes, M. L. R. (2022). Produção e valor nutricional de cultivares de trigo e triticale em diferentes épocas de colheita no semiárido mineiro. *Semina: Ciências Agrárias*, 43(1), 381-396.

Weiss, W. P., y Hall, M. B. (2020). Laboratory methods for evaluating forage quality. *Forages: The Science of Grassland Agriculture*, 2, 659-672.

Widodo, A. E., Nolan, J. V., y Iji, P. A. (2015). The nutritional value of new varieties of high-yielding triticale: Nutrient composition and *in vitro* digestibility. *South African Journal of Animal Science*, 45(1), 60-73.

Yu, P., Christensen, D. A., y McKinnon, J. J. (2004). In situ rumen degradation kinetics of timothy and alfalfa as affected by cultivar and stage of maturity. *Canadian Journal of Animal Science*, 84(2), 255-263.

- Yescas, C. p., Segura, C., Martinez, C., Álvarez, R., Montemayor, T., Orozco, V., y Frías, R. (2015). Rendimiento y calidad de maíz forrajero (*Zea mays L.*) con diferentes niveles de riego por goteo subsuperficial y densidad de plantas. *Phyton* (Buenos Aires), 84(2), 272-279.
- Zurita Morejón, D. G. (2024). *Uso de forrajes en la alimentación de interés zootécnico*, URI: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16284>. Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo.
- Zenteno San Miguel, C. S. (2019). *Validación del método analítico para determinar proteína cruda en harina de quinua por MICRO KJELDAHL (Doctoral dissertation)*. URI: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/25281>. Tesis de Maestría, Universidad Mayor de San Andrés.
- Zambrano, P. (2019). Recuperado el 24 de setiembre de 2024. Agrotendencia.tv. Obtenido de <https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivo-de-girasol/>.