

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**Ensilado a Base de Nopal y Zacates Forrajeros: Alternativas Eficientes para la
Alimentación Animal**

Por:

ESMERALDA GARCIA PARRA

MONOGRAFÍA

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio, 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Ensilado a Base de Nopal y Zacates Forrajeros: Alternativas Eficientes para la
Alimentación Animal

POR:

ESMERALDA GARCIA PARRA

MONOGRAFÍA

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

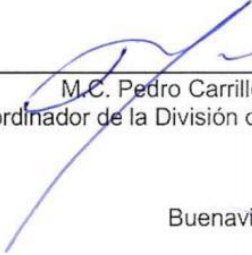
Aprobada por el comité de asesoría:


Dr. José Antonio Hernández Herrera
Asesor Principal


Dr. Juan López Trujillo
Coasesor


Dra. Laura Maricela Lara López
Coasesor


Dr. Ricardo Vázquez Aldape
Coasesor


M.C. Pedro Carrillo López
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio de 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Ensilado a Base de Nopal y Zacates Forrajeros: Alternativas Eficientes para la
Alimentación Animal

POR:

ESMERALDA GARCÍA PARRA

MONOGRAFÍA

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

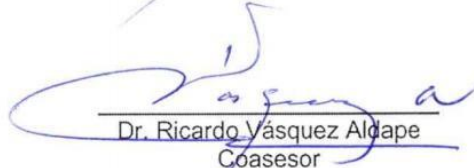
INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

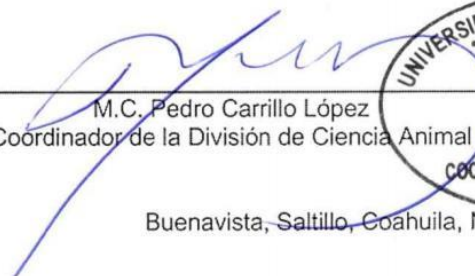
Aprobada por:


Dr. José Antonio Hernández Herrera
Asesor Principal


Dr. Juan López Trujillo
Coasesor


Dra. Laura Maricela Lara López
Coasesor


Dr. Ricardo Vázquez Aldape
Coasesor


M.C. Pedro Carrillo López
Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio de 2026

Declaración de no Plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los aspectos siguientes. Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (autoplagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin utilizar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo, tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de esto materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



ESMERALDA GARCÍA PARRA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a Dios por darme la salud y la fortaleza necesaria para culminar esta etapa de mi formación profesional.

A mi mama, Sofía Parra Jiménez por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante. Gracias por creer en mí, motivarme a seguir adelante.

A mis hermanos, Rodrigo García Parra y José Alfredo García Parra, por acompañarme en este camino, brindarme ánimo en los momentos difíciles y celebrar conmigo cada logro alcanzado.

A mis abuelos, Gerardo Parra Ramírez y Irene Jiménez Gonzales por sus consejos, cariño y ejemplo de vida, que han sido una fuente de inspiración para alcanzar mis metas.

A mis asesores, Juan López Trujillo, José Antonio Hernández Herrera, Laura Maricela Lara López y Ricardo Deyta Monjaras por compartir sus conocimientos y orientarme durante el desarrollo de esta monografía.

Finalmente, agradezco a Iván Paredes Godínez que de una u otra manera contribuyo a mi crecimiento personal y profesional.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO.....	4
AGRADECIMIENTOS	5
ÍNDICE GENERAL	6
ÍNDICE DE CUADROS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN.....	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Justificación.....	11
1.2 Objetivo general	11
II. PRINCIPIOS BÁSICOS DEL ENSILADO	12
2.1 Definición del proceso de ensilaje	12
2.2 Fases del proceso de fermentación	12
2.3 Factores clave para un buen ensilado	13
III. PRINCIPALES FORRAJES EMPLEADOS EN EL USO DEL ENSILADO	14
3.1 Gramíneas de corte (Zacates) y taxonomía	15
3.2 Cereales forrajeros tradicionales y taxonomía	19
3.3 Leguminosas forrajeras y taxonomía.....	21
IV. EL NOPAL (<i>OPUNTIA SPP</i>) COMO RECURSO FORRAJERO	24
4.1 Características botánicas y ventajas ecológicas.....	25
4.2 Valor nutritivo y limitante	25
4.3 El reto de ensilar solo nopal	26
V. SINERGIA EN EL ENSILADO: NOPAL + ZACATES.....	26
5.1 Equipo para proceso de ensilaje	27
5.2 Balance de humedad y fibra.....	33
5.3 Proporciones optimas de mezcla	34
5.4 Indicadores de calidad del ensilado mixto	35
VI. PRINCIPALES PRODUCTOS ELABORADOS A BASE DE NOPAL PARA ALIMENTACIÓN ANIMAL.....	36
6.1 Nopal picado en fresco (Tratamiento tradicional).....	36
6.2 Nopal deshidratado y harina de nopal	36
6.3 Nopal fermentado en estado sólido (FES) o Nopal Proteico	36
VII. IMPACTO PRODUCTIVO Y ECONÓMICO EN LA GANADERÍA	37
7.1 Respuesta animal	37
7.2 Reducción de costos	37
7.3 Sustentabilidad	38
VIII. CONCLUSIONES.....	39

IX.	RECOMENDACIONES	40
X.	LITERATURA CITADA	40

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1.	Valor nutritivo de los principales forrajes	23
CUADRO 2.	Composición bromatológica del nopal	26
CUADRO 3.	Perdidas promedio según el almacenamiento	33
CUADRO 4.	Proporciones de la mezcla de ensilados	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Cenhrus ciliaris</i>	15
Figura 2. <i>Pennisetum purpuream</i>	16
Figura 3. <i>Cynodon dactylon</i>	17
Figura 4. <i>Cynodon nlemfuensis</i>	17
Figura 5. <i>Megathyrsus maximus</i>	18
Figura 6. <i>Cenchrus purpureus purpureus</i>	18
Figura 7. <i>Zea mays</i>	19
Figura 8. <i>Sorghum bicolor</i>	20
Figura 9. <i>Triticum aestivum</i>	21
Figura 10. <i>Neltuma glandulosa</i>	21
Figura 11. <i>Medicago sativa</i>	22
Figura 12. Materiales de silo en México. Imagen creada con IA	24
Figura 13. <i>Opuntia spp</i>	25
Figura 14. Picadora de forraje	27
Figura 15. Compactadora manual	27
Figura 16. Tanques de silo	28
Figura 17. Cosechadora de forraje	28
Figura 18. Remolque de transporte	28
Figura 19. Bolsas de silo	29
Figura 20. Cosechadoras autopropulsadas	29
Figura 21. Silo bolsas	30
Figura 22. Aplicador de inoculantes	30
Figura 23. Silo bunker	31
Figura 24. Silo pastel	31
Figura 25. Silo torre	32
Figura 26. Silo en bolsa	32
Figura 27. Tanques de plástico	33

RESUMEN

Esta monografía aborda el potencial del ensilado mixto como una estrategia tecnológica para optimizar la alimentación animal en zonas áridas y semiáridas, utilizando la sinergia entre el nopal (*Opuntia spp.*) y diversas gramíneas forrajeras. El estudio se fundamenta en la necesidad de alternativas sustentables frente a la escasez de forraje y los altos costos de los concentrados comerciales. El ensilaje individual del nopal es complejo debido a su baja materia seca y reducidos niveles de proteína, aunque como recurso estratégico es eficiente en agua y carbohidratos solubles. Investigaciones recientes demuestran que la integración de zacates forrajeros permite equilibrar el contenido de fibra detergente neutra y mejorar la densidad del ensilado, logrando una recuperación de materia seca superior al 96% en mezclas optimizadas. Los principales hallazgos demuestran que inclusiones de nopal entre el 40% y 45% en la mezcla favorecen una fermentación láctica rápida, estabilizando el pH y mejorando el perfil mineral del alimento final. De igual manera se analizan los procesos avanzados como la fermentación en estado sólido (FMS), que permite transformar el nopal en un insumo de mayor valor proteico mediante el uso de bacterias como *Clostridium*. Se ha reportado que el uso de estos ensilados en dietas para pequeños rumiantes ha reportado ganancias diarias de peso de hasta 198 g, lo cual es comparable o superior a sistemas tradicionales de alimentación. Además de los beneficios productivos, se resalta la reducción de costos operativos al sustituir granos energéticos por recursos locales y la ventaja adicional de proporcionar agua metabólica al ganado a través del nopal, reduciendo el estrés hídrico en épocas de sequía. El trabajo concluye que el ensilado mixto representa una herramienta de resiliencia climática y viabilidad económica para la ganadería moderna.

Palabra clave: Ensilaje, forrajes, nutrición, rumiantes, producción, economía

I INTRODUCCIÓN

La alimentación representa uno de los principales costos dentro de los sistemas de producción pecuaria, especialmente en regiones donde las condiciones climáticas limitan la disponibilidad de forraje durante gran parte del año. En México, los periodos de sequía y la irregularidad de las precipitaciones afectan de manera importante la producción de biomasa forrajera, provocando escasez de alimento para el ganado y disminuciones en los índices productivos. Ante esta situación, la conservación de forrajes mediante técnicas como el ensilaje constituye una herramienta fundamental para garantizar el suministro de nutrientes durante las épocas críticas, permitiendo mantener la productividad animal y reducir la dependencia de insumos externos.

Tradicionalmente, cultivos como el maíz, sorgo y diversas gramíneas tropicales han sido utilizados para la elaboración de ensilajes debido a su capacidad para producir grandes cantidades de materia verde y aportar energía a la dieta de los rumiantes. Sin embargo, la creciente presión sobre los recursos hídricos, los efectos del cambio climático y el aumento en los costos de producción han impulsado la búsqueda de alternativas forrajeras más eficientes y adaptadas a condiciones de estrés ambiental. En este contexto, el nopal (*Opuntia* spp.) destaca como una especie con gran potencial debido a su extraordinaria capacidad de adaptación a zonas áridas y semiáridas, donde otras especies forrajeras presentan dificultades para desarrollarse.

El nopal se caracteriza por su elevada producción de biomasa bajo condiciones de baja disponibilidad de agua, además de aportar carbohidratos solubles, minerales y una importante cantidad de humedad, lo que lo convierte en un recurso estratégico para la alimentación animal durante periodos de escasez. No obstante, su utilización como ensilaje presenta ciertas limitaciones relacionadas con su alto contenido de agua y bajo porcentaje de materia seca, factores que pueden afectar la calidad de la fermentación cuando se ensila de manera individual. Por esta razón, la combinación del nopal con gramíneas, cereales y leguminosas surge como una alternativa que permite equilibrar las características nutricionales y mejorar la conservación del material ensilado.

La presente monografía tiene como finalidad analizar el potencial del nopal como recurso forrajero y su utilización en mezclas para ensilaje con diferentes materiales vegetales empleados en México. Describiendo las características nutricionales de las principales gramíneas, cereales y leguminosas utilizadas en la elaboración de ensilajes, así como los beneficios productivos, económicos y ambientales derivados de su implementación en los sistemas ganaderos, se busca proporcionar información actualizada que contribuya al aprovechamiento eficiente de los recursos forrajeros disponibles y al fortalecimiento de una ganadería más sustentable y resiliente frente a los desafíos actuales.

1.1 Justificación

La elaboración de ensilajes a partir de mezclas de nopal y zacates representa una alternativa para complementar las características de distintos materiales y conservar forraje de buena calidad durante más tiempo. Permitiendo disponer de reservas alimenticias para las épocas de escasez, reducir pérdidas de nutrientes y mejorar el aprovechamiento de los recursos disponibles en la región. En base a eso se busca generar información que contribuya al desarrollo de estrategias de alimentación más sostenibles y accesibles para los productores pecuarios, favoreciendo la disponibilidad de alimento durante periodos críticos y fortaleciendo la productividad de los sistemas ganaderos en ambientes con limitada disponibilidad de agua. Resultando necesario aprovechar recursos forrajeros adaptados a las condiciones climáticas de estas regiones, como el nopal y otras especies forrajeras.

1.2 Objetivo general

Realizar una investigación acerca de la viabilidad del ensilado a base de nopal con zacates forrajeros y otros subproductos agrícolas en zonas de sequía a través de consultas en diferentes fuentes de información.

II. PRINCIPIOS BÁSICOS DEL ENSILADO

2.1 Definición del proceso de ensilaje

El ensilaje es un proceso anaeróbico para la conservación de cultivos húmedos por fermentación en condiciones óptimas de ensilado, las bacterias fermentan principalmente carbohidratos solubles, preservando así los nutrientes en el forraje (Villabona et al., 2022). El proceso de ensilado se ha utilizado para la conservación de alimentos durante más de 3,000 años, actualmente es la técnica más utilizada para la conservación de alimentos en rumiantes, el proceso de fermentación en estado sólido aumenta la proteína unicelular contenida en la pared celular de los microorganismos fermentadores (Cruz et al., 2024).

2.2 Fases del proceso de fermentación

La elaboración de ensilado inicia con el establecimiento y manejo del cultivo forrajero, seguido de la cosecha, el picado, el transporte, el llenado del silo, la compactación y el sellado. Cada una de estas etapas influye directamente en la calidad de la fermentación y en la conservación del material. Una vez cerrado el silo, ya no es posible corregir errores ocurridos durante el proceso, por lo que es fundamental realizar adecuadamente cada actividad desde el inicio.

Durante el almacenamiento se desarrolla una fermentación anaeróbica en la que participan diversos microorganismos presentes de forma natural en el forraje. Estos transforman los azúcares disponibles en compuestos que ayudan a conservar el material y mantener su valor nutritivo. La presencia de oxígeno favorece el crecimiento de mohos, levaduras y otras bacterias indeseables que pueden deteriorar el ensilado. Por ello, una adecuada compactación y un sellado eficiente son factores esenciales para obtener un forraje conservado de buena calidad (Araiza et al., 2021).

El proceso de ensilado se desarrolla en tres etapas principales. La primera Fase aeróbica Inicia inmediatamente después de almacenar el forraje en el silo. Durante este periodo, las células vegetales continúan utilizando el oxígeno disponible, produciendo dióxido de carbono, agua y calor. Esta etapa finaliza cuando el oxígeno se consume por completo.

Posteriormente en la fase anaeróbica al agotarse el oxígeno, se crean las condiciones adecuadas para el desarrollo de bacterias ácido-lácticas. Estos microorganismos fermentan los azúcares presentes en el forraje y generan ácidos orgánicos que disminuyen rápidamente el pH, favoreciendo la conservación del material y Finalmente, durante la Fase de estabilidad Una vez alcanzado un pH bajo, generalmente inferior a 4.0, la actividad de microorganismos y enzimas se reduce considerablemente. Como resultado, el ensilado permanece estable y puede conservar sus características durante largos periodos siempre que no exista entrada de aire (Rodríguez & Herrera, 2021).

2.3 Factores clave para un buen ensilado

En ensilados, se recomienda el uso de inoculantes como *Lactobacillus buchneri* (bacteria productora de ácido acético, evita calentar y salgan hongos) para maíz y *Lactobacillus plantarum* (bacteria que baja el pH, produciendo ácido láctico) para leguminosas. Mientras que, en henos, los preservantes químicos como el ácido propionico y el propionato de amonio son más efectivos, ya que los inoculantes no funcionan debido a la falta de humedad. El uso de preservantes en ensilados y henos es clave para reducir las pérdidas nutricionales durante su crecimiento y alimentación. La selección adecuada depende del tipo de forraje y su manejo (Romero, 2022).

El tamaño del picado del forraje es un factor clave en la calidad del ensilado, ya que afecta la compactación, la presencia de oxígeno y la temperatura dentro del silo. Un picado inadecuado puede favorecer el crecimiento de bacterias indeseables, aumentar el pH y deteriorar el ensilado. Además, durante el manejo del silo, la fermentación aeróbica puede causar pérdidas de materia seca de hasta un 30%, afectando la calidad nutricional del forraje conservado, los aditivos en el ensilado mejoran su calidad y valor nutricional. La melaza de caña (4%-8%) se usa para aumentar los azúcares, la urea (0.5%) para incrementar la proteína y las levaduras (2%-3%) para mejorar la preservación y eficiencia del ensilaje en la alimentación del ganado, conservando más nutrientes (3%-5%) (Jacobo, 2022).

La sustitución parcial del ensilado de maíz por ensilado de pasto Buffel afecta la digestibilidad de nutrientes y el balance de agua, pero no impacta negativamente el desempeño productivo de los ovinos. Reemplazar hasta un 66.6% del maíz por pasto buffel mantiene una ingesta adecuada de materia seca y nutrientes, logrando un buen aumento de peso en ovejas Santa Inés en condiciones de semiárido (Macay et al., 2025). La viabilidad y calidad del ensilado biológico depende de la materia prima y la temperatura de incubación, mientras que las cepas bacterianas utilizadas no afectan significativamente el proceso de fermentación. La estabilidad del ensilado se logra a partir del día 10, con una temperatura óptima de 32 °C, garantizando niveles aceptables de microorganismos y un alto contenido proteico (Aguirre et al., 2023).

III. PRINCIPALES FORRAJES EMPLEADOS EN EL USO DEL ENSILADO

La base fibrosa tradicional desempeña un papel esencial en la elaboración del ensilaje, debido a que proporciona la estructura física necesaria para mantener una adecuada compactación y conservación del material almacenado. Este componente favorece la estabilidad del proceso fermentativo al facilitar condiciones anaeróbicas que permiten preservar los nutrientes y reducir pérdidas de calidad. Asimismo, la cantidad y características de la fibra influyen directamente en la textura, estabilidad y valor nutricional del ensilado, convirtiéndose en un factor determinante para obtener un alimento conservado de buena calidad (Fillippi et al., 2022). A continuación, presento las especies gramíneas que, por su adaptabilidad y valor nutricional, resultan fundamentales en esta investigación:

3.1 Gramíneas de corte (Zacates) y taxonomía



a) Buffel

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Liliopsida*

Orden: *Poales*

Familia: *Poaceae* (antes *Gramineae*)

Género: *Cenchrus* (antes *Pennisetum*)

Especie: *Cenchrus ciliaris*

Figura 1. *Cenchrus ciliaris*

Zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris*) clasificado botánicamente dentro de la familia *Poaceae*, se ha consolidado como una gramínea de gran resistencia en ecosistemas áridos. Originario del África tropical y el Medio Oriente, su capacidad para prosperar en condiciones de alta temperatura y estrés hídrico lo convirtió en el protagonista de los programas de revegetación en el norte de México durante la década de los 50. Aun cuando actualmente existe un debate sobre su comportamiento invasor, no se puede negar su valor como alternativa económica para zonas de baja fertilidad (Arellano et al., 2022).

Esta especie forrajera se utiliza ampliamente para la alimentación del ganado debido a su alto rendimiento, buena calidad nutritiva y excelente tolerancia a la sequía. Su cultivo permite aprovechar terrenos de baja fertilidad donde otros cultivos no prosperan, lo que lo convierte en una alternativa económica y sostenible para los productores rurales, así como conservar el suelo y mantener la cobertura vegetal, favoreciendo la recuperación de ecosistemas degradados (Polo et al., 2021).

El zacate Buffel presenta una proteína cruda moderada, entre 6 y 14% de materia seca, y un contenido elevado de fibra, con fibra detergente neutro (FDN) entre 64 y 75% y fibra detergente ácido (FDA) entre 37 y 39%. Sus azúcares solubles varían entre 11.6 y 10.1 mg/g de materia seca, lo que aporta energía rápida para la digestión ruminal (Singh et

al., 2023). Al ser evaluado en la dieta de ovinos, muestra un buen desempeño en la alimentación de estos animales, especialmente cuando se utiliza como sustituto parcial del ensilaje de maíz, promoviendo una adecuada ingesta de nutrientes y agua sin afectar significativamente el rendimiento productivo (Sosa, 2021).

b) Maralfalfa



Reino: *Plantae*
División: *Magnoliophyta*
Clase: *Liliopsida*
Orden: *Poales*
Familia: *Poaceae*
Género: *Pennisetum o cenchrus*
Especie: *Pennisetum purpureum*

Figura 2. *Pennisetum purpureum*

El ensilado elaborado con maralfalfa (*Pennisetum purpureum*) es una alternativa forrajera importante para los sistemas pecuarios del sureste de México, debido a su elevada producción de biomasa y su capacidad de adaptación a condiciones tropicales, proporcionando un buen aporte de fibra en la dieta de los ovinos, favoreciendo la digestibilidad y el aprovechamiento del alimento (Chiquini et al., 2024).

c) Bermuda



Reino: *Plantae*
División: *Magnoliophyta*
Clase: *Liliopsida*
Orden: *Poales*
Familia: *Poaceae*
Género: *Cynodon*
Especie: *Cynodon dactylon*

Figura 3. *Cynodon dactylon*

El Zacate Bermuda (*Cynodon dactylon*), presenta una dinámica nutricional muy particular debido a que cambia a lo largo del año. Durante la temporada de lluvias ofrece mejores niveles de proteína y una mayor digestibilidad, mientras que en épocas secas o frías aumenta el contenido de fibra y disminuye su calidad nutricional. Por esta razón, la alimentación del ganado debe adaptarse a las condiciones de cada temporada (Pérez, 2024).

d) Estrella Africana



Reino: *Plantae*
División: *Magnoliophyta*
Clase: *Liliopsida*
Orden: *Poales*
Familia: *Poaceae*
Género: *Cynodon*
Especie: *Cynodon nlemfuensis*

Figura 4. *Cynodon nlemfuensis*

El zacate Estrella Africana, (*Cynodon nlemfuensis*) destaca su capacidad de adaptación, rápido crecimiento y buena aceptación por el ganado. La mayor producción de forraje se registra durante la época de lluvias, por mantener rendimientos favorables bajo un manejo adecuado (Picado et al., 2024). Su valor nutritivo es mayor en rebrotes jóvenes, donde presenta niveles adecuados de proteína y digestibilidad. Conforme avanza su desarrollo, se incrementa la concentración de fibra y disminuye el aprovechamiento nutricional. Gracias a su equilibrio entre producción de forraje y calidad alimenticia, es una especie ampliamente utilizada en sistemas de pastoreo y conservación de forrajes (Ferrufino et al., 2022).

e) Zacate Tanzania



Reino: *Plantae*
 División: *Magnoliophyta*
 Clase: *Liliopsida*
 Orden: *Poales*
 Familia: *Poaceae*
 Género: *Megathyrsus*
 Especie: *Megathyrsus maximus*

Figura 5. *Megathyrsus maximus*

El zacate Tanzania (*Megathyrsus maximus*) resalta por su alta producción de biomasa y su buena capacidad de recuperación después del corte o pastoreo. Su crecimiento se incrementa considerablemente durante la temporada de lluvias, cuando las condiciones de humedad favorecen el desarrollo de la planta. Bajo un manejo adecuado, puede alcanzar contenidos de proteína cruda que oscilan entre 10 y 14% antes de la etapa de floración. Por otra parte, una vez que inicia su fase reproductiva, su calidad nutritiva disminuye rápidamente debido al aumento de la fibra y la reducción de la digestibilidad. Por esta razón, es importante realizar la cosecha o el ensilado en el momento oportuno para conservar el mayor valor nutricional posible del forraje (Pincay et al., 2024).

f) **Zacate Elefante**



Reino: *Plantae*
 División: *Magnoliophyta*
 Clase: *Liliopsida*
 Orden: *Poales*
 Familia: *Poaceae*
 Género: *Cenchrus*
 Especie: *Cenchrus purpureus*

Figura 6. *Cenchrus purpureus*

El zacate Elefante (*Cenchrus purpureus*) es una gramínea ampliamente utilizada por su alta capacidad para producir forraje y generar grandes volúmenes de biomasa, por eso conforme avanza su madurez aumenta la concentración de fibra y disminuye su aprovechamiento nutricional. Realizar un picado uniforme y asegurar una buena compactación del material, favorece la fermentación y la conservación del forraje. (Rodríguez, 2024).

3.2 Cereales forrajeros tradicionales y taxonomía

a) Maíz



Reino: *Plantae*
División: *Magnoliophyta*
Clase: *Liliopsida*
Orden: *Poales*
Familia: *Poaceae*
Género: *Zea*
Especie: *Zea mays*

Figura 7. *Zea mays*

El maíz (*Zea mays*) se distingue como el motor energético de la producción global debido a su alta concentración de almidón y carbohidratos de fácil digestión. Su estacionalidad obliga a los mercados a depender de infraestructuras de almacenamiento masivo durante el invierno, ya que sus recolecciones principales ocurren al cierre del año en las zonas templadas. Genéticamente estructurado bajo una ruta fotosintética eficiente, posee una asombrosa conversión biológica que maximiza el follaje y los residuos industriales. Aunque su aporte de aminoácidos esenciales y fibra dietética es inferior al de otros granos finos, su volumen de producción vegetal limpia lo convierte en un pilar indispensable para la elaboración de forrajes y biocombustibles modernos (Simicet al., 2024).

b) Sorgo



Reino: *Plantae*
División: *Magnoliophyta*
Clase: *Liliopsida*
Orden: *Poales*
Familia: *Poaceae*
Género: *Sorghum*
Especie: *Sorghum bicolor*

Figura 8. *Sorghum bicolor*

EL Sorgo (*Sorghum bicolor*) se consolida como el recurso alternativo más viable frente a las crisis climáticas contemporáneas gracias a su rústica anatomía y mínima exigencia hídrica. Las curvas de recolección coinciden con las épocas secas del otoño, sirviendo como amortiguador agrícola cuando otros cultivos claudican ante el calor extremo (Hassan, 2023). En el plano nutricional, aporta proteínas con tasas similares a las del trigo, pero enriquecidas con compuestos antioxidantes naturales y taninos que regulan el azúcar en la sangre. Su pared celular promueve un balance ideal de fibra insoluble que estimula la microbiota digestiva, al tiempo que genera un rastrojo fibroso sumamente cotizado para proteger los suelos de la erosión y alimentar rumiantes (Rusev, 2025).

c) Trigo



Reino: *Plantae*
División: *Magnoliophyta*
Clase: *Liliopsida*
Subclase: *Commelinidae*
Orden: *Poales*
Familia: *Poaceae*

Género: *Triticum aestivum*

Figura 9. *Triticum aestivum*

Trigo (*Triticum aestivum*), este cereal es el eje fundamental de la alimentación humana en el hemisferio occidental, caracterizado por un ciclo de maduración invernal que inunda los mercados comerciales a mitad de año. Fisiológicamente, supera a sus contrapartes en la concentración de proteínas de alto valor funcional, es una fuente colosal de fibra soluble e insoluble concentrada en sus capas externas, cualidad asociada directamente con la salud coronaria e intestinal. A nivel de biomasa, genera un volumen de paja seca que, lo hace menor en peso bruto, pero ofrece una densidad estructural rica en lignina y celulosa ideal para la fijación de carbono orgánico (Sharma & Sharma, 2025).

3.3 Leguminosas forrajeras y taxonomía

a) **Mezquite**



Reino: *Plantae*

División: *Tracheophyta* (plantas vaciculares)

Clase: *Magnoliopsida* (dicotiledóneas)

Orden: *Fabales*

Familia: *Fabaceae* (Leguminosae)

Género: *Neltuma* (antes *Prosopis*)

Especie: *Neltuma glandulosa*

Figura 10. *Neltuma glandulosa*

El mezquite (*Neltuma glandulosa*) es alto en contenido de carbohidratos y azúcares solubles en un 20-30%, proteína cruda de 8-15% PC menos que alfalfa y más que la paja, FDN moderada 20-25%, presenta una mejor calidad nutritiva cuando se encuentran en etapas tempranas de maduración, ya que contienen mayores niveles de proteína y

azúcares solubles. Conforme el fruto madura, aumenta la cantidad de fibra y lignina, reduciendo su digestibilidad y aprovechamiento por el ganado (Armijo et al., 2019).

Incluir vainas de mezquite (*Neltuma glandulosa*) en la alimentación de ovinos en engorda, analizando su influencia sobre la fermentación ruminal y el desempeño productivo, muestra un aumento en la ganancia de peso y una fermentación más eficiente dentro del rumen, sin afectar la salud animal. Representando una alternativa forrajera viable para reducir costos de alimentación en regiones áridas (Haro et al., 2023). Al fermentar el jugo de las vainas de mezquite, con la finalidad de aprovecharlo como alimento nutritivo y funcional, en diferentes condiciones de fermentación afectan sus componentes químicos y su valor nutricional, este proceso mejora la digestibilidad y mantiene los azúcares y compuestos beneficiosos del zumo, creando productos fermentados con valor agregado a partir de las vainas (Rodríguez et al., 2022).

a) Alfalfa



Reino: *Plantae*
División: *Magnoliophyta*
Clase: *Magnoliopsida* (dicotiledóneas)
Orden: *Fabales*
Familia: *Fabaceae* (Leguminosae)
Género: *Medicago*
Especie: *Medicago sativa*

Figura 11. *Medicago sativa*

La alfalfa (*Medicago sativa* L) es un forraje de alto valor nutricional debido a su elevado contenido de proteína; sin embargo, su conservación como ensilaje puede resultar complicada. Debido a que posee una alta capacidad amortiguadora y una baja concentración de azúcares fermentables, factores que dificultan la rápida disminución del pH durante la fermentación. Para obtener un ensilado de buena calidad, se recomienda realizar un pre-marchitamiento que permita alcanzar entre 35 y 40 % de materia seca. De

lo contrario, aumenta el riesgo de fermentaciones indeseables que afectan la calidad, el aroma y el consumo del forraje. Además, el uso de inoculantes o fuentes adicionales de carbohidratos puede favorecer el proceso de conservación y mejorar la estabilidad del ensilaje (Srisaikham, 2021).

CUADRO 1. Valor nutritivo de los principales forrajes

Material de Silo	Materia Seca (MS%)	Proteína Cruda (PC%)	Cenizas	Fibra Detergente Neutro (FDN%)	Carbohidratos Totales (%)	Humedad (%)
Buffel	28 – 31	6 – 14	8.5 – 11.5	– 64 – 75	10.1 - 11.6	69 – 72
Maralfalfa	20 – 23	8 - 11.5	8 – 10	60 – 66	5.5 – 8	77 – 80
Bermuda	28 – 32	10 - 13.5	7.5 – 10.5	– 60 – 76	4 – 6	68 – 72
Estrella africana	26 – 28	9 – 12	9 – 12	65 – 72	3.5 - 5.5	70 – 75
Tanzania	25 – 28	10 – 14	8.5 – 11	62 – 68	4 – 6.5	72 – 75
Elefante	22 – 25	7.5 - 9.5	8 – 10	64 – 70	5 - 7.5	75 – 78
Maíz (1)	32 – 35	7 - 8.5	4 – 6.5	40 – 48	8 – 12	65 – 68
Sorgo (2)	29 – 31	6.5 – 8	5.5 – 7.5	50 – 58	10 – 14	58 – 65
Trigo (3)	30 – 34	9 11.5	6 - 8	48 – 55	6 - 9	66 – 70
Mezquite	38 - 42	8 – 15	6.5 – 8.5	20 – 25	20 – 30	58 – 6
Alfalfa	35 – 40	18 – 22	9.5 – 26	38 – 44	3.5 – 6	58 – 65



Figura 12. Materiales de silo en México. Imagen creada con IA

IV EL NOPAL (*Opuntia spp*) COMO RECURSO FORRAJERO

4.1 Características botánicas y ventajas ecológicas



Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Caryophyllales*

Familia: *Cactaceae*

Género: *Opuntia*

Figura 13. *Opuntia spp*

El nopal (*Opuntia spp*) es un recurso vegetal importante en el norte de México, es originaria de América y actualmente se cultiva en muchos países del mundo (México, Sicilia, Chile, Brasil, Turquía, Corea, Israel, Argentina, China, y el norte de África), se ha adaptado durante milenios a las temperaturas extremas y la prolongada sequía, por lo que se considera una fuente viable de energía digestible, agua y vitaminas durante la época de sequía en muchos de los entornos del mundo y se considera un alimento valioso en regiones donde otras plantas no pueden sobrevivir debido a condiciones ambientales extremas (Samir et al., 2023).

4.2 Valor nutritivo y limitante

El nopal forrajero es una alternativa importante para la alimentación animal en zonas áridas y durante periodos de sequía, debido a su elevado contenido de agua (70 a 93 %), contiene carbohidratos solubles y minerales. Aunque el nopal tiene bajo contenido de almidón, su riqueza en celulosa y hemicelulosa lo hace viable para este propósito. Su capacidad para aprovechar eficientemente el agua le permite adaptarse a condiciones de baja precipitación. Además, factores como la temperatura, la luz, la humedad y la

disponibilidad de nutrientes influyen en su crecimiento y desarrollo, favoreciendo su adaptación a diferentes ambientes (Melero et al., 2020).

CUADRO 2. Composición bromatológica del nopal

Nopal	Humedad	MS (%)	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	Cenizas	Carbohidratos
Tierno	91 - 93.5	85 – 90	11 – 15	32 – 41	11 - 4.5	13 – 18.5	45 – 52
Maduro	85 – 90	10 – 15	3 - 6.5	32 – 41	18 – 22	19 - 26	35 – 42

4.3 El reto de ensilar solo nopal

Cuando se ensila de manera individual, su bajo contenido de materia seca puede generar dificultades durante la fermentación, evitando pérdidas nutricionales y una menor estabilidad del material conservado, el exceso de humedad presente en el nopal puede ocasionar la formación de efluentes y propiciar fermentaciones no deseadas que afectan la calidad del ensilado. La incorporación de zacates, leguminosas y gramíneas permiten absorber parte del exceso de humedad, mejorar la estructura física del silo y aportar fibra efectiva para el adecuado funcionamiento ruminal. Esta combinación favorece una fermentación más eficiente y reduce el riesgo de deterioro durante el almacenamiento. La mezcla de nopal con forrajes de mayor contenido fibroso representa una estrategia viable para obtener ensilajes de mejor calidad nutricional y mayor estabilidad, especialmente en sistemas pecuarios ubicados en zonas con limitada disponibilidad de agua (Medeiros et al., 2024).

V. SINERGIA EN EL ENSILADO: NOPAL + ZACATES

5.1 Equipo para proceso de ensilaje

a) Picadora de forraje



Figura 14. Picadora de forraje

Máquina de arrastre equipada con cuchillas rotativas. Su función principal es reducir el tamaño de partícula del material vegetal grueso para facilitar su ingesta y mejorar el proceso de fermentación anaeróbica.

b) Compactadora manual o prensa



Figura 15. Compactadora manual

Dispositivo mecánico accionado por fuerza humana o hidráulica simple. Se utiliza para extraer el aire presente en la masa forrajera dentro de silos artesanales, incrementando la densidad del material para asegurar condiciones anaeróbicas óptimas.

c) Silos de tanques



Figura 16. Tanques de silo

Estructuras de almacenamiento hermético de baja capacidad, los tanques rígidos aíslan el forraje del oxígeno y la humedad exterior, permitiendo una fermentación láctica estable a microescala.

d) **Cosechadora de forraje**



Figura 17. Cosechadora de forraje

Implemento acoplado al tractor que corta, pica y expulsa el material verde en una sola operación. Optimiza los tiempos de recolección en campo al procesar hileras de cultivos densos de manera continua.

e) **Remolques forrajeros**



Figura 18. Remolque de transporte

Remolque diseñado para cargar, transportar y descargar forraje, pasto, ensilado y pacas claves para agilizar la recolección y distribución del alimento.

f) **Embolsado de forraje**



Figura 19. *Bolsas de silo*

Sistema de almacenamiento mecanizado de escala media. Consiste en empujar el forraje hacia el interior de una bolsa plástica.

g) **Cosechadoras autopropulsadas**



Figura 20. Cosechadoras autopropulsadas

Unidades motorizadas independientes de gran potencia diseñadas exclusivamente para la recolección masiva. Cuentan con cabezales intercambiables de alta eficiencia que procesan grandes volúmenes de forraje por hora con un picado altamente uniforme.

h) **Silo bolsa**



Figura 21. Silo bolsas

Mangas plásticas de gran longitud que garantizan una densidad homogénea y exclusión total de aire.

i) **Aplicadores automáticos de inoculantes**



Figura 22. Aplicador de inoculantes

Dispositivos electrónicos instalados directamente en los canales de expulsión de las cosechadoras. Dosifican de forma exacta bacterias ácido-lácticas líquidas o liofilizadas sobre el forraje fresco, acelerando el descenso del pH durante el almacenamiento.

5.2 Estructuras de almacenamiento Permanente

a) **Silo bunker**



Figura 23. Silo bunker

Estructura fija construida sobre el nivel del suelo que consta de un piso firme (generalmente de concreto) y tres paredes laterales rígidas de hormigón o mampostería. Permite almacenar grandes volúmenes de alimento y facilita una extracción mecánica rápida en sistemas de confinamiento de mediana a alta escala.

b) Silo pastel



Figura 24. Silo pastel

Método de almacenamiento superficial donde el material vegetal picado se apila directamente sobre el terreno plano o con una ligera pendiente para favorecer el drenaje, conformando una rampa o montículo alargado. Es una opción económica que requiere baja inversión en infraestructura.

c) Silo de torre



Figura 25. Silo torre

Estructura cilíndrica vertical construida con hormigón, ladrillo o láminas metálicas galvanizadas, con alturas que oscilan entre los 10 y 25 metros. El forraje fresco se introduce por la parte superior mediante sopladores mecánicos y se compacta por el efecto natural de la gravedad debido al propio peso del material acumulado.

d) Microsilos en bolsa



Figura 26. Silo en bolsa

Bolsas individuales con capacidades de 30 a 50 kg donde el operario extrae el aire manualmente o con bombas de vacío simples. Es una alternativa ideal para pequeños productores debido a que previene el deterioro por avance al abrir solo la ración diaria.

e) Tanques de plástico



Figura 27. Tanques de plástico

Contenedores rígidos de polietileno o PVC equipados con tapas de cierre hermético y cinchos de seguridad. A diferencia de las bolsas plásticas, ofrecen una alta resistencia mecánica contra roedores y roturas, son completamente reutilizables tras su lavado y permiten un manejo logístico manual o apilado muy eficiente en microexplotaciones.

CUADRO 3. Perdidas promedio según el almacenamiento

Almacenamiento	Perdidas %
Silo torre	10 – 15
Silo bolsa	7 – 10
Silo bunker	10 – 15
Silo puente	15 – 25

5.2 Balance de humedad y fibra

Debido a la gran cantidad de agua que contiene el nopal, cuando se intenta compactar sin acompañamiento, la estructura se abre de inmediato y libera lixiviados que arrastran consigo los nutrientes solubles más valiosos. Para evitar esta pérdida, la incorporación de gramíneas, con un contenido de materia seca de entre el 60 y el 80% ya sea mediante henificado o pre-secado funciona como una esponja estructural indispensable. De esta

manera, la Fibra Detergente Neutro (FDN) y la Fibra Detergente Ácido (FDA) de los zacates atrapan mecánicamente el agua libre del nopal dentro de la matriz del silo, lo que genera el equilibrio osmótico ideal para que el microbioma se desarrolle sin pérdidas por escurrimiento (Mestanza, 2022).

Las bacterias ácido-lácticas necesitan sustratos fermentables directos para sintetizar ácido láctico, una demanda que el nopal cubre eficazmente gracias a su alto contenido de carbohidratos solubles no estructurales y pectinas. Por otro lado, la sustancia gelatinosa del nopal ayuda a controlar y conservar la humedad que resulta crucial en el proceso. Esta sustancia reduce la velocidad con la que se degrada el agua inicialmente y estabiliza la caída del pH, Limitando el crecimiento de microorganismos indeseables, especialmente las bacterias del género *Clostridium*, las cuales suelen desarrollarse en ambientes con exceso de humedad y pueden provocar el deterioro y la pudrición del forraje (Cardoso et al., 2023).

5.3 Proporciones optimas de mezcla

Ensilar nopal puro es inviable debido a sus restricciones físicas y químicas, derivadas de un 90% de humedad y un porcentaje mínimo de materia seca. La mezcla final introducida al silo debe estabilizarse entre el 15, 30 y el 35% de materia seca si se busca una fermentación láctica eficiente que no derive en lixiviados ni putrefacción (Araiza et al., 2021).

CUADRO 4. Proporciones de la mezcla de ensilados

Componente	Proporción (%)	Función técnica
Nopal	40 – 50	Aporte de agua libre, viscosidad y carbohidratos no estructurales
Gramíneas: (Buffel, Bermuda, Estrella, Tanzania, Elefante, Maralfalfa)	35 – 45	Absorción de humedad y aporte de FDN

Cereales: (Maíz, 30 – 40 Sorgo, Trigo)	Almidones y sustrato fermentable de alta digestibilidad con materia seca
Leguminosas: 10 – 15 (Alfalfa, Mezquite)	Corrección del déficit proteico del nopal mediante el crecimiento de proteína cruda

Para un volumen de 1,000 kg de mezcla fresca, las fórmulas cambian según las condiciones de cada macro-región :

- a) **Región Norte:** Requiere un 45% de nopal, un 35% de pasto Buffel o sorgo, un 15% de vaina de mezquite molida o alfalfa, cerrando con un 5% de inóculo o melaza.
- b) **Región Centro:** Se estructura con un 40% de nopal, un 45% de planta completa de maíz o trigo y un 15% de alfalfa.
- c) **Región Sur:** Debido a las condiciones del trópico húmedo, se utiliza un 50% de nopal combinado con un 50% de gramíneas de corte como Maralfalfa, Elefante o Tanzania, las cuales deben pasar por un proceso previo de marchitamiento.

5.4 Indicadores de calidad del ensilado mixto

- a) **Color:** Las tonalidades correctas van del verde olivo al amarillo. Si aparece un marrón oscuro o negro, significa que el silo sufrió daño por sobrecalentamiento debido a la reacción de Maillard, mientras que los tonos pálidos o azulados delatan la presencia de hongos.
- b) **Olor:** Un buen silo despide un aroma frutal o ligeramente vinagrado que refleja una producción limpia de ácidos láctico y acético, los olores amoniacales indican degradación de proteínas, así como el olor a rancio o a ácido butírico, típicos de una mala compactación o de un exceso de agua.
- c) **pH Final:** Este es el indicador crítico de la estabilidad termodinámica del alimento. Cuando se trabaja con mezclas que incluyen nopal, el rango de estabilización debe mantenerse estrictamente entre 3.8 y 4.2. Cualquier registro por encima de un pH de 4.5 arruinará la vida de anaquel del producto al momento de abrir el silo.

- d) **Palatabilidad:** La fibra regula el exceso de acidez y respeta el sabor dulce residual de los azúcares de la cactácea, dando como resultado una alta aceptación voluntaria por parte del ganado. Esto estimula el consumo de materia seca total y optimiza la rumia gracias al aporte de una fibra con excelente textura.

VI. PRINCIPALES PRODUCTOS ELABORADOS A BASE DE NOPAL PARA ALIMENTACIÓN ANIMAL

6.1 Nopal picado en fresco (Tratamiento tradicional)

El suministro inmediato de la penca fresca exige la eliminación previa de sus espinas mediante el proceso artesanal del chamuscado directo con quemadores de gas. Aplicar fuego directo reduce notablemente la carga microbiana nativa del vegetal sin alterar la digestibilidad in vitro de la materia seca. El picado mecánico facilita una ingestión rápida y mitiga riesgos de asfixia en bovinos aportando además un volumen hídrico crítico en zonas áridas. Las evaluaciones metabólicas demuestran que este ingrediente crudo destaca por poseer un contenido promedio de proteína cruda de apenas un 5.20% (Hernández et al., 2025).

6.2 Nopal deshidratado y harina de nopal

La transformación del nopal mediante secado solar o industrial estabiliza los nutrientes eliminando el agua para extender la vida útil del recurso forrajero. Este proceso convierte la penca en un concentrado energético idóneo para su molienda y almacenamiento prolongado en bodegas sin peligro de pudrición. La harina de nopal es un vehículo excelente de carbohidratos no fibrosos y minerales digeribles de alta asimilación. Las dietas secas balanceadas con este polvo optimizan la logística del transporte ganadero en regiones desérticas alejadas (Hernández et al., 2019).

6.3 Nopal fermentado en estado sólido (FES) o Nopal Proteico

La fermentación del nopal es una alternativa que mejora significativamente su valor nutricional. Mediante el uso de levaduras y fuentes de nitrógeno, los azúcares presentes en la planta se transforman en proteína microbiana, incrementando su contenido proteico hasta cuatro veces respecto al material original. Gracias a ello, el nopal fermentado puede utilizarse como una opción más económica para complementar la alimentación de los rumiantes, contribuyendo a reducir costos y favoreciendo un mejor aprovechamiento de los nutrientes (Herrera et al., 2024).

VII. IMPACTO PRODUCTIVO Y ECONÓMICO EN LA GANADERÍA

7.1 Respuesta animal

La conservación de forrajes mejora el desempeño productivo de los animales. Los ensilajes de buena calidad pueden aumentar la producción de leche y favorecer una mayor ganancia de peso. Contribuyendo a mejorar la composición de la leche al incrementar su contenido de grasa, proteína y sólidos totales. Por otra parte, el heno y los ensilajes ayudan a mantener la salud ruminal. Su aporte de fibra favorece la masticación y la producción de saliva, mientras que una fermentación adecuada mejora el aprovechamiento de los nutrientes (Rodríguez & Herrera, 2021).

7.2 Reducción de costos

La conservación de forrajes también aporta beneficios económicos al reducir la dependencia de alimentos concentrados y otros insumos externos. Contar con reservas forrajeras durante épocas de escasez ayuda a disminuir los costos de alimentación sin afectar el rendimiento de los animales. El uso de tecnologías de conservación adaptadas a cada sistema productivo, como el ensilado en bolsa, reduce los gastos de infraestructura y almacenamiento. Esto favorece una mayor rentabilidad y mejora los ingresos de las explotaciones pecuarias (Rodríguez & Herrera, 2021). Ejemplos:

- a) El maíz suele representar uno de los mayores costos en los sistemas de alimentación. Si una mezcla de nopal y alfalfa puede ofrecer resultados similares,

el productor tiene una alternativa más económica, especialmente en regiones áridas donde producir maíz implica mayores gastos de agua e insumos.

- b) Cuando un ensilaje tiene mejor calidad nutricional, el productor necesita menos suplementos para cubrir los requerimientos de los animales. En términos prácticos, esto significa gastar menos dinero en concentrados y aprovechar mejor los recursos producidos dentro de la propia explotación.
- c) El nopal puede producir biomasa con muy poca agua, en épocas de sequía y disponer de una fuente de forraje estable reduce la necesidad de comprar alimento externo, ayuda a mantener los costos bajo control y disminuye el riesgo económico de la producción (Silva et al., 2022).

7.3 Sustentabilidad

La incorporación de especies forrajeras con potencial mitigador dentro de sistemas silvopastoriles contribuye a disminuir las emisiones de metano entérico, favoreciendo una producción más eficiente desde el punto de vista ambiental. El aprovechamiento integral de los cultivos y el uso de subproductos agroindustriales permiten transformar materiales que de otro modo serían desechados en recursos valiosos para la alimentación animal. Finalmente, la conservación de forrajes constituye una herramienta clave para fortalecer la resiliencia de los sistemas ganaderos frente a condiciones climáticas adversas. Esta capacidad de adaptación convierte al ensilaje y al heno en componentes fundamentales de una ganadería moderna, rentable y ambientalmente responsable (Rodríguez & Herrera, 2021).

VIII. CONCLUSIONES

El ensilado mixto de nopal con zacates forrajeros, como *Cenchrus ciliaris*, constituye una estrategia eficaz para superar las limitaciones asociadas al bajo contenido de materia seca y fibra del nopal cuando se utiliza de forma individual. La inclusión de nopal en proporciones de hasta 40-45 % de la materia fresca mejora el perfil mineral del ensilaje y aumenta la disponibilidad de carbohidratos solubles, favoreciendo una fermentación láctica más rápida y reduciendo las pérdidas de nutrientes por producción de gases. De igual manera, la combinación con gramíneas de alta producción, como el pasto *Cenchrus purpureus*, permite alcanzar recuperaciones de materia seca superiores al 96 %, manteniendo valores de pH adecuados que contribuyen a la estabilidad aeróbica del alimento durante los periodos de sequía. En términos productivos, la suplementación con ensilajes de nopal enriquecidos con fuentes de nitrógeno, como urea o leguminosas, ha mostrado incrementos importantes en la ganancia diaria de peso, reportándose valores de hasta 180-198 g por día en ovinos, además de mejorar la digestibilidad de la fibra detergente neutra en comparación con dietas basadas en ensilado de maíz convencional. Por otra parte, el elevado contenido de humedad del nopal ensilado representa una fuente estratégica de agua para el ganado en regiones áridas y semiáridas, contribuyendo a reducir la dependencia del consumo directo de agua sin afectar la ingesta de materia seca. Por último, el uso de nopal como sustituto parcial de concentrados energéticos, como el salvado de sorgo, favorece la disminución de costos de alimentación, mejora el balance de nitrógeno y constituye una alternativa sustentable y económicamente viable para los sistemas de producción pecuaria.

IX. RECOMENDACIONES

Para optimizar la calidad del ensilaje de nopal asociado con gramíneas, es recomendable ajustar la fracción nitrogenada mediante la incorporación de fuentes de nitrógeno soluble o el co-ensilaje con leguminosas como *Neltuma Glandulosa*, ya que el nopal puede incrementar las fracciones de proteína menos degradables y afectar la disponibilidad de nitrógeno para los microorganismos ruminales. Además, se recomienda que tanto el nopal como los zacates sean picados a un tamaño de partícula de entre 2 y 3 cm antes de su compactación, con el fin de favorecer la exclusión de aire, mejorar la densidad del silo y reducir el riesgo de crecimiento de hongos. En cuanto a las proporciones de mezcla, diversos estudios sugieren mantener la inclusión de nopal entre 15 % y 30 % de la materia natural, ya que este rango permite maximizar la digestibilidad de la materia orgánica y minimizar las pérdidas por efluentes. Finalmente, el empleo de aditivos biológicos, como *Lactobacillus plantarum*, representa una alternativa prometedora para incrementar el contenido proteico y mejorar la calidad fermentativa del ensilaje, especialmente en sistemas de fermentación en estado sólido destinados a la alimentación de ganado bovino.

X. LITERATURA CITADA

1. Aguirre, Y. J. A., Ortiz, J. Q., Mogollón, G. M. O., & Suárez, H. S. (2023). Influencia de cepas bacterianas y condiciones de incubación en la viabilidad y calidad de ensilados biológicos para su uso en la producción animal. *Manglar: Revista de Investigación Científica*, 20(3), 221-231.
2. Cruz, J. V., Murillo, W. E., García, M. O., Romero, L. G. V., & Rodríguez, J. C. B. (2024). ELABORACIÓN DE ENSILAJE A BASE DE NOPAL (*Opuntia* SPP), ALTERNATIVA FORRAJERA PARA LA ALIMENTACIÓN DE GANADO. *AvaCient*, 3(1), 10-17.
3. Araiza-Rosales, E., González-Arreola, A., Pámanes-Carrasco, G., Murillo-Ortiz, M., Jiménez-Ocampo, R., & Herrera-Torres, E. (2021). Calidad fermentativa y producción de metano en ensilados de rastrojo de maíz adicionados con nopal fermentado y sin fermentar. *Abanico veterinario*, 11.
4. Macay-Anchundia, M. A., Barreto-Moreira, F. D., Andrade-Mendoza, D. Y., & Pérez-Zambonino, Y. A. (2025). Desempeño Productivo de Ovinos Tropicales Alimentados con Ensilaje de King Grass y Suplementación con *Tithonia diversifolia*, *Pueraria phaseoloides* y *Gliricidia sepium*. *Erevna Research Reports*, 3(2), e2025014-e2025014.
5. Fillippi, R. D., Gil, M. D. L. L. M., Azcón, C., & Barea, J. M. (Eds.). (2022). *Praderas y pasturas*. Universidad de la Frontera.
6. Villabona Ortiz, Á., Paz Astudillo, I. C., & Martínez García, J. (2013). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 137-144.
7. Ferrufino-Suárez, A. J., Mora-Valverde, D., & Villalobos-Villalobos, L. A. (2022). Biomass and bromatology of African Stargrass (*Cynodon nlemfuensis*) with five regrowth stages. *Agronomía Mesoamericana*, 33(2).

8. Guillen Arellano, D. A. (2022). *Productividad de las principales especies gramíneas forrajeras mejoradas del trópico ecuatoriano en condiciones de secano* [Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Babahoyo].
9. Srisaikham, S. (2021). Comparación de valores nutricionales, compuestos bioactivos, aminoácidos y actividades antioxidantes de la planta de alfalfa (*Medicago sativa*) y el pellet para su uso como material beneficioso para la alimentación de rumiantes. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)* , 18 (5), 10312-16.
10. Jacobo Aquino, S. N. E. (2022). *Evaluación de temperatura y pH en la elaboración de ensilado con lodo de palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.)* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2242>
11. Medeiros, I. P. S., Guido, S. I., Gama, M. A. S., Silva, C. H. M., Siqueira, M. C. B., Silva, C. S., Netto, A. J., Felix, S. B., Rabelo, M. N., & Ferreira, M. A. (2024). Cactus cladodes and sugarcane bagasse can partially replace earless corn silage in diets of lactating dairy cows. *Dairy*, 5(1), 33–43. <https://doi.org/10.3390/dairy5010003>
12. Pérez Castro, M. (2024). Evaluación de zacate ballico (*Lolium perene* L.) y bermuda (*Cynodon dactylon*) y *Kalanchoe serrata* como especies con potencial para fitominería.
13. Sharma, K., & Sharma, P. (2025). El trigo como fuente de nutrición: dando forma a la seguridad alimentaria mundial
14. Mestanza Inga, I. T. (2023). Comparación de la eficiencia en la reducción de turbidez del agua usando la penca sábila (*Aloe vera*) respecto al nopal (*Opuntia ficus-indica*) en el distrito de Cumba, Utcubamba–Amazonas, 2022.
15. Picado-Pérez, T., Lemus, R., Rivera, D., & Villalobos-Villalobos, LA (2024). Características nutritivas y fermentativas del forraje de *Cynodon nlemfuensis* Vandyerst (pasto estrellado africano) conservado para ensilaje y henolage. *Fermentation* , 10 (6), 268.

16. Pincay Ronquillo, W., Gavilánez Buñay, T., Verdecía Acosta, D. M., Chacón Marcheco, E., Ramírez de la Ribera, J. L., & Herrera, R. S. (2024). *Productive performance, chemical characterization and energy contribution of Megathyrsus maximus cv. Tanzania. Cuban Journal of Agricultural Science*, 58, e10.
17. Hassan, S. M. (2023). *Nutritional, Functional and Bioactive Properties of Sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) with its Future Outlooks: A Review. Open Journal of Nutrition and Food Sciences*, 5(1), Article 1030.
18. Rodríguez, M. G., & Herrera, V. H. (2021). Análisis comparativo de métodos de conservación de forraje y su impacto en la producción de leche bovina en el Trópico Alto. *Ciencias Agropecuarias*, 7(1), 27-49
19. Sánchez-Guerra, N. A., Gonzalez-Ronquillo, M., Anderson, R. C., Hume, M. E., Ruiz-Albarrán, M., Bautista-Martínez, Y., Zúñiga-Serrano, A., Nájera-Pedraza, O. G., & Salinas-Chavira, J. (2024). *Improvements in fermentation and nutritive quality of elephant grass [Cenchrus purpureus (Schumach.) Morrone] silages: A review. Tropical Animal Health and Production*, 56(5), 171.
20. Romero Gómez, J. J. (2022). Preservantes para reducir las pérdidas nutricionales en ensilados y henos [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6036>
21. Rusev, J., Radanov, K., & Angelov, M. (2025). Evaluation of the nutritional composition and microbiological characteristics of sorghum hybrids. *Foods*, 14(23), 4079. <https://doi.org/10.3390/foods14234079>
22. Samir, M., Raul, B., & López, S. (2023). Potential of *Opuntia ficus-indica* cladodes in M'sila (North Algeria) as feed for ruminants: Chemical composition and in vitro assessment. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A—Animal Science*, 1–7.
23. Simić, M., Nikolić, V., Sarić, B., Milovanović, D., Kostadinović, M. y Žilić, S. (2024). Cambios en las propiedades nutricionales y tecnofuncionales de harinas integrales de maíz inducidos por el tratamiento con Calor Seco. *Alimentos*, 13 (20), 3314.

24. Sosa-Montes, E., Mendoza-Pedroza, S. I., Huerta-Prado, L. A., González-Cerón, F., Silva-Luna, M., & Bárcena-Gama, J. R. (2021). Composición nutricional de seis gramíneas tropicales del estado de Jalisco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(11).
25. Sinka, M. C., & Mendoza, G. J. C. (2022). Elaboración de ensilaje de avena (*Avena sativa*) y cebada (*Hordeum vulgare*) en el altiplano de Bolivia. *CIPyCOS*, 1(1), 48-56.
26. Condori-Quispe, R., Loza-Murguía, M. G., Achu-Nina, C., & Alberto-Alberto, H. (2019). Calidad del ensilaje de avena forrajera (*Avena sativa* L.) conservado en tres diferentes tipos de silos artesanales. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 6(2), 57-65.
27. Villa, J. A., & Restrepo, L. F. (2020). Evaluación técnica de sistemas de embolsado y compactación de forrajes para alimentación bovina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 46(2), 184-192
28. Herrera-Torres, E., Pámanes-Carrasco, G., Araiza-Rosales, E., Muro-Reyes, A., & Sierra-Franco, D. (2024). Efecto del nopal fermentado en la concentración de metano in vitro. *Abanico Boletín Técnico*, 3, e2024-28.
29. Hernández Ramírez, V. M., Aranda Osorio, G., Ponce Alquicira, E., & Miranda Romero, L. A. (2025). Caracterización del proceso de fermentación aeróbica semisólida de nopal para la alimentación animal.
30. Hernández, A. F., Rodríguez, F. J. M., Herrera, C. M., Herrera, G. G., Arriaga, O. E., Salazar, J. O., & Bautista, C. H. (2019). Fermentación semisólida del nopal (*Opuntiaspp*) para su uso como complemento proteico animal. *Revista de Geografía Agrícola*, (63), 87-100.
31. Silva, JKBD, Araújo, GGLD, Santos, EM, Oliveira, JSD, Campos, FS, Gois, GC, & Zanine, ADM (2022). Comportamiento de corderos alimentados con ensilaje alimentario total a base de nopal tunero. *Revista mexicana de ciencias pecuarias* , 13 (1), 19-31.

