



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE AGROPECUARIA

TEMA:

**CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD Y BROMATOLÓGICAS DE ENSILADOS
MIXTOS A PARTIR DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*), MAÍZ (*Zea mays*) Y
RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN CHALTURA-IMBABURA**

**Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero
Agropecuario**

Línea de Investigación: Desarrollo agropecuario y forestal sostenible

AUTOR:

Christopher Oswaldo Estrella Castelo

DIRECTOR/A:

Ing. Magali Anabel Cañarejo Antamba, PhD

Ibarra - Ecuador 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE-AGROPECUARIA

CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD Y BROMATOLÓGICAS DE ENSILADOS MIXTOS A PARTIR DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*), MAÍZ (*Zea mays*) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN CHALTURA-IMBABURA

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como
requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADO:

Ing. Magali Anabel Cañarejo Antamba, PhD

DIRECTOR



FIRMA

MVZ. Francisco Xavier Bonifaz Aguinaga, MSc

ASESOR



FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003820238		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Estrella Castelo Christopher Oswaldo		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Barrio milagro, cerezo 4-65 y aguacate		
EMAIL:	chrisestrellita10@gmail.com / coestrellac@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062542123	TELÉFONO MÓVIL:	0992039820

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD Y BROMATOLÓGICAS DE ENSILADOS MIXTOS A PARTIR DE NOPAL (<i>Opuntia ficus-indica</i>), MAÍZ (<i>Zea mays</i>) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN CHALTURA-IMBABURA
AUTOR (ES):	Estrella Castelo Christopher Oswaldo
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	03/06/2025
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agropecuario
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Magali Anabel Cañarejo Antamba, PhD

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 03 días del mes de junio de 2025

EL AUTOR:

(Firma).....

Christopher Oswaldo Estrella Castelo

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Christopher Oswaldo Estrella Castelo, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 03 días del mes de junio de 2025



Ing. Magali Anabel Cañarejo Antamba, PhD

DIRECTORA DE TESIS

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 03 días del mes de junio de 2025

Christopher Oswaldo Estrella Castelo: CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD Y BROMATOLÓGICAS DE ENSILADOS MIXTOS A PARTIR DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*), MAÍZ (*Zea mays*) Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN CHALTURA-IMBABURA /Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 03 días del mes de junio de 2025, 73 páginas.

DIRECTOR (A): Ing. Magali Anabel Cañarejo Antamba, PhD

El objetivo principal de la presente investigación fue: Comparar características de calidad y bromatológicas de ensilados mixtos a partir de nopal (*Opuntia ficus-indica*), maíz (*Zea mays*) y residuos agroindustriales en la Granja Experimental La Pradera. Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Evaluar las características de calidad de las distintas mezclas de ensilaje para la alimentación de cabras
- Determinar pruebas de consumo de distintas mezclas de ensilaje como alimento para cabras.



Ing. Magali Anabel Cañarejo Antamba, PhD

Directora de Trabajo de Grado



Christopher Oswaldo Estrella Castelo

Autor

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento, en primer lugar, a mis padres, cuyo apoyo y amor incondicional han constituido la base fundamental sobre la cual he edificado mi vida académica y personal. Gracias por el sacrificio constante y las innumerables horas dedicadas a impulsarme hacia adelante, mostrándome con su ejemplo el valor del esfuerzo, la honestidad y la humildad. Gracias por siempre creer en mí, por motivarme incansablemente a aprender, explorar y descubrir nuevas oportunidades, y por respaldar cada una de mis decisiones, aun cuando estas implicaron desafíos significativos. Sin su firme respaldo emocional y material, este proyecto no habría alcanzado su feliz término.

Mi profundo agradecimiento también se dirige a mi hermana, compañera inseparable en cada etapa de esta travesía educativa. Gracias por tu paciencia y comprensión en momentos difíciles, por los consejos sabios y oportunos que siempre me brindaste y por tu apoyo moral constante. Tu presencia, acompañada siempre de alegría y optimismo, ha sido indispensable para afrontar con determinación cada desafío académico y personal. Tu inquebrantable confianza y ánimo han sido una inspiración permanente para perseguir mis metas con convicción y entusiasmo.

Agradezco enormemente a todas aquellas personas que participaron activamente en el desarrollo de esta tesis, aportando sus conocimientos, tiempo y esfuerzo de manera desinteresada. Su invaluable contribución y compromiso fueron esenciales para enriquecer este trabajo y garantizar su calidad académica y científica. Gracias por compartir conmigo su experiencia y sabiduría, permitiendo así que este proyecto alcanzara altos estándares de excelencia.

Finalmente, expreso mi sincera gratitud a mi pareja, quien, con paciencia, cariño y constante motivación, me ha acompañado en cada paso de este camino. Gracias por comprender las exigencias que esta etapa ha requerido, por apoyar mis sueños y aspiraciones con amor y por recordarme siempre que era capaz de enfrentar y superar cualquier adversidad. Tu presencia ha sido fundamental para mantenerme enfocado y positivo, recordándome siempre el valor de seguir adelante y perseguir incansablemente mis objetivos.

A todos ustedes, gracias infinitas por su apoyo, confianza y dedicación. Este logro académico es también suyo, pues sin su invaluable colaboración y soporte, no hubiera sido posible alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con profunda gratitud y amor sincero, a mis padres, quienes desde el inicio de mi vida han representado el pilar más sólido y confiable. Ustedes han forjado en mí los valores esenciales, el esfuerzo, la dedicación y el compromiso necesario para alcanzar cada meta propuesta. Su sacrificio constante, su arduo trabajo y la inmensa generosidad que han mostrado día tras día, son motivos suficientes para sentirme orgulloso y eternamente agradecido. Gracias por cada consejo sabio y oportuno, por brindarme siempre un refugio seguro en los momentos de dificultad y por enseñarme con paciencia y cariño el significado verdadero de la perseverancia y del esfuerzo. Su apoyo incondicional, reflejado en cada palabra de aliento, cada gesto de cariño y cada muestra de confianza en mis capacidades, ha sido el impulso fundamental para superar todos los obstáculos y llegar a esta etapa crucial en mi formación académica.

Dedico también estas páginas, con especial afecto y admiración, a mi hermana, quien ha estado siempre presente, compartiendo cada triunfo y acompañándome en cada desafío que se ha presentado en mi camino. Gracias por tu complicidad, por las palabras de ánimo, por creer siempre en mí incluso cuando yo mismo dudaba. Tu compañía y apoyo emocional han sido esenciales en cada etapa vivida, siendo una inspiración constante para dar siempre lo mejor de mí. Nuestra unión, fortalecida a través del tiempo, ha sido una fuente inagotable de fuerza y motivación, permitiéndome alcanzar con mayor confianza cada objetivo propuesto.

Finalmente, dedico estas palabras con cariño sincero a mi pareja, cuya presencia y apoyo han sido fundamentales para continuar avanzando en esta aventura académica y personal. Gracias por comprender los sacrificios y retos que implican este proceso, por tu paciencia infinita y por el aliento constante que me has brindado para perseverar hasta alcanzar esta meta. Tu confianza en mis habilidades y tu constante motivación han sido clave para mantener mi determinación firme y mi espíritu optimista ante cada dificultad.

Este logro, aunque lleva mi nombre, es un triunfo compartido, que simboliza el esfuerzo conjunto de todas aquellas personas que han creído en mí y han brindado su amor y soporte incondicional. A todos ustedes, gracias infinitas por formar parte fundamental de esta etapa tan importante en mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Índice de contenidos.....	viii
Índice de figuras.....	xi
Índice de tablas.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPITULO I.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Problema de investigación.....	2
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Hipótesis.....	6
Hipótesis nula (Ho):.....	6
Hipótesis alternativa (Ha):.....	6
CAPITULO II.....	7
2.1 Producción de forrajes en el Ecuador.....	7
2.2 Proceso del ensilaje.....	7
2.2.1 Cosecha para ensilaje.....	8
2.2.2 Composición bioquímica.....	8
2.3 Tipos de silos.....	9
2.3.1 Elaboración de microsilos tipo bolsa.....	9
2.3.2 Características agronómicas del cultivo de maíz para forraje.....	10
2.3.3 Utilización del nopal como forraje.....	10
2.3.4 Utilización de subproductos agrícolas como forraje.....	11
2.4 Proceso de fermentación de silos.....	11
2.5 Estrategias de conservación de silos.....	12
2.5.1 Factores que afectan la conservación de los silos.....	12
2.6 Calidad sensorial de silos.....	13
2.6.1 Color en ensilajes.....	14
2.6.2 Olor en ensilajes.....	14
2.6.3 pH en ensilajes.....	15

2.6.4	Temperatura.....	15
2.7	Alimentación en dietas de caprinos.....	16
2.7.1	Tipos de dietas en caprinos.....	16
2.7.2	Consumo de materia seca	17
2.7.3	El nopal en la alimentación animal.....	18
2.7.4	Alimentación en rumiantes	19
2.8	Marco legal.....	19
CAPITULO III.....		21
3.1	Descripción del área de estudio.....	21
3.2	Materiales para la elaboración de microsilos	22
3.3	Método de elaboración de microsilos.....	23
3.4	Factores en estudio	23
3.5	Tratamientos.....	23
3.6	Diseño experimental.....	23
3.7	Procedimiento para medición de las variables sensoriales.....	24
3.7.1	Color en los microsilos	24
3.7.2	Olor en los mircosilos.....	25
3.7.3	Textura en los mircosilos.....	26
3.7.4	Temperatura.....	26
3.7.5	Materia seca.....	26
3.7.6	Determinación del contenido de Humedad.....	27
3.7.7	pH	27
3.7.8	Consumo de alimento	27
3.8	Manejo del experimento.....	28
3.8.1	Recolecta de materias primas	28
3.8.2	Picado de materias primas	28
3.8.3	Sellado de microsilos.....	29
3.8.4	Análisis de microsilos.....	29
3.8.5	Alimentación para cabras	29
CAPÍTULO IV		30
4.1	Evaluación sensorial de los microsilos.....	30
4.2	Determinación de temperatura	32
4.3	Determinación de pH	34

4.4	Determinación del contenido de Humedad	36
4.5	Materia Seca	38
4.6	Consumo Palatabilidad.....	39
CAPÍTULO V		42
5.1	Conclusiones	42
5.2	Recomendaciones.....	42
REFERENCIAS		43
ANEXO(S).....		53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Mapa descripción geográfica del área de estudio</i>	21
Figura 2 <i>Esquema del diseño experimental para microsilos.</i>	24
Figura 3 <i>Resultados evaluados en la variable de prueba olfativa en microsilos.....</i>	30
Figura 4 <i>Resultados de los tratamientos evaluados en la variable de prueba visual en microsilos</i>	29
Figura 5 <i>Resultados de los tratamientos evaluados en la variable de prueba táctil en microsilos</i>	30
Figura 6 <i>Resultados de los tratamientos evaluados en la variable temperatura en cabras. ..</i>	33
Figura 7 <i>Resultados de los tratamientos evaluados en la variable pH en cabras.</i>	35
Figura 8 <i>Resultados de los tratamientos evaluados en la variable de Humedad en Ensilaje para cabras.</i>	37
Figura 9 <i>Resultados de los tratamientos evaluados en la variable de Humedad en ensilaje para cabras</i>	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Caracterización del área de estudio</i>	22
Tabla 2 <i>Materiales, equipos, insumos y herramientas</i>	22
Tabla 3 <i>Descripción de las formulaciones de microensilaje como alimento para cabras</i>	23
Tabla 4 <i>Escala de colores para determinar calidad de ensilaje</i>	24
Tabla 5 <i>Uso de ensilaje nutricionales a base de maíz, nopal y residuo, sobre el consumo de alimento para palatabilidad en cabras</i>	39

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Hoja de respuestas para prueba organoleptica.....	53
Anexo 2. Procedimiento de cortado de cladodios para el deshidratado.....	53
Anexo 3. Deshidratación de cladodios de nopal en laboratorio.....	54
Anexo 4. Proceso de sellado de microsilos en la granja experimental la pradera.....	54
Anexo 5. Toma de muestras para realizar análisis de pH en laboratorio.....	55
Anexo 6. Prueba sensorial con miembros del ministerio de agricultura.....	55
Anexo 7. Prueba de palatabilidad en cabras ubicadas en cotachachi.....	56

**CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD Y BROMATOLÓGICAS DE ENSILADOS
MIXTOS A PARTIR DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*), MAÍZ (*Zea mays*) Y
RESIDUOS AGROINDUSTRIALES EN CHALTURA-IMBABURA**

Autor: Christopher Oswaldo Estrella Castelo

*Universidad Técnica del Norte

Correo: coestrellac@utn.edu.ec

RESUMEN

La elaboración de microsilos como suplemento para pequeños rumiantes representa una alternativa alimenticia ante la escasez de forrajes provocada por sequías y variabilidad climática. El presente estudio evaluó la calidad fermentativa, sensorial y la aceptabilidad de distintos tipos de microsilos, así como la palatabilidad en cabras. Se empleó un diseño completamente al azar por bloques, con tres repeticiones. Se formularon tres microsilos de 6 kg: T1 (maíz), T2 (maíz y nopal) y T3 (maíz, nopal y residuos frutales), almacenados durante 21 días. Se evaluaron color, olor, textura, temperatura, materia seca, contenido de humedad, pH y consumo de alimento. Los resultados mostraron que el tratamiento T2 presentó un perfil sensorial superior, con 81.48 % de aceptación olfativa en la categoría 1 (excelente), textura semihúmeda favorable y coloración uniforme. Además, en T2 evidenció condiciones de fermentación óptimas con un pH de 4.23 y temperatura promedio de 21.3 °C. En cuanto a la palatabilidad, el T2 fue el más consumido por las cabras (2.09 kg/día) respecto a las demás formulaciones. Aunque el T3 mostró un consumo aceptable (2.02 kg/día), presentó variabilidad en textura y color atribuida a la heterogeneidad de los residuos frutales. En contraste, el T1 tuvo menor aceptación sensorial y el consumo más bajo (1.91 kg/día). Se concluye que el ensilaje con maíz y nopal fue la alternativa más eficiente por su calidad fermentativa, organoléptica y aceptación en sistemas caprinos.

Palabras clave: microsilos, fermentación, sensorialidad, palatabilidad, ensilaje, caprinos.

ABSTRACT

The preparation of microsilage as a supplement for small ruminants represents a feeding alternative in response to forage shortages caused by droughts and climate variability. This study evaluated the fermentative and sensory quality, as well as the acceptability of different types of microsilage and their palatability in goats. A completely randomized block design with three replications was used. Three 6 kg microsilage treatments were formulated: T1 (corn), T2 (corn and cactus), and T3 (corn, cactus, and fruit residues), and stored for 21 days. Variables evaluated included color, odor, texture, temperature, dry matter, moisture content, pH, and feed intake. Results showed that treatment T2 had the best sensory profile, with 81.48% olfactory acceptance in category 1 (excellent), favorable semi-moist texture, and uniform coloration. Additionally, T2 showed optimal fermentation conditions with a pH of 4.23 and an average temperature of 21.3 °C. Regarding palatability, T2 was the most consumed by goats (2.09 kg/day) compared to the other formulations. Although T3 showed acceptable intake (2.02 kg/day), it presented variability in texture and color due to the heterogeneity of the fruit residues. In contrast, T1 had lower sensory acceptance and the lowest intake (1.91 kg/day). It is concluded that silage made with corn and cactus proved to be the most efficient alternative due to its fermentative and organoleptic quality and its acceptance in goat systems.

Keywords: microsilage, fermentation, sensoriality, palatability, silage, goats

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En los sistemas ganaderos, el ensilaje es una de las técnicas más eficientes y extendidas para conservar forrajes con alto contenido de humedad, permitiendo asegurar el suministro alimenticio durante épocas de escasez estacional. Este proceso de conservación se basa en una fermentación anaeróbica controlada, donde bacterias ácido-lácticas (BAL) transforman los carbohidratos solubles de las plantas en ácido láctico, generando un ambiente de bajo pH que inhibe el desarrollo de microorganismos patógenos y detiene la respiración vegetal, preservando así el valor nutricional del forraje por varios meses (Castañeda, 2019).

Los tipos de ensilaje varían según la materia prima empleada y las condiciones agroclimáticas. Entre los más comunes se encuentran el ensilaje de maíz, sorgo, gramíneas tropicales, leguminosas forrajeras y subproductos agroindustriales. El ensilaje de maíz es particularmente destacado por sus altos rendimientos, que oscilan entre 25 y 40 toneladas por hectárea, con un contenido de materia seca (MS) óptimo de 30-35% al momento de la cosecha (Muck et al., 2018). Este tipo de forraje se utiliza ampliamente en sistemas intensivos y semi intensivos por su aporte energético y su capacidad de compactación eficiente.

Desde un punto de vista nutricional, el maíz presenta una composición bromatológica favorable. Según Gélvez (2015), el grano seco de maíz contiene 91% MS, 20% de proteína bruta (PB), 0.30% de metionina, 0.59% de metionina+cistina, 0.80% de lisina, 0.46% de calcio, 0.35% de fósforo, 1.10% de ácido linoleico, 2.00% de grasa, 8.70% de fibra y 10.00% de ceniza. Esta caracterización lo convierte en un ingrediente clave en la formulación de dietas balanceadas para rumiantes.

En Ecuador, la ganadería caprina cumple un rol fundamental en la seguridad alimentaria rural, especialmente en la región Sierra, donde se concentra el 61.89% de la población caprina nacional. Predominan razas como Nubian, Criolla, Boer y Saanen (Pesántes, 2014). Estas unidades productivas, en su mayoría familiares, enfrentan limitaciones de acceso a insumos de calidad, elevando los costos de alimentación. Frente a ello, la elaboración de ensilajes mixtos que incorporen nopal (*Opuntia ficus-indica*) y residuos agroindustriales representa una solución técnica y económicamente viable. Galaviz (2022) reporta reducciones en los costos de

alimentación de hasta 54% y mejoras en la calidad de la leche en sistemas caprinos alimentados con estas formulaciones.

Estudios experimentales han analizado el uso de cladodios de nopal como alternativa forrajera en ensilajes. Díaz Plascencia (2012) señala que el nopal forrajero contiene alrededor de 20% MS y 2.1% de PB, valores que, si bien son menores que los del ensilaje de maíz (26% MS y 6% PB), resultan aceptables para la nutrición animal al considerar sus ventajas adicionales, como el alto contenido de agua estructural y mucílagos fermentables. Bevenuto (2021) evaluó la inclusión del nopal en raciones mixtas totales para ovinos, encontrando incrementos significativos en la ingestión de proteína cruda, carbohidratos no fibrosos, extracto etéreo, y una mayor digestibilidad de la fibra detergente neutro (FDN). Estas mejoras se reflejaron en ganancias diarias de peso de hasta 198 g/día, evidenciando el potencial del nopal como componente energético-fibroso.

Una revisión comparativa realizada por Isidro (2013) agrupó múltiples estudios con inclusión de nopal en dietas de ovinos y caprinos, usando proporciones que iban del 2 al 71%, en presentaciones como fresco, deshidratado y bloques multinutricionales. Las especies utilizadas incluían *Opuntia ficus-indica*, *Nopalea cochenillifera*, *Opuntia amyclaea*, *Opuntia leucotrichia* y *Opuntia elator*. El consumo de MS varió entre 295 y 1550 g/animal/día, con ganancias de peso entre 0 y 260 g/día y tasas de conversión alimenticia dependientes de la inclusión y del tipo de nopal empleado. En países como Túnez, México, Zimbabue y Brasil, se ha documentado el uso de ensilajes de nopal con resultados productivos positivos. En un estudio realizado por Miranda-Romero (2013), los corderos alimentados con ensilaje de nopal presentaron una ingesta de materia seca de 1.1 kg/día, comparada con 0.7 kg/día en corderos que consumieron ensilaje de maíz. Juscelino da Silva (2021) observó que altas concentraciones de nopal en la dieta promovieron mayor ganancia de peso diario e incremento en la ingesta de agua vía alimento (2.724 kg/día), sin afectar negativamente la salud del metabolismo.

1.2 Problema de investigación

Los sistemas tradicionales de conservación de forrajes, como el henificado y el pastoreo directo, no garantizan un suministro estable y de calidad nutricional durante épocas de sequía, especialmente en zonas rurales con infraestructura limitada. Esta situación representa un desafío crítico para los productores pecuarios, quienes enfrentan disminuciones en la producción de leche, pérdida de condición corporal de los animales y elevados costos por la adquisición de alimentos externos. Además, la limitada infraestructura de almacenamiento y la

falta de tecnologías accesibles intensifican estas dificultades, comprometiendo la rentabilidad y sostenibilidad de las unidades productivas.

El ensilaje se presenta como una estrategia clave frente a este escenario. Este método permite conservar el valor nutricional de los forrajes mediante un proceso de fermentación anaeróbica, siendo especialmente útil durante los períodos de escasez de pastos. Sin embargo, su implementación a nivel local continúa siendo limitada, tanto por desconocimiento técnico como por la falta de adopción de prácticas innovadoras. Quezada (2022) sostiene que el ensilaje mejora el manejo del recurso suelo-planta-animal, fomenta el uso de insumos regionales y reduce la dependencia de concentrados comerciales, configurándose como una alternativa resiliente en épocas críticas. A este panorama se suma la gestión inadecuada de residuos agroindustriales, que genera impactos ambientales severos. Guerrero y Valenzuela (2011) y Demanet et al. (2011) advierten que la quema y el vertido de estos residuos contaminan el suelo, el agua y el aire, además de facilitar la proliferación de plagas y representar un riesgo para la salud pública. Barragán et al. (2008) señala que estas prácticas incrementan las emisiones de CO₂ y derivan en pérdidas económicas sustanciales para las industrias agroalimentarias.

Pese a estos desafíos, una oportunidad desaprovechada radica en el uso del nopal (*Opuntia ficus-indica*), una cactácea de alto valor agronómico y nutricional presente en varias regiones del país. A pesar de su disponibilidad y adaptabilidad a condiciones áridas, el nopal ha sido subutilizado como recurso forrajero, tanto por desconocimiento de sus propiedades fermentativas como por la escasa investigación local sobre su incorporación en sistemas de conservación como el ensilaje. Este desinterés limita el aprovechamiento de una planta que, además de contener mucílagos y azúcares fermentables, posee un alto contenido de agua estructurada y compuestos bioactivos con potencial antioxidante y digestivo (García-Cruz et al., 2013).

En paralelo, la reutilización de residuos agroindustriales como parte del ensilaje mixto representa una vía de doble beneficio: mitigar el impacto ambiental de los desechos y generar un alimento funcional de bajo costo. Transformar residuos vegetales y frutales en insumos para alimentación animal promueve la economía circular y reduce el desperdicio poscosecha, que en países en desarrollo representa más del 40% de las pérdidas alimentarias (FAO, 2011).

Por otro lado, los sistemas convencionales de producción de leche bovina requieren grandes superficies y volúmenes elevados de alimento, lo cual limita su aplicabilidad en predios pequeños. En cambio, la producción caprina, especialmente con razas como la Saanen, ofrece

ventajas espaciales y económicas, alcanzando rendimientos de hasta 2,1 litros diarios por animal en lactancias de 100 a 120 días, con menores requerimientos de espacio y alimentación (Fernández, 2013). Frente a esta problemática, surge la necesidad urgente de diseñar estrategias de aprovechamiento integral de recursos subutilizados como el nopal y los residuos agroindustriales, mediante su inclusión en sistemas de ensilaje mixto adaptados a la producción caprina. Esta investigación busca contribuir a una alternativa tecnológica que reduzca pérdidas económicas, mejore la eficiencia alimentaria y minimice el impacto ambiental en sistemas ganaderos de pequeña escala.

1.3 Justificación

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es un recurso forrajero tradicionalmente utilizado en la alimentación animal, considerado como una alternativa de emergencia en regiones áridas y semiáridas. No obstante, debido a su bajo contenido de proteína y fibra, no logra cubrir por sí solo los requerimientos nutricionales de mantenimiento en animales adultos, por lo que se hace necesaria su valorización mediante estrategias complementarias como bloques multinutricionales, sopas enriquecidas o ensilados (Hernández, 2020).

Los cladodios de nopal presentan una composición cambiante según su edad: a mayor madurez, aumenta el contenido de materia seca y fibra, y disminuye el de proteína cruda. Además, contienen entre 85% y 90% de humedad y hasta 20% de ceniza en base seca, mostrando una digestibilidad comparable a la de otros forrajes de buena calidad (Vázquez, 2016). La eficiencia y sostenibilidad en el uso de recursos agrícolas es hoy una necesidad impostergable frente a desafíos como el cambio climático, la inseguridad alimentaria y el deterioro ambiental. En este contexto, los residuos agroindustriales frecuentemente considerados desechos de bajo valor representan una oportunidad estratégica para ser transformados en insumos útiles a través de su incorporación en ensilados mixtos. Esta práctica no solo reduce impactos negativos sobre el ambiente, sino que también promueve la seguridad alimentaria, dinamiza economías rurales y mejora la rentabilidad de las unidades productivas (Ramírez S., 2012). Diversos estudios han evidenciado que los residuos agroindustriales sólidos, líquidos o gaseosos pueden constituir focos de contaminación si no se gestionan correctamente (Guerrero y Valenzuela, 2011). Su disposición inadecuada contamina suelos, aguas superficiales y atmosféricas, generando riesgos para la salud pública y conflictos ambientales. Aprovechar estos residuos en la elaboración de ensilajes contribuye a mitigar estos efectos y al mismo tiempo genera valor agregado en sistemas de producción pecuaria.

Desde la perspectiva ambiental, la elaboración de ensilajes mixtos también responde a los compromisos globales de desarrollo sostenible. Autores como Saval (2013) y Barragán et al. (2008) destacan que una gestión adecuada de residuos agroindustriales puede disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, minimizar la contaminación y aportar al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, particularmente aquellos relacionados con consumo responsable, acción por el clima y agricultura sostenible. Investigar las características de calidad y composición bromatológica de los ensilajes mixtos permitirá determinar su viabilidad como fuente alimenticia alternativa. La combinación de ingredientes como el nopal, el maíz y residuos agroindustriales responde a la necesidad de optimizar recursos locales, minimizar desperdicios y reducir la dependencia de insumos externos.

Adicionalmente, esta propuesta promueve la innovación tecnológica en el sector agropecuario mediante el fomento de investigaciones aplicadas y transferencia de conocimiento hacia pequeños y medianos productores. Abordar la escasez de alimentos sostenibles para animales en comunidades rurales contribuye a fortalecer modelos agroindustriales más resilientes e inclusivos, capaces de responder a los desafíos actuales del medio ambiente y la seguridad alimentaria. Por tanto, esta investigación se justifica en su propósito de evaluar la elaboración de ensilados mixtos a partir de nopal, maíz y residuos agroindustriales como una estrategia integral frente a los retos de sostenibilidad agroindustrial en Ecuador. Este enfoque promueve el uso racional de recursos, mejora la productividad animal y genera beneficios económicos, sociales y ambientales que fortalecen el desarrollo rural sustentable.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Comparar características de calidad y bromatológicas de ensilados mixtos a partir de nopal (*Opuntia ficus-indica*), maíz (*Zea mays*) y residuos agroindustriales en la Granja Experimental La Pradera

1.4.2 Objetivos específicos

- 1) Evaluar las características de calidad de las distintas mezclas de ensilaje para la alimentación de cabras
- 2) Determinar pruebas de consumo de distintas mezclas de ensilaje como alimento para cabras.

1.5 Hipótesis

Hipótesis nula (H₀): De las tres formulaciones desarrolladas de ensilaje, ninguna logra presentar las mejores características sensoriales y no ha sido consumida por las cabras

Hipótesis alternativa (H_a): Al menos una de las tres formulaciones desarrolladas de ensilaje ha logrado presentar las mejores características sensoriales y ha sido consumida por las cabras

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Producción de forrajes en el Ecuador

La producción ganadera en el Ecuador depende en gran medida de los recursos forrajeros, cuya disponibilidad y calidad presentan marcadas variaciones estacionales. Esta situación afecta directamente el rendimiento de los sistemas pecuarios, especialmente en zonas donde la estacionalidad climática limita el crecimiento de pastos. En regiones como la Sierra, las condiciones de temperatura y radiación solar permiten un crecimiento constante de las pasturas durante casi todo el año, aunque su valor nutricional puede fluctuar. Por otro lado, en la Costa y Amazonía, el crecimiento de forraje está condicionado por la presencia de lluvias, lo que genera periodos de alta producción seguidos por fases críticas de escasez (Guamán, 2019).

Según datos del III Censo Agropecuario (INEC, 2020), más del 36 % de la superficie agropecuaria del país es usada como pastos, la región Sierra es la que contiene la mayor cantidad de ganado bovino. Este patrón ha impulsado el uso de medios de conservación forrajera como el ensilaje, especialmente en pequeñas y medianas fincas que buscan mantener la estabilidad alimenticia durante la época seca (Villamarín et al., 2018). En regiones áridas o con marcada estacionalidad, el uso de reservas forrajeras se ha convertido en una necesidad para evitar pérdidas productivas y asegurar una alimentación continua del hato.

2.2 Proceso del ensilaje

El ensilaje es una técnica de almacenamiento de forrajes verdes, principalmente debido a un proceso de fermentación anaeróbica. Esta fermentación transforma los azúcares solubles presentes en el forraje en ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico, lo que permite preservar el material vegetal y prevenir la proliferación de microorganismos indeseables (Cando, 2021). El éxito del ensilaje depende de varios factores, entre ellos la calidad del forraje, el grado de picado, la compactación y el sellado hermético del silo. Una cosecha oportuna, seguida de un llenado y compactado rápido, contribuye a reducir la presencia de oxígeno, favoreciendo un ambiente ideal para el desarrollo de bacterias lácticas (Espinoza et al., 2017).

El contenido de carbohidratos solubles es esencial para una fermentación exitosa, ya que estos constituyen el sustrato principal para la acción de las bacterias ácido-lácticas. Forrajes con bajo contenido de azúcares, como algunas leguminosas, pueden requerir la adición de aditivos para optimizar el proceso fermentativo (López, 2019). De esta manera, el ensilaje se convierte en

una herramienta valiosa para conservar el valor nutricional de los forrajes durante periodos de escasez o cuando se busca prolongar su uso más allá de la temporada de cosecha.

2.2.1 Cosecha para ensilaje

El momento de la cosecha del forraje es determinante para la calidad final del ensilaje, ya que influye directamente en el contenido de materia seca, azúcares solubles y humedad del material. En el caso del maíz, el corte ideal debe realizarse cuando el grano alcanza el estado lechoso-pastoso y la planta contiene entre un 30 y 35 % de materia seca, condiciones que favorecen una fermentación adecuada (Guamán, 2020).

Una cosecha prematura, con niveles de humedad demasiado altos, puede provocar la generación de efluentes y la dilución de nutrientes, lo que afecta la eficiencia fermentativa y la calidad nutricional del ensilaje. Por el contrario, una cosecha tardía reduce la disponibilidad de azúcares fermentables, dificultando la acción de las bacterias ácido-lácticas y limitando el descenso del pH (Cando, 2021).

Otro aspecto relevante durante la cosecha es el tamaño de picado. Un picado uniforme de entre 1 y 2 centímetros facilita la compactación del forraje dentro del silo, reduce la presencia de oxígeno y promueve una fermentación más eficiente. En cambio, un corte demasiado largo puede generar bolsas de aire que favorecen procesos de descomposición y disminuyen la calidad del ensilaje (Villamarín et al., 2018).

2.2.2 Composición bioquímica de ensilajes

La composición bioquímica del forraje es un factor fundamental que determina el valor nutricional del ensilaje y su eficiencia como alimento para el ganado. Entre los principales componentes evaluados están la proteína cruda, la fibra detergente neutra (FDN), la fibra detergente ácida (FDA), y el extracto etéreo. Estos indicadores permiten estimar la digestibilidad, la disponibilidad energética y el aprovechamiento del forraje por parte del animal (Morán, 2016).

Un contenido adecuado de carbohidratos solubles es crucial para una fermentación eficiente, ya que estos compuestos son el principal sustrato para las bacterias ácido-lácticas. Forrajes como el maíz poseen niveles elevados de almidón y azúcares, así como una cantidad moderada de proteína, lo que favorece una fermentación láctica rápida y estable. En contraste, materiales como el nopal presentan un bajo contenido proteico, por lo que se recomienda su combinación con otros forrajes para mejorar el perfil nutricional del ensilaje (Caiza, 2020).

El nivel de materia seca también incide directamente en la calidad del proceso fermentativo. Se considera óptimo un rango de entre 30 y 35 % de materia seca para evitar pérdidas por efluentes y garantizar una fermentación estable. Valores inferiores pueden diluir los nutrientes y favorecer la aparición de fermentaciones indeseables, como las de tipo clostridiales (López, 2019). Por ello, mantener un equilibrio bioquímico adecuado en la composición del forraje es esencial para asegurar una buena conservación del ensilaje y una alta aceptación por parte del ganado.

2.3 Tipos de silos

La conservación de forrajes mediante ensilaje puede realizarse en diferentes tipos de estructuras, conocidas como silos. Estos se clasifican principalmente en silos de trinchera, silos verticales, silos bolsa y microsilos. La elección del tipo de silo depende de factores como el volumen de material a conservar, los recursos disponibles, y la escala del sistema productivo (Cando, 2021).

Los silos de trinchera, generalmente contruidos bajo tierra o a nivel del suelo, son comunes en explotaciones medianas y grandes, ya que permiten un llenado eficiente y buena compactación del forraje. En cambio, los silos bolsa son más utilizados en sistemas pequeños, debido a su bajo costo, facilidad de manejo y flexibilidad para adaptarse a diferentes condiciones de producción (Bahamondez, 2017).

Por su parte, los silos verticales requieren una inversión inicial más alta, ya que están fabricados con materiales resistentes como concreto o metal. No obstante, ofrecen ventajas como la reducción del espacio utilizado y la posibilidad de prolongar el tiempo de almacenamiento bajo condiciones anaeróbicas óptimas. La decisión sobre qué tipo de silo utilizar debe considerar tanto los objetivos del sistema ganadero como la disponibilidad de infraestructura (Villamarín et al., 2018).

2.3.1 Elaboración de microsilos tipo bolsa

Los microsilos tipo bolsa constituyen una alternativa práctica y económica para la conservación de forrajes en pequeñas explotaciones o ensayos experimentales. Su elaboración consiste en introducir forraje finamente picado en bolsas plásticas herméticas, seguido de una compactación manual por capas, asegurando la máxima expulsión del aire antes de sellar completamente el envase (Espinoza et al., 2017).

Este tipo de silo permite evaluar a pequeña escala diferentes tratamientos de ensilaje, combinaciones de ingredientes o aditivos, sin comprometer grandes volúmenes de material. Su bajo costo de implementación los hace accesibles a pequeños productores, especialmente en regiones donde otras formas de conservación resultan inviables económicamente (Cando, 2021).

Para asegurar la calidad del ensilaje, se recomienda realizar la elaboración de microsilos en ambientes limpios y secos, evitando la contaminación por tierra o residuos orgánicos. Una vez selladas, las bolsas deben almacenarse en lugares protegidos de la luz directa, la humedad excesiva y posibles daños por plagas o roedores (Villamarín et al., 2018).

2.3.2 Características agronómicas del cultivo de maíz para forraje

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cultivos forrajeros más utilizados para la elaboración de ensilajes, debido a su alta producción de biomasa y su excelente perfil nutricional. Su valor como cultivo ensilable radica en su elevado contenido de almidón, buena palatabilidad y adecuada proporción de materia seca, lo que lo convierte en una fuente energética de alto rendimiento (Guamán, 2020).

El cultivo de maíz requiere suelos bien drenados y fértiles, así como un manejo agronómico apropiado que incluya prácticas de fertilización, control de plagas y riego oportuno. Bajo condiciones óptimas, puede alcanzar rendimientos de entre 40 y 60 toneladas de materia verde por hectárea, con un contenido de materia seca que oscila entre el 30 % y el 35 %, ideal para su conservación mediante ensilaje (Morán, 2016).

Para maximizar su potencial forrajero, se recomienda el uso de híbridos adaptados a las condiciones agroclimáticas locales, que presenten buen desarrollo vegetativo, alta densidad de espigas y resistencia a enfermedades. La cosecha debe realizarse en el estado fenológico de grano lechoso a pastoso, momento en el cual se garantiza una alta digestibilidad, concentración de azúcares y energía metabolizable para el ganado (Cando, 2021).

2.3.3 Utilización del nopal como forraje

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es una especie vegetal que se destaca como recurso forrajero en regiones áridas y semiáridas debido a su alta capacidad de adaptación, tolerancia a la sequía y producción de biomasa con elevado contenido de agua. Su uso en alimentación animal ha cobrado interés por su funcionalidad como fuente alternativa en épocas de escasez de forraje convencional (Caiza, 2020).

El contenido de humedad del nopal supera el 85 %, lo que lo hace idóneo para mezclar con materiales más secos como el maíz, mejorando la estructura y la compactación del ensilaje. No obstante, su bajo contenido proteico y fibroso limita su uso exclusivo como fuente alimenticia, por lo que se recomienda su inclusión como parte de dietas balanceadas o en combinación con otros forrajes (Cando, 2021).

Diversos estudios han demostrado que el ensilaje de nopal mezclado con gramíneas, maíz u otros subproductos agrícolas mejora su valor nutricional, aceptabilidad y estabilidad fermentativa. Su inclusión en la dieta de rumiantes ha mostrado buenos niveles de aceptación, contribuyendo a la hidratación del animal y a una mejor fermentación del ensilaje, gracias a sus mucílagos y carbohidratos solubles (Espinoza et al., 2017).

2.3.4 Utilización de subproductos agrícolas como forraje

El uso de subproductos agrícolas en la alimentación animal se ha convertido en una estrategia eficaz para reducir costos, minimizar desperdicios y aprovechar recursos disponibles localmente. Entre los subproductos más comunes utilizados en ensilaje se encuentran las cáscaras de frutas, bagazo de caña, pulpas de café y residuos hortícolas, los cuales contienen compuestos fermentables que mejoran la actividad de las bacterias ácido-lácticas (Villamarín et al., 2018).

La incorporación de estos residuos en la formulación del ensilaje permite complementar el contenido energético y mejorar el perfil fermentativo, siempre que se garantice la ausencia de contaminantes químicos o biológicos. El aprovechamiento estacional de estos subproductos representa una oportunidad para su valorización como recurso alimenticio, especialmente en sistemas ganaderos de pequeña escala (Guamán, 2020).

Para lograr un ensilaje de calidad con subproductos, es fundamental ajustar la relación humedad/materia seca y considerar el uso de aditivos cuando sea necesario. De esta manera, se puede mejorar la estabilidad del silo, evitar pérdidas por efluentes y mantener una fermentación controlada (López, 2019).

2.4 Proceso de fermentación de silos

Durante el proceso de ensilaje, el forraje almacenado bajo condiciones anaeróbicas experimenta una fermentación controlada, en la cual los carbohidratos solubles se transforman principalmente en ácido láctico. Este ácido reduce el pH del entorno y evita la proliferación de

microorganismos indeseables, estabilizando así el material vegetal y asegurando su conservación por períodos prolongados (Espinoza et al., 2017).

La fermentación inicia una vez que se elimina el oxígeno del silo, creando un ambiente favorable para el desarrollo de bacterias ácido-lácticas. Estas bacterias metabolizan los azúcares disponibles y producen ácido láctico como producto principal, aunque también pueden generarse otros ácidos orgánicos en menor proporción, como el acético y el propiónico (Morán, 2016).

El pH óptimo para un ensilaje estable se encuentra entre 3.8 y 4.2, ya que en este rango se inhibe la actividad de bacterias putrefactivas y hongos. La duración del proceso fermentativo varía de 15 a 30 días, dependiendo del tipo de forraje, la densidad de compactación, la temperatura ambiente y el nivel de humedad del material ensilado (Cando, 2021).

2.5 Estrategias de conservación de silos

La correcta conservación del ensilaje no solo depende de su elaboración, sino también del manejo posterior y de las condiciones de almacenamiento. Uno de los aspectos más importantes es mantener un ambiente completamente anaeróbico. Para ello, es fundamental sellar herméticamente el silo, utilizando plásticos gruesos y pesados, los cuales deben ser fijados adecuadamente para impedir la entrada de oxígeno (Guamán, 2020).

Una compactación eficiente es esencial para eliminar el aire y alcanzar una densidad mínima de 600 kg/m³, lo que garantiza una fermentación controlada y reduce las pérdidas por descomposición. Adicionalmente, el uso de aditivos como bacterias ácido-lácticas, melaza o urea puede mejorar la calidad fermentativa, acelerar la disminución del pH y limitar la actividad de microorganismos perjudiciales (Morán, 2016).

2.5.1 Factores que afectan la conservación de los silos

Diversos factores determinan la estabilidad del ensilaje durante y después del proceso de fermentación. Entre los más relevantes se encuentran el contenido de materia seca, la temperatura interna, el tipo de forraje utilizado, el nivel de contaminación en el momento del llenado y el manejo posterior a la apertura del silo (Cando, 2021). Cada uno de estos aspectos puede comprometer significativamente la calidad del material conservado.

El contenido de materia seca influye directamente en la compactación y en la estabilidad del silo. Cuando es inferior al 25 %, se generan pérdidas por efluentes que arrastran nutrientes, y cuando supera el 40 %, la compactación se ve limitada, permitiendo la formación de bolsas de

aire. Ambas situaciones afectan negativamente la fermentación y aumentan el riesgo de proliferación de microorganismos indeseables (Espinoza et al., 2017).

Asimismo, el aumento de temperatura dentro del silo es un indicador de actividad microbiana no deseada. Valores superiores a 35 °C pueden reflejar una fermentación secundaria o la entrada de oxígeno, condiciones que favorecen la presencia de hongos y bacterias aeróbicas. Es fundamental monitorear la temperatura durante el almacenamiento para prevenir el deterioro del material (Morán, 2016).

La contaminación con tierra o estiércol introduce esporas de *Clostridium* spp., las cuales están asociadas a fermentaciones butíricas que afectan el olor y el valor nutritivo del ensilaje. Además, una extracción lenta o desordenada tras abrir el silo incrementa la exposición al oxígeno, lo que activa microorganismos deteriorantes como mohos y levaduras (Villamarín et al., 2018).

2.6 Calidad sensorial de silos

La evaluación sensorial del ensilaje es una herramienta fundamental para valorar su aceptabilidad por parte del ganado antes de ser suministrado. Este análisis se basa en parámetros perceptibles como color, olor, textura, temperatura y pH, que reflejan el estado de conservación y la calidad del material ensilado (Guamán, 2020). Estas características pueden ser evaluadas mediante inspección directa o con instrumentos simples, siendo además un procedimiento rápido y económico que complementa los análisis físico-químicos.

Un ensilaje bien fermentado debe presentar un color verde amarillento, textura firme y ligeramente húmeda, temperatura cercana a la ambiental y un pH entre 3.8 y 4.2. Estas condiciones indican una fermentación predominante de tipo láctica, eficiente en la conservación del forraje y en la inhibición del desarrollo microbiano indeseable (Morán, 2016). Cuando se detectan características como manchas oscuras, texturas pegajosas o malos olores, es probable que existan fallas en el proceso fermentativo o en la conservación del silo, lo cual afecta directamente la ingesta voluntaria y el rendimiento animal.

El rechazo del ensilaje por parte del ganado suele estar asociado a olores anómalos como el amoníaco, el moho o la putrefacción, así como a la presencia de materiales visiblemente deteriorados. Por ello, la inspección sensorial previa al suministro no solo previene intoxicaciones, sino que también garantiza un aprovechamiento eficiente del alimento almacenado (Caiza, 2020).

2.6.1 Color en ensilajes

El color del ensilaje es uno de los primeros indicadores visuales que permiten inferir la calidad del material conservado. Una tonalidad verde oliva, verde amarillento o amarillo claro es característica de un proceso fermentativo adecuado, en el que la clorofila se ha mantenido relativamente estable y no ha ocurrido oxidación excesiva del forraje (Espinoza et al., 2017). Esta apariencia visual está asociada a una buena conservación de los nutrientes y a la ausencia de deterioro microbiológico.

Por el contrario, colores oscuros, grisáceos o negruzcos suelen reflejar fermentaciones indeseables o procesos de descomposición. Estas alteraciones cromáticas pueden deberse a la exposición al oxígeno, a un mal sellado del silo o a la presencia de hongos y bacterias contaminantes. La oxidación, en particular, transforma el color original del forraje, reduciendo su valor nutricional e incluso provocando rechazo por parte del animal (López, 2019).

Asimismo, la presencia de manchas negras, zonas acuosas o moho visible es señal clara de deterioro. Estas áreas deben ser retiradas, ya que su consumo puede afectar la salud del ganado y comprometer el resto del ensilaje. Por ello, la homogeneidad en el color y la ausencia de anomalías visuales son aspectos fundamentales para determinar la calidad sensorial del silo (Guamán, 2020).

2.6.2 Olor en ensilajes

El olor del ensilaje es un parámetro sensorial determinante para evaluar su estado de conservación y calidad fermentativa. Un aroma ácido, similar al vinagre o frutas fermentadas, es característico de una fermentación láctica dominante, lo que indica un entorno anaeróbico bien manejado y la producción eficiente de ácido láctico por bacterias benéficas (Gutiérrez et al., 2018). Este tipo de olor es generalmente bien aceptado por los animales y refleja un alimento seguro y palatable.

En cambio, la aparición de olores desagradables, como los similares al amoníaco, a estiércol o a materia orgánica podrida, es indicio de fermentaciones defectuosas o de contaminación. Estos aromas pueden deberse a una descomposición proteica por acción de microorganismos indeseables, como bacterias proteolíticas o levaduras contaminantes, especialmente cuando el forraje tiene baja materia seca o ha sido expuesto al oxígeno (Reyes-Muñoz et al., 2020).

El análisis olfativo es una técnica rápida y eficaz para tomar decisiones en campo. El rechazo del alimento por parte de los animales suele estar asociado a estos malos olores, por lo que se

recomienda realizar una inspección rutinaria del aroma del silo en cada apertura. Una evaluación oportuna puede evitar pérdidas, intoxicaciones y disminuir riesgos de baja ingesta voluntaria (Linares et al., 2019).

2.6.3 pH en ensilajes

El pH del ensilaje es un indicador químico clave que permite evaluar el grado de acidificación alcanzado durante la fermentación. Un valor de pH entre 3.8 y 4.2 es considerado óptimo, ya que asegura la inhibición de bacterias patógenas y procesos de descomposición. Este rango es el resultado de una fermentación dominada por bacterias ácido-lácticas, que producen ácido láctico como principal subproducto y permiten conservar el forraje de manera estable (Zambrano et al., 2017).

Cuando el pH es superior a 4.5, se considera que la fermentación ha sido incompleta o que ha habido una contaminación significativa. Este tipo de desviaciones puede deberse a un bajo contenido de carbohidratos solubles, a compactación deficiente, o a una relación inadecuada entre humedad y materia seca. En tales condiciones, existe un mayor riesgo de proliferación de microorganismos no deseados, como *Clostridium* spp. o *Bacillus* spp., que comprometen la calidad del alimento (Torres-Castro et al., 2020).

La medición del pH se puede realizar fácilmente en campo mediante tiras reactivas o equipos portátiles digitales. Esta práctica permite ajustar futuras formulaciones del ensilaje y anticipar problemas de conservación. Un control regular del pH durante y después del proceso fermentativo ayuda a garantizar que el forraje cumpla con las condiciones microbiológicas y nutricionales necesarias para el consumo animal seguro y eficiente (Rivas-Galindo et al., 2021).

2.6.4 Temperatura

La temperatura interna del ensilaje es un parámetro físico importante que refleja el estado microbiológico del silo y su estabilidad durante el almacenamiento. Un ensilaje bien conservado debe mantener una temperatura cercana a la del ambiente, especialmente después de completada la fase activa de fermentación. Elevaciones térmicas inesperadas pueden ser indicio de procesos de degradación aeróbica o actividad microbiana no deseada, como la proliferación de hongos y levaduras (Barragán-Hernández et al., 2019).

Durante los primeros días tras el cierre del silo, es normal que se genere un ligero incremento de temperatura como resultado de la respiración vegetal y la actividad inicial de las bacterias. Sin embargo, si esta temperatura no desciende rápidamente o si vuelve a aumentar una vez

abierto el silo, es probable que se haya producido entrada de oxígeno o compactación insuficiente, condiciones que pueden desencadenar pérdidas nutricionales significativas (Ortega-León et al., 2018).

El monitoreo periódico de la temperatura interna mediante termómetros de sonda permite detectar estos focos de inestabilidad y prevenir el deterioro progresivo del material. Además, es una herramienta útil para evaluar la eficacia del sellado y la calidad del manejo post-fermentativo. Un control adecuado de la temperatura contribuye a preservar la palatabilidad y el valor nutritivo del ensilaje hasta el momento de su utilización (Salinas-Rojas et al., 2020).

2.7 Alimentación en dietas de caprinos

La alimentación en caprinos es un aspecto clave en el desarrollo eficiente de los sistemas de producción, ya que influye directamente en la salud, la reproducción y la productividad del rebaño. Los caprinos, por su fisiología ruminal, tienen la capacidad de aprovechar una gran variedad de materiales fibrosos, desde pastos naturales hasta subproductos agrícolas. Esta flexibilidad permite su adaptación a distintos sistemas productivos, desde los extensivos tradicionales hasta los intensivos tecnificados (Cervantes-Escoto et al., 2016).

En sistemas extensivos, la dieta está compuesta principalmente por pastos y arbustos disponibles en el entorno, lo que limita el control sobre la cantidad y calidad del alimento ingerido. En contraste, los sistemas semi-intensivos e intensivos permiten una formulación más precisa de las raciones, mediante la inclusión de forrajes conservados como henos o ensilajes, además de concentrados comerciales. Estas estrategias permiten cubrir los requerimientos nutricionales en diferentes etapas fisiológicas del animal, como crecimiento, gestación y lactancia (Espinoza-Angulo et al., 2019).

2.7.1 Tipos de dietas en caprinos

En Ecuador, la cabra representa una especie ganadera de valor estratégico en zonas rurales, con una población nacional estimada en 178.367 cabezas, de las cuales el 61.89% se encuentra en la región Sierra (Pesántes, 2014). Las razas predominantes incluyen Nubian, Criolla, Boer y Saanen. Galaviz (2022) demostró que la inclusión de recursos forrajeros no convencionales como el nopal y residuos agroindustriales en dietas caprinas incrementó el porcentaje de grasa en leche y redujo los costos de alimentación diaria por animal hasta en un 54%, lo que refuerza su aplicabilidad en sistemas de pequeña escala.

Los caprinos pueden ser alimentados bajo diversos esquemas nutricionales que varían según el sistema de producción, la disponibilidad de recursos y el estado fisiológico de los animales. En los sistemas extensivos, predominantes en zonas rurales, las cabras se alimentan principalmente de pastos naturales, arbustos, residuos de cultivos y otros recursos locales. Estas dietas son poco controladas en términos de calidad, pero se adaptan a la rusticidad de la especie y a condiciones de escasa inversión (Flores-López et al., 2018).

En sistemas semi intensivos, las dietas se complementan con forrajes conservados como henos, microsilos o ensilajes tradicionales, así como con subproductos agroindustriales como pulpas, cascarillas o tortas vegetales. Esta estrategia permite mejorar el aporte energético y proteico, especialmente en épocas de baja disponibilidad de pasto. Además, se reduce la dependencia estacional de los recursos forrajeros (Tapia-Coral et al., 2020).

En sistemas intensivos, los animales reciben dietas completamente formuladas y balanceadas, que combinan forrajes de alta calidad con concentrados energéticos y proteicos, vitaminas y minerales. Estas dietas buscan maximizar la eficiencia productiva, especialmente en unidades especializadas en producción de leche o carne. El uso de ensilajes bien fermentados ha cobrado relevancia en este tipo de esquemas, por su estabilidad nutricional y su aceptación por parte de los caprinos (Olmos-Pérez et al., 2022).

2.7.2 Consumo de materia seca

El consumo de materia seca (MS) es uno de los principales indicadores utilizados para evaluar el nivel de ingesta voluntaria de los caprinos y su relación con el rendimiento productivo. Este consumo está influenciado por varios factores, entre ellos el peso vivo, la etapa fisiológica, la calidad del alimento, la temperatura ambiental y el nivel de actividad del animal (Ramos-Murillo et al., 2020). En condiciones normales, una cabra adulta en mantenimiento consume entre el 2.5 % y el 3.5 % de su peso corporal en MS al día, lo que equivale aproximadamente a 1.5–2 kg en un animal de 50 kg.

Durante la lactancia o el crecimiento acelerado, este porcentaje puede aumentar significativamente, superando el 4 % del peso vivo. En estas etapas, la densidad energética y la palatabilidad del alimento juegan un papel determinante para alcanzar los requerimientos nutricionales. El uso de ensilajes de buena calidad puede facilitar el consumo al proporcionar una textura adecuada y mantener características organolépticas favorables, especialmente cuando se combinan con forrajes verdes o suplementos (Vargas-Luna et al., 2021).

Además, condiciones ambientales como el calor extremo o la escasez de agua pueden reducir temporalmente el consumo de MS. Por ello, es fundamental ofrecer alimentos frescos, bien conservados y ajustados a las necesidades del animal, con especial atención a la disponibilidad de agua, ya que una hidratación deficiente puede afectar negativamente la ingestión (Chávez-Vera et al., 2019).

2.7.3 *El nopal en la alimentación animal*

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es una planta cactácea ampliamente valorada en regiones áridas y semiáridas debido a su resistencia a la sequía, facilidad de propagación y alta productividad de biomasa. Su uso como forraje en la alimentación animal ha cobrado interés en los últimos años, no solo por su disponibilidad, sino también por sus propiedades nutricionales y funcionales que contribuyen a mejorar la dieta de diversas especies pecuarias (Ortega-Cervantes et al., 2017).

Desde el punto de vista composicional, el nopal presenta un alto contenido de agua (superior al 85 %), además de carbohidratos solubles como glucosa y fructosa, una cantidad moderada de fibra y una baja proporción de proteína cruda, que varía entre 3 % y 6 % dependiendo de la edad del cladodio. También contiene minerales esenciales como calcio, potasio y magnesio, así como compuestos funcionales como mucílagos, antioxidantes y polisacáridos no estructurales (López-Sandoval et al., 2021).

Una de sus ventajas más relevantes en alimentación animal es su capacidad de retención de agua, lo cual contribuye a mantener la hidratación del ganado, especialmente en épocas de estiaje. Además, al mezclarse con forrajes secos como rastrojos, pajas o maíz, mejora la textura del ensilaje y favorece una fermentación homogénea. Estas características hacen del nopal un recurso estratégico para pequeños productores en condiciones limitantes de forraje verde (Torres-Sánchez et al., 2020).

Su inclusión en la dieta animal debe planificarse considerando su bajo contenido proteico. Por ello, se recomienda usarlo como complemento en raciones mixtas que incluyan fuentes proteicas y fibrosas, a fin de lograr un balance nutricional adecuado. Varios estudios han demostrado que, al formar parte de dietas integradas, el nopal mejora la palatabilidad, reduce el consumo de agua y contribuye al aprovechamiento de nutrientes en especies como caprinos, ovinos, bovinos e incluso monogástricos bajo ciertas condiciones (Medina-Villagrán et al., 2021).

2.7.4 Alimentación en rumiantes

El uso del nopal como forraje en rumiantes ha sido ampliamente promovido en sistemas de producción ubicados en zonas áridas y de escasa disponibilidad de pasto. Su alta capacidad de adaptación, junto con su elevado contenido de humedad y carbohidratos solubles, lo convierten en un recurso viable para suplementar dietas de mantenimiento o transición en cabras, ovejas y bovinos (Vega-Rodríguez et al., 2018).

En cabras y ovinos, el nopal se ha utilizado como complemento energético en raciones basadas en gramíneas o residuos agrícolas. Estudios han demostrado que su inclusión mejora la palatabilidad, facilita la digestión y contribuye a mantener una ingesta estable, particularmente durante épocas de sequía. El consumo diario puede variar entre 5 y 12 kg de nopal fresco por animal, dependiendo del peso corporal y del tipo de dieta base (Pérez-Padilla et al., 2020).

En bovinos, el nopal se ha usado tanto en animales de carne como en sistemas lecheros, donde puede representar hasta el 40 % del total de materia fresca de la ración sin efectos negativos sobre la producción. En vacas secas o en crecimiento, el nopal actúa como una fuente hidratante y energética que puede ayudar a reducir los costos de suplementación en zonas donde la producción de pasto es limitada (Domínguez-Robles et al., 2021).

Sin embargo, es importante señalar que el nopal no debe ser utilizado como único alimento, debido a su bajo contenido de proteína cruda y fibra efectiva. Su uso debe ir acompañado de fuentes proteicas, minerales y estructurales para evitar desequilibrios digestivos. Además, el exceso de mucílago en dietas con alto contenido de nopal puede afectar la fermentación ruminal si no se balancea adecuadamente (García-Delgado et al., 2022).

2.8 Marco legal

La presente investigación está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Organización de las Naciones Unidas, particularmente con el Objetivo 2: "Hambre Cero", cuyo propósito es garantizar sistemas alimentarios sostenibles y resilientes, y el Objetivo 12: "Producción y Consumo Responsables", que busca fomentar prácticas agrícolas sostenibles y reducir el desperdicio alimentario. Asimismo, esta investigación se vincula directamente con los objetivos establecidos en el Plan de Desarrollo del Nuevo Ecuador, específicamente en lo referente al desarrollo agropecuario sostenible, la mejora de la productividad agrícola, y la promoción del uso eficiente de los recursos locales para garantizar la seguridad alimentaria y nutricional en el país.

Los procesos de difusión, con la transferencia tecnológica, deben replicar experiencias exitosas, en ocasiones desde otros países, e identificar y difundir 37 experiencias locales, que por lo general son de menor costo y fácil aplicación Senplades (2017).

De igual forma el artículo 281 numeral 13 de la Constitución de la República establece que la soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que sanos y culturalmente apropiado de forma permanente. Para ello, será responsabilidad del Estado: Prevenir y proteger a la población del consumo de alimentos contaminados o que pongan en riesgo su salud o que la ciencia tenga incertidumbre sobre sus efectos;

Artículo 24 de la Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria, publicado inocuidad alimentarias tienen por objeto promover una adecuada nutrición y protección de la salud de las personas; y prevenir, eliminar o reducir la incidencia de enfermedades que se puedan causar o agravar por el consumo de alimentos contaminados”; Para ello se emplea el Manual técnico de Buenas Prácticas pecuarias en la crianza de cuyes, elaborado por Agencia de Regulación y control zoo sanitario (AGROCALIDAD, 2015).

Finalmente, el Código Orgánico del Ambiente (2017) en su artículo 42, establece la obligación de fomentar prácticas de producción que prevengan, controlen y mitiguen el deterioro ambiental, apoyando investigaciones que promuevan métodos de conservación y uso eficiente de los recursos naturales, como es el caso del ensilaje de forrajes que contribuye a una agricultura más sostenible.

CAPITULO III

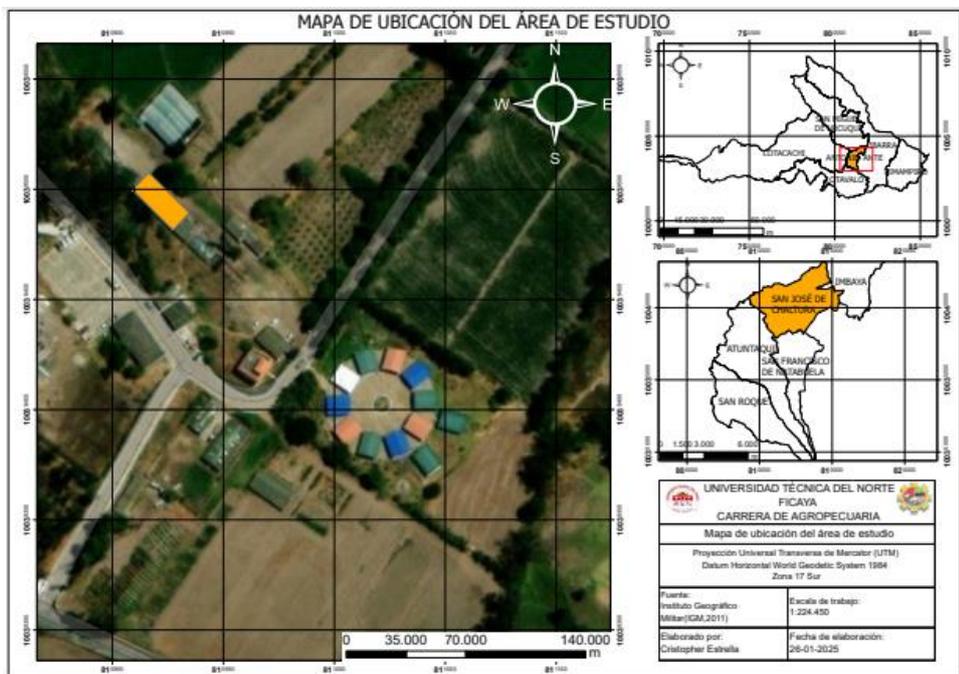
MARCO METODOLÓGICO

3.1 Descripción del área de estudio

El área donde se realizó el estudio está ubicada en la provincia de Imbabura, cantón Antonio Ante, Parroquia San José de Chaltura en la Granja Experimental “La Pradera”. Situada a una distancia de 3.8 km de la ciudad de Atuntaqui. A continuación, se presenta el mapa de la zona de estudio y sus características.

Figura 1

Mapa descripción geográfica del área de estudio



La parroquia de San José de Chaltura presenta un clima ecuatorial meso térmico semihúmedo con las siguientes características climáticas

Tabla 1

Caracterización del área de estudio (INAMHI, 2023).

Ubicación del área de estudio	Descripción
Provincia	Imbabura
Cantón	Antonio Ante
Parroquia	San José de Chaltura
Lugar	Granja Experimental "La Pradera"
Altitud	1920 m. s. n. m.
Latitud	0° 21' 19"
Longitud	78°11' 32"
Temperatura baja:	9.5 °C
Temperatura media:	16 °C
Temperatura máxima:	24 °C
Precipitación media anual:	750 mm/año
Humedad relativa:	72%

3.2 Materiales para la elaboración de microsilos

Para llevar a cabo la presente investigación se utilizarán los materiales y equipos descritos en la Tabla 2.

Tabla 2

Materiales, equipos, insumos y herramientas utilizados en la elaboración de microsilos

Materiales de campo	Equipos	Material Experimental	Materias Primas
Picadora de Forraje	Computadora	Cabras	Nopal picado con una humedad inferior al 10% y Maíz picado con una humedad del 55%
Fundas de ensilaje	Calculadora	Microsilos	
Termómetro	Celular		
Cinta métrica	Cuaderno de campo		Silo testigo
Estacas de madera	Hoja de registros		Residuos agroindustriales (Mango, piña, naranja)
Pluviómetro			Sal mineral
Comederos			Melaza
Bebederos			
Balanza			
Aretes			
Jaulas			

3.3 Método de elaboración de microsilos

La presente investigación es un estudio de tipo experimental que se llevó a cabo en un cuarto cerrado en donde se utilizaron pallets para colocar fundas de ensilaje durante 21 días en el cual se evaluaron características de calidad y bromatológicas de ensilados mixtos a partir de nopal (*Opuntia ficus-indica*), maíz (*Zea mays*) y residuos agroindustriales en la Granja Experimental La Pradera.

3.4 Factores en estudio

En este estudio se evaluaron las características físicas y sensoriales de microsilos a partir de tres materias primas vegetales

3.5 Tratamientos

Los tratamientos evaluados en esta investigación se describen en la Tabla 3

Tabla 3

Descripción de las formulaciones de microsilos como alimento para cabras

Formulaciones	Descripción de las formulaciones
F1	Ensilaje testigo: maíz (6 kg)
F2	Ensilaje mixto: nopal (2,1 kg), maíz (3,9 kg)
F3	Ensilaje de nopal (0,9 kg) y maíz (2,1 kg) con residuos agroindustriales: Mango (2,1 kg), piña (0,3 kg), naranja (0,6 kg)

3.6 Diseño experimental

Para la presente investigación se implementó un diseño completamente al azar como se muestra en la Figura 2, con tres formulaciones y un total de 18 unidades experimentales en un área de 3.24m².

Figura 2

Esquema del diseño experimental para microsilos.



3.7 Procedimiento para medición de las variables sensoriales

Esta variable se determinó mediante pruebas sensoriales de tipo descriptivas que consiste en mediar las intensidades percibidas por panelistas entrenados con ayuda de una escala de calidad con cuatro grados de puntuación: excelente, buena, regular y mala. Para la medición se tomó muestras de 250 gramos de silo a los 21 días de almacenamiento. Cada panelista dispuso de 5 min por muestra para la estimación sensorial de cada variable, adicionalmente se utilizó una pequeña muestra de café molido para evitar la saturación del olfato en los panelistas (FonaHolstein, 2014).

3.7.1 Color en los microsilos

El color del ensilaje es un indicador visual importante de la calidad del proceso fermentativo. Un color verde oliva, amarillo claro o verde oscuro uniforme suele asociarse a una fermentación adecuada. En cambio, tonalidades marrones oscuro, negruzcas o con manchas indican un proceso de deterioro debido a oxidación o calentamiento excesivo. Para la evaluación se utilizó la misma muestra de 250 gramos del microsilos a los 21 días de almacenamiento, la cual fue

entregada a cada uno de los panelistas. La percepción del color fue estimada de forma directa a la luz del día durante 5 minutos, aplicando una escala de cuatro grados de calidad: excelente, buena, regular y mala (FonaHolstein, 2014).

Tabla 4

Escala de colores para determinar calidad de ensilaje.

Escala	Descripción
Excelente Calidad	Verde aceituna y marrón en toda la muestra
Buena Calidad	Verde amarillento y marrón en toda la muestra
Calidad Regular	Verde oscuro y café oscuro en toda la muestra
Mala Calidad	Casi negro o negro en toda la muestra

3.7.2 Olor en los *mircosilos*

El ensilaje que se fermenta normalmente, puede oler ligeramente dulce, pero típicamente tiene poco olor porque el ácido más prevalente es el lactato, que casi no tiene olor. Un ligero olor a vinagre es otra posibilidad para el ensilado normal, porque el ácido acético es el segundo producto final de la fermentación y es muy volátil.

Un olor fuerte a vinagre demuestra un ensilado malo, esto es debido a los números bajos de bacterias productoras de ácido láctico y puede ocurrir cuando la cosecha tiene niveles de azúcar o se ensiló muy húmedo. Por último, el ensilado más malo es aquel que tiene un olor rancio, pútrido o con olor a pescado, resulta de la fermentación clostridiana (FonaHolstein, 2014).

Tabla 5

Escala de olores para determinar calidad de ensilaje.

Escala	Descripción
Excelente Calidad	Agradable a fruta madura
Buena Calidad	Agradable, ligero a vinagre
Calidad Regular	Acido fuerte a vinagre o manteca rancia
Mala Calidad	Putrefacto a humedad o moho

3.7.3 *Textura en los microsilos*

La textura se refiere a la resistencia del ensilaje al ser comprimido con el puño, y permite identificar la estructura física del material conservado. Un ensilaje de buena textura debe mostrar cierta cohesión, sin deshacerse fácilmente ni presentar exceso de humedad o fibrosidad extrema. Para esta variable, se entregaron 250 gramos de cada tratamiento a los panelistas, quienes evaluaron la textura presionando el material en su mano cerrada. La percepción fue calificada con la escala sensorial de cuatro niveles: excelente, buena, regular y mala, según la resistencia, desintegración y humedad percibida al tacto (INIAP, 2013).

Tabla 6

Escala de texturas para determinar calidad de ensilaje.

Escala	Descripción
Excelente Calidad	No humedece las manos al hacer presión con el puño y se mantiene suelto el forraje
Buena Calidad	No humedece las manos al hacer presión con el puño y no se mantiene suelto el forraje
Calidad Regular	Al comprimir con el puño se compacta y forma una masa
Mala Calidad	Al comprimir con el puño se compacta y forma una masa y suelta líquidos

3.7.4 *Temperatura*

El aumento excesivo de temperatura en el ensilaje puede ser un indicio de deterioro, generalmente causado por actividad microbiana indeseada. Un ensilaje dañado presenta coloración marrón oscura y un olor característico a caramelo quemado o tabaco, resultado de reacciones de Maillard y oxidación de azúcares. Para esta variable, luego de abrir los microsilos al día 21 de fermentación, se utilizó un termómetro de mercurio, el cual fue incrustado en la parte central de los microsilos exactamente al abrir la bolsa y se registró la temperatura de nueve muestras después de estabilizarse durante 5 minutos (INIAP, 2013).

3.7.5 *Materia seca*

El contenido de materia seca es un parámetro esencial para evaluar la calidad de los ensilajes, ya que niveles adecuados permiten reducir la producción de efluentes y optimizar la fermentación. Se considera óptimo un rango de 28 % a 35 % de materia seca, mientras que

valores inferiores al 20 % pueden comprometer la estabilidad del ensilado. Para su determinación, se tomaron dos cuartos del contenido del microsilo, se homogenizaron y se colocaron en una charola de aluminio, secándose en estufa a 60 °C durante 24 horas (Pineda, 2016).

3.7.6 Determinación del contenido de Humedad

El contenido de humedad es un parámetro complementario a la materia seca, y su determinación es fundamental para evaluar la estabilidad del ensilaje. Niveles excesivos de humedad pueden favorecer procesos indeseables como fermentación butírica, producción de efluentes y pérdida de nutrientes solubles. El cálculo de la humedad se realizó de forma indirecta a partir de los datos de materia seca, utilizando la fórmula: % Humedad = 100 - % Materia Seca. Los valores de materia seca fueron obtenidos mediante secado en estufa a 60 °C durante 24 horas, utilizando muestras representativas del microsilo homogenizadas previamente. Esta metodología permitió estimar con precisión el contenido de humedad presente en cada tratamiento (Pineda, 2016).

3.7.7 pH

El pH constituye un indicador clave del proceso fermentativo en el ensilaje, ya que refleja el grado de acidificación alcanzado por acción de las bacterias ácido-lácticas. Se considera que un pH inferior a 4.2 garantiza una conservación estable y una fermentación eficiente, evitando el desarrollo de microorganismos patógenos. Para su medición, el día 21 de fermentación se extrajo una muestra de cada unidad experimental desde la parte superior hasta el fondo del microsilo, posteriormente se trasladaron las nueve muestras a laboratorio para al día siguiente cada una mezclarse homogéneamente y medir su pH con la ayuda de un potenciómetro calibrado (Pineda, 2016).

3.7.8 Consumo de alimento

La evaluación del consumo voluntario de alimento permite estimar la aceptabilidad del ensilaje por parte de los animales, así como su influencia en el comportamiento alimenticio. Durante cinco días, se suministraron dos raciones diarias de las diferentes formulaciones de ensilaje a cada animal. Si la ración matutina no era consumida en su totalidad, se reutilizaba en la siguiente toma, y al final del día se registraba el residuo. La diferencia entre alimento ofrecido y sobrante permitió calcular el consumo neto diario por animal (Cedeño-Castro et al., 2020).

3.8 Manejo del experimento

3.8.1 Recolecta de materias primas

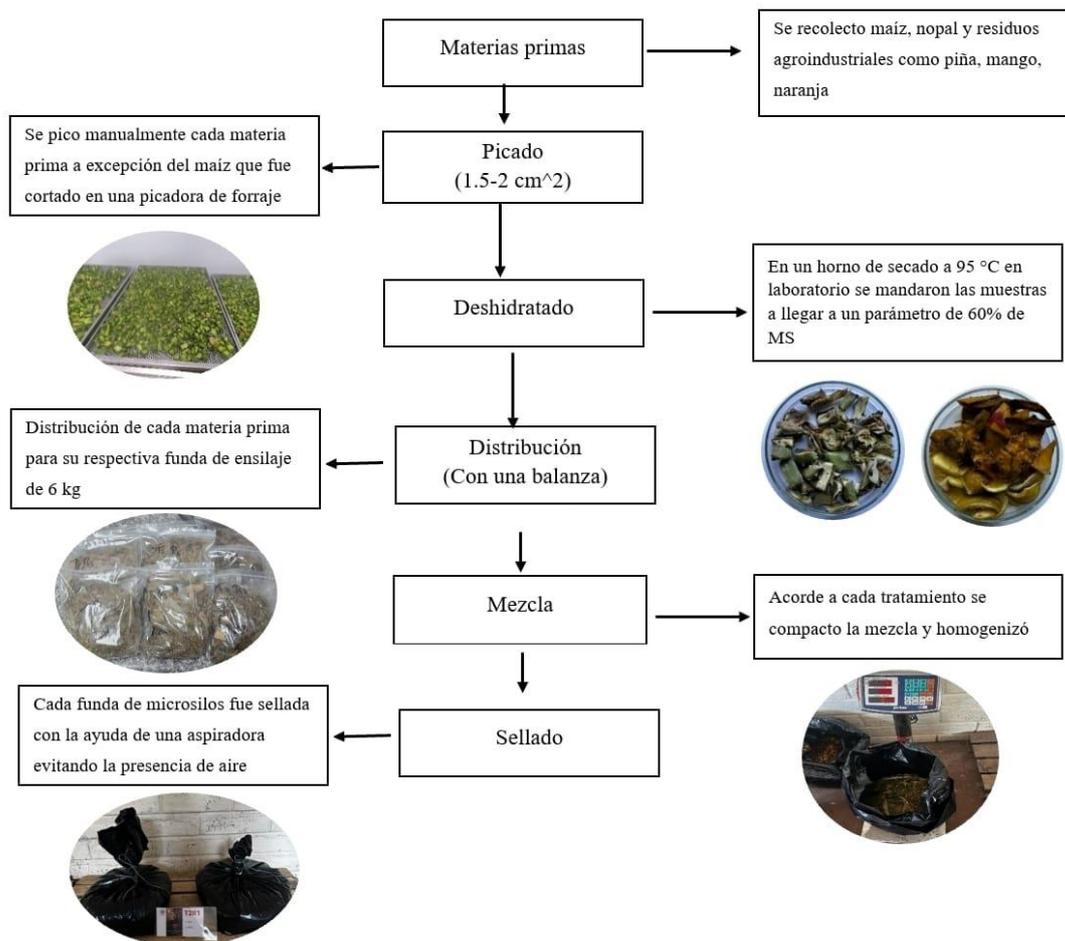
Se hizo una recolecta de las materias primas para las formulaciones de ensilajes que son: Nopal, el cual se obtendrá de Pimampiro, Maíz de una plantación de Imbabura, Residuos agroindustriales (Mango, piña y cáscara de naranja).

3.8.2 Picado de materias primas

Una vez las materias primas se encontraron en la Granja Experimental La Pradera se realizó un picado de todas las muestras con ayuda de una picadora de forraje en partículas pequeñas a un tamaño de 1.5 a 2 cm ² para ayudar al proceso de ensilaje, para posteriormente ser pesadas y llenadas en las fundas de plástico para microsilos.

Figura 3

Procedimiento para la elaboración de microsilos para cabras



3.8.3 Sellado de microsilos

Posteriormente se llenaron cada una de las 18 bolsas para microsilos con las diferentes formulaciones en un lapso de 21 días teniendo en cuenta que hay que compactar bien la materia verde y eliminar la mayor cantidad de oxígeno para tener un buen desarrollo de ensilaje en el transcurso ya mencionado.

3.8.4 Análisis de microsilos

A los 21 días los microsilos ya estuvieron listos para ser utilizados, pero se dio un tiempo adicional de 9 días para poder llevar a laboratorio, medir el pH, materia seca, humedad y realizar los análisis sensoriales de cada una de las formulaciones con un rango del 1 al 5 y una escala desde excelente calidad a mala calidad las variables visuales, táctiles y olfativas, con la ayuda de panelistas conocedores del tema del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

3.8.5 Alimentación para cabras

Al pasar los 30 días dos cuartos de los microsilos fueron destinados al consumo de alimento par cabras (Saanen) en Cotacachi, donde en un lapso de cinco días y con las medidas ya establecidas de hará la toma de datos de consumo de las formulaciones de ensilajes mediante un diseño completamente al azar, se medirá la cantidad de ensilaje sobrante por las cabras luego de cada ordeño.

CAPÍTULO IV

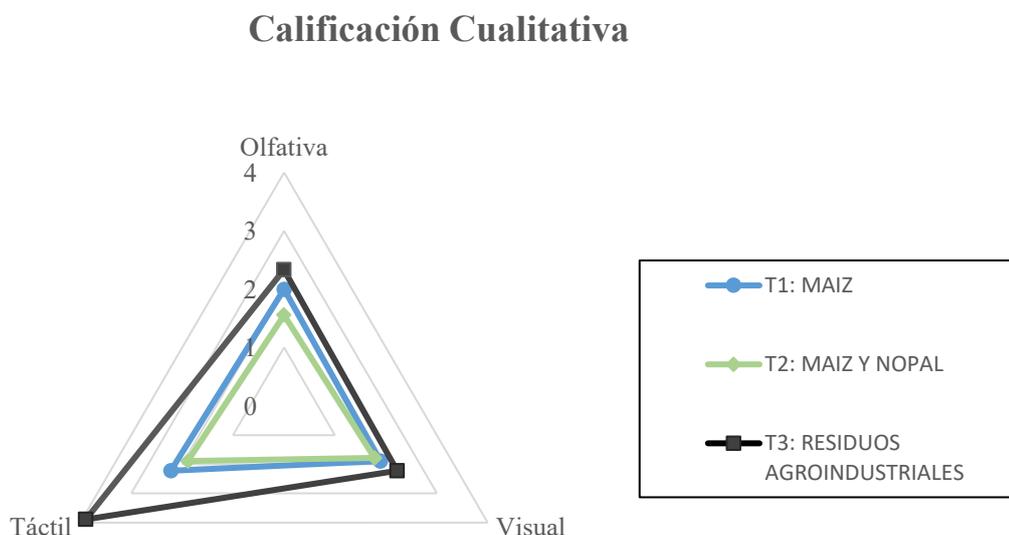
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación sensorial de los microsilos

Con el objetivo de caracterizar la calidad sensorial de los microsilos elaborados a partir de tres formulaciones distintas (T1: maíz, T2: maíz y nopal, T3: mezcla de residuos frutales), se llevó a cabo una evaluación organoléptica al día 21 del proceso fermentativo. Esta evaluación se enfocó en tres variables sensoriales: olor, color y textura, seleccionadas por su relevancia para determinar la aceptabilidad del ensilaje en alimentación animal. Se utilizó una escala ordinal de cuatro categorías: 1 = excelente, 2 = buena, 3 = regular y 4 = mala calidad, para la valoración de las variables sensoriales. Para el análisis estadístico de las frecuencias de evaluación obtenidas, se aplicó una prueba descriptiva, representada en un gráfico de radar (Figura 3).

Figura 3

Perfiles sensoriales de ensilajes evaluados mediante prueba olfativa, visual y táctil azul verde y negro



De acuerdo con los resultados de la Figura 3 para la prueba olfativa, el tratamiento T2 (ensilaje de maíz con nopal) presentó una calificación promedio de 81.48 % que indica un aroma agradable (categoría 1) y fue superior con respecto a los otros tratamientos. En contraste, el tratamiento T3 (mezcla con residuos agroindustriales) presentó una calificación olfativa intermedia de 55.56 % con percepciones variables entre los panelistas, esta calificación fue la

más baja con respecto al T1 y T2. Por otro lado, el tratamiento T1 (ensilaje de maíz), aunque presentó un perfil olfativo aceptable con un porcentaje de 66.67 %, no alcanzó los niveles sensoriales del tratamiento T2 (ensilaje de maíz y nopal).

De acuerdo con García-Cruz et al. (2013), la buena calidad del ensilaje depende de un proceso fermentativo uniforme, ya que favorece la producción de compuestos volátiles de tipo ácido-láctico y en menor proporción el ácido acético. Este comportamiento pudo reflejarse en el tratamiento T2, ya que registró una percepción olfativa excelente (Categoría 1). Además, los mucílagos y polisacáridos solubles del nopal (*Opuntia ficus-indica*) pudieron favorecer a la actividad de bacterias ácido-lácticas (BAL), las cuales aceleran la acidificación del medio y promueven una fermentación homofermentativa eficiente. Así mismo, la percepción olfativa de ácido fuerte a vinagre del tratamiento T3 podría explicarse por la alta carga de azúcares simples presentes en los residuos frutales, los cuales, aunque son útiles como sustrato inicial para las BAL, tienden a provocar fermentaciones heterogéneas cuando no existe un equilibrio adecuado entre sustrato y materia estructural (Tamayo et al., 2011). Además, la fruta picada al mezclarse con el nopal y el maíz pudo haber influenciado en una baja compactación que produce compuestos secundarios como etanol, ácidos butíricos o incluso aldehídos, que alteran negativamente el perfil aromático del ensilado (Pérez-García et al., 2018)

Con base en la Figura 3, la prueba visual reveló que el tratamiento T2 (ensilaje de maíz y nopal) fue superior a los demás, al obtener un promedio de 74.07 % de calificaciones en la categoría 2 (bueno), lo que equivale a una coloración verde amarillento y marrón en toda la muestra. En comparación, T1 (ensilaje de maíz solo) alcanzó 59.26 % repartido entre categorías 2 y 3, y T3 (mezcla de residuos frutales) registró 59.26 % en categoría 3 (regular), caracterizada por un color verde oscuro y café oscuro en toda la muestra. Así, T1 y T3 no lograron los niveles de estabilidad cromática alcanzados por T2.

Según Castro-López et al. (2016), la clara ventaja cromática de T2 radica en las propiedades antioxidantes de los compuestos fenólicos y betalaínas del nopal, que capturan radicales libres y previenen la oxidación de clorofilas y carotenoides, preservando la tonalidad verde amarillento a lo largo del ensilado. Este comportamiento pudo reflejarse en el tratamiento T2, ya que registró una percepción visual buena (Categoría 2). Por el contrario, la mayor heterogeneidad de T3 se explica por la diversidad de pigmentos frutales y su rápida oxidación en condiciones anaeróbicas, generando melaninas y tonos café oscuro (Martínez et al., 2011).

Asimismo, en T1 el amarillamiento pajizo coincide con la degradación de pigmentos por ausencia de antioxidantes naturales que estabilicen el color (Maza et al., 2011).

En la prueba táctil, el tratamiento T2 destacó nuevamente, al registrar un promedio de 70.37 % en la categoría 2 (bueno), lo que describe una textura semihúmeda y compacta que no humedece las manos al comprimir con el puño y se mantiene suelta al desmenuzarse. Por contraste, T3 obtuvo solo 30.70 % en categoría 4 (malo), caracterizada por la formación de masa con liberación de líquidos, mientras que T1 se situó en 59.26 % en categoría 3 (regular), indicando compactación sin exudación. De esta forma, T2 logró superar los niveles táctiles de T1 y T3.

Como menciona Flores-Hernández et al. (2020), la textura superior de T2 se fundamenta en la higroscopicidad de los mucílagos del nopal, que retienen agua dentro de la matriz fibrosa sin llegar a la saturación, evitando efluentes y otorgando una estructura porosa de alta palatabilidad. Este comportamiento pudo reflejarse en el tratamiento T2, ya que registró una percepción visual buena (Categoría 2). Además, la fermentación homogénea en T2 favorece la producción de polisacáridos extracelulares que refuerzan la red estructural del ensilado, mejorando su resistencia mecánica (López-Rojas et al., 2019). En contraste, la exudación en T3 responde a la rápida descomposición de azúcares simples de los residuos frutales, que desestabiliza la matriz celulósica y libera agua libre (Reyes, 2022). La textura intermedia de T1, por su parte, refleja la ausencia de polisacáridos mucilaginosos, lo que genera una masa firme, pero sin capacidad para retener líquidos (Vinocunga, 2024).

4.2 Determinación de temperatura

La prueba estadística de Pearson reportó un valor de $p= 0.0025$ para la variable temperatura, que indican diferencias significativas entre las formulaciones de los microsilos evaluados. Los tratamientos T2 y T3 registraron una temperatura promedio de 21.27 y 21.3 °C, respectivamente durante los 21 días de fermentación. Mientras que, el microsilo convencional (T1), registró una temperatura mayor de 22.17 °C y fue estadísticamente diferente con respecto a los demás tratamientos.

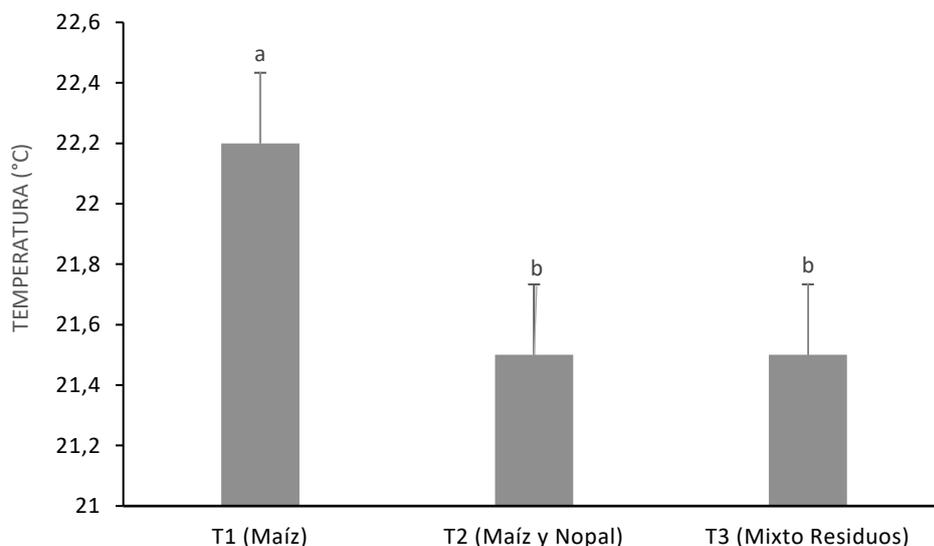
La temperatura de los tratamientos T2 y T3 podría estar relacionada con la inclusión de nopal y los residuos agroindustriales, particularmente el nopal por su alto contenido de agua y mucílagos, tiende a regular la temperatura dentro de la masa ensilada, evitando aumentos bruscos de temperatura que podrían comprometer la estabilidad del producto (Morales-Ortega et al., 2017). El comportamiento del T3 puede deberse a que presencia de residuos agroindustriales facilita la proliferación de bacterias ácido-lácticas, lo que acelera la

acidificación y reduce la producción de calor metabólico, manteniendo la temperatura en niveles óptimos (Sánchez et al., 2020). Por otro lado, las materias primas con niveles altos de almidón como el maíz favorece el proceso fermentativo por la producción significativa de azúcares libres y esto puede generar un incremento inicial de temperatura, debido a la acelerada actividad microbiana que podría influir en la estabilidad térmica de los microsilos (Morales, 2009).

Así mismo la temperatura de 21.5 °C observada en los tratamientos T2 y T3 reflejan un proceso fermentativo eficiente y equilibrado, donde los sustratos disponibles fueron metabolizados de manera controlada. El nopal, debido a su retención de humedad y baja producción de calor, y los residuos frutales, con su alto contenido de azúcares y ácidos orgánicos, favorecieron condiciones ideales para una conservación estable y de alta calidad del material ensilado (Díaz, 2015).

Figura 4

Resultados de los tratamientos evaluados en la variable temperatura en cabras.



El nopal (*Opuntia ficus-indica*) presenta una alta capacidad de retención de agua debido a sus mucílagos, lo que favorece una fermentación anaeróbica estable sin generar un calor excesivo que pueda comprometer la calidad del ensilaje. Esta capacidad evita la actividad de microorganismos indeseables y permite una descomposición ordenada de los azúcares y compuestos solubles presentes en el material ensilado, lo que mantiene la temperatura en un rango adecuado para la conversión eficiente de los carbohidratos en ácidos orgánicos protectores (Morales, 2020).

Un incremento excesivo de temperatura en el ensilaje puede conducir a una fermentación indeseable y al desarrollo de microorganismos perjudiciales, por lo que el control térmico es un indicador clave de la calidad del proceso (FAO, 1999). Además, la capacidad buffer de los residuos frutales influye en la estabilidad térmica del ensilaje. La piña y la naranja contienen ácidos orgánicos naturales, como el cítrico y el málico, que contribuyen a la regulación del pH y limitan la actividad de microorganismos no deseados. La presencia de estos ácidos permite que el ensilaje alcance un equilibrio térmico óptimo durante la fermentación sin generar excesivas pérdidas de energía en forma de calor (Ramos, 2018).

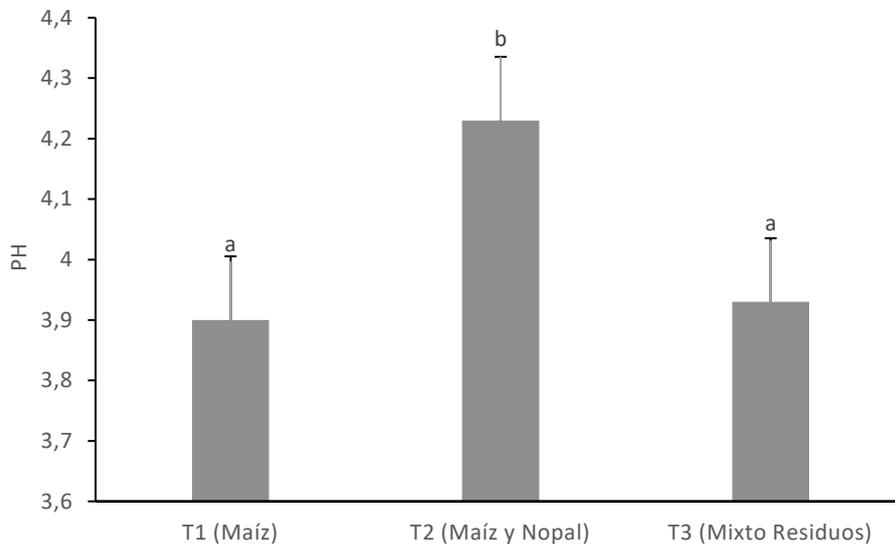
4.3 Determinación de pH

De acuerdo con el estadístico de Pearson, los resultados de la variable pH para las tres formulaciones de microsilos reportan un valor de $p=0.0168$, que indican diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento T2 registró un valor promedio de 4.23 de pH, mientras que el T1 y T3 registraron valores promedio similares ($pH=3.90$). De acuerdo con Mendoza (2010), el valor óptimo de pH 4.23 es adecuado para garantizar una buena conservación del silo, aunque puede implicar una textura más pegajosa y una mayor acidez en el aroma. Además, la presencia de mucilagos y la fibra alta en el nopal pudo haber sido un sustrato ideal para bacterias lácticas (Carranza-Fuentes et al., 2020).

El pH más alto de T2 se asocia con la presencia de mucilagos y fibra del nopal, que actúan como reserva controlada de sustrato para las bacterias ácido-lácticas (BAL), promoviendo una producción gradual de ácido láctico y evitando la acumulación excesiva de ácidos fuertes (Mendoza, 2010; García-Murillo et al., 2018). Por el contrario, los tratamientos T1 y T3 mostraron pH más bajos debido a una actividad microbiana más intensa, que, si bien acelera la acidificación, puede derivar en la generación de ácido acético o butírico en procesos heterofermentativos (Carranza-Fuentes et al., 2020). (Figura 5).

Figura 5

Resultados de los tratamientos evaluados en la variable pH en cabras.



Estos resultados sugieren que T2 mantiene un equilibrio fermentativo, donde la acidificación es suficiente para conservar el ensilaje sin comprometer la textura ni el aroma (Reyes-Patiño et al., 2019). En el caso de T3, el contenido elevado de azúcares simples en los residuos frutales conduce a una fermentación rápida, cuyos subproductos secundarios podrían acumularse si no se ajusta correctamente la proporción sustrato-estructura (Ramos, 2018). Mientras tanto, el pH de T1 refleja una fermentación más agresiva que, aunque efectiva, roza los límites de acidez deseables para la palatabilidad (FAO, 1999).

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) aporta entre 90 % y 92 % de humedad en fresco y mucílagos que comprenden del 5 % al 7 % del peso seco, según la madurez del cladodio (Márquez-López et al., 2020). Estas características físicas y químicas generan un microambiente estable, facilitando la proliferación ordenada de BAL y la producción sostenida de ácido láctico, lo cual estabiliza el pH y prolonga la conservación (García-Murillo et al., 2018; Sánchez et al., 2020).

Finalmente, es crucial considerar que mantener un pH bajo (entre 3.8 y 4.2) en el ensilaje es fundamental para inhibir el desarrollo de bacterias butíricas y hongos, asegurando así una adecuada fermentación y la estabilidad del material ensilado (FAO, 1999). En T3, la presencia de ácidos naturales (cítrico y málico) en los residuos frutales ejerce un efecto buffer que modera la caída de pH y contribuye a la estabilidad ácida, siempre que la fermentación se mantenga controlada (Ramos, 2018). En consecuencia, T2 se consolida como la formulación más

equilibrada, combinando las ventajas fermentativas del nopal con un perfil de acidez óptimo para la conservación y calidad sensorial del ensilaje.

4.4 Determinación del contenido de Humedad

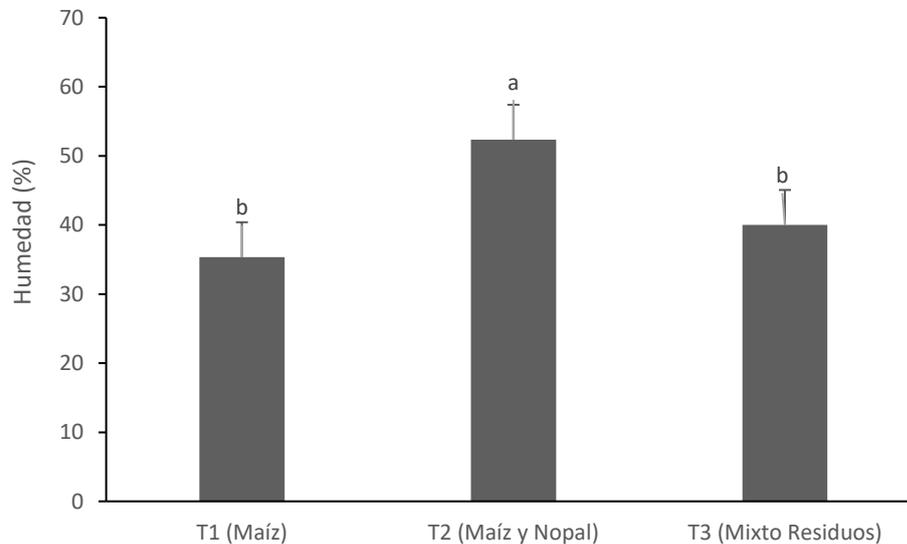
Para la evaluación de las variables cuantitativas de los microsilos, de acuerdo con el estadístico de Pearson, los resultados de la prueba humedad para las tres formulaciones de microsilos reportan un valor de $p=0.0054$, que indican diferencias significativas entre los tratamientos. En la Figura 6 se muestra los resultados del contenido de humedad de los microsilos analizados.

El tratamiento T2 (Maíz y nopal) alcanzó un valor promedio de 52.33% y fue estadísticamente superior al resto de los tratamientos. Por otro lado, los tratamientos T1 (Maíz) y T3 (Mixto con residuos frutales) presentaron niveles de humedad promedio de 35.33% y 40% y sin diferencias estadísticamente entre estos. Se conoce que la humedad en los microsilos juega un papel crucial en la fermentación anaeróbica y en la calidad sensorial del ensilaje, ya que es uno de los factores determinantes para el crecimiento y para la actividad de los microorganismos responsables de la fermentación. Según Martínez-Pérez et al. (2016), los niveles óptimos de humedad para un ensilaje eficiente oscilan entre 30 % y 60 %, ya que permiten una fermentación activa sin provocar excesiva producción de efluentes para un desarrollo fermentativo adecuado, calidad óptima y características sensoriales aceptables.

Durante el proceso de fermentación, las bacterias lácticas (principalmente *Lactobacillus*) convierten los azúcares disponibles en ácido láctico, lo que reduce el pH y mejora la conservación del material (Paredes-González et al., 2019). Por lo tanto, el contenido de humedad influye en la textura, el aroma, el color y la consistencia del ensilaje. Bajo este contexto, el contenido de humedad registrado en el tratamiento T2 de 52.33% podría favorecer a una fermentación rápida y eficiente. Es decir que, un nivel adecuado de humedad permitirá una mayor actividad de las bacterias lácticas, lo que contribuye a un ensilaje más homogéneo, con una textura suave y jugosa (Jaimes, 2008). Además, la mayor humedad ayuda a mantener las características sensoriales positivas, como un sabor menos ácido y un aroma más agradable. La humedad también facilita la compresión del material dentro del microsililo, asegurando que se mantenga compacto y sin aire, lo que es esencial para una fermentación exitosa (Bernal et al., 2017), (Figura 6).

Figura 6

Resultados de los tratamientos evaluados en la variable de Humedad en Ensilaje para cabras.



Asimismo, el elevado grado de humedad de T2 contribuye a mantener una estructura interna bien compactada, expulsar el aire de manera más efectiva y asegurar un entorno anaeróbico óptimo, lo que redunda en un ensilaje homogéneo, jugoso y con características sensoriales positivas, como menor acidez y aroma agradable (Paredes-González et al., 2019).

Por otra parte, el nopal aporta entre 90 % y 92 % de humedad en fresco y sus mucílagos representan del 5 % al 7 % del peso seco del cladodio, según la madurez del tejido (García-Murillo et al., 2018). Estos polisacáridos hidrófilos retienen agua en la matriz del forraje, evitando pérdidas por evaporación y creando un microambiente que favorece la actividad ordenada de las bacterias ácido-lácticas, lo cual prolonga la textura semihúmeda y mejora la estabilidad del ensilaje (Flores-Hernández et al., 2020).

Por último, aunque niveles de humedad inferiores al 30 % pueden impedir el desarrollo óptimo de las bacterias lácticas y dar lugar a un ensilaje seco y menos uniforme (Márquez-López et al., 2020), esa misma baja humedad limita el crecimiento de organismos indeseables como *Clostridium* spp. y *Aspergillus* spp., mejorando la estabilidad microbiológica (Bernal et al., 2017). En el caso de T3, la presencia de azúcares y ácidos orgánicos naturales de los residuos frutales ejerce un efecto buffer que modera la variación hídrica, siempre que la relación fibra-azúcares se ajuste para evitar exudados excesivos y asegurar una fermentación estable (Carranza-Fuentes et al., 2020).

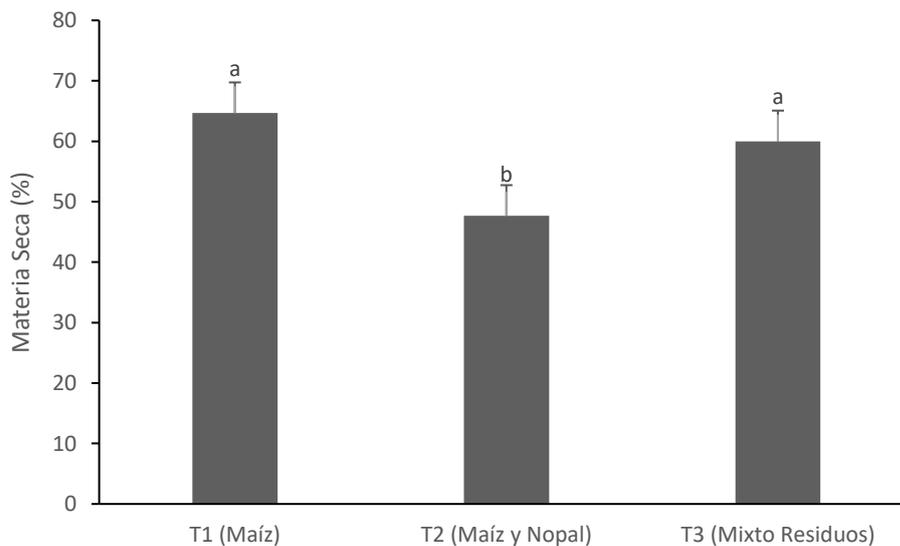
4.5 Materia Seca

Para la evaluación cuantitativa del contenido de materia seca en los microsilos, se aplicó la prueba de correlación de Pearson, observándose diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos $p = 0.0054$. A los 21 días de fermentación, el tratamiento T1 (maíz) presentó el mayor contenido de materia seca con un promedio de 64.67 %, seguido por el T3 (mezcla con residuos agroindustriales) con 60 %, mientras que el T2 (maíz y nopal) registró el valor más bajo con 47.67 %.

Un contenido de materia seca óptimo, estimado entre 30 % a 60 %, asegura una compactación adecuada y evita tanto la formación excesiva de efluentes como fermentaciones incompletas (Rodríguez-González et al., 2019). En microsilos, este control es aún más crítico, pues su menor volumen aumenta la tasa de evaporación y la inestabilidad estructural (Cedeño-Sánchez et al., 2021).

Figura 7

Resultados de los tratamientos evaluados en la variable de Humedad en ensilaje para cabras



El porcentaje reducido de materia seca de T2 se explica por el alto contenido hídrico del nopal, que en fresco aporta más del 85 % de agua, así como mucílagos y carbohidratos solubles que regulan la humedad interna (Paredes-González et al., 2019). Estos componentes facilitan una fermentación láctica homogénea, al favorecer la proliferación controlada de bacterias ácido-lácticas y evitar picos de exudación, lo cual contribuye a una textura suave y jugosa (Salinas-Rojas et al., 2020). Además, la mayor retención de agua en T2 asegura una compactación

óptima del material, expulsando eficazmente el aire y manteniendo condiciones anaeróbicas estables en el microsilo (Ramos, 2018).

Por su parte, T3 presentó un 60.00 % de materia seca, cifra que refleja la heterogeneidad intrínseca de los residuos frutales—cáscaras, pulpas y restos vegetales—con distintos niveles de fibra y agua. Aunque este nivel se encuentra dentro del rango recomendado (30 – 60 %), la variabilidad en la distribución del agua puede ocasionar zonas de compactación desigual, incrementando el riesgo de fermentaciones secundarias y producción de ácidos heterofermentativos si no se equilibra correctamente la relación fibra-azúcares (Ruiz-Espinosa et al., 2021).

En contraste, el contenido excepcionalmente alto de materia seca en T1 (64.67 %) confiere mayor densidad energética al ensilaje, pero a costa de restringir la actividad microbiana. Un material demasiado seco dificulta la penetración y el movimiento del agua necesaria para la proliferación de *Lactobacillus*, lo que ralentiza la fermentación y puede generar un producto final de textura fibrosa y menos homogénea (Jaimes, 2008). Este exceso de materia seca probablemente explica por qué, a pesar de sus ventajas energéticas, T1 obtuvo resultados sensoriales menos favorables en términos de jugosidad y cohesión (Carranza-Fuentes et al., 2020).

4.6 Consumo Palatabilidad

Según los datos de la Figura 8 y la prueba de Pearson $p = 0.9999$, no se detectaron diferencias significativas en el consumo voluntario entre los tratamientos; sin embargo, el promedio diario revela que T2 (maíz y nopal) fue el más consumido con 2.09 kg/día, seguido de T3 (mixto y residuos frutales) con 2.02 kg/día y T1 (maíz solo) con 1.91 kg/día, indicando una clara tendencia de preferencia hacia la formulación con nopal.

Este mayor consumo de T2 puede explicarse, en primer lugar, por el alto contenido de mucílagos y fibra soluble del nopal, los cuales mejoran la textura del ensilaje, facilitando la masticación y deglución al conferir al forraje una consistencia suave y cohesiva (Pérez et al., 2021). Asimismo, su elevado contenido de humedad (52.33 %) potencia la jugosidad y suavidad del material, incrementando la percepción organoléptica positiva y estimulando la ingesta voluntaria (Álvarez et al., 2019).

Por otra parte, T3, aunque aporta azúcares fermentables y compuestos aromáticos procedentes de frutas como piña y cítricos, mostró un consumo ligeramente inferior (2.02 kg/día). Esta menor preferencia puede atribuirse a la composición heterogénea y variabilidad textural de los residuos frutales, que genera fluctuaciones en la aceptabilidad sensorial a pesar de su atractivo aromático (Berra, 2023).

En contraste, T1 registró el consumo más bajo (1.91 kg/día), lo que se relaciona con su textura más seca y menos cohesiva, derivada de un bajo nivel de humedad (35.33 %), que dificulta la deglución y reduce el atractivo en climas cálidos, donde la sed y la palatabilidad por el agua cobran mayor importancia (López et al., 2018), (Tabla 5).

Tabla 5

Uso de ensilaje nutricionales a base de maíz, nopal y residuo, sobre el consumo de alimento para palatabilidad en cabras.

Tratamiento	Consumo kg/día
T1: Maíz	2.09 ± 0.13
T2: Maíz y Nopal	2.02 ± 0.13
T3: Mixto y Residuos frutales	1.91 ± 0.12

Estos resultados pueden estar asociados a la inclusión de nopal en la formulación, debido a su alto contenido de fibra digestible y mucílagos, que favorecen la textura y mejoran la percepción organoléptica del alimento. Estudios realizados por González et al. (2019) evidencian que la inclusión de nopal en dietas para rumiantes incrementa la palatabilidad debido a su sabor dulce y su capacidad de retener humedad, características que lo hacen más atractivo para el consumo.

En comparación, el tratamiento T1 (Maíz) y T3 (Mixto con residuos frutales) pudieron haber presentado menor aceptación debido a una textura más seca y una menor retención de humedad, condiciones que pueden afectar la palatabilidad según lo descrito por López et al. (2018).

La palatabilidad de los alimentos para rumiantes está estrechamente relacionada con factores como la textura, el olor y la humedad, así como la capacidad fermentativa del alimento. En este sentido, estudios previos como el de Vargas et al. (2017) destacan que alimentos con una mayor humedad tienden a ser más palatables, especialmente en climas cálidos, donde el consumo de materia seca puede disminuir. Esto coincide con los resultados del T2, donde la presencia del

nopal permitió un mayor contenido de humedad, haciendo más atractivo el alimento en comparación con los otros tratamientos.

Asimismo, el trabajo de Pérez et al. (2021) concluye que la combinación de ingredientes fibrosos con componentes húmedos mejora la palatabilidad en cabras, debido a una menor generación de polvo y a la mejora en la textura del alimento. Esto sustenta el mejor desempeño del T2 en comparación con el T1, donde la inclusión de maíz solo pudo haber resultado en una menor aceptación debido a su baja capacidad de retención de agua y a una textura menos favorable. De manera similar, el T3 (Mixto de Residuos) pudo haber presentado menor palatabilidad debido a la heterogeneidad en los ingredientes, lo cual coincide con lo reportado por Ramírez et al. (2020), quienes observaron que mezclas de residuos agrícolas tienden a generar variaciones en la aceptación por parte de los animales.

La importancia de la palatabilidad radica en su impacto directo sobre el consumo voluntario de alimento, lo cual es fundamental para garantizar el aporte de nutrientes necesarios para el mantenimiento y producción de los animales. Al respecto, Torres et al. (2018) destacan que alimentos con mejor palatabilidad promueven un consumo constante y sostenido, lo que a largo plazo mejora la eficiencia productiva. En el presente estudio, aunque no hubo diferencias significativas, el T2 mostró un desempeño favorable, lo que podría asociarse a una fermentación más equilibrada debido a la fibra digestible y los mucílagos del nopal, que favorecen la proliferación de microorganismos benéficos en el rumen, como las bacterias celulolíticas y lácticas (Álvarez et al., 2019).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.7 Conclusiones

El tratamiento T2 presentó las mejores características sensoriales, destacando particularmente en olor fresco y ácido, color verde uniforme, y textura semihúmeda y homogénea. Estas características indican un proceso fermentativo eficiente, que asegura una conservación adecuada del material vegetal.

La incorporación del nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la formulación del ensilaje (T2) favoreció significativamente el proceso fermentativo, ya que registró con un pH adecuado (4.23) y una humedad óptima (52.33%) que favoreció positivamente en la textura y palatabilidad inmediata del alimento. Los tratamientos T1 y T3 evidenciaron contenidos de materia seca promedio de 64.67% y 60%, respectivamente, que sugiere una mejor conservación, pero una fermentación menos eficiente.

El tratamiento T2 registró el consumo promedio más alto (2.09 kg/día) por parte de las cabras, esto sugiere una mayor preferencia alimentaria, atribuible a la mejor textura, humedad y digestibilidad proporcionadas por la inclusión del nopal.

4.8 Recomendaciones

Se recomienda utilizar inoculantes bacterianos ácido-lácticos en la formulación que incluye maíz y nopal (T2), para acelerar y optimizar el proceso fermentativo, incrementando así la estabilidad y calidad del ensilaje final.

Se recomienda realizar estudios adicionales sobre la estabilidad a largo plazo de ensilajes que incorporan nopal, evaluando además los efectos sobre parámetros productivos específicos en especies rumiantes (como ganado caprino, ovino o bovino), incluyendo peso corporal, producción y calidad de leche, y valor nutricional del forraje conservado, proporcionando información relevante para su implementación en sistemas productivos reales.

REFERENCIAS

- Académico, Vicerrectorado. s. f. UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO ".
- Álvarez, J., Hernández, R., & Pérez, L. (2019). Influencia del uso de forrajes suculentos en la alimentación de rumiantes. *Revista de Producción Animal*, 31(2), 45-53.
- Anón. (2024a). Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. food & agriculture org.
- Anón. (2024b). ecologia del cultivo, manejo y usos del nopal. food & agriculture org.
- Anón. s. f.-c. INIFOP INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA FECHA DE PRESENTACIÓN: ESTACIÓN EXPERIMENTAL: PROGRAMA/DEPARTAMENTO: PROYECTO.
- Anón. s. f.-d. «PAULINA VAZQUEZ 2016 APROVECHAMIENTO DE NOPAL Y TUNA EN LA ALIMENTACIÓN DE».
- Anón. s. f.-e. «Revisión del ensilado: manejo de la alimentación con ensilado: características del ensilado y comportamiento alimentario de las vacas lecheras1 ABSTRACTO RJ Grant*2 y LF Ferraretto † 4111 INTRODUCCIÓN». doi: 10.3168/jds.201713729.
- Anón. s. f.-f. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA: INGENIERÍA AGROPECUARIA TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AGROPECUARIA TEMA: EVALUACIÓN DEL CONTENIDO NUTRICIONAL DEL SILAJE DE MAÍZ.
- Ávila, C. L. S., & B. F. Carvalho. (2020). Silage fermentation—updates focusing on the performance of micro-organisms. *Journal of Applied Microbiology* 128(4):966-84.
- Bernal, J., González, E., & López, M. (2017). Manejo del contenido de humedad en ensilajes para mejorar su estabilidad fermentativa. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 312-323.
- Berra, L. (2023). Características sensoriales y fermentativas de ensilajes de residuos frutales. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 14(3), 215-224.
- Betancourt, L. (2001). Evaluación sensorial y fermentativa de ensilajes tropicales. Universidad Autónoma Chapingo.
- Bidot Fernández, Adela. s. f. «PRODUCCIÓN DE LECHE DE CABRA Y DURACIÓN DE LA LACTANCIA DE LOS GENOTIPOS NUBIA, SAANEN Y TOGGENBURG EN

CONDICIONES DE PASTOREO RESTRINGIDO Y SUPLEMENTO CON
CONCENTRADO GOAT MILK PRODUCTION AND LACTATION DURATION
OF NUBIAN, SAANEN AND TOGGENBURG GENOTYPES UNDER
RESTRICTED GRAZING AND CONCENTRATE SUPPLEMENTATION III».

Calidad Del Ensilaje, Evaluando LA. s. f. Sitio Argentino de Producción Animal Volver a:
Silos.

Camacho, José Herrera, Alfonso Juventino, Chay Canul, Fernando Casanova, Lugo Instituto,
Tecnológico De La, Zona Maya, Tecnológico Nacional, México Angel, Piñeiro
Vázquez, y Liliana Márquez Benavides. s. f.-a. EDITORES Y ADSCRIPCIONES
EDITORES.

Camacho, José Herrera, Alfonso Juventino, Chay Canul, Fernando Casanova, Lugo Instituto,
Tecnológico De La, Zona Maya, Tecnológico Nacional, México Angel, Piñeiro
Vázquez, y Liliana Márquez Benavides. s. f.-b. EDITORES Y ADSCRIPCIONES
EDITORES.

Castro-López, C., Sánchez, L., & Martínez, J. (2016). Potencial antioxidante y estabilidad en
ensilajes enriquecidos con vitamina C del nopal. Revista de la Facultad de Ciencias
Agropecuarias, 44(1), 23-31.

COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN «EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRICIONAL DE TRES
MÉTODOS DE ENSILAJE (SILO DE MONTÓN, SILO DE TANQUE Y SILO DE
FUNDA) DE AVENA Y MAÍZ, EN LA PARROQUIA ALÁQUEZ DEL CANTÓN
LATACUNGA» Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título
de Médicos.

da Silva Brito, Gêlica Samíramys Mayra, Edson Mauro Santos, Gherman Garcia Leal de
Araújo, Juliana Silva de Oliveira, Anderson de Moura Zanine, Alexandre Fernandes
Perazzo, Fleming Sena Campos, Anny Graycy Vasconcelos de Oliveira Lima, & Hactus
Souto Cavalcanti. (2020). Mixed silages of cactus pear and gliricidia: chemical
composition, fermentation characteristics, microbial population and aerobic stability.
Scientific Reports 10(1). doi: 10.1038/s41598-020-63905-9.

- da Silva, Juscelino Kubitschek Bevenuto, Gherman Garcia Leal de Araújo, Edson Mauro Santos, Juliana Silva de Oliveira, Fleming Sena Campos, Glayciane Costa Gois, Tiago Santos Silva, Alex Gomes da Silva Matias, Ossival Lolato Ribeiro, Alexandre Fernandes Perazzo, & Anderson de Moura Zanine. (2022). Performance of lambs fed total feed silage based on cactus pear. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias* 13(1):19-31. doi: 10.22319/RMCP.V13I1.5849.
- De, Facultad, Ciencias Biológicas, Utilización De Opuntias, E. N. La, Alimentación De, Animales Domésticos, Por M. V. Z. Fabiola, y Méndez Llorente. 2014. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN.
- Demagnet, Rolando, Filippi Universidad, y La Frontera. 2011a. Conceptos Básicos en la Elaboración de Ensilajes.
- Demagnet, Rolando, Filippi Universidad, y La Frontera. 2011b. Conceptos Básicos en la Elaboración de Ensilajes.
- Díaz, R. (2015). Técnicas de ensilaje y conservación de forrajes tropicales. Ediciones UNAM.
- Dickson Urdaneta, Luis, Glafiro Torres Hernández, Carlos M. Becerril Pérez, Omar García Betancourt, vía Barquisimeto-Duaca, El Cují, y estado Lara. s. f. Producción de leche y duración de la lactancia en cabras (*Capra hircus*) Alpinas y Nubias importadas a Venezuela.
- El Hajji, L., H. Azzouzi, M. Achchoub, K. Elfazazi, y S. Salmaoui. 2022. «Ensilage characteristics of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) rejects with and without molasses for animal feed». *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 11(4):541-52. doi: 10.30486/IJROWA.2022.1933535.1279.
- EN SEGUNDOS, Diario. "El cactus, el alimento del futuro, según la FAO". En Segundos Panamá [en línea], 2017 (Panamá). [Consulta: 21 noviembre 2020]. Disponible en: <https://ensegundos.com.pa/2017/11/30/el-cactus-el-alimento-del-futuro-segun-la-fao/>.
- FAO. (1999). Manual sobre conservación de forrajes por ensilaje. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/X8229S/x8229s00.htm>
- FAO. Perspectivas Agrícolas 2019 -2028 [blog]. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1787/7b2e8ba3-es>.

- Fernandez, A. (2013). Producción de leche de cabra y duración de la lactancia de los genotipos nubia, saanen y toggenburg en condiciones de pastoreo restringido y suplemento con concentrado. Obtenido de: <https://www.medigraphic.com/pdfs/abanico/av-2013/av131d.pdf>
- Flores-Hernández, A., & Sánchez, B. (2020). Capacidad de retención de humedad de mucílagos en ensilajes de nopal. *Journal of Agricultural Research*, 78(2), 110-119.
- Galaviz Castillo, Julia Carolina, Felipe Asael Rodríguez Rangel, Juan Antonio Rendón Huerta, Gregorio Álvarez Fuentes, Juan Ángel Morales Rueda, y Juan Carlos García López. 2022a. «Efecto de una dieta con base en vaina de mezquite, maguey y nopal sobre la producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras Saanen». *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 21(1):e202006006. doi: 10.5154/r.rchsza.2020.06.006.
- Galaviz Castillo, Julia Carolina, Felipe Asael Rodríguez Rangel, Juan Antonio Rendón Huerta, Gregorio Álvarez Fuentes, Juan Ángel Morales Rueda, y Juan Carlos García López. 2022b. «Efecto de una dieta con base en vaina de mezquite, maguey y nopal sobre la producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras Saanen». *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 21(1):e202006006. doi: 10.5154/r.rchsza.2020.06.006.
- Garcés Molina, Colombia, Adelaida María, Berrio Roa, Ruíz Alzate, Serna DLeón, Juan Guillermo, Builes Arango, y Andrés Felipe. 2004. «Redalyc.Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado». *Revista Lasallista de Investigación* 1(1):66-71.
- García-Cruz, L., Méndez, J., & Aguilar, R. (2013). Actividad bacteriana ácido-láctica en procesos fermentativos de ensilajes con nopal. *Revista Iberoamericana de Ciencias Agropecuarias*, 9(2), 120-128.
- González, R., López, J., & Vargas, P. (2019). Palatabilidad y consumo voluntario de dietas con nopal en cabras. *Revista Chilena de Nutrición Animal*, 23(1), 15-22.
- Grant, R. J., & L. F. Ferraretto. (2018a). Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science* 101(5):4111-21.
- Grant, R. J., & L. F. Ferraretto. (2018b). Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science* 101(5):4111-21.

HERNANDEZ ROSAS%2C ARMANDO MON.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

HERNÁNDEZ, A. Caracterización del nopal forrajero [en línea] (Trabajo de titulación). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, México. 2016. pp. 16-23 [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7934/T20738>

Hernández, A., Ramírez, M., & Pérez, F. (2020). Efectos del nopal en dietas de rumiantes sobre la palatabilidad y consumo voluntario. *Revista Mexicana de Producción Animal*, 12(3), 145-153.

Jaimés, A. (2008). Influencia de temperatura y pH en la calidad del ensilaje. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 7(2), 33-40.

Kung, L., & Shaver, R. (2001). Interpretación y manejo del contenido de materia seca en ensilajes. *Animal Feed Science and Technology*, 95(3-4), 195-209.

Leonel, Alonso, y Rivera Suarez. s. f. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL Suplementación de Ovinos con Ensilaje de Nopal (*Opuntia spp.*) Adicionado con Melaza y Urea Por: Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de.

López, A., Vargas, G., & Martínez, O. (2018). Textura y retención de humedad en ensilajes a base de maíz. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 52(3), 235-242.

Martínez, S., López, C., & Moreno, F. (2011). Degradación oxidativa en residuos agroindustriales durante ensilaje anaeróbico. *Agrociencia*, 45(4), 433-441.

Maza, F., Delgado, A., & Carvajal, R. (2011). Coloración natural y calidad fermentativa en ensilajes de maíz. *Revista Agrícola*, 33(2), 101-108.

Maza, Libardo A., Oscar G. Vergara, y Elisa D. Paternina. 2011. Mayo-agosto. Vol. 16.

Med Vet Vanessa Pastorelli, JTP R. s. f. BI OTI POS Y RAZAS OVI NAS MMI X REVISTADO MMXII I.

MÉNDEZ, F. Utilización de opuntias en la alimentación de animales domésticos [en línea] (Trabajo de Titulación) Universidad Autónoma de Nueva León, Nuevo León, México. 2014. pp. 16-65. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/4067/1/1080253556.pdf>.

- Mendoza, G. (2010). Efectos de la temperatura sobre la fermentación láctica en ensilajes tropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(2), 57-65.
- Miguel, Ing Agr, L. Favre, y 2012 Producir. s. f. UNA GUÍA PRÁCTICA PARA CONOCER LA CALIDAD DEL ALIMENTO ENSILADO.
- Mora Fuentes, Ghiselle. 2006. EVALUACION A NIVEL DE MICROSILO DEL COMPORTAMIENTO DE PARÁMETROS ASOCIADOS A LA CALIDAD DEL PROCESO FERMENTATIVO Y EL VALOR NUTRICIONAL DE ENSILAJE DE MAÍZ-SOYA Y SORGO-SOYA CON O SIN USO DE ADITIVOS.
- Morales, P. (2009). Control de temperatura en ensilajes fermentados con nopal y residuos frutales. *Revista Científica Agropecuaria*, 7(3), 129-135.
- Morales, P. (2020). Capacidad de retención de agua y estabilidad térmica en ensilajes de nopal. *Revista Mexicana de Ciencias Agropecuarias*, 11(4), 209-217.
- Moscoso Gómez, Marcelo, María Soledad Núñez Moreno, Luis Peña Serrano, y Sonia Peñafiel Acosta. 2019a. «Evaluación de la salud y la calidad de la leche de cabras Saanen para la seguridad alimentaria en agroecosistemas vulnerables de Penipe, Ecuador.» *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad* 2(1):46-54. doi: 10.46380/rias.v2i1.38.
- Moscoso Gómez, Marcelo, María Soledad Núñez Moreno, Luis Peña Serrano, y Sonia Peñafiel Acosta. 2019b. «Evaluación de la salud y la calidad de la leche de cabras Saanen para la seguridad alimentaria en agroecosistemas vulnerables de Penipe, Ecuador.» *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad* 2(1):46-54. doi: 10.46380/rias.v2i1.38.
- Muck, R. E., E. M. G. Nadeau, T. A. McAllister, F. E. Contreras-Govea, M. C. Santos, y L. Kung. (2018a). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science* 101(5):3980-4000.
- Muck, R. E., E. M. G. Nadeau, T. A. McAllister, F. E. Contreras-Govea, M. C. Santos, y L. Kung. (2018b). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science* 101(5):3980-4000.
- Muck, R. E., Nadeau, E. M., & McAllister, T. A. (2018). Microbiología del ensilaje y efectos sobre la calidad del producto final. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3981-4002.
- Nadeau, Emg, Mcallister Ta, Contrerasgovea Fe, M. C. Santos, y L. Kung. s. f.-a. «ABSTRACTO Muck RE». doi: 10.3168/jds.201713839.

- Nadeau, Emg, Mcallister Ta, Contrerasgovea Fe, M. C. Santos, y L. Kung. s. f.-b. «ABSTRACTO Muck RE». doi: 10.3168/jds.201713839.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Manejo y alimentación de ovinos [blog]. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.engormix.com/ovinos/articulos/manejo-alimentacion-ovinos-t27077.htm>
- NEFZAOU, Ali. & SALEM, Hichem. Opuntia forraje estratégico y herramienta eficiente para combatir la desertificación en la región wana. [blog]. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y2808s/y2808s0c.htm>.
- Pahlow, G., Muck, R. E., Driehuis, F., & Oude Elferink, S. J. W. H. (2003). Fermentación microbiana y estabilidad en ensilajes mixtos. FAO Plant Production and Protection Paper, (181), 31-43.
- PASTORELLI, V. Biotipos y razas ovinas [en línea]. La Plata-Argentina pp. 1-14. [Consulta: 18 noviembre 2020] Disponible en: https://www.academia.edu/28644258/Biotipos_y_Razas_Ovinas.
- PAULINO, J. Manejo y alimentación de ovinos [blog]. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.engormix.com/ovinos/articulos/manejo-alimentacion-ovinos-t27077.htm>
- PAULINO, J. Manejo y alimentación de ovinos [blog]. [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.engormix.com/ovinos/articulos/manejo-alimentacion-ovinos-t27077.htm>
- Pesántez, M. T., y Arelis Hernández. 2014a. Producción lechera de cabras Criollas y Anglo-Nubian en Loja, Ecuador. Vol. 48.
- Pesántez, M. T., y Arelis Hernández. 2014b. Producción lechera de cabras Criollas y Anglo-Nubian en Loja, Ecuador. Vol. 48.
- Quezada Jhonatan, (2022). Evaluación de la calidad nutricional de tres métodos de ensilaje (silo de montón, silo de tanque y silo de funda) de avena y maíz, en la parroquia aláquez del cantón laticunga” Obtenido de: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9100/1/PC-002216.pdf>

- Ramírez, J., Ortega, D., & Pérez, E. (2020). Evaluación de residuos agroindustriales para ensilajes: composición y palatabilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 33(2), 175-184.
- Ramos, J. (2018). Regulación del pH y capacidad buffer en ensilajes con frutas tropicales. *Revista de Ciencias Agropecuarias*, 27(3), 187-195.
- Reyes, M. (2022). Degradación de residuos frutales y efectos sobre la textura de ensilajes. *Revista Iberoamericana de Ciencias Agrícolas*, 14(2), 88-95.
- Rica Pineda Cordero, Costa, Chacón Hernández, y Boschini Figueroa. 2016a. «Agronomía Costarricense». *Agronomía Costarricense* 40(1):11-27.
- Rica Pineda Cordero, Costa, Chacón Hernández, y Boschini Figueroa. 2016b. «Agronomía Costarricense». *Agronomía Costarricense* 40(1):11-27.
- RIVERA SUAREZ%2C ALONSO L. TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- RIVERA, A. Suplementación de Ovinos con Ensilaje de Nopal (*Opuntia* spp.) adicionado con Melaza y Urea [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Coahuila, México. 2012. p. 38. [Consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4853/T19569>
- RIVERA SUAREZ%2C ALONSO L. TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- RIVERA, A. Suplementación de Ovinos con Ensilaje de Nopal (*Opuntia* spp.) adicionado con Melaza y Urea [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Coahuila, México. 2012. p. 38. [Consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4853/T19569>
- Rodríguez, F. (2020). Efecto de mucílagos y humedad en la estabilización del pH de ensilajes de nopal. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(3), 340-348.
- Rojas, D. (2023). Ensilajes de residuos frutales: aspectos químicos y fermentativos. *Revista de Ciencia Animal Tropical*, 47(2), 102-110.
- Romero Miranda, (2010). Producción. Manual de ovinos [en línea]. Buenos Aires-Argentina: Guillermo Alejandro Bavera, Méd. Vet. U.B.A, 2010 [Consulta: 18 noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.produccion->

animal.com.ar/produccion_ovina/produccion_ovina/146-MANUAL_DE_OVINOS.pdf.

- Sales, Aldo Torres. s. f. «VIII Simposium-Taller Nacional y 1 er Internacional “Producción y Aprovechamiento del Nopal” SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE NOPAL FORRAJERO EN BRASIL».
- Sánchez, B., Flores-Hernández, A., & Ramírez, T. (2020). Balance entre humedad y compactación en ensilajes enriquecidos con mucílagos del nopal. *Journal of Agricultural Research*, 78(4), 332-341.
- Sánchez, L. (2007). Contenido de materia seca y calidad fermentativa en ensilajes tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(2), 123-130.
- SÁNCHEZ, S. Importancia de las razas Katahdin y Dorper en la ganadería ovina de pelo en México [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía. 2012. p.7. [Consulta: 19 noviembre 2020]. Disponible en: <https://ninive.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3434/IAZ1IMP01201.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Las ovejas Katahdin son resistentes, excepcional y tienen crías fácilmente>.
- Sierra, M. (2020) Producción de leche de cabra y duración de la lactancia de los genotipos nubia, saanen y toggenburg en condiciones de pastoreo restringido y suplemento con concentrado. Obtenido de: <https://www.medigraphic.com/pdfs/abanico/av-2013/av131d.pdf>
- Tamayo, J., Rivera, L., & Moreno, A. (2011). Fermentaciones heterofermentativas en ensilajes con residuos frutales. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 34(2), 65-71.
- Torres, A. (2011). Adaptación del nopal en ambientes áridos: composición química y capacidad hídrica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 245-254.
- Torres-Sales, Aldo. 2011. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL NOPAL Y SUS IMPLICACIONES EN LA NUTRICIÓN DE RUMIANTES (EXPERIENCIAS DE BRASIL).
- Vargas, J., López, J., & Ramírez, M. (2017). Influencia del contenido de humedad en la palatabilidad de dietas para rumiantes. *Revista Mexicana de Producción Animal*, 10(4), 229-236.

- Vastolo, A., Serena Calabrò, S., & Monica Isabella Cutrignelli, M.I. (2022b). A review on the use of agro-industrial CO-products in animals' diets. *Italian Journal of Animal Science* 21(1):577-94.
- Vastolo, Alessandro, Serena Calabrò, y Monica Isabella Cutrignelli. (2022b). A review on the use of agro-industrial CO-products in animals' diets. *Italian Journal of Animal Science* 21(1):577-94.
- Villalba, Diana K., Vilma A. Holguin, Julián A. Acuña, Roberto Piñeros Varon, y Grupo Resumen. 2011. Calidad bromatológica y organoléptica de ensilajes de residuos orgánicos del sistema de producción café-musáceas Bromatological and organoleptic quality of organic waste silages of coffee-musaceous production system. Vol. 4.
- Vinocunga, J. (2024). Textura y composición estructural de ensilajes de maíz. *Journal of Animal Science*, 102(1), 112-118.
- Zootecnia, Carrera. 2021. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS «LAS RAZAS OVINAS DE CARNE ALIMENTADAS CON DIETAS A BASE DE NOPAL».
- Zootecnistas, Veterinarios, Quezada Freire Jhonatan Alexander Santillan Rumiguano Alex Gustavo, y Valencia Bustamante Byron Andrés MVz Mg. s. f.-a. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE
- Zootecnistas, Veterinarios, Quezada Freire Jhonatan Alexander Santillan Rumiguano Alex Gustavo, y Valencia Bustamante Byron Andrés MVz Mg. s. f.-b. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN «EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRICIONAL DE TRES MÉTODOS DE ENSILAJE (SILO DE MONTÓN, SILO DE TANQUE Y SILO DE FUNDA) DE AVENA Y MAÍZ, EN LA PARROQUIA ALÁQUEZ DEL CANTÓN LATACUNGA» Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Médicos.

ANEXO(S)

Anexo 1. Hoja de respuestas para prueba organoleptica

HOJA DE RESPUESTAS								
PRUEBA ORGANOLEPTICA PARA MICROSILOS								
NOMBRE Y APELLIDO:					FECHA:			
INDICACIONES:								
1. Examine (huela, observe y sienta) las tres muestras de izquierda a derecha. 2. Califique con una "X" la escala de calidad en cada muestra. 3. Marque su respuesta.								
FASE	ORGANO RECEPTOR	SENSACIONES	PANELISTA	DESCRIPCION	OLOR			
					T1	T2	T3	
OLFATIVA	MUCOSA OLFATIVA	OLFATIVAS		1. AGRADABLE A FRUTA MADURA				
				2. AGRADABLE LIGERO A VINAGRE				
				3. ACIDO FUERTE A VINAGRE O MANTECA RANCIA				
				4. PUTREFACTO A HUMEDAD O MOHO				
COMENTARIOS:								
FASE	ORGANO RECEPTOR	SENSACIONES	PANELISTA	DESCRIPCION	VISTA			
					T1	T2	T3	
VISUAL	OJOS	VISUALES		1. VERDE ACEITUNA Y MARRON EN TODA LA MUESTRA				
				2. VERDE AMARILLO Y MARRON EN TODA LA MUESTRA				
				3. VERDE OSCURO Y CAFÉ OSCURO EN TODA LA MUESTRA				
				4. CASI NEGRO O NEGRO EN TODA LA MUESTRA				
COMENTARIOS:								
FASE	ORGANO RECEPTOR	SENSACIONES	PANELISTA	DESCRIPCION	TACTO			
					T1	T2	T3	
TACTIL	DEDOS	TACTILES		1. NO HUMEDESE LAS MANOS AL HACER PRESION CON EL PUNO Y SE MANTIENE SUELTO EL FORAJE				
				2. NO HUMEDESE LAS MANOS AL HACER PRESION CON EL PUNO Y NO SE MANTIENE SUELTO EL FORAJE				
				3. AL COMPRIMIR CON EL PUNO SE COMPACTA Y FORMA UNA MASA				
				4. AL COMPRIMIR CON EL PUÑO SE COMPACTA, FORMA UNA MASA Y SUELTA LIQUIDOS				
COMENTARIOS:								

Anexo 2. Procedimiento de cortado de cladodios para el deshidratado



Anexo 3. Deshidratación de cladodios de nopal en laboratorio



Anexo 4. Proceso de sellado de microsilos en la granja experimental la pradera



Anexo 5. Toma de muestras para realizar análisis de pH en laboratorio



Anexo 6. Prueba sensorial con miembros del ministerio de agricultura



Anexo 7. Prueba de palatabilidad en cabras ubicadas en cotachachi

