

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y ANIMAL
LICENCIATURA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

PROYECTO DE SERVICIO SOCIAL

Efecto del proceso de ensilaje sobre la digestibilidad *in vitro* de arvenses para su uso potencial en la alimentación de ganado ovino

Prestador de Servicio Social:

Pastrana González Vianey.

Matrícula: 2133060001

Asesor Interno:

Dr. Germán David Mendoza Martínez

No. Económico: 12305

Firma 

Asesor Externo:

Dra. María Denisse Montoya Flores

Cédula Profesional 12764155

Firma Denisse Montoya Flores

Lugar de realización:

CENID en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP. Km. 1, Carretera a Colón, Col. Ajuchitlán, Colón, Querétaro, C.P. 76280.

Fecha de inicio y terminación:

Del 25 de abril del 2022 al 25 de octubre del 2022.

Índice

1. Introducción.....	4
2. Marco teórico	5
2.1 Sistema de producción de ovinos en México	5
2.2 Arvenses y sus beneficios	6
2.3 Alimentación de ganado ovino con arvenses.....	7
3. Planteamiento del problema y justificación.....	8
4. Objetivo general	9
4.1 Objetivos específicos	9
5. Métodos	10
6. Actividades realizadas.....	10
6.1 Para la digestibilidad <i>in vitro</i> mediante la técnica de DaisyII®-Ankom Technology	10
6.1.1 Procesamiento de muestras	10
6.1.2 Procedimiento para obtención de líquido ruminal	11
6.1.3 Digestibilidad <i>in vitro</i> en jarras de digestión	11
6.2 Actividades realizadas para la técnica de producción de gas <i>in vitro</i>	14
6.3 Diseño experimental	15
6.3.1 Para la digestibilidad <i>in vitro</i> con la técnica DaisyII®-Ankom Technology	15
6.3.2 Para la producción de gas <i>in vitro</i>	16
6.4 Análisis estadístico	16
6.4.1 Para la digestibilidad <i>in vitro</i> con la técnica DaisyII®-Ankom Technology	16
6.4.2 Para describir dinámica de producción acumulativa de gas <i>in vitro</i>	17
7. Metas alcanzadas	19
8. Resultados	20
8.1 Digestibilidad <i>in vitro</i> con la técnica DaisyII®-Ankom Technology	20
8.2 Dinámica de producción de gas <i>in vitro</i> acumulada	24
9. Discusión.....	29

9.1 Digestibilidad <i>in vitro</i> con la técnica DaisyII®-Ankom Technology	29
9.2 Producción de gas <i>in vitro</i>	31
10. Conclusiones.....	35
11. Recomendaciones.....	36
12. Bibliografía	37

1. Introducción

En el centro de México la producción ovina se realiza a pequeña escala, tradicionalmente bajo sistemas de pastoreo que se caracterizan por el escaso manejo en áreas de reproducción, nutrición animal, programa sanitario e instalaciones que definen su baja productividad (Hernández, 2017). Aunque todas las áreas requieren atención para promover la productividad de este sistema, se puede comenzar con la implementación de estrategias nutricionales que incluyan el uso de suplementos disponibles en la región y accesibles para el productor (Díaz *et al.*, 2021).

En los campos de cultivo se desarrollan diversas especies de arvenses que compiten por nutrientes e interfieren en el crecimiento y rendimiento del cultivo principal (Mascorro *et al.*, 2019). Sin embargo, algunas arvenses también confieren beneficios para el agroecosistema donde se desarrollan; evitan la erosión del suelo y la lixiviación de nutrientes gracias a su sistema radicular profundo, proporcionan sombra, contribuyen a regular la temperatura y conservación de la humedad, participan en el ciclo de nutrientes, promueven interacciones con especies herbívoras – polinizadores y facilitan la infiltración de agua al suelo (Scavo y Mauromicale, 2020). Las arvenses consumidas por humanos son conocidas como quelites (Ramos *et al.*, 2018). Por otra parte, la disponibilidad de arvenses en épocas específicas del año permite que los pequeños productores utilicen las partes aéreas como forraje para el ganado (Martínez *et al.*, 2017). Por las ventajas mencionadas se considera a las arvenses como un elemento manejable del agroecosistema y se debe recurrir a estrategias de manejo que permitan su control y no su erradicación.

El manejo integrado de arvenses propone como método de control el corte y posteriormente el ensilaje, este proceso permite conservar el forraje (Xue *et al.*, 2019). Realizar el ensilaje de arvenses genera dos beneficios directos para el productor; el control sobre las arvenses en sus terrenos y obtener una fuente de forraje para alimentar a su ganado.

La composición química de especies arvenses ha sido evaluada en diversos estudios. Por ejemplo, se ha identificado que algunas especies tienen potencial forrajero como la *Tithonia tubiformis*, *Cosmos bipinnatus* y *Tagetes lucida* (Díaz *et al.*, 2021). Este trabajo coincide con lo reportado por Piltz y colaboradores (2017), determinaron que la especie *Tagetes lucida* incluida en la dieta de ganado ovino presentó un incremento

en 18% de proteína. Otros autores como Rodríguez y colaboradores (2017) identificaron que la especie arvense *Malva parviflora* L. tiene potencial forrajero al presentar una concentración de proteína cruda del 22%, considerando a esta planta como un forraje alto en proteína. Sin embargo, se requiere mayor cantidad de estudios sobre digestibilidad que permitan identificar la composición de nutrientes que están presentes en especies arvenses que tienen mayor presencia en los cultivos de uso agrícola. Por tal motivo, el objetivo de este proyecto de servicio social es comparar la digestibilidad *in vitro* de tres especies de arvenses (*Amaranthus viridis*), quelite cimarrón (*Chenopodium berlandier*) y malva (*Malva parviflora*) en condición fresca y ensiladas.

2. Marco teórico

2.1 Sistema de producción de ovinos en México

Los sistemas de producción ovina en México se desarrollan en varias regiones y difieren en varios aspectos, tales como; la genética del rebaño, las prácticas de manejo, los recursos alimenticios, su escala de producción y la infraestructura de la unidad de producción (Calderón, 2020; Partida de la Peña *et al.*, 2017; Vázquez *et al.*, 2018). Esta combinación de factores es dinámica y se ve influenciada por la orientación hacia el mercado, clima y nivel socioeconómico del productor (Calderón, 2020).

Se puede clasificar a los sistemas de producción ovina en base a la forma de criar y alimentar al ganado en extensivo, semi-intensivo e intensivo (Calderón, 2020; Martínez *et al.*, 2017).

- Extensivo: Es el principal sistema de producción de ovinos en el país. Los animales se alojan en corral por las noches y durante el día se pastorean en praderas o áreas de carácter ejidal, comunal, etcétera. No se considera la carga animal, complementación con premezclas minerales y el manejo sanitario es nulo (Martínez *et al.*, 2017). El productor construye los corrales con materiales de la región, no incluye estrategias para el manejo reproductivo, hembras y machos están dentro del mismo corral todo el año (Estevez *et al.*, 2019). El tamaño de los rebaños generalmente varía entre 10 y 200 cabezas que se emplean para autoconsumo (Vázquez *et al.*, 2018).

- Semi-intensivo: El pastoreo es la base de alimentación del rebaño, y se complementa con un concentrado proporcionado en corral. Se realizan prácticas de manejo como la aplicación de vacunas, vitaminas y desparasitantes, aunque sin un control productivo específico. El objetivo principal es obtener ovinos para abasto o para pie de cría (Martínez *et al.*, 2017; Vázquez *et al.*, 2018).
- Intensivo: En este sistema los ovinos se encuentran estabulados todo el ciclo productivo, la finalidad es la engorda de corderos y producción para pie de cría (Martínez *et al.*, 2017). En el caso de producción de ovinos para carne, la dieta se adecua en cada etapa de crecimiento para lograr una mejor conversión alimenticia (Calderón, 2020). Otras características del sistema incluyen alta inversión de capital en material genético y manejo reproductivo, la formulación de dietas y mayor inversión en la infraestructura (Coronado *et al.*, 2019; Martínez *et al.*, 2017).

El objetivo de la crianza de ganado ovino es la rentabilidad y el producto final más relevante es la carne destinada al consumo humano principalmente como barbacoa, la cual aporta de valiosos nutrientes para la salud, como proteínas, vitaminas, minerales y micronutrientes (Hernández, 2017).

2.2 Arvenses y sus beneficios

Las arvenses, también conocidas como “malezas” o “malas hierbas” son plantas que “crecen donde no se desea”, están presentes en carriles, camellones, orillas de caminos, terrenos sin cultivar e incluso se ha identificado su presencia en zonas de cultivos agrícolas (Scavo y Mauromicale, 2019). Baker (1965) estableció características de una “maleza ideal” entre las que destacan su capacidad para germinar en condiciones ambientales adversas, la capacidad para diversificar sus órganos de propagación, alta producción de semillas, germinación discontinua, el rápido crecimiento desde la fase vegetativa hasta la floración, su capacidad competitiva respecto a otras plantas y su actividad alelopática. En el transcurso del tiempo estas características les han conferido varios usos; se han identificado especies de arvenses con propiedades medicinales, con potencial insecticida y también se han designado como alimento para humanos y especies animales a las que se les denomina quelites por su condición de comestible (Ramos *et al.*, 2018).

A través de diversas investigaciones se han identificado los beneficios directos de las arvenses sobre el suelo donde se desarrollan. Las arvenses con un sistema radicular profundo y extenso como los que presentan las especies *Digitaria spp.*, *Cynodon spp.*, *Agropyron spp.* y *Echinochloa crus-galli (L.)* pueden mejorar la conformación del suelo al reducir la erosión, evitar la lixiviación de minerales, conservar la humedad, incrementar la infiltración y la capacidad de retención de agua (Scavo y Mauromicale, 2019). El ensilaje como método de conservación de arvenses es una estrategia incluida en el manejo integrado de malezas (Integrated Weed Management, IWM por sus siglas en inglés). El corte de arvenses ha mostrado reducir el número de semillas producidas por planta, al disminuir el número de macollos. Las arvenses que han sido cortadas pueden conservarse a través del henificado o se pueden brindar como alimento fresco al ganado. Sin embargo, estas dos presentaciones son una fuente potencial de propagación de semillas viables, ya que las semillas que no se consumen caerán al suelo para comenzar nuevamente el ciclo de germinación (Piltz *et al.*, 2021).

El proceso de ensilaje aplicado a las arvenses ofrece una ventaja adicional en comparación con arvenses frescas o henificadas ya que la mayoría de las semillas se vuelven inviables, con un porcentaje de germinación inferior al 2% (Piltz *et al.*, 2017; Piltz *et al.*, 2019). El proceso de conservación de biomasa a través del ensilaje se ha integrado recientemente como estrategia dentro del IWM (Han *et al.*, 2021) con el objetivo de conservar o mejorar el valor nutritivo de la arvense durante el almacenamiento.

2.3 Alimentación de ganado ovino con arvenses

Dentro de los costos de producción, los costos de alimentación representan hasta un máximo del 80%. Por lo tanto, la rentabilidad de la producción ovina presenta una dependencia alta de los insumos que se utilizan en la alimentación, por lo que es conveniente contar con opciones de menor costo disponibles de la región (Castillo *et al.*, 2017). Martínez y colaboradores (2017) mencionan que los productores de pequeña escala en las zonas templadas de México emplean arvenses en la dieta de rumiantes debido a que existe gran disponibilidad durante épocas específicas del año. Buendía y colaboradores (2021b) usaron una mezcla de las arvenses: quelite (*Amaranthus viridis*), quelite cimarrón (*Chenopodium berlandier*) y malva (*Malva parviflora*) ensiladas para suplementar la dieta en ganado ovino con una inclusión del

30% del consumo. Los resultados mostraron que se puede alimentar a ovinos en finalización y mantener ganancias de peso similares al uso de ensilado de maíz.

Buendía y colaboradores (2020a) también realizaron un análisis de la composición química de las arvenses. Se encontró que los valores de materia seca, materia orgánica y energía se mantienen en estado fresco y al ensilar. No obstante, se identificó un decremento de los valores de proteína cruda en las tres arvenses, así como un incremento de la fibra detergente neutro y la fibra detergente ácida en las arvenses ensiladas, los valores se observan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Análisis químico proximal de arvenses con corte al inicio de la floración.

Especie	Tratamiento	Porcentaje					
		MS	MO	PC	FDN	FDA	EB*
Quelite	Fresco	63	75	25	26	19	3.4
	Ensilaje	64	79	16	44	30	3.6
Quelite cimarrón	Fresco	63	71	27	21	16	3.2
	Ensilaje	64	76	19	41	28	3.5
Malva	Fresco	69	81	24	29	24	3.8
	Ensilaje	65	81	18	46	29	3.8

MS: Materia Seca, MO: Materia Orgánica, PC: Proteína Cruda, FDN: Fibra Detergente Neutra, FDA: Fibra Detergente Ácida, EB: Energía Bruta, *Kilo calorías/ gramo de Materia seca (Buendía *et al.*, 2020b).

A partir de estos resultados, es necesario estimar el comportamiento de los nutrientes en el proceso digestivo para identificar la proporción que es absorbida por el animal, lo anterior ayudará a elegir las arvenses eficientes para complementar los requerimientos nutricionales de los ovinos.

3. Planteamiento del problema y justificación

La presencia de arvenses se asocia con las pérdidas de rendimiento en los cultivos y su control se ha basado principalmente en la aplicación de herbicidas de origen sintético que producen compuestos tóxicos que han favorecido la resistencia de las arvenses a sustancias activas de los herbicidas. Bajo ese escenario, actualmente se propone contemplar prácticas sostenibles con el ambiente que reduzcan el uso de herbicidas y paralelamente permitan aprovechar los beneficios de las arvenses, pues se ha demostrado que, a baja densidad, contribuyen a mantener la biodiversidad y mejoran la composición del suelo donde se desarrollan. Por tal motivo, las arvenses se deben considerar como parte integral de un agroecosistema.

Aunque en nuestro país el manejo integrado de malezas está poco adaptado, el control directo por métodos mecánicos es una actividad realizada con regularidad por pequeños productores que emplean las arvenses como alimento para pequeños rumiantes, especialmente ovinos. Dentro de este manejo se han identificado arvenses con potencial forrajero y se ha propuesto su conservación a través del ensilaje. Esta técnica minimiza la pérdida de materia seca y preserva la digestibilidad de los nutrientes en comparación con el cultivo fresco.

Diversos estudios han mostrado que las arvenses en estado fresco tienen una composición química semejante a especies forrajeras, sin embargo, esto no determina la disponibilidad de los nutrientes para un rumiante, por lo tanto, se requieren estudios que permitan estimar la digestibilidad de arvenses sin procesar (en estado fresco) y sometidas al ensilaje para determinar si existe un efecto de este proceso en la digestión de los nutrientes.

4. Objetivo general

Determinar el efecto del proceso de ensilaje sobre la digestibilidad *in vitro* de tres arvenses.

4.1 Objetivos específicos

- Cuantificar la digestibilidad *in vitro* de materia orgánica, proteína cruda y fibra detergente neutro del quelite en estado fresco y ensilado.
- Cuantificar la digestibilidad de materia orgánica, proteína cruda y fibra detergente neutro del quelite cimarrón en estado fresco y ensilado.
- Cuantificar la digestibilidad de materia orgánica, proteína cruda y fibra detergente neutro de la malva en estado fresco y ensilado.
- Calcular la dinámica de producción acumulativa de gas *in vitro* del quelite en estado fresco y ensilado.
- Calcular la dinámica de producción acumulativa de gas *in vitro* del quelite cimarrón en estado fresco y ensilado.
- Calcular la dinámica de producción acumulativa de gas *in vitro* de la malva en estado fresco y ensilado.

5. Métodos

El estudio se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal (CENID-FyMA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Ubicado en el km 1 Carretera a Colón, Ajuchitlán, Querétaro.

Las especies de arvenses evaluadas fueron quelite (*Amaranthus viridis*), quelite cimarrón (*Chenopodium berlandier*) y malva (*Malva parviflora*).

El estudio contempló dos tipos de muestras: arvenses sometidas a conservación mediante la técnica de ensilaje en los periodos 1 y 2 de cosecha, y arvenses sin ensilar (en fresco) en los periodos 1 y 2 de cosecha.

En un estudio previo realizado por Buendía y colaboradores (2021a) se determinó la composición química del quelite, quelite cimarrón y malva, en continuación con estas muestras, en el presente trabajo se midió la concentración de los nutrientes en las arvenses ensiladas y sin ensilar durante el proceso de digestibilidad *in vitro*.

6. Actividades realizadas.

6.1 Para la digestibilidad *in vitro* mediante la técnica de DaisyII®-Ankom Technology

El principio de digestibilidad consiste en establecer condiciones de incubación semejantes a las condiciones *in vivo* del proceso de fermentación ruminal. De acuerdo con lo descrito en el Manual operador de Daisy II - Incubator Ankom Technology, se emplearon bolsas filtro (F57, Ankom) con un tamaño de poro de 5µm se agregaron aproximadamente 0.5 g de muestra.

6.1.1 Procesamiento de muestras

1. Las bolsas vacías de incubación se colocaron en un desecador con acetona a temperatura ambiente.
2. Cada bolsa se pesó y el peso se registró en una bitácora.
3. La balanza se taró a cero y se pesaron 0.5 g de muestra (previamente molida con un tamaño de partícula de 1mm) colocándola directamente dentro de la bolsa.
4. La bolsa fue sellada térmicamente y se mantuvo en el desecador.

6.1.2 Procedimiento para obtención de líquido ruminal

El líquido ruminal se obtuvo de 3 ovinos con un peso promedio de 50 kg. Los animales se alimentaron durante 15 días con una dieta de concentrado (40%) y heno (60%).

Se utilizó un recipiente con agua a temperatura de 39 °C para resguardar los contenedores de líquido ruminal. Para la extracción, se empleó una sonda provista con orificios en el extremo de contacto con el rumen para evitar que los restos de alimentos obstruyeran el paso de líquido. La sonda fue introducida vía oral con apoyo de un abreboza para facilitar el acceso al esófago. Al otro extremo de la sonda, se colocó un matraz Kitasato que resguardó la muestra mientras se empleó una bomba de succión para facilitar la extracción. La colección se realizó a las 08:00 am teniendo a los ovinos en ayuno y se obtuvo una muestra de 500 ml de líquido ruminal. Una vez obtenida la muestra de líquido ruminal, se trasladó al laboratorio donde se licuó por 30 segundos y se filtró a través de una tela de algodón cuidando en todo momento el suministro de CO₂. En una probeta graduada se midió una muestra de 400 ml de líquido ruminal a la que se le agregaron 30 segundos de CO₂. Posteriormente, el líquido se agregó a la jarra de digestibilidad y se realizó la saturación con CO₂ por 30 segundos.

6.1.3 Digestibilidad *in vitro* en jarras de digestión

La digestibilidad se realizó en jarras de digestión, cada una con capacidad de 2 litros, a las que se les adicionó la solución compuesta (Cuadro 2). Cada jarra de digestión contenía la solución A (1.330 L) y solución B (0.270 L), ajustada a un pH de 6.8.

Cuadro 2. Descripción de la solución compuesta para la digestibilidad en equipo Daisy II.

Solución	Fórmula química	Nombre del reactivo	Cantidad g/L
A	KH ₂ PO ₄	Fosfato de Potasio Monobásico	10.0
	MgSO ₄ 7H ₂ O	Sulfato de Magnesio	0.5
	NaCl	Cloruro de Sodio	0.5
	CaCl ₂ 2H ₂ O	Cloruro de Calcio	0.1
	CH ₄ N ₂ O	Urea	0.5
B	Na ₂ CO ₃	Carbonato de Sodio	1.0
	NaC ₁₂ H ₂₅ SO ₄	Lauril Sulfato de Sodio	30.0

1. Se prepararon las soluciones A y B para la solución compuesta de las 4 jarras que fueron colocadas en la incubadora a una temperatura de 39 ± 0. 5° C.

2. Para cada jarra preparada con las soluciones A y B y con 400 ml de líquido ruminal se colocaron 23 bolsas más dos bolsas sin muestra (blanco), procurando colocar a cada lado del separador la mitad de las bolsas.
3. Se realizó el proceso en cada jarra de digestión.
4. Las jarras de digestión ya cerradas se colocaron en el incubador Daisy previamente calentado a $39 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y se inició la incubación por 48 horas.
5. Transcurridas las 48 horas se desechó la mezcla de líquido ruminal y solución compuesta, las muestras fueron enjuagadas con agua fría manualmente.
6. El total de las muestras se dividió en dos bloques para su secado, el primer bloque fue de las muestras a las que se realizó análisis de cenizas para calcular la digestibilidad de la materia orgánica y otro grupo de muestras para realizar análisis secuencial de FDN, ingresaron a una estufa con temperatura de 100°C . El segundo bloque de bolsas para secado ingresaron a una estufa con temperatura de 50°C , se incluyó las muestras a las que se determinó posteriormente proteína cruda.

Ambos grupos de secado permanecieron en estufa hasta obtener peso constante. Los datos obtenidos fueron registrados en una bitácora y a continuación se pasaron a una hoja de cálculo en el programa Excel para realizar el acomodo de datos previo al análisis de datos.

La fórmula empleada para estimar la digestibilidad de la materia seca (DMS), se realizó de acuerdo con la metodología de Daisy II - Incubator Ankom Technology:

$$DIVMS = 100 - (W_3 - (W_1 \times C_1) / (W_2)) \times 100$$

Donde:

W_1 = Peso de la bolsa

W_2 = Peso de la muestra

W_3 = Peso de la muestra seca = incubación

C_1 = Peso de la bolsa corregida (peso del blanco final/peso del blanco inicial)

Finalmente, las muestras designadas para obtener la digestibilidad de la materia orgánica (DMO) fueron colocadas en una mufla a 600°C durante 3 horas, para determinar el contenido de cenizas y calcular la materia orgánica residual de acuerdo

con el Método Oficial (942.05) de la AOAC (1990), la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica se calculó por diferencia de peso entre la materia orgánica inicial y la materia residual.

Las muestras destinadas para análisis de Digestibilidad de Proteína Cruda (DPC) fueron analizadas con el protocolo Kjeldahl de acuerdo con el Método Oficial (991.20) de la AOAC (1995).

Las muestras destinadas al análisis de Digestibilidad FDN (DFDN) fueron analizadas de acuerdo con la metodología Van Soest (1970) adaptado para Ankom 2000 Technology.

Se realizó el cálculo de las fracciones de proteína: proteína ingerida digestible en rumen (Degraded intake protein rumen, DIPR) y proteína ingerida no digestible en rumen (Undegraded intake protein rumen, UIPR) de acuerdo con National Research Council (NRC, 2007).

$DIPR + UIPR = 100\%$ de PC en la ración

$DIPR = PC \times \% \text{ DIPR en la ración} / 100$

$UIPR = PC \times \% \text{ UIPR en la ración} / 100$

Donde:

PC= Proteína cruda

DIPR= Proteína ingerida digestible en rumen

UIPR= Proteína ingerida no digestible en rumen

Para realizar el cálculo de proteína metabolizable se empleó la fórmula de NRC (2001).

$PM \text{ (g/kg MS)} = PCB^* + UIPR$

Donde:

PM: Proteína Metabolizable

PCB*: Proteína Cruda Bacteriana calculada a partir de la Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica x 0.13

UIPR: Proteína ingerida no digestible en rumen

Se realizó el cálculo de energía metabolizable con la fórmula propuesta por McDonald y colaboradores (2002).

$$\text{EMc (MJ/kg de MS)} = 0.16 \times \text{DIVMO (\%)}$$

Donde:

EMc: Energía Metabolizable calculada

DIVMO: Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica.

6.2 Actividades realizadas para la técnica de producción de gas *in vitro*

La producción de gas *in vitro* se analizó según la técnica descrita por Theodorou *et al.* (1994), con las modificaciones de Posada *et al.*, (2006).

Medio de cultivo: Compuesto por solución buffer, solución de macrominerales, solución de micro minerales, solución reductora y resarzurina (Goering y Van Soest, 1970).

Inóculos: Se recolectó líquido ruminal de dos bovinos provistos con cánula ruminal.

Se usaron botellas de vidrio de 100 ml, con tapón hermético de goma; cada una contenía 0.5 g de la muestra correspondiente a cada tratamiento y 45 ml de medio de cultivo y 5 ml de líquido ruminal. Estas botellas fueron colocadas en un baño María, con agitación constante y durante la prueba se mantuvo una temperatura de $39 \pm 1^\circ\text{C}$.

Lecturas de producción de gas. La presión originada por la acumulación de gases en los frascos se midió con un medidor de presión (Sper Scientific) acoplado a un transductor de presión (PS100-2BAR). Las lecturas de producción de gas se realizaron a las 3, 6, 9, 12, 24, 30, 48, 54, 72 horas de fermentación. Para convertir los valores de presión obtenidos en libras por pulgada cuadrada (psi) a unidades de volumen (ml), se utilizó la siguiente ecuación obtenida de la regresión lineal de los datos obtenidos.

$$Y=(6.89127*X) + 0.52525; (p < 0,0001; R2 = 0.98)$$

Donde:

Y = Volumen de gas (ml).

X = Presión de gas en libras por pulgada cuadrada (psi).

El contenido de cada frasco incubado con los tratamientos fue filtrado con papel filtro por medio de una bomba de succión, y secado en un horno a 100 °C por 24 horas. Posteriormente las muestras en el papel filtro se conservaron en un desecador a temperatura ambiente durante 1 hora y se pesaron. Los datos obtenidos fueron registrados en una bitácora y posteriormente se pasaron a una hoja de cálculo en el programa Excel para realizar el acomodo de datos previo al análisis de datos.

La fórmula empleada para estimar la digestibilidad de la materia seca *in vitro* (DMS), se describe a continuación:

$$DIVMS = 100 - (W_3 - (W_1 \times C_1) / (W_2)) \times 100$$

Dónde:

W₁= Peso del filtro

W₂= Peso de la muestra

W₃= Peso de la muestra seca

C₁ = Peso del filtro corregido (peso del blanco final/peso del blanco inicial)

Se realizó el cálculo de la energía metabolizable con la fórmula propuesta por Makkar (2002).

$$EM \text{ (MJ/kg de MS)} = 2.20 + 0.136 \cdot GV + 0.057 \cdot PC$$

Donde:

EM = Energía Metabolizable medido en MJ/kg de MS

GV = Producción de gas neta en ml de 200 mg de MS

PC = Proteína Cruda en g/ kg de materia seca

6.3 Diseño experimental

6.3.1 Para la digestibilidad *in vitro* con la técnica DaisyII®-Ankom Technology

Las variables de respuesta de cada especie de arvenses fueron los porcentajes de digestibilidad *in vitro* para MS (Materia Seca), MO (Materia Orgánica), PC (Proteína

Cruda) y FDN (Fibra Detergente Neutro) y las fracciones de proteína ingerida degradable en rumen (DIPR), proteína ingerida no degradable en rumen (UIPR), proteína metabolizable (PM) y energía metabolizable (EM).

Fueron sometidas a un análisis de varianza bajo un diseño factorial aleatorizado de 2 x 2 x 3. Se consideraron como factores los siguientes: Factor T (Tratamiento) = Muestras ensiladas y en fresco, Factor P (Periodo) = De corte 1 y corte 2, Factor I (Inóculo)= Líquido ruminal proveniente de diferente animal, 1, 2 y 3.

6.3.2 Para la producción de gas *in vitro*

En cada tiempo de incubación (48 y 72 h) se incluyeron tres réplicas por tratamiento. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado, y las variables dependientes fueron la producción de gas, la digestibilidad de la MS y las variables de cinética de producción de gas.

6.4 Análisis estadístico

6.4.1 Para la digestibilidad *in vitro* con la técnica DaisyII®-Ankom Technology

El análisis estadístico de la digestibilidad de MS, MO, FDN y PC de cada especie se calculó con el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + P_j + I_k + (T \cdot P)_{ij} + (T \cdot I)_{ik} + (P \cdot I)_{jk} + \epsilon_{ijkl}$$

Para $i = 1, \dots, T$, $j = 1, \dots, P$, $k = 1, \dots, I$, $l = 1, \dots, n$ donde:

Y_{ijkl} = Variable aleatoria que representa la observación del j -ésimo sujeto asignado al tratamiento ijk

μ = es el efecto medio global

T_i = el efecto incremental sobre la media causado por el nivel i del Tratamiento

P_j = el efecto incremental sobre la media causado por el nivel j del Periodo

I_k = el efecto incremental sobre la media causado por el nivel k del Inóculo

$(T \cdot P)_{ij}$ = el efecto incremental sobre la media causado por la interacción del nivel i del Tratamiento y el nivel de j del Periodo

$(T \cdot I)_{ik}$ = el efecto incremental sobre la media causado por la interacción del nivel i del Tratamiento y el nivel de k del Inóculo

$(P \cdot I)_{jk}$ = el efecto incremental sobre la media causado por la interacción del nivel j del Periodo y el nivel de k del Inóculo

ϵ_{ijkl} = Efecto del error

6.4.2 Para describir dinámica de producción acumulativa de gas *in vitro*

Se empleó el modelo no lineal de Gompertz (Casas *et al.*, 2010). El ajuste de las curvas se realizó con el programa SAS versión 9.4.

$$y = a * \exp(-\exp(b - (c * x)))$$

Donde:

y = producción acumulada de gas a un tiempo x

$a > 0$ = producción máxima de gas

$b > 0$ = diferencia entre el gas inicial y el gas final a un tiempo x

$c > 0$ = tasa específica de acumulación de gas

La aplicación práctica de este modelo requiere la conversión de los parámetros a , b y c en parámetros con significado biológico. Estos son: hora al punto de inflexión (HPI, horas), gas al punto de inflexión (GPI, ml), tasa máxima de producción de gas (TMPG, ml h⁻¹) y fase Lag (FL o establecimiento microbiano, h). Para su estimación se usaron las siguientes fórmulas:

$$HPI = b/c$$

$$GPI = a/e$$

$$TMPG = \frac{(a \cdot c)}{e}$$

$$FL = \left(\frac{b}{c}\right) - \left(\frac{1}{c}\right)$$

Dónde: el valor de e o \exp corresponde al número de Euler ≈ 2.7183 . Las variables medidas (HPI, GPI, TMPG y FL) fueron analizadas con el programa estadístico SAS

versión 9.4. Se consideró un valor estadísticamente significativo de $P < 0.05$. El contraste de medias fue realizado con la prueba de Tukey.

El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ijk}$$

Para $i = 1, \dots, T, j = 1, \dots, P, k = 1, \dots, l, l = 1, \dots, n$ donde:

Y_{ij} = Variable aleatoria que representa la observación j -ésima del i -ésimo tratamiento ij

μ = es el efecto medio global

T_i = el efecto incremental sobre la media causado por el nivel i del Tratamiento

ϵ_{ijk} = Efecto del error

Para determinar el cumplimiento de los supuestos de homocedasticidad y normalidad en los residuales del análisis de varianzas en cada variable se utilizaron las pruebas de Levene y Shapiro-Wilk. En el caso de variables con diferencias en homogeneidad de varianzas o sin normalidad se realizó transformación de los datos. Los análisis fueron realizados bajo el procedimiento de modelos lineales generales. Todos los análisis fueron realizados en el programa estadístico SAS versión 9.4. Se consideró un valor estadísticamente significativo de $P < 0.05$. El contraste de medias se realizó con la prueba de Tukey con un nivel de significación de $P < 0.05$.

7. Metas alcanzadas

Como resultado de este proyecto de servicio social se lograron las siguientes metas.

Se realizó la digestibilidad *in vitro* mediante el equipo DaisyII®-Ankom Technology de la materia seca, materia orgánica, proteína cruda y fibra detergente neutro de los tratamientos ensilados y frescos de las tres arvenses; a partir de esos resultados se pudo calcular la digestibilidad de la proteína y energía metabolizables de cada arvense, esta información es relevante para la nutrición de pequeños rumiantes ya que conocer la proporción de la proteína y energía que están realmente disponibles para el animal permitirá contemplar su inclusión en el balanceo de dietas.

Por otra parte, la dinámica de producción de gas *in vitro* amplió la información sobre la digestibilidad de los tratamientos (fresco y ensilado) y permitió identificar que la especie *Malva parviflora* es la arvense que podría incluirse en investigaciones donde se evalúen los efectos asociativos con otros ingredientes de la dieta.

Finalmente, nos es grato compartir que parte de los resultados de este proyecto fueron presentados en el V Congreso Nacional y III Internacional de Ciencias Agropecuarias del Tecnológico Nacional de México celebrado el pasado 10 diciembre de 2022 en Celaya, Guanajuato.

8. Resultados

8.1 Digestibilidad *in vitro* con la técnica DaisyII®-Ankom Technology

El análisis estadístico general se realizó contemplando las interacciones de Periodo de corte e Inóculo ruminal (Cuadro 3) en cada una de las arvenses, sin embargo, no se encontró efecto significativo y se determinó contemplar solo la variable de Tratamiento (Ensilado y Fresco) en los siguientes análisis por variable.

Cuadro 3. Valor de P para variables e interacciones.

Variable	P-valor
Tratamiento	<.0001
Inóculo ruminal	0.07
Periodo de corte	0.1
Interacción	P-valor
T x I	0.73
T x P	0.08
I x P	0.75

T x I = Tratamiento por inóculo, T x P= Tratamiento por Periodo, I x P= Inóculo por periodo.

En el cuadro 4 se muestra el porcentaje de digestibilidad para MS, MO y FDN de *Amaranthus viridis* (*A. viridis*). En el tratamiento de *A. viridis* ensilado mostró un descenso (14.55%) en digestibilidad de la MS frente al tratamiento fresco (P<0.001). De la misma forma se observó que la digestibilidad de la MO (DMO) es mayor (13.37%) en fresco que en el ensilado (P<0.01). También se observó que la digestibilidad de FDN (DFDN) mostró diferencia estadística (P<0.05) entre tratamientos.

Cuadro 4. Digestibilidad *in vitro* de *Amaranthus viridis*.

Digestibilidad (%)	<i>Amaranthus viridis</i>		EEM	P-valor
	Fresco	Ensilado		
DMS	74.75 ^{a*}	60.20 ^{b*}	1.94	<0.0001
DMO	76.42 ^{a*}	63.05 ^{b*}	2.59	0.0028
DFDN	64.45 ^{a#}	56.16 ^{b#}	0.006	<0.0001

DMS: Digestibilidad de la materia seca; DMO: Digestibilidad de la materia orgánica; DPC: Digestibilidad de la proteína cruda; DFDN: Digestibilidad de la fibra detergente neutro. ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba diferencia mínima significativa (P<0.05). **EEM**: Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: #n= 2, *n= 3, *n= 6, *n=12.

En el Cuadro 5 se muestra la relación del porcentaje de digestibilidad de proteína cruda en rumen (DPCR), la proteína ingerida digestible en rumen (DIPR) y la proteína ingerida no digestible en rumen (UIPR) para *A. viridis*. La digestibilidad de la PC en

rumen fue diferente en *A. viridis* ensilado (9.1% menor) en comparación con *A. viridis* fresco ($P < 0.05$). Tanto DIPR como UIPR muestran valores significativos más altos en *A. viridis* fresco ($P < 0.05$).

Cuadro 5. Porcentajes de digestibilidad *in vitro* de PC y cálculo de DIP y UIP de *Amaranthus viridis*

Variable	<i>Amaranthus viridis</i>		EEM	P-valor
	Fresco	Ensilado		
PC	25	16		
DPCR	69.12 ^{ab}	60.02 ^{ba}	2.13	0.014
DIPR	17.28 ^{ab}	9.60 ^{ba}	1.63	<.0001
UIPR	7.72 ^{ab}	6.40 ^{ba}	0.34	0.0495

PC: Proteína Cruda, DPCR: Digestibilidad de la proteína cruda en rumen, DIPR: Proteína ingerida digestible en rumen, UIPR: Proteína ingerida no digestible en rumen. ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba diferencia mínima significativa ($P < 0.05$). **EEM**: Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: [#]n= 2, [▪]n= 4.

En el cuadro 6 se muestra el porcentaje de digestibilidad para MS, MO y FDN de la especie *Chenopodium berlandier*. (*C. berlandier*). El porcentaje de DMS en *C. berlandier* mostró una disminución del 14.74% en el ensilado respecto al fresco ($P < 0.001$), esta misma situación ocurrió con la DMO donde se observó una reducción de 12.2% frente al *C. berlandier* fresco ($P < 0.001$). La reducción de DFDN entre *C. berlandier* ensilado y fresco presentó también diferencia significativa ($P > 0.05$).

Cuadro 6. Digestibilidad *in vitro* de *Chenopodium berlandier*.

Digestibilidad (%)	<i>Chenopodium berlandier</i>		EEM	P-valor
	Fresco	Ensilado		
DMS	77.28 ^{a*}	62.54 ^{b*}	1.76	<0.0001
DMO	74.22 ^{a*}	62.02 ^{b*}	2.08	0.0002
DFDN	52.22 ^{ab}	48.31 ^{b#}	0.383	0.001

DMS: Digestibilidad de la materia seca; DMO: Digestibilidad de la materia orgánica; DPC: Digestibilidad de la proteína cruda; DFDN: Digestibilidad de la fibra detergente neutro. ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba diferencia mínima significativa ($P < 0.05$). **EEM**: Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: [#]n= 2, ^{*}n= 3, [▪]n= 4, ^{*}n= 6, ^{*}n=12.

En el Cuadro 7 se muestra la relación del porcentaje de digestibilidad DPCR, DIPR UIPR para *C. berlandier*. En el caso de DPCR se observó diferencia significativa ($P < 0.05$) entre *C. berlandier* ensilado y fresco. Sin embargo, se observó que la DIPR en el ensilado de *C. berlandier* presentó una disminución significativa ($P < 0.01$) en relación con *C. berlandier* fresco. En el caso de la UIPR no se observó diferencia entre tratamientos ($P > 0.05$).

Cuadro 7. Porcentajes de digestibilidad *in vitro* de PC y cálculo de DIP y UIP de *Chenopodium berlandier*

Variable	<i>Chenopodium berlandier</i>		EEM	P-valor
	Fresco	Ensilado		
PC	27	19		
DPCR	73.15 ^{ab#}	59.52 ^{b*}	2.18	0.0373
DIPR	19.75 ^{ab#}	11.31 ^{b*}	0.512	0.0003
UIPR	7.25 [#]	7.69 [*]	0.58	0.7595

PC: Proteína Cruda, DPCR: Digestibilidad de la proteína cruda en rumen, DIPR: Proteína ingerida digestible en rumen, UIPR: Proteína ingerida no digestible en rumen. ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba diferencia mínima significativa (P<0.05). **EEM**: Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: [#]n= 2, ^{*}n= 4.

En el cuadro 8 se muestra el porcentaje de digestibilidad para MS, MO y FDN de la especie *Malva parviflora* (*M. parviflora*). La DMS no mostró una diferencia significativa entre ensilado y fresco (P>0.05). De la misma forma la digestibilidad de la MO no se modificó (P>0.05), sin embargo, la DFDN presentó diferencia significativa entre tratamientos (P<0.05).

Cuadro 8. Digestibilidad *in vitro* de *Malva parviflora*.

Digestibilidad (%)	<i>Malva parviflora</i>		EEM	P-valor
	Fresco	Ensilado		
DMS	67.86 [*]	65.63 [*]	1.37	0.1552
DMO	70.33 [*]	65.25 [*]	1.12	0.5938
DFDN	48.06 ^{b#}	55.78 ^{a#}	0.004	<0.0001

DMS: Digestibilidad de la materia seca; DMO: Digestibilidad de la materia orgánica; DPC: Digestibilidad de la proteína cruda; DFDN: Digestibilidad de la fibra detergente neutro. ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba diferencia mínima significativa (P<0.05). **EEM**: Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: [#]n= 2, ^{*}n= 3, ^{*}n= 4, ^{*}n= 6, ^{*}n=12.

En el Cuadro 9 se muestra la relación del porcentaje de DPCR, la DIPR y la UIPR para *M. parviflora*. En el caso de la DPCR mostró una disminución significativa (P<0.05) de 14.13% en *M. parviflora* ensilado respecto al fresco. Así mismo DIPR en el ensilado de *M. parviflora* tuvo una disminución significativa (P<0.001) en comparación con el tratamiento fresco. Por otro lado, la UIPR mostró diferencia significativa entre tratamientos.

Cuadro 9. Porcentajes de digestibilidad de PC y cálculo de DIP y UIP de *Malva parviflora*

Variable	<i>Malva parviflora</i>		EEM	P-valor
	Fresco	Ensilado		
PC	24	18		
DPCR	79.38 ^{ab#}	65.25 ^{b*}	1.13	0.0145
DIPR	19.05 ^{ab#}	11.74 ^{b*}	0.22	<0.0001
UIPR	4.95 ^{b#}	6.26 ^{a*}	0.39	0.036

PC: Proteína Cruda, DPCR: Digestibilidad de la proteína cruda en rumen, DIPR: Proteína ingerida digestible en rumen, UIPR: Proteína ingerida no digestible en rumen. ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba diferencia mínima significativa (P<0.05). **EEM**: Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: #n= 2, *n= 4.

El cálculo de Proteína Metabolizable (PM) por cada arvense se muestra en el cuadro 10. Se observa que en estado fresco *A. viridis* y *C. berlandier* proporcionan una mayor concentración de PM en comparación con el ensilado mientras que para *Malva parviflora* no se observó diferencia significativa (P>0.05).

Cuadro 10. Proteína Metabolizable (g/kg MS) en estado fresco y ensilado.

Especie	Fresco	Ensilado	EEM	P-valor
<i>Amaranthus viridis</i>	17.65 ^{ab#}	14.59 ^{b*}	0.54	<0.0001
<i>Chenopodium berlandier</i>	16.90 ^{ab#}	15.75 ^{b*}	0.21	0.0012
<i>Malva parviflora</i>	14.09 [#]	14.64 [*]	0.40	0.5532

^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba diferencia mínima significativa (P< 0.05). **EEM**: Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: #n= 2, *n= 4.

El cálculo de Energía Metabolizable (EM) por especie se muestran en el Cuadro 11 para cada especie de arvense. En el caso del tratamiento fresco para *A. viridis* y *C. berlandier* contienen mayor concentración de EM (P<0.05) en comparación sus respectivos tratamientos de ensilado. Sin embargo, en *M. parviflora* no se observó diferencia significativa entre tratamientos (P>0.05).

Cuadro 11. Energía Metabolizable (MJ/kg de MS) en estado fresco y ensilado.

Especie	Fresco	Ensilado	EEM	P-valor
<i>Amaranthus viridis</i>	12.23 ^{ab#}	10.09 ^{b*}	0.41	0.0027
<i>Chenopodium berlandier</i>	11.87 ^{ab#}	9.92 ^{b*}	0.12	0.0002
<i>Malva parviflora</i>	11.25 [#]	11.02 [*]	0.18	0.4225

^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba diferencia mínima significativa (P<0.05). **EEM**: Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: #n= 2, *n= 4.

8.2 Dinámica de producción de gas *in vitro* acumulada

En el Cuadro 12 se observa que la producción de gas a de 0 a 24 horas para *Amaranthus viridis* fresco (126.45 ml/g de Materia seca Incubada, MSI) fue similar al tratamiento ensilado ($P>0.05$). En el caso del intervalo de 24 a 48 horas, *A. viridis* fresco mostró una mayor producción de gas de 11.56% respecto al ensilado ($P<0.05$). De la misma forma el intervalo de 48 a 72 horas, la producción de gas mostró que el tratamiento ensilado fue menor (27.5%) que *A. viridis* fresco ($P<0.05$). En el caso del gas acumulado a 72 horas, la diferencia de producción de gas entre *A. viridis* fresco y ensilado no mostró una diferencia significativa ($P>0.05$).

Cuadro 12. Producción de gas parcial y acumulada *in vitro* de *Amaranthus viridis*.

Intervalo (h)	<i>Amaranthus viridis</i>			P-valor
	Fresco (ml/ g MSI)	Ensilado (ml/ g MSI)	EEM	
0 a 24	126.45 ^{a*}	125.04 ^{a*}	2.02	0.7466
24 a 48	42.74 ^{ab*}	37.80 ^{b*}	0.80	0.0148
48 a 72	21.59 ^{ab*}	15.75 ^{b*}	0.71	0.0216
Acumulado a 72 horas	198.68 ^{a*}	170.54 ^{a*}	5.31	0.0768

MSI: Materia Seca Incubada, ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba de diferencia mínima significativa ($P<0.05$), **EEM:** Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: ^an= 3, ^bn= 6.

En el Cuadro 13 se observa que la mayor producción de gas en el intervalo de 0 a 24 horas fue de *C. berlandier* ensilado (5.17%) en comparación al tratamiento fresco ($P<0.05$). En el caso de los intervalos de 24 a 48 y 48 a 72 horas, *C. berlandier* fresco mostró una mayor producción de gas (16.09% y 26.31% respectivamente) en relación con el ensilado ($P<0.01$), y en el acumulado de 72 horas, la diferencia de producción de gas entre *C. berlandier* fresco y ensilado no fue significativa ($P>0.05$).

Cuadro 13. Producción de gas parcial y acumulada *in vitro* de *Chenopodium berlandier*.

Intervalo (h)	<i>Chenopodium berlandier</i>			P-valor
	Fresco (ml/ g MSI)	Ensilado (ml/ g MSI)	EEM	
0 a 24	94.72 ^{b*}	99.88 ^{ab*}	0.85	0.0232
24 a 48	49.85 ^{ab*}	41.83 ^{b*}	1.15	0.0094
48 a 72	27.14 ^{ab*}	20.00 ^{b*}	0.30	0.0004
Acumulado a 72 horas	169.88 ^{a*}	166.15 ^{a*}	2.18	0.4874

MSI: Materia Seca Incubada, ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba de diferencia mínima significativa ($P<0.05$), **EEM:** Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: ^an= 3, ^bn= 6.

El Cuadro 14 muestra que la producción de gas de 0 a 24 horas fue superior en *Malva parviflora* fresco (19.05 %) respecto al ensilado ($P<0.01$). Sin embargo, la producción de gas en el lapso de 24 a 48 horas mostró que *M. parviflora* ensilado fue mayor

(10.79 %) que el fresco ($P<0.01$). Para el intervalo de 48 a 72 horas, no se observó una diferencia significativa entre tratamientos. En el caso de la producción acumulada a 72 horas, la diferencia entre *M. parviflora* fresco y ensilado fue significativa ($P<0.01$).

Cuadro 14. Producción de gas parcial y acumulada *in vitro* de *Malva parviflora*.

Intervalo (h)	<i>Malva parviflora</i>			EEM	P-valor
	Fresco (ml/ g MSI)	Ensilado (ml/ g MSI)			
0 a 24	168.10 ^{ab} *	136.07 ^{b*}		1.56	<0.0001
24 a 48	38.85 ^{b*}	43.55 ^{ab*}		0.27	<0.0001
48 a 72	16.21 [*]	17.13 [*]		0.28	0.2127
Acumulado a 72 horas	228.39 ^{ab}	197.56 ^b		1.76	0.0014

MSI: Materia Seca Incubada, ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba de diferencia mínima significativa ($P<0.05$), **EEM:** Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: *n= 3, ^{*}n= 6.

Parámetros estimados para describir la cinética de producción de gas.

En el Cuadro 15 se muestran los parámetros para *A. viridis*. GPI, TMPG y FL fueron diferentes entre tratamientos en el horario de 48 horas, no así para el horario de 72 horas donde sólo el parámetro TMPG presentó diferencia entre tratamientos ($P<0.05$).

Cuadro 15. Parámetros de la cinética de producción de gas *in vitro* para *Amaranthus viridis* por gramo de materia seca incubada.

Variable	Tiempo (h)	<i>Amaranthus viridis</i>		EEM	P-valor
		Fresco	Ensilado		
HPI (h)	48	9.10 [*]	8.72 [*]	0.23	0.4483
	72	10.07 [*]	8.59 [*]	0.31	0.1013
GPI (ml)	48	60.49 ^{ab*}	57.01 ^{b*}	0.63	0.0282
	72	69.81 [*]	59.00 [*]	2.01	0.0733
TMPG (ml/h)	48	6.97 ^{b*}	7.93 ^{ab*}	0.15	0.0128
	72	6.23 ^{b*}	7.46 ^{ab*}	0.19	0.0418
FL (h)	48	0.48 ^{b*}	1.51 ^{ab*}	0.11	0.0019
	72	1.15 [*]	0.58 [*]	0.16	0.1914

HPI: Hora al punto de inflexión, **GPI:** Gas al punto de inflexión, **TMPG:** Tasa máxima de producción de gas, **FL:** Fase Lag (Fase de establecimiento microbiano). ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba de diferencia mínima significativa ($P<0.05$), **EEM:** Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: *n= 3, ^{*}n= 6.

Respecto a los parámetros de cinética de producción de gas *in vitro* obtenidos de la degradación de la materia seca a 72 horas no se observó diferencias entre tratamientos para *A. viridis*, excepto en la TMPG fue mayor (27.61%) para el tratamiento ensilado de *A. viridis* ($P<0.05$) (Cuadro 16).

Cuadro 16. Parámetros de la Cinética de producción de gas *in vitro* por gramo de materia seca degradada a 72 horas para *Amaranthus viridis*.

Variable	Unidades	<i>Amaranthus viridis</i>		EEM	P-valor
		Fresco	Ensilado		
HPI	(h)	9.67*	8.59*	0.28	0.1569
GPI	(ml)	89.29*	89.68*	2.03	0.9358
TMPG	(ml/h)	8.26 ^b *	11.41 ^a **	0.42	0.0285
FL	(h)	1.15*	0.58*	0.16	0.1907

HPI: Hora al punto de inflexión, **GPI:** Gas al punto de inflexión, **TMPG:** Tasa máxima de producción de gas, **FL:** Fase Lag (Fase de establecimiento microbiano). ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba de diferencia mínima significativa ($P < 0.05$), **EEM:** Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: *n= 3.

El Cuadro 17 muestra los parámetros de producción de gas por gramo de materia seca incubada para *Chenopodium berlandier*, el tratamiento ensilado mostró mayor tiempo de retardo en comparación al fresco en HPI y FL en el horario de 72 horas ($P < 0.01$), lo cual también afectó la TMPG a 72 horas con reducción en el tratamiento ensilado respecto al fresco ($P < 0.01$).

Cuadro 17. Parámetros de la Cinética de producción de gas *in vitro* para *Chenopodium berlandier* por gramo de materia seca incubada

Variable	Tiempo (h)	<i>Chenopodium berlandier</i>		EEM	P-valor
		Fresco	Ensilado		
HPI (h)	48	12.53*	10.71*	0.55	0.1431
	72	12.20 ^b *	14.06 ^a **	0.18	0.0094
GPI (ml)	48	52.97*	51.68*	0.73	0.4216
	72	59.55*	61.97*	0.93	0.3116
TMPG (ml/h)	48	4.42*	4.93*	0.20	0.2513
	72	4.55 ^a *	4.03 ^b *	0.03	0.0011
FL (h)	48	0.46*	0.71*	0.10	0.2648
	72	0.88 ^b *	1.32 ^a **	0.06	0.0286

HPI: Hora al punto de inflexión, **GPI:** Gas al punto de inflexión, **TMPG:** Tasa máxima de producción de gas, **FL:** Fase Lag (Fase de establecimiento microbiano). ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba de diferencia mínima significativa ($P < 0.05$), **EEM:** Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: *n= 3, **n= 6.

El Cuadro 18 muestra que el tratamiento de ensilaje en *C. berlandier* afectó los parámetros de la cinética de producción de gas por gramo de materia seca degradada. En HPI fue mayor en el tratamiento fresco (13.26%) en comparación con el ensilado ($P < 0.01$). Los parámetros GPI y TMPG en *C. berlandier* ensilado fueron mayores (12.05% y 25.37% respectivamente) al forraje fresco ($P < 0.05$). En cuanto a la FL, *C. berlandier* ensilado mostró un mayor tiempo de retardo en la colonización bacteriana respecto al fresco ($P < 0.05$).

Cuadro 18. Parámetros de la Cinética de producción de gas *in vitro* por gramo de la materia seca degradada a 72 horas para *Chenopodium berlandier*.

Variable	Unidades	<i>Chenopodium berlandier</i>		EEM	P-valor
		Fresco	Ensilado		
HPI	(h)	14.06 ^{a*}	12.20 ^{b*}	0.18	0.0094
GPI	(ml)	77.96 ^{b*}	88.64 ^{a*}	1.48	0.0323
TMPG	(ml/h)	5.06 ^{b*}	6.78 ^{a*}	0.06	0.0002
FL	(h)	0.88 ^{b*}	1.32 ^{a*}	0.06	0.0286

HPI: Hora al punto de inflexión, **GPI:** Gas al punto de inflexión, **TMPG:** Tasa máxima de producción de gas, **FL:** Fase Lag (Fase de establecimiento microbiano). ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba de diferencia mínima significativa (P<0.05), **EEM:** Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: *n= 3.

En el Cuadro 19 se muestran los parámetros de la cinética de producción de gas para *Malva parviflora*. El tratamiento ensilado de *M. parviflora* mostró un incremento (P<0.05) a las 48 y 72 horas (13.06% y 17.47% respectivamente) frente a *M. parviflora* fresca en el parámetro HPI. En el caso del parámetro GPI *M. parviflora* ensilada mostró una reducción (P<0.05) a las 48 horas y 72 horas en comparación con *M. parviflora* fresca. De la misma forma, se observó que en los parámetros TMPG en ambos horarios disminuyeron (P<0.001) y FL disminuyó (P<0.05) en 48 horas en *M. parviflora* ensilada.

Cuadro 19. Parámetros de la cinética de producción de gas *in vitro* para *Malva parviflora* por gramo de materia seca incubada

Variable	Tiempo (h)	<i>Malva parviflora</i>		EEM	P-valor
		Fresco	Ensilado		
HPI (h)	48	7.72 ^{b*}	8.88 ^{a*}	0.11	0.0014
	72	8.22 ^{b*}	9.96 ^{a*}	0.13	0.0036
GPI (ml)	48	71.52 ^{a*}	63.41 ^{b*}	0.67	0.0005
	72	79.10 ^{a*}	69.69 ^{b*}	0.60	0.0022
TMPG (ml/h)	48	12.58 ^{a*}	8.03 ^{b*}	0.08	<0.0001
	72	10.69 ^{a*}	6.91 ^{b*}	0.13	0.0002
FL (h)	48	2.03 ^{a*}	0.98 ^{b*}	0.16	0.0163
	72	0.82 [*]	0.12 [*]	0.11	0.0607

HPI: Hora al punto de inflexión, **GPI:** Gas al punto de inflexión, **TMPG:** Tasa máxima de producción de gas, **FL:** Fase Lag (Fase de establecimiento microbiano). ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba de diferencia mínima significativa (P<0.05), **EEM:** Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: *n= 3, ^{*}n= 6.

El Cuadro 20 muestra los parámetros de cinética de producción de gas por gramo de materia seca degradada para *Malva parviflora*. El parámetro HPI fue mayor en el tratamiento ensilado (14.66%) respecto al fresco (P<0.01). En el caso de los parámetros GPI, TMPG y FL se observó una reducción significativa en el tratamiento ensilado en comparación con el fresco.

Cuadro 20. Parámetros de la Cinética de producción de gas *in vitro* por gramo de materia seca degradada a 72 horas de *Malva parviflora*

Variable	Unidades	<i>Malva parviflora</i>		EEM	P-valor
		Fresco	Ensilado		
HPI	(h)	8.50 ^{b*}	9.96 ^{a*}	0.12	0.0059
GPI	(ml)	96.18 ^{a*}	88.53 ^{b*}	0.63	0.0056
TMPG	(ml/h)	12.83 ^{a*}	8.78 ^{b*}	0.08	<0.0001
FL	(h)	1.00 ^{a*}	0.20 ^{b*}	0.12	0.0387

HPI: Hora al punto de inflexión, **GPI:** Gas al punto de inflexión, **TMPG:** Tasa máxima de producción de gas, **FL:** Fase Lag (Fase de establecimiento microbiano). ^{ab} Medias con letras diferentes entre la misma fila son estadísticamente diferentes con base en la prueba de diferencia mínima significativa (P<0.05), **EEM:** Error Estándar de la Media. Los símbolos superíndice representan la cantidad de muestra para cada variable: *n= 3.

9. Discusión

9.1 Digestibilidad *in vitro* con la técnica DaisyII®-Ankom Technology

La calidad nutritiva de un ensilaje depende intrínsecamente de las propiedades de la planta, pero está influenciada por el desarrollo de las 4 fases de ensilaje, la experiencia de ensilar especies gramíneas y leguminosas sugiere que se debe considerar el estado fenológico de la planta para elegir el momento óptimo de cosecha, ya que la cantidad de sustrato disponible para la fermentación está relacionada con el estado de madurez de la planta (Horst *et al.*, 2021). Considerando que hay pérdidas de carbohidratos solubles por hidrólisis durante la fase aeróbica y la fase anaeróbica del proceso de ensilaje (Wilkinson y Davies, 2013), agregar aditivos como la melaza, proporciona sustratos (principalmente sacarosa) para la fermentación que benefician la proliferación de las bacterias ácido-lácticas y promueve la degradación de los carbohidratos no estructurales para aumentar su digestibilidad (Xia *et al.*, 2018).

Uno de los parámetros que determina la calidad del ensilaje es la digestibilidad de la materia seca (Iqbal *et al.*, 2020). En este estudio, el proceso de ensilaje tuvo un efecto reductivo de la DMS frente al estado sin ensilar de las arvenses *A. viridis* y *C. berlandier* que mostró diferencia significativa, en el caso de *M. parviflora* no se observó esta diferencia. La digestibilidad de la MS de *A. viridis* y *C. berlandier* en fresco (74.75% y 77.28%, respectivamente) muestran un valor alto en comparación con los resultados reportados por Barros y colaboradores (2018) para la DMS de la especie *Chenopodium quinoa* fresca (58.32%), que pertenece a la familia *Amaranthaceae*, al igual que *A. viridis* y *C. berlandier*. En el caso del ensilado de *M. parviflora* la DMS fue mayor a lo reportado por Purwin y colaboradores en 2021 para la especie *Virginia fanpetals* (*V. fanpetals*), arvense perteneciente a la familia *Malvaceae*, (65.63% y 19.9%, respectivamente).

El resultado de DFDN en *A. viridis* fresco (64.45%) y *C. berlandier* fresco (52.22%) fue mayor que lo reportado por Khan y colaboradores (2013) quienes obtuvieron 31% para *A. viridis* fresco, mientras que Yilmaz y colaboradores (2015) determinaron que en estado fresco la especie *Amaranthus reflexus* contiene un 35.8% de DFDN.

Esta diferencia, está relacionada con el nivel de madurez de cada especie al momento del corte, ya que en un forraje maduro incrementan las interacciones de lignina, celulosa y hemicelulosa (Hoffman, *et al.*, 2007), estos componentes de la pared celular no pueden ser usados como sustratos en la fase fermentativa del ensilaje (Rooke *et al.*, 2003) y durante la digestión ruminal funcionan como una barrera física que evita la acción enzimática de las bacterias ruminales (Buxton, 2003), por lo que afectará la digestibilidad de dicho forraje. En este estudio, el ensilado de *M. parviflora* tuvo una mayor DFDN (55.78%) respecto a *M. parviflora* fresca (48.06%), nuestros resultados se relacionan con la investigación realizada por Purwin y colaboradores en 2022, quienes evaluaron la digestibilidad de ensilado de *V. fanpetals* frente al ensilado de alfalfa, encontraron que la DFDN es mayor en el ensilaje de *V. fanpetals* debido a un menor grado de lignificación, ya que su concentración de FDN (37.8 %) fue más baja que en el ensilaje de alfalfa (46.6%). Este resultado muestra que el proceso de ensilaje favorece la exposición de los componentes de la pared celular y por lo tanto incrementa la fermentación de los carbohidratos estructurales y no estructurales.

Respecto a los resultados para la DMO de *Amaranthus viridis* (63.05%) y *Chenopodium berlandier* (62.02%) se mostraron cercanos a los obtenidos por Rezaei y sus colaboradores en 2015 quienes obtuvieron un 66.7% de DMO para la especie *Amaranthus hypochondriacus* fresco perteneciente a la familia *Amaranthaceae* al igual que *A. viridis* y *C. berlandier*. Sin embargo, Yacout y colaboradores en 2021 obtuvieron valores de 72% de DMO para la especie *Chenopodium quinoa* perteneciente a la misma familia. En el caso de *Malva parviflora*, no se ha encontrado evidencia de los valores de DMO para ensilado, pero Purwin y colaboradores en 2021 mostraron un valor de 73.7% de digestibilidad del ensilado de la especie *Virginia fanpetals*, perteneciente a la familia *Malvaceae*, al igual que *M. parviflora*.

Niderkorn y Baumont (2009) mencionan que la combinación de forrajes con altos niveles de lignina, como el ensilaje de rastrojo de maíz con otras especies forrajeras más nutritivas como veza común (*Vicia sativa* L.) o alfalfa (*Medicago sativa* L.), puede incrementar la DMS debido a su contenido de proteína cruda y carbohidratos solubles, estos últimos nutrientes, tienen un impacto sobre la digestibilidad y eficiencia de la síntesis de proteína microbiana, ya que la energía generada en el rumen está relacionada con la fermentación de carbohidratos solubles y los carbohidratos estructurales (Noziere *et al.*, 2010). Lo anterior se puede relacionar con los resultados

del presente trabajo, que muestra como la DPC que se obtuvieron para *C. berlandier* ensilado (59.52%) y *A. viridis* ensilado (60.02%) se asemejan a los obtenidos por Salama y sus colaboradores en 2021 para la especie *Chenopodium quinoa Willd.* (60.89%), especie de la familia *Amaranthaceae* que ha sido estudiada por varios grupos de investigadores por su potencial como cultivo forrajero y su alto valor proteico en la alimentación de aves, cerdos (Francis *et al.*, 2002) y rumiantes (Ebeid *et al.*, 2022; Salama *et al.*, 2021). En el caso del tratamiento ensilado de *Malva parviflora*, no se encontró evidencia de estudios que determinaran la DPC, pero Purwin *et al.*, (2021) mostraron un valor de 69.8% para la especie *Virginia fanpetals*, una arvense que ha tomado relevancia por sus características nutricionales bajo tratamiento ensilado.

En cuanto a los resultados de Energía Metabolizable, tanto *Amaranthus viridis* fresco como *Chenopodium berlandier* fresco, mostraron un valor similar a 11 MJ/kg de MS (12.23 y 11.87, respectivamente), estos valores son superiores a lo reportado por Rahjerdi y sus colaboradores en 2015, quienes obtuvieron un valor de 10.8 MJ/kg de MS para la especie *Amaranthus hypochondriacus* var. *Kharkovskiy* en estado fresco. En el caso de *Malva parviflora* fresca, en este estudio se obtuvo un valor de 11.25 MJ/kg de MS, mayor a lo reportado (7.9 MJ/kg de MS) por Kazemi en 2019 para la especie *Malva neglecta*, especie que pertenece a la familia *Malvaceae* al igual que *M. parviflora*.

Finalmente, se contrastó los resultados obtenidos entre las arvenses bajo tratamiento ensilado. Se observó que los valores más altos de digestibilidad de MS, DMO, DPC y Energía metabolizable corresponden a la especie *M. parviflora*. Los resultados de este estudio se pueden contemplar para desarrollar futuros estudios *in vivo* donde se pueda determinar los efectos asociativos del ensilaje de *M. parviflora* con otros forrajes.

9.2 Producción de gas *in vitro*

La implementación de arvenses como recurso forrajero no convencional para la alimentación de rumiantes requiere contemplar la composición química, así como la velocidad de degradación en el rumen. La técnica de producción de gas *in vitro* permite conocer la cinética de degradación del alimento a través del volumen de gas producido durante la digestión anaeróbica (Rodríguez *et al.*, 2017), como resultado,

es posible identificar la calidad nutritiva de los alimentos (Araiza *et al.*, 2021), estimar los procesos de fermentación microbiana (Medjekal *et al.*, 2017) y evaluar el efecto de los factores antinutricionales sobre las actividades de los microorganismos del rumen (Hatew *et al.*, 2016).

La producción de gas (PG) es una medida indirecta de la degradación de los carbohidratos, en las incubaciones *in vitro* el crecimiento microbiano depende de la disponibilidad de energía que se deriva principalmente de la fermentación de carbohidratos fácilmente degradables (Theodorou *et al.*, 1994; Sun *et al.*, 2022), cuanto mayor sea su concentración en el sustrato mayor será la producción de gas. En nuestro estudio de manera general hubo una disminución en la PG del tratamiento ensilado respecto al tratamiento fresco para las tres especies de arvenses, probablemente debido al agotamiento de los sustratos fermentables durante el ensilado (Wilkinson y Davies, 2013). En la literatura consultada no se encontraron reportes de producción de gas *in vitro* para tratamiento ensilado de las arvenses utilizadas, no obstante, Sarmadi y colaboradores reportaron en 2016 una acumulación de gas (ml/200 mg MS incubada) a 24 horas de la especie *Amaranthus hypochondriacus* en estado fresco de 38.2 ml y por su parte Kazemi (2020) reportó para las especies *Malva neglecta* y *Chenopodium album* en estado fresco una producción de gas (ml/200 mg MS incubada) acumulada de gas a 24 horas de 41.3 ml y 21 ml (respectivamente), en comparación, nuestros resultados para las arvenses en estado fresco fueron superiores, esta diferencia puede tener su origen en la composición química de las especies (Getachew *et al.*, 2004), adicionalmente, se sugiere realizar otros estudios que permitan cuantificar la concentración de compuestos antinutricionales como taninos condensados, saponinas o compuestos fenólicos, pues se ha identificado que estos compuestos modulan la actividad de enzimas fibrolíticas e inhiben a los microorganismos celulóticos promoviendo la disminución de la fermentación del sustrato, resultando en una modificación de los parámetros de cinética de producción de gas (Patra *et al.*, 2017; Pérez-Can *et al.*, 2020), como lo es la fase de establecimiento microbiano o fase Lag (FL).

La fase Lag describe el tiempo que transcurre desde que inicia el experimento hasta que la producción de gas aumenta de forma significativa (Zhang *et al.*, 2017). Se ha identificado en los ensilados valores más altos en la FL dado que su concentración de FDN es mayor en comparación con los forrajes frescos (Pérez-Can *et al.*, 2020;

Zhang *et al.*, 2017). En esta relación se asume que una fase Lag más larga (donde la actividad microbiana tarda más tiempo en desarrollarse) el volumen total de gas producido será menor en comparación con el tratamiento donde la FL fue más corta.

En nuestro estudio, la especie *A. viridis* en estado fresco mostró una menor FL en el horario de 48 horas respecto al tratamiento ensilado ($P < 0.05$), sin embargo presentó un incremento a 72 horas, este comportamiento también fue observado por Amparo y sus colaboradores en 2021, quienes identificaron que la variación en la duración de la FL puede deberse a que el sustrato se agota provocando un crecimiento lento de microorganismos y con ello se genera un decremento significativo en la tasa máxima de producción de gas (TMPG) que afecta la producción total de gas, en el caso de *A. viridis* no se observó diferencia entre tratamientos ($P > 0.05$) en la producción de gas acumulada a 72 horas.

Respecto a *C. berlandier* se observó que la FL en el periodo de 48 no tuvo diferencia entre tratamientos y aunque la TMPG fue mayor en el ensilado no representó diferencia respecto al tratamiento fresco; por otra parte, el incremento en la TMPG del tratamiento fresco para el lapso de 72 horas no influyó en la producción de gas acumulada en comparación con el ensilado ($P > 0.05$). Este comportamiento podría explicarse considerando la naturaleza del sustrato, de acuerdo con Geatchew *et al.* (1998) la cinética de producción de gas está estrechamente relacionada con las concentraciones de componentes solubles, insolubles pero degradables e indegradables del alimento; en este estudio la concentración de FDN aumentó en *C. berlandier* ensilado lo que sugiere una mayor disponibilidad de componentes estructurales lentamente fermentables (celulosa y hemicelulosa) que participaron activamente en la producción de gas de las últimas horas de incubación (Lazalde, 2021).

En el caso de *M. parviflora* fue el tratamiento ensilado que mostró una FL menor ($P < 0.05$) en relación al tratamiento fresco en el lapso de 48 horas, esta diferencia se asocia con la adaptación de los microorganismos ruminales al sustrato, para *M. parviflora* el tratamiento ensilado expuso los componentes de la pared vegetal generando consecuentemente un ambiente favorable para la proliferación de microorganismos celulolíticos (Alvarado *et al.*, 2023) que promovieron una degradación eficiente durante las primeras horas, sin embargo la TMPG que presentó

M. Parviflora fresca fue mayor, lo que sugiere que este sustrato proporcionó a los microorganismos una mayor disponibilidad de nutrientes y que incluso la degradación de dichos microorganismos contribuyera a una mayor producción de gas a las 72 horas ($P < 0.05$) en comparación con *M. parviflora* ensilada, nuestros resultados se relacionan con lo reportado por Arce *et al.*, (2020) quienes identificaron que el menor aporte de carbohidratos altamente fermentables en el ensilado de maralfalfa y se correlacionó con menor producción de gas acumulada.

De las tres especies arvenses se observó que la hora al punto de inflexión (HPI) más baja se presentó en los tratamientos (fresco y ensilado) de la especie *M. parviflora*, lo cual se relaciona con el gas al punto de inflexión (GPI) que también fue el más alto en ambos tratamientos. En conjunción, estas variables (HPI y GPI) son un indicador de la velocidad a la que se fermenta el sustrato. El alimento que tiene una HPI temprana (baja) tendrá un GPI alta, esta relación se aprecia tanto en el tratamiento fresco como ensilado de *M. parviflora* ($P < 0.01$) y favoreció la producción de gas.

10. Conclusiones

Los cambios de temperatura y en precipitaciones, así como la desertificación son factores que alteran los ciclos de producción de forrajes, hoy en día se orienta la búsqueda de recursos forrajeros resilientes que puedan satisfacer los requerimientos nutricionales del ganado. En este aspecto, las arvenses ensiladas se pueden considerar como una estrategia de suplementación en la alimentación de pequeños rumiantes y bajo este manejo integrado, reducir el uso de agentes químicos usados en el control de malezas.

Bajo las condiciones de este estudio, el tratamiento ensilado exhibió una disminución en la digestibilidad de los nutrientes: MS, MO, PC PM y este efecto también se observó en la energía metabolizable de las arvenses *A. viridis* y *C. berlandier* lo que se relacionó con una reducción en la producción de gas respecto al tratamiento fresco, estos resultados pueden estar asociados a la composición química del sustrato, la actividad de los microorganismos ruminales y las condiciones propias del experimento.

Por otra parte, los hallazgos mostraron que la arvense *Malva parviflora* ensilada conserva valores significativos de digestibilidad de MS, MO, PC, PM y energía metabolizable en comparación con el tratamiento fresco, no obstante, para esta arvense el proceso de ensilaje favoreció la exposición de los componentes de la pared celular lo cual incrementó la fermentación de los carbohidratos estructurales y no estructurales y resultó en una mayor producción de gas.

Por lo anterior, se considera que *M. parviflora* bajo tratamiento ensilado puede ser ideal para realizar a futuro estudios *in vivo* que permitan incluirla como un complemento accesible en la dieta del ganado ovino para aumentar el contenido de proteína digestible y energía metabolizable en beneficio del pequeño rumiante.

11. Recomendaciones

Los resultados de este proyecto pueden ser considerados para investigaciones futuras en las que se amplíe la información sobre los componentes anti nutricionales de estas arvenses y se pueda evaluar su participación en el proceso de metanogénesis en pequeños rumiantes.

Por otra parte, se invita a la comunidad del departamento de Producción Agrícola y Animal a fomentar proyectos de interdisciplinariedad, pues consideramos que el trabajo en conjunto con compañeros de la licenciatura en Agronomía permitiría mejorar la identificación de otras especies arvenses y promover una mayor difusión del manejo integrado de dichas especies entre productores agrícolas y pecuarios.

12. Bibliografía

- Alvarado, E., Maggiolino, A., Elghandour, M., Rivas, M., Ballesteros, G., Palo, P., y Salem, A. (2023). Impact of co-ensiling of maize with *Moringa oleifera* on the production of greenhouse gases and the characteristics of fermentation in ruminants. *Animals*, 13(4), 764.
- Amparo, V., Cuchillo, M., Mazabel, J., Quintero, S., Martens, S., y Mora, J. (2021). Producción de metano *in vitro* y parámetros fermentativos de mezclas de ensilado de girasol silvestre y pasto elefante, inoculadas o no con cepas de bacterias ácido-lácticas epífitas. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 12(3), 789-810.
- Arce, W., Rojas, A., y Campos, C. (2020). Determinación del contenido energético de materiales forrajeros a través de la relación entre la técnica de producción de gas *in vitro* y la ecuación mecanicista del NRC (2001). *Nutrición Animal Tropical*, 14(1), 13-35.
- AOAC (1990). Ash of Animal Feed. (942.05). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, 15th Edition.
- AOAC (1990). Moisture in Peat. (967.03). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 15th Edition.
- AOAC (2002). Official Method of Analysis. 16th Edition, Association of Official Analytical, Washington DC.
- AOAC (2006). Official Method 991.20 (2006b). Nitrogen (Total) in milk. Kjeldahl methods.
- Araiza, E., González, A. Pámanes, G., Murillo, M., Jiménez, R., y Herrera, E. (2021). Calidad fermentativa y producción de metano en ensilados de rastrojo de maíz adicionados con nopal fermentado y sin fermentar. *Abanico veterinario*, 11, e116.
- Ávila, S., y Carvalho, F. (2020). Silage fermentation—updates focusing on the performance of micro-organisms. *Journal of Applied Microbiology*, 128(4), 966-984.

- Baker, G. (1965). Characteristics and modes of origin of weeds. *The genetics of colonizing species.*, 147-168.
- Barros, M., Cajas, M., Núñez, O., Mera, R., Artieda, J., Sandoval, C., y Solorio, J. (2018). *In situ* rumen degradation kinetics and *in vitro* gas production of seed, whole plant and stover of *Chenopodium quinoa*. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 28(1).
- Buendía, G., Montoya, D., Espinoza, M., y Vallejo, L. (2021a). Valor nutricional de ensilado de arvenses, una alternativa de alimentación para ovinos. INIFAP, Folleto Número 1.
- Buendía, G., Espinoza, M., y Montoya, D. (2021b). Uso de ensilado de arvenses en la alimentación de ganado ovino. INIFAP, Folleto Número 2.
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, J., Holmes, J., y Muck, E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3952-3979.
- Buxton, R., y O'Kiely, P. (2003). Preharvest plant factors affecting ensiling. *Silage science and technology*, 42, 199-250.
- Calderón, J. (2020). Modelos de negocio para producción de ovinos en México. [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma Chapingo.
- Casas, A.; Rodríguez, D. y Afanador, G. (2010). Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 23 (3):349-358
- Castillo, J., Medina, S., Hernández, J., Robles, M. y Castañeda, E. (2017). El Indicador CASI en la rentabilidad ovina. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 41(1345-2018-041), 764-777.
- Díaz, L., Colín, V., Arriaga, C., Brunett, L., Vázquez, B. y Estrada, J. (2021). *In vitro* nutritional quality and antioxidant activity of three weed species as feed additives for sheep in the Central Highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 53(3), 1-9
- Ebeid, M., Kholif, E., El-Bordeny, N., Chrenkova, M., Mlynekova, Z., y Hansen, H. (2022). Nutritive value of quinoa (*Chenopodium quinoa*) as a feed for

- ruminants: in sacco degradability and *in vitro* gas production. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(23), 35241-35252.
- Estevez, X., Sanchez, E., Nava, G., Estrada, G., Gomez, W., y Sepúlveda, S. (2019). The role of sheep production in the livelihoods of Mexican smallholders: Evidence from a park-adjacent community. *Small Ruminant Research*, 178, 94-101.
- Francis, G., Kerem, Z., Makkar, P., y Becker, K. (2002). The biological action of saponins in animal systems: a review. *British journal of Nutrition*, 88(6), 587-605.
- Geatchew, G., Blummel, M., Makkar, H.P.S. y Becker, K, (1998). *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. *Animal Feed Science and Technology*. 72: 261-281.
- Getachew, G., Robinson, P. H., DePeters, E. J., y Taylor, S. J. (2004). Relationships between chemical composition, dry matter degradation and *in vitro* gas production of several ruminant feeds. *Animal feed science and technology*, 111(1-4), 57-71.
- Hahn, J., de Mol, F., y Müller, J. (2021). Ensiling reduces seed viability: Implications for weed management. *Frontiers in Agronomy*, 61.
- Hatew, B., Stringano, E., Mueller, I., Hendriks, H., Carbonero, H., Smith, J., y Pellikaan, F. (2016). Impact of variation in structure of condensed tannins from sainfoin (*O nobrychis viciifolia*) on *in vitro* ruminal methane production and fermentation characteristics. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(2), 348-360.
- Hernández, J. (2017). Contribución de la ovinocultura al sector pecuario en México. *Agro Productividad*, 10(3).
- Herrera, J., Álvarez, G., Bárcena, R., y Núñez, J. (2019). Caracterización de los rebaños ovinos en el sur de Ciudad de México, México. *Acta universitaria*, 29.
- Hererea, E., y Ramírez, A. (2019). Caracterización y clasificación de los productores del Altiplano Oeste Potosino, México: Una propuesta de tipología multidimensional. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 16, 373-397.

- Hoffman, C., Lundberg, M., Bauman, M., Shaver, D., y Contreras-Govea, E. (2007). El efecto de la madurez en la digestibilidad del FDN (fibra detergente neutro). *Focus on Forage*, 5(15), 1-2.
- Horst, H., Bumbieris Junior, H., Neumann, M., y López, S. (2021). Effects of the harvest stage of maize hybrids on the chemical composition of plant fractions: An analysis of the different types of silage. *Agriculture*, 11(8), 786.
- Iqbal, A., Ali, S., El Sabagh, A., Ahmad, Z., y Siddiqui, M. (2020). Changing climate and advances on weeds utilization as forage: Provisions, nutritional quality and implications. *Invasive Species—Introduction Pathways, Economic Impact, and Possible Management Options*.
- Kazemi, M. (2019). Comparing mineral and chemical compounds, *in vitro* gas production and fermentation parameters of some range species in Torbat-e Jam, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 9(4), 351-363.
- Khan, R., Khan, M., Sultan, S., Marwat, K., Khan, I., Hassan, G., y Shah, H. (2013). Nutritional quality of sixteen terrestrial weeds for the formulation of cost-effective animal feed. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 23, 75-79.
- Lazalde, R. (2021). Calidad química-fermentativa del esquilmo y grano de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) para la engorda de ovinos. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Chapingo.
- Manual de operación, Analizador de Fibras ANKOM2000. Apéndice B – Método FDN. Pág. 39-40.
- Makkar, H. (2002). Applications of the *in vitro* gas method in the evaluation of feed resources, and enhancement of nutritional value of tannin-rich tree/browse leaves and agro-industrial by-products [(AFRA-African Regional Co-operative Agreement for Research, Development and Training related to Nuclear Science and Technology)].
- Martínez, E., Muñoz, M., García, J., Santoyo, V., Altamirano, J. y Romeroz, C. (2011). El fomento de la ovino cultura familiar en México mediante subsidios en activos: lecciones aprendidas. *Agronomía mesoamericana*, 22(2), 367-377.
- Martínez, R., Castelán, O., González, M., y Estrada, J. (2017). Determinación de la calidad nutritiva, fermentación *in vitro* y metabolitos secundarios en arvenses y

- rastrojo de maíz utilizados para la alimentación del ganado lechero. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 525-536.
- Mascorro-de Loera, D., Ferguson, G., Perales, R., y Charbonnier, F. (2019). Herbicidas en la milpa: Estrategias de aplicación y su impacto sobre el consumo de arvenses. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(18), 477-486.
- McDonald, P., Edwards, A., Greenhalgh, J. y Morgan, A. (2002). Digestibility animal nutrition. En *Evaluation of Foods* (Sixth Edition). Pearson. Prentice-Hall.
- Medjekal, S., Bodas, R., Bousseboua, H., y López, S. (2017). Evaluation of three medicinal plants for methane production potential, fiber digestion and rumen fermentation *in vitro*. *Energy Procedia*, 119, 632-641.
- Mena, J. L., Salazar, J. A., y Bourrillón, A. (2020). La producción de gas *in vitro* para estimar la energía neta de lactancia. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), 311-328.
- Nazli, M., Halim, R., Abdullah, A., Hussin, G., y Samsudin, A. (2019). Potential of four corn varieties at different harvest stages for silage production in Malaysia. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 32(2), 224.
- Niderkorn, V., y Baumont, R. (2009). Associative effects between forages on feed intake and digestion in ruminants. *Animal*, 3(7), 951-960.
- Noziere, P., Ortigues-Marty, I., Loncke, C., y Sauvant, D. (2010). Carbohydrate quantitative digestion and absorption in ruminants: from feed starch and fibre to nutrients available for tissues. *Animal*, 4(7), 1057-1074.
- NRC (National Research Council). (2001). Nutrient requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. Washington, DC., USA. National Academy Press.
- Opsi F., Fortina, R., Borreani, G., Tabacco, E., y López, S. (2013). Influence of cultivar, sowing date and maturity at harvest on yield, digestibility, rumen fermentation kinetics and estimated feeding value of maize silage. *The Journal of Agricultural Science*, 151(5), 740-753.
- Partida de la Peña, A., Ríos, G., Cruz, L., Domínguez, A., y Buendía, G. (2017). Caracterización de las canales ovinas producidas en México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 8(3), 269-277.

- Patra, A., Park, T., Kim, M., y Yu, Z. (2017). Rumen methanogens and mitigation of methane emission by anti-methanogenic compounds and substances. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(13), 13-24.
- Pérez-Can, G. E., Tzec-Gamboa, M., Albores-Moreno, S., Sanginés-García, J., Aguilar-Urquizo, E., Chay-Canul, A., y Piñero-Vázquez, A. T. (2020). Degradabilidad y producción de metano *in vitro* del follaje de árboles y arbustos con potencial en la nutrición de rumiantes. *Acta universitaria*, 30.
- Piltz, W., Bailes, L., Boschma, P., y Weston, A. (2021). The impact of ensiling at different moisture contents on germinability and viability of selected Weed Species' Seeds. *Agronomy*, 11(8), 1639.
- Piltz, W., Flinn, J., y Weston, A. (2019). Comparative effects of grazing, herbicide or forage conservation on barley grass content in *Trifolium subterraneum* L. clover-based pasture. *Crop and Pasture Science*, 70(9), 800-806.
- Piltz, W., Stanton, A., y Wu, H. (2017). Effect of ensiling and in sacco digestion on the viability of seeds of selected weed species. *Weed Research*, 57(6), 382-389.
- Posada, S.; Noguera, R. y Bolívar, D. (2006). Relación entre presión y volumen para la implementación de la técnica *in vitro* de producción de gases en Medellín, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 19 (4):407-414.
- Posada, S., y Noguera, R. (2005). Técnica *in vitro* de producción de gases: Una herramienta para la evaluación de alimentos para rumiantes. *Livestock Research for Rural Development*, 17(4), 12-19.
- Purwin, C., Starczewski, M., Borsuk, M., Nogalski, Z., Opyd, P., Mazur-Kuśnerek, M., y Białobrzewski, I. (2021). The quality, intake, and digestibility of *Virginia Fanpetals* (*Sida hermaphrodita* L. Rusby) silage produced under different technologies and its effect on the performance of young cattle. *Animals*, 11(8), 2270.
- Purwin, C., Sulewicz, M., Nogalski, Z., Baranowska, M., Zygmuntowicz, A., y Michalski, J. (2022). Digestibility and palatability of *Virginia fanpetals* (*Sida hermaphrodita* R.) silage in sheep. *Archives Animal Breeding*, 65(1), 89-96.

- Quiñones, D., Cardona, L., y Castro, E. (2020). Ensilaje de arbustivas forrajeras para sistemas de alimentación ganadera del trópico altoandino. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(3), 285-301.
- Ramos de Robles, L., Garibay, G., y Curiel, A. (2018). Identification, collection and consumption of weeds and wild vegetables in Mexican communities: institutionalized local ancestral indigenous knowledge as ecological literacy, place and identity. *Cultural Studies of Science Education*.
- Rezaei, J., Rouzbehan, Y., y Fazaeli, H. (2009). Nutritive value of fresh and ensiled amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) treated with different levels of molasses. *Animal Feed Science and Technology*, 151(1-2), 153-160.
- Rezaei, J., Rouzbehan, Y., Zahedifar, M., y Fazaeli, H. (2015). Effects of dietary substitution of maize silage by amaranth silage on feed intake, digestibility, microbial nitrogen, blood parameters, milk production and nitrogen retention in lactating Holstein cows. *Animal Feed Science and Technology*, 202, 32-41.
- Rodríguez, B., Núñez, R., Torres, N., Andrade, M., Rojas, A., Freire, V. y Iraola, J. (2017). Composición química, cinética de degradación ruminal y producción de gas *in vitro* de arvenses con potencial forrajero. *Development*, 29, 4.
- Rooke, A., y Hatfield, D. (2003). Biochemistry of ensiling. *Silage science and technology*, 42, 95-139.
- Safigueroa, M., Giráldez, J., Gómez, A., López, S., y Mantecón, R. (1999). Determinación en forrajes del contenido en fibra neutro detergente y de sus componentes: validación del método Ankom.
- Salama, R., Yacout, H., Elgzar, T., y Awad, A. (2021). Nutritional evaluation of Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) crop as unconventional forage resource in feeding ruminants. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 24(1), 77-84.
- Sarmadi, B., Rouzbehan, Y., y Rezaei, J. (2016). Influences of growth stage and nitrogen fertilizer on chemical composition, phenolics, *in situ* degradability and *in vitro* ruminal variables in amaranth forage. *Animal Feed Science and Technology*, 215, 73-84.

- Scavo, A., Abbate, C., y Mauromicale, G. (2019). Plant allelochemicals: Agronomic, nutritional and ecological relevance in the soil system. *Plant and Soil*, 442(1), 23-48.
- Scavo, A., y Mauromicale, G. (2020). Integrated weed management in herbaceous field crops. *Agronomy*, 10(4), 466.
- Sun, X., Cheng, L., Jonker, A., Munidasa, S., y Pacheco, D. (2022). A review: Plant carbohydrate types—The potential impact on ruminant methane emissions. *Frontiers in Veterinary Science*, 9.
- Theodorou, K., Williams, B., Dhanoa, M., McAllan, B. y France, J. (1994). A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Tech.* 48:185-197.
- Van Soest, P. J.; Robertson, J. B. y Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74 (10):3583-3597.
- Vázquez, I., Jaramillo, L., Bustamante, Á., Vargas, S., Calderón, F., Torres, G., y Pittroff, W. (2018). Estructura y tipología de las unidades de producción ovinas en el centro de México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15(1), 85-97.
- Wang, S., Yuan, X., Dong, Z., Li, J., y Shao, T. (2017). Effect of ensiling corn stover with legume herbages in different proportions on fermentation characteristics, nutritive quality and *in vitro* digestibility on the Tibetan Plateau. *Grassland Science*, 63(4), 236-244.
- Wilkinson, M., y Davies, R. (2013). The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass and Forage Science*, 68(1), 1-19.
- Xia, C., Liang, Y., Bai, S., He, Y., Muhammad, R., Su, H., y Cao, B. (2018). Effects of harvest time and added molasses on nutritional content, ensiling characteristics and *in vitro* degradation of whole crop wheat. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(3), 354.
- Xue, Z., Liu, N., Wang, Y., Yang, H., Wei, Y., Moriel, P. y Zhang, Y. (2019). Combining orchardgrass and alfalfa: Effects of forage ratios on *in vitro* rumen degradation

and fermentation characteristics of silage compared with hay. *Animals*, 10(1), 59.

Yacout, M., Salama, R., Elgzar, M., y Awad, A. (2021). *In vivo* and *in vitro* studies to evaluate nutritional value of *Chenopodium quinoa* as unconventional forage resource for feeding ruminants. *Archives of Agriculture Sciences Journal*, 135-149.

Yılmaz, Ş., Kaplan, M., y Kokten, K. (2015). Determination of the Nutritive Value of Some Weed Species. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*. 2. 320-323.

Zhang, M., Wang M., Yu Q., Ma, Y., Beauchemin, A., Wang R., Wen, N., Lukuyu, A., y Tan, L. (2020). Liquid hot water treatment of rice straw enhances anaerobic degradation and inhibits methane production during *in vitro* ruminal fermentation. *J. Dairy Sci.* 103. 4252–4261.

Zhang, Q., Zhao, M., Wang, X., Yu, Z., y Na, R. (2017). Ensiling alfalfa with whole crop corn improves the silage quality and *in vitro* digestibility of the silage mixtures. *Grassland Science*, 63(4), 211–217.