



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE MAÍZ
GENERADOS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE TUNSHI
DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOENSILAJE**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: CARLOS JAHIR MUÑOZ VALVERDE

DIRECTOR: ING. CARLOS ALCIBAR MEDINA SERRANO

Riobamba – Ecuador

2023

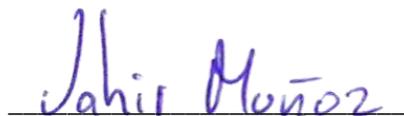
©2023, Carlos Jahir Muñoz Valverde

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Carlos Jahir Muñoz Valverde, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 12 de abril del 2023



Carlos Jahir Muñoz Valverde
C.I: 0604071779

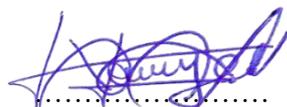
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto de Investigación. **APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE MAÍZ GENERADOS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE TUNSHI DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOENSILAJE** realizado por el señor: **CARLOS JAHIR MUÑOZ VALVERDE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Nancy Elizabeth Chariguamán
Maurisaca
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2023-04-12

Ing. Carlos Alcibar Medina Serrano
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN



2023-04-12

Ing. Cesar Arturo Puente Gujarro
ASESOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN



2023-04-12

DEDICATORIA

Este logro no es solo mío, sino el resultado de las circunstancias y de aquellos que me han apoyado en todo momento. Por eso, dedico este triunfo a mi madre Verónica Valverde, quien ha sido un pilar fundamental en mi vida. A través de sus enseñanzas y amor incondicional, me ha demostrado que la vida no siempre ocurre como queremos, pero que es importante tener claros nuestros objetivos y perseverar para alcanzar nuestras metas, a mi padre Juan Carlos Muñoz por su apoyo incondicional, a mis hermanos Joel, Dilan y Karen Muñoz, quienes siempre han estado a mi lado y me han dado la fortaleza necesaria para seguir adelante y a mi familia en general por ser una gran influencia positiva. A mis amigos, por compartir momentos difíciles y alegres. Gracias a todos por permitirme ver la culminación de mi esfuerzo y dedicación en este trabajo, el cual es un testimonio de mi compromiso con mi crecimiento personal y profesional, y espero poder retribuir a todos aquellos que me han apoyado en el camino.

Jahir

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios por iluminar mi camino y permitirme culminar con éxito esta importante etapa de mi vida. También deseo agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por brindarme la oportunidad de adquirir nuevas experiencias y ver el mundo de una manera diferente. No puedo dejar de mencionar a mi tutor de tesis, el Ing. Carlos Medica, por su constante preocupación y apoyo en la realización de este trabajo. Un agradecimiento muy especial al Ing. Carlos Santos, encargado de la Estación Experimental de Tunshi, por abrirme las puertas de su conocimiento y brindarme todo su apoyo en la realización de mi trabajo. También agradezco a los técnicos docentes Jefferson y Mauricio por su invaluable guía y orientación en el desarrollo de mi investigación. Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a mi amigo, compañero y futuro colega, Alexander Proaño, por estar a mi lado y apoyarme en todo momento. Me siento profundamente agradecido con cada uno de ustedes por ser parte de mi éxito en esta importante etapa de mi vida.

Jahir

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Limitaciones y delimitaciones	3
1.3. Problema general de investigación	4
1.4. Problemas específicos de investigación	4
1.5. Objetivos	4
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
1.6. Justificación	5
1.6.1. <i>Justificación teórica</i>	5
1.6.2. <i>Justificación metodológica</i>	5
1.6.3. <i>Justificación práctica</i>	6
1.7. Hipótesis.....	6

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de investigación.....	7
2.2. Referencias teóricas	8
2.2.1. <i>Maíz (Zea mays)</i>	8
2.2.1.1. <i>Composición nutricional del maíz (Zea mays)</i>.....	8
2.2.1.2. <i>Importancia y usos</i>	9
2.2.2. <i>Maíz Forrajero (Zea mays L)</i>.....	10
2.2.2.1. <i>Composición química de la planta de maíz forrajero (Zea mays L)</i>.....	11
2.2.2.2. <i>Importancia del maíz forrajero (Zea mays L)</i>.....	13

2.2.2.3.	<i>Problemas de conservación del maíz forrajero (Zea mays L)</i>	14
2.2.3.	<i>Alfalfa (Medicago sativa)</i>	14
2.2.3.1.	<i>Manejo para el pastoreo</i>	15
2.2.3.2.	<i>Producción de biomasa y calidad nutricional</i>	16
2.2.4.	<i>Residuos agroindustriales</i>	18
2.2.4.1.	<i>Rastrojo de maíz (Zea mays)</i>	18
2.2.4.2.	<i>Lactosuero</i>	18
2.2.4.3.	<i>Melaza</i>	18
2.2.5.	<i>Bioensilaje</i>	19
2.2.6.	<i>Proceso de ensilaje</i>	19
2.2.6.1.	<i>Etapa aeróbica</i>	19
2.2.6.2.	<i>Etapa de fermentación</i>	20
2.2.6.3.	<i>Etapa estable</i>	20
2.2.6.4.	<i>Etapa de deterioro aerobio</i>	21
2.2.7.	<i>Seguridad aeróbica</i>	21
2.2.8.	<i>Tipos de Silo</i>	22
2.2.8.1.	<i>De trinchera y bunker</i>	22
2.2.8.2.	<i>De pastel o torta</i>	23
2.2.8.3.	<i>De bolsa</i>	24
2.2.8.4.	<i>En tambos</i>	25
2.2.9.	<i>Propiedades de un óptimo ensilado</i>	25
2.2.10.	<i>Usos del ensilado</i>	26
2.2.11.	<i>Importancia del ensilaje</i>	26
2.2.12.	<i>Beneficios de utilizar ensilado</i>	27
2.2.13.	<i>Análisis de la composición química</i>	27
2.2.13.1.	<i>Materia seca</i>	28
2.2.13.2.	<i>Proteína cruda</i>	28
2.2.13.3.	<i>Energía</i>	28
2.2.13.4.	<i>Fibra</i>	29
2.2.13.5.	<i>Cenizas totales</i>	29
2.2.13.6.	<i>Nitrógeno amoniacal</i>	29
2.2.13.7.	<i>pH</i>	30

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	31
3.1.	Enfoque de investigación	31

3.2.	Nivel de investigación	31
3.3.	Diseño de investigación	31
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	32
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	32
3.4.	Tipo de estudio	32
3.5.	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	33
3.5.1.	<i>Población</i>	33
3.5.2.	<i>Muestra</i>	35
3.5.3.	<i>Variables, operacionalización</i>	36
3.5.3.1.	<i>Variables independientes</i>	36
3.5.3.2.	<i>Variable dependiente</i>	36
3.5.3.3.	<i>Operacionalización de las variables</i>	37
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	37
3.6.1.	<i>Investigación experimental</i>	37
3.6.2.	<i>Métodos</i>	39
3.6.3.	<i>Instrumentos de recolección de datos</i>	40
3.6.3.1.	<i>Procedimiento</i>	40
3.6.3.2.	<i>Descripción de insumos</i>	41
3.6.3.3.	<i>Elaboración de mezcla de sustratos e insumos</i>	42
3.6.3.4.	<i>Lectura de temperatura</i>	44
3.6.4.	<i>Cosecha del bioensilaje</i>	45
3.6.5.	Análisis de las características bromatológicas del bioensilaje en laboratorio	45
3.6.5.1.	<i>Determinación de pH</i>	45
3.6.5.2.	<i>Determinación de materia seca y humedad: Método de desecación en estufa de aire caliente</i>	46
3.6.5.3.	<i>Determinación de cenizas: Método de incineración en mufla</i>	46
3.6.5.4.	<i>Determinación de grasa cruda: Método Soxhlet</i>	47
3.6.5.5.	<i>Determinación de fibra: Método de Weede</i>	47
3.6.5.6.	<i>Determinación de proteína cruda: Método de MacroKjeldhal</i>	48
3.6.5.7.	<i>Carbohidratos consumibles</i>	49
3.6.6.	Análisis estadístico e interpretación de los datos	49

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	51
4.1.	Resultados	51
4.2.	Discusión	63

CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Peso y composición nutricional de las partes del grano de maíz (<i>Zea mays</i>)	9
Tabla 2-2:	Composición nutricional general de diferentes tipos y pastas de maíz (<i>Zea mays</i>)	9
Tabla 3-2:	Composición química general de distintos tipos de grano de maíz (<i>Zea mays</i>) (% en base seca)	13
Tabla 4-2:	Contenido de nitrógeno amoniacal en ensilajes y su relación con la calidad de fermentación y consumo animal	29
Tabla 1-3:	Tratamiento de investigación con sus niveles de dosis	32
Tabla 2-3:	Componentes del bioensilaje	33
Tabla 3-3:	Operacionalización de las variables de estudio.....	37
Tabla 4-3:	Diferentes concentraciones de residuos de maíz y alfalfa para la elaboración del bioensilaje.	38
Tabla 5-3:	Distribución de los tratamientos.	38
Tabla 1-4:	Análisis bromatológico pH	51
Tabla 2-4:	Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico pH.....	51
Tabla 3-4:	Análisis bromatológico materia seca	52
Tabla 4-4:	Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico materia seca.....	53
Tabla 5-4:	Análisis bromatológico % de humedad	54
Tabla 6-4:	Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico % de humedad.....	54
Tabla 7-4:	Análisis bromatológico % de cenizas	55
Tabla 8-4:	Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico % de ceniza.....	56
Tabla 9-4:	Análisis bromatológico % de grasa.....	57
Tabla 10-4:	Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico % de grasa	57
Tabla 11-4:	Análisis bromatológico % de fibra.....	58
Tabla 12-4:	Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico % de fibra	58
Tabla 13-4:	Análisis bromatológico % de proteína.....	59
Tabla 14-4:	Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico % de proteína.....	60
Tabla 15-4:	Análisis bromatológico % de carbohidratos consumibles	61
Tabla 16-4:	Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico % de carbohidratos consumibles.....	61
Tabla 17-4:	Resultados de los análisis bromatológicos para cada repetición de los diferentes tratamientos de bioensilaje producidos	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Línea de la leche en el grano de maíz (<i>Zea mays</i>)	12
Ilustración 2-2: Evolución de los componentes del forraje de alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) en relación con los estados de madurez.....	15
Ilustración 3-2: Evolución de la producción de materia seca, la digestibilidad del forraje y el consumo animal de alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) en distintos estados de madurez.	16
Ilustración 4-2: Silos de trinchera y bunker	23
Ilustración 5-2: Silos de pastel o torta	24
Ilustración 6-2: Silos de bolsa	24
Ilustración 7-2: Silos en tambos	25
Ilustración 1-3: Ubicación de la estación experimental de Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para la obtención de los componentes del bioensilaje.	34
Ilustración 2-3: Bioensilaje en bolsas de propileno para ensilar.	35
Ilustración 3-3: Almacenamiento y congelación de muestras de bioensilaje en bolsas ziploc.	36
Ilustración 4-3: Diagrama de flujo por tratamientos de ensilado.	39
Ilustración 5-3: Calcha de Maíz y Alfalfa picada.....	42
Ilustración 6-3: Preparación e inóculo final.	43
Ilustración 7-3: Preparación de los insumos para la homogenización del bioensilaje, almacenamiento y etiquetado.....	44
Ilustración 8-3: Temperatura máxima, media y mínima para los 85 días de fermentación del bioensilaje.	45
Ilustración 1-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico pH	52
Ilustración 2-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico Materia Seca	53
Ilustración 3-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico % humedad	55
Ilustración 4-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico % ceniza.....	56
Ilustración 5-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico % de grasa.....	57
Ilustración 6-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico % de fibra	59
Ilustración 7-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico % de proteína.....	60
Ilustración 8-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico % de carbohidratos consumibles ..	62

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PROCESO DE RECEPCIÓN Y TRITURACIÓN DEL MATERIAL PARA ENSILAJE COMPUESTO POR CALCHA DE MAÍZ Y ALFALFA.
- ANEXO B:** PREPARACIÓN DEL INÓCULO Y SU APLICACIÓN EN LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE MATERIAL PARA ENSILAJE.
- ANEXO C:** PROCESO DE EMPAQUETADO, PESAJE Y ETIQUETADO DEL BIOENSILAJE EN BOLSA.
- ANEXO D:** DISEÑO Y CERCADO PARA INICIAR EL PROCESO DE FERMENTACIÓN ANAEROBIA DEL BIOENSILAJE.
- ANEXO E:** TOMA DE MUESTRAS Y ALMACENAMIENTO EN BOLSAS ZIPLOC DE LOS CUATRO TRATAMIENTOS DE BIOENSILAJE.
- ANEXO F:** REFRIGERACIÓN DE LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE, DETERMINACIÓN DE SU CONTENIDO DE HUMEDAD Y MATERIA SECA POR EL MÉTODO DE DESECACIÓN EN ESTUFA.
- ANEXO G:** DESECACIÓN DE LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE PARA SU ALMACENAMIENTO ADECUADO.
- ANEXO H:** DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CENIZAS EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE POR EL MÉTODO DE INCINERACIÓN EN MUFLA.
- ANEXO I:** DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE GRASA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE POR EL MÉTODO SOXHLET.
- ANEXO J:** DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE FIBRA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE POR EL MÉTODO WEENDE.
- ANEXO K:** PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS Y REACTIVOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE POR EL MÉTODO DE MACRO-KJELDAHL.
- ANEXO L:** DIGESTIÓN Y DESTILACIÓN EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PROTEÍNA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE POR EL MÉTODO DE MACRO-KJELDAHL.
- ANEXO M:** DETERMINACIÓN DEL PH EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.
- ANEXO N:** RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y MATERIA SECA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.
- ANEXO O:** RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.
- ANEXO P:** RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA

DETERMINACIÓN DE GRASA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.

ANEXO Q: RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.

ANEXO R: RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.

ANEXO S: RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS CONSUMIBLES EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.

ANEXO T: DATOS DE LA ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA DE TUNSHI SOBRE TEMPERATURA MÍNIMA, MEDIA Y MÁXIMA

RESUMEN

La Estación Experimental de Tunshi área pecuaria, perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, con una producción de cuatro hectáreas de sembríos de maíz (*Zea mays*) de las cuales alrededor de 50 toneladas por hectárea de sembrío son residuos de maíz (calcha o rastrojo de maíz). Debido a esto, se llevó a cabo una investigación para aprovechar estos residuos en la producción de bioensilaje con inoculante de lactosuero y alfalfa (*Medicago sativa*). La metodología experimental involucró cuatro tratamientos de material a ensilar, variando los porcentajes de rastrojo de maíz y la mezcla forrajera de alfalfa, y manteniendo la misma cantidad de inoculante para cada tratamiento. Los tratamientos fueron T1 con 100% de rastrojo de maíz, T2 con 83,33% de rastrojo de maíz y 16,67% de alfalfa, T3 con 66,67% de rastrojo de maíz y 33% de alfalfa, y T4 con 50% de rastrojo de maíz y 50% de alfalfa. Se realizó el ensilaje en bolsa durante 85 días a temperatura ambiente y se tomaron muestras de tres bolsas al azar de ensilaje por cada tratamiento para realizar los análisis bromatológicos en laboratorio. Los resultados indicaron que el tratamiento con mejores características bromatológicas fue el T3, con un pH de 3,98, contenido de materia seca de 17,7%, cenizas de 2,56%, grasa de 2,53%, fibras de 49,74%, proteínas de 10,16% y carbohidratos consumibles de 35,01%. Se concluyó que la adición de alfalfa al bioensilaje de maíz aumenta el porcentaje de proteínas y mejora las características bromatológicas del bioensilaje producido solo con residuos de maíz. Se recomendó utilizar materia forrajera seca en lugar de fresca para mejorar el contenido de materia seca en el bioensilaje producido.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <BIOTECNOLOGÍA>, <INGENIERÍA AMBIENTAL>, <BIOENSILAJE>, <RASTROJO DE MAIZ (*Zea mays*)>, <ALFALFA (*Medicago sativa*)>, <LACTOSUERO>, <MELAZA>, <CARACTERÍSTICAS BROMATOLÓGICAS>.



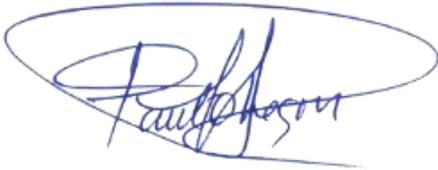
0748-DBRA-UTP-2023

ABSTRACT

The Experimental Station of Tunshi livestock area, belonging to the Polytechnic School of Chimborazo, produces four hectares of corn crops (*Zea mays*), of which around 50 tons per hectare of crops are corn residues (calcha or stubble of corn). The objective of this study was to use corn residues in the production of silage with whey and alfalfa (*Medicago sativa*) inoculants. The experimental methodology involved four treatments of material to be ensiled, varying the percentages of corn stubble and the alfalfa forage mixture and maintaining the same amount of inoculant for each treatment. The treatments were T1 with 100% corn stubble, T2 with 83,33% corn stubble and 16,67% alfalfa, T3 with 66,67% corn stubble and 33% alfalfa, and T4 with 50% corn stover and 50% alfalfa. Silage was carried out in bags for 85 days at room temperature, and samples were taken from three random silage bags. For each treatment, carry out bromatological analyzes in the laboratory. The results indicated that the treatment with the best bromatological characteristics was T3, with a pH of 3,98, dry matter content of 17,7%, ash of 2,56%, fat of 2,53%, fibres of 49,74%, 10,16% protein and 35,01% edible carbohydrates. It was concluded that adding alfalfa to corn silage increases the percentage of proteins and improves the characteristics. Bromatological of the silage produced only with maize residues. Using dry forage matter instead of fresh was recommended to improve the dry matter content in the silage produced.

Keywords: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND BENCHMARKS>
<BIOTECHNOLOGY>, <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>, <BIOENSILAGE>,
<CORN STUBBLE (*Zea mays*)>, <ALPHA ALE (*Medicago sativa*) >, <MILK WHEY>,
<MOLASSES >, <CHARACTERISTICS >.

Riobamba, May 4th, 2023



Ing. Paul Obregón. Mgs

ID number: 0601927122

INTRODUCCIÓN

El ensilaje de maíz (*Zea mays*) se emplea como fuente de alimento para las vacas que se encuentran en periodo de lactancia, tal y como han señalado estudios realizados por Peyrat et al. (2016) y Marchesini et al. (2017). Por su alta producción de biomasa, perfil nutricional, calidad de fibra y comportamiento a lo largo del proceso de ensilaje (Khan et al., 2015). Generar ensilaje de maíz de calidad con elevado rendimiento, minimiza los precios de producción e incrementa la producción de leche (Ferreira & Brown, 2016).

El ensilaje de maíz (*Zea mays*) pertenece a los forrajes conservados más relevantes y versátiles en el planeta. Es una mezcla exclusiva de grano y fibra digestible que constituye una de las primordiales fuentes energéticas para la ingesta de alimentos de rumiantes. El ensilaje es un procedimiento de preservación del forraje húmedo con base en transformar carbohidratos solubles en ácidos orgánicos, primordialmente ácido láctico bajo condiciones anaeróbicas mediante la acción de bacterias (Filya, 2003).

De acuerdo a lo planteado por De la Raza-Delgado (2005), la calidad de la fermentación del ensilado está condicionada por la naturaleza del forraje. Al igual, del clima, la estación, el estado de madurez, la estructura química y botánica, etcétera. No obstante, hay otros puntos inherentes al propio forraje que limitan su capacidad para ser ensilado (Muck, 2002).

Idear estrategias para mejorar los precios de producción de carne y lácteos, incrementar la productividad animal e incrementar la competitividad es importante para la industria de producción ganadera en el planeta (Sánchez et al., 2013). Además, evaluar y adoptar varias prácticas relacionadas al aprovechamiento de residuos agroindustriales para producción alimenticia animal promueve el desarrollo de sistemas sostenibles, mejorara la calidad de vida rural y disminuye el efecto ambiental (Makkar, 2016). El intensificar de manera sustentable los sistemas productivos, incrementa la eficiencia de los recursos, conserva o se incrementa la producción y reduce la presión sobre los ecosistemas (Rao et al., 2015).

La producción de leche y carne está estrechamente relacionada con factores naturales y ambientales, así como con la gran producción y disponibilidad de biomasa, especialmente durante los meses de invierno cuando la producción de leche y carne tiende a disminuir debido a la escasez de pasto y las bajas temperaturas (Avellaneda et al., 2020). Además, estos sistemas utilizan suplementos para maximizar el potencial genético de los bovinos, compensar la falta de forraje y cumplir con los requisitos de materia seca, fibra y proteína que son esenciales para la producción de leche y carne. Todo esto hace que entre el 37 y el 53 % del costo de producción por litro de

leche se atribuya al rubro de alimentación (Federación Colombiana de Ganaderos et al., 2013). Para optimizar la calidad y la producción de leche y/o carne, es necesario evaluar tácticas de alimentación viables desde un punto de vista económico (Castillo et al., 2019).

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La generación de residuos de maíz (*Zea mays*) producidos en la estación experimental de Tunshi área pecuaria parte de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Constituida con una extensión de 145,5 hectáreas, ubicada en la parroquia Licto, cantón Riobamba, provincia Chimborazo – Ecuador. La cual, cuenta con cuatro hectáreas de sembríos de maíz (*Zea mays*), de las cuales por hectárea se produce un aproximado de 50 toneladas de residuos de maíz (rastros de maíz). De los cuales, una parte de los residuos se destina para la producción de ensilaje el cual está destinado a ser un alimento complementario utilizado en su ganado y gran parte de los residuos no reciben un tratamiento previo a su disposición final.

La gestión inadecuada de los residuos de maíz (*Zea mays*) y lactosuero producen impactos notables en los medios receptores. Aproximadamente el 90 % del total de la leche utilizada en la industria quesera se elimina en forma de lactosuero. Mismo que, retiene aproximadamente el 55 % de los componentes totales de la leche como azúcares, proteínas, aminoácidos, lípidos y sales minerales. Se han propuesto algunas posibilidades para el uso de este residuo, sin embargo, las estadísticas muestran que una parte importante de este residuo se desecha como agua residual lo que provoca graves problemas ambientales. Actualmente, no existe información sobre la producción de ensilaje en el Ecuador. La mayor parte del conocimiento adquirido en la producción de ensilaje de maíz (*Zea mays*) en el Ecuador se adquirió a través del autoaprendizaje de técnicas de ensilaje. Este es el resultado de nuestra propia experiencia aplicando tecnologías desarrolladas en otros países y adaptándolas a las necesidades locales.

1.2. Limitaciones y delimitaciones

Dado que los instrumentos NIRS tradicionales son muy "sensibles" a los cambios de temperatura y humedad los ensayos a escala de laboratorio tienen muchas limitaciones que reducen su uso fuera de condiciones controladas. Además, el hecho de que sea necesario transportar la muestra desde el punto de origen de la recogida hasta el laboratorio provoca un retraso entre el proceso de toma de muestras y el resultado analítico. Hecho que en ocasiones no responde de forma inmediata a la calidad de la muestra. El producto es la clave para preparar las raciones (Martínez & Argamentaría, 2014).

1.3. Problema general de investigación

La generación de residuos de maíz (*Zea mays*) y lactosueros producidos en la estación experimental de Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.4. Problemas específicos de investigación

- La falta de conocimiento sobre los residuos agroindustriales como pueden ser los residuos de maíz (*Zea mays*) y lactosuero. Mismo que, producen impactos notables en los medios receptores. Al igual que el escaso aprovechamiento de estos residuos o subproductos como lo es la melaza la cual ha demostrado ser una fuente eficiente de energía para los microorganismos.
- En la actualidad la producción de bioensilajes está destinada hacer una forma de alimentación suplementaria para los sectores ganaderos o una forma de conservar forraje. Lo que ha impedido mejorar sus características nutricionales con la adición de complementos que mejoren su contenido de proteína bruta lo cual mejoraría considerablemente su valor nutricional.
- La necesidad de producir bioensilajes los cuales puedan ser utilizados como alimentos suplementarios que permita aprovechar de una forma eficiente los residuos agroindustriales. Utilizándolos en la elaboración de los mismo elevando así su calidad mejorando la alimentación del sector ganadero garantizando una mayor producción de leche.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Aprovechar los residuos de maíz (*Zea mays*) generados en la estación experimental de Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para la producción de bioensilaje con inoculante de lactosuero y alfalfa (*Medicago sativa*).

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar la incidencia de la temperatura ambiente durante el proceso de producción del bioensilaje, con el fin de determinar si la variación de la temperatura afecta a la calidad del bioensilaje.
- Utilizar diferentes proporciones de residuos de maíz (*Zea mays*) y alfalfa (*Medicago sativa*) al momento de realizar el bioensilaje para identificar la porción óptima de desechos de maíz

y la porción óptima de alfalfa (*Medicago sativa*).

- Identificar el valor nutricional de las diferentes muestras de bioensilaje con diferente proporción de desechos de maíz (*Zea mays*) y alfalfa (*Medicago sativa*), para determinar cuál de las muestras podría presentar mejores características bromatológicas.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

El bioensilaje o ensilaje es considerado como un alimento de alto valor nutritivo es una práctica que se utiliza en la conservación de los henos. Lo cual se consigue mediante una fermentación sólida en condiciones anaeróbicas de las sustancias orgánicas sean estas de origen vegetal como animal.

En el Ecuador se producen anualmente miles de toneladas de residuos agrícolas que pueden ser aprovechados como alimento complementario para los animales lo que generaría indudables beneficios económicos y ambientales. En Chimborazo, la agricultura produce una gran cantidad de subproductos hortícolas como los residuos de maíz (*Zea mays*) que en principio podrían ser utilizado para la alimentación animal. En la actualidad, esta ingente biomasa de subproductos representa un importante problema ambiental para los productores con una incidencia en la sanidad ambiental y economía.

Entre las ventajas que presenta los residuos de maíz (*Zea mays*) destinados a ser ensilado tenemos que presentan una elevada calidad nutricional durante un periodo de cosecha relativamente largo. De igual manera, la materia seca se fermenta consistentemente bien en el silo sin necesidad de aditivos. Produce altos rendimientos con alta densidad energética y buena digestibilidad.

1.6.2. Justificación metodológica

Para aumentar el valor nutricional del bioensilaje se pretende utilizar en su proceso de producción alfalfa (*Medicago sativa*). Misma que, es una buena fuente de macrominerales especialmente de calcio, cloro y potasio. Sus niveles de fósforo y magnesio son aceptables. El contenido en microminerales (manganeso, cinc, cobre, hierro), vitaminas (especialmente vitamina E, vitamina D, biotina, colina y provitamina A) y pigmentos es elevado además presenta un 15 % de proteína por peso.

Es por esta razón que se propone el aprovechamiento de los residuos de maíz (*Zea mays*) para la

producción de un bioensilaje con inoculante de lactosuero. El cual, se espera presente un alto valor nutricional permitiéndole pasar de ser un alimento complementario a uno suplementario. Elevando su contenido de proteína con la adición de alfalfa (*Medicago sativa*) al proceso de producción del bioensilaje.

Para lo cual se plantea realizar varias muestras de bioensilaje las cuales presenten diferentes proporciones de desechos de maíz (*Zea mays*) y alfalfa (*Medicago sativa*) hasta determinar la proporción óptima. La cual, posea las mejores características nutricionales como un mayor porcentaje de proteína cruda.

1.6.3. Justificación práctica

La estación experimental de Tunshi cuenta con una extensión de sembríos de maíz de cuatro hectáreas de las cuales se produce aproximadamente 50 toneladas de residuos de maíz (*Zea mays*) por cada hectárea de sembríos de maíz. La estación experimental de Tunshi utiliza una parte de los residuos de maíz (*Zea mays*) como alimento complementario para su ganado. Los residuos de maíz que no están destinados como alimento complementario no tienen un tratamiento antes de su disposición final. Lo que produce una afección ambiental y económica al tener que tratar con estos residuos.

Se pretende darles un tratamiento a estos residuos produciendo un bioensilaje el cual tenga un alto valor nutricional el cual pueda ser utilizado no solo como un alimento complementario sino más bien pueda convertirse en un alimento suplementario. Para lo cual se utilizará como inoculante el lactosuero que se produce generalmente en las industrias queseras. Presentando un alto contenido de proteínas y el cual es desechado sin un tratamiento previo en efluentes de agua generando así un grave impacto ambiental a los cuerpos de agua receptores.

Al aprovechar los residuos de maíz (*Zea mays*) producidos no solo se da un tratamiento a los residuos. Además, el producto obtenido se puede utilizar dentro de la estación experimental de Tunshi para mejorar la alimentación de su ganado. De igual manera, el estudio puede ser utilizado por productores de maíz como una alternativa para tratar sus residuos y obtener un valor agregado.

1.7. Hipótesis

Al adicionar un porcentaje de alfalfa (*Medicago sativa*) en el proceso de elaboración de bioensilaje de residuos de maíz (*Zea mays*). Ocasionara una mejora en las características bromatológicas en el bioensilaje producido.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

El maíz amarillo es uno de los principales ingredientes para la formulación de balanceados a nivel mundial. Particularmente por su alto valor energético debido a su contenido de almidón y grasa. A nivel mundial, se cultiva un poco más de 195 millones de hectáreas. De las cuales en superficie se produce en promedio cerca de 1,148 millones de toneladas del cereal (SIPA, 2021).

En Ecuador el cultivo de maíz amarillo duro se realiza en dos épocas del año; en la primera denominada lluviosa o invierno. En la primera época del año se cultiva cerca del 86% de la producción anual; mientras que, en la segunda época (seca o verano) se produce el restante 14% de la producción. Este cultivo se desarrolla en alrededor del 31% de la superficie total plantada para cultivos transitorios; para el año 2020, la producción bruta de maíz amarillo duro alcanzó el valor de 1,4 millones de toneladas en una superficie cosechada que bordeó las 259,084 hectáreas (SIPA, 2021).

En el Ecuador el maíz (*Zea mays*) es uno de los cultivos principales más importantes y uno de los elementos básicos de la dieta de la población. Así, la superficie cosechada con maíz según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua. Alcanza las 76 hectáreas de siembra con una cosecha de 23 hectáreas y una producción de 6 toneladas métricas (Tm) para el año 2021. Según la última encuesta de superficie y producción agropecuaria realizada en Chimborazo (ESPAC, 2021).

El ensilaje es un método de conservación de forrajes basado en la fermentación anaerobia de carbohidratos solubles presentes o adicionados con la consecuente producción de ácido láctico, agua, dióxido de carbono y calor. Con la fermentación natural que se da dentro del ensilaje se busca inhibir el incremento de microorganismos indeseables que están afectando la degradación de la materia seca y el costo nutricional del material ensilado (Garcés et al., 2006).

Varias especies de *Bacillus* generan sustancias fungicidas y se los ha usado para inhibir el proceso de deterioro aeróbico en ensilajes. Bacterias del género *Bacillus spp.* son empleados como aditivos en ensilajes de rastrojo de maíz lo cual mejora la calidad nutricional gracias a que estos microorganismos generan enzimas con capacidad de hidrolizar la celulosa y hemicelulosa permitiendo así el mejor aprovechamiento de nutrientes para los rumiantes y la reducción de gases

efecto invernadero (Heredia, 2020).

En este estudio científico se determinará el efecto de la adición en diferentes niveles de alfalfa (*Medicago sativa*) en un bioensilaje de maíz (*Zea mays*) con inoculante de lactosuero. Para determinar la proporción idónea que presente mejores características nutricionales.

Gabriel Ocanto 2013 concluyó que su ensilaje de maíz tiene un alto valor de carbohidratos y una alta concentración de energía y se utiliza principalmente para la alimentación de vacas lecheras. Además, es un ensilaje de alta calidad y por lo tanto de mayor consumo. (Ocanto, 2013).

Jonathan Reyes 2021 mencionó que, como estrategia de alimentación, la actividad económica de producir y utilizar maíz ensilado y rastrojo de maíz es la base para la sustitución de la alimentación animal por alimentos comerciales. Lo que podría significar menores costos de producción y mayor rentabilidad de las actividades agrícolas. La actividad económica como la producción de ensilaje de maíz tiene el mayor índice de rentabilidad (Reyes, 2021).

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Maíz (*Zea mays*)

El nombre científico del maíz es *Zea mays*. Esta planta corresponde al núcleo de la familia Poaceae y se cree que se desarrolló en Mesoamérica hace más de 7000 años. Es uno de los cultivos más importantes del mundo y se utiliza para alimentar a humanos y animales. Producir biocombustibles y otros productos industriales. (Izquierdo, 2012).

El maíz es el tercer cereal más cultivado de todo el mundo sólo detrás del trigo y el arroz. Se puede desarrollar en una extensa variedad de climas. Los cuales van a partir del trópico hasta los climas templados, a partir del grado del océano hasta altitudes de 300 msnm, latitudes ecuatoriales entre 23° norte y 23° sur a partir del Ecuador.

2.2.1.1. Composición nutricional del maíz (*Zea mays*)

El maíz (*Zea mays*) es una rica fuente de carbohidratos complejos, fibra dietética y proteína vegetal. Además, contiene una amplia gama de vitaminas y minerales, incluyendo vitamina del complejo B, vitamina E, fósforo, magnesio y potasio. La mayor parte de las calorías del maíz proceden de los hidratos de carbono, en su mayoría en forma de almidón, aunque también contienen una pequeña proporción de grasas saludables. El endospermo es prácticamente almidón

además tiene varias proteínas y trazas de aceites. La mayoría de los aceites se hallan contenidos en el germen. El cual muestra un alto contenido proteico. Sin embargo, los azúcares se hallan almacenados en su más grande parte en el germen (PALIWAL, 2001).

El almidón amilosa (25-30%) y la amilopectina (70-75%) conforman hasta el 72- 73 % del peso del grano de maíz (*Zea mays*). Otros hidratos de carbono presentes son azúcares fáciles a modo de glucosa, azúcar y fructosa, en porciones que varían del 1 al 3% del grano (Sánchez & Pérez, 2015).

Tabla 1-2: Peso y composición nutricional de las partes del grano de maíz (*Zea mays*)

Composición (%)	Endospermo	Embrión	Pericarpio	Escutelo
Almidón	87,6	8,3	7,3	5,3
Grasas	0,8	33,2	1	3,8
Proteínas	8	18,4	3,7	9,1
Cenizas	0,3	10,5	0,8	1,6
Azúcares	0,6	10,8	0,3	1,6
Resto	2,7	18,8	86,9	78,6
Materia seca (%)	8,3	11	5,2	0,8

Fuente: PALIWAL, 2001.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

Tabla 2-2: Composición nutricional general de diferentes tipos y pastas de maíz (*Zea mays*)

Nutriente	Unids	Maíz Blanco	Maíz Amarillo	Pasta de Maíz Seca	Pasta de Maíz Cocinada
		Valor por 100g	Valor por 100g	Valor por 100g	Valor por 100g
Agua	g	10,37	10,37	10	68,31
Energía	Kcal	365	365	357	126
Energía	Kj	1527	1527	1479	527
Proteínas	g	9,42	9,42	7,46	2,63
Grasas totales	g	4,74	4,74	2,08	0,73
Ceniza	g	1,2	1,2	1,2	0,42
Carbohidratos	g	74,26	74,26	79,26	27,91
Azúcares totales	g		0,64		
Fibra total	g		7,3	11	48

Fuente: Reyes et al. 2017.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

2.2.1.2. Importancia y usos

El maíz (*Zea mays*) disfruta de enorme trascendencia económica mundial así sea como alimento humano, para el ganado o como materia prima de un enorme conjunto de productos industriales. Cerca del 40 % del maíz producido en las naciones tropicales se utiliza para la ingesta de alimentos animal precisamente para ganado y establecimientos avícolas (PALIWAL, 2001).

Uno de los beneficios que muestra el maíz (*Zea mays*) es que es el exclusivo cereal que podría ser utilizado como alimento en cualquier fase del desarrollo de la planta. Ejemplificando, las espigas adolescentes del maíz que se cosechan previo a la floración de la planta poseen una buena utilidad como hortalizas. Las mazorcas tienen la posibilidad de tostar completas y consumir al instante. Las mazorcas verdes del maíz común son además utilizadas a enorme escala, tanto asadas sobre carbón o hervidas en agua con sal o cal, o a falta de ella. Una vez que se cosechan las mazorcas adolescentes (mazorcas baby) o las mazorcas verdes, se recibe un óptimo forraje. El maíz (*Zea mays*) con los granos en estado pastoso es el más correcto para utilizar como forraje debido a que tiene más materia seca y recursos digestibles por hectárea que cualquier otro cultivo. Las mazorcas inmaduras y bastante adolescentes se cosechan una vez que los estambres permanecen por emerger fuera de las hojas de cobertura o justo poco después de aparecer. Sin embargo, continuamente antecedente de que los estambres hayan sido polinizados (Sánchez & Pérez, 2015).

Se debe resaltar la implementación de los residuos de maíz (*Zea mays*) como fuentes de ingesta de alimentos para rumiantes, entre otros usos. En Nigeria, los residuos conforman en torno al 25% de la energía total del alimento de piensos que consumen los rumiantes. Son de escasa calidad nutritiva empero se dispone de ellos en una gigantesca porción, aunque se debe tratarlos antes gracias a su alto contenido lignocelulósico (Sánchez & Pérez, 2015).

En la industria farmacéutica el aceite de maíz (*Zea mays*) se ha utilizado como diurético; debido a sus ácidos grasos poliinsaturados mismo que presentan una acción hipolemiante y antiateromatosa. La parte insaponificable de la semilla se suele ocupar en la preparación de dentífrico. Sin embargo, los estilos favorecen la supresión urinaria de líquidos en la prevención de litiasis y como coadyuvante en el procedimiento del sobrepeso (Vanaclocha & Folcara, 2003).

2.2.2. Maíz Forrajero (*Zea mays* L)

El maíz forrajero (*Zea mays* L) se usa extensamente como un rumiante a diferencia de las gramíneas que constantemente se recolectan en reiteradas situaciones (Boon et al., 2012). El ensilaje de maíz posibilita la ingesta de alimentos del ganado cada día a lo largo de todo el año. Se usa usualmente como una fuente primaria de energía al momento de generar y guardar. A sí mismo, está realmente bien aceptado por los rumiantes. Una vez que se cosecha la planta completa el rastrojo coopera a la producción de materia seca de forraje final (Bertoiaa y Aulicino, 2014).

2.2.2.1. *Composición química de la planta de maíz forrajero (Zea mays L)*

➤ **Grano**

- **Proteínas:** el porcentaje puede variar entre 8 y 11% del peso del grano.
 - **Aceite y ácidos grasos:** el aceite está primordialmente en el germen, con valores de 3 a 18%, tiene un bajo grado de ácidos grasos saturados: ácido palmítico 11% y esteárico 2%; tiene niveles subjetivamente altos de ácidos grasos poliinsaturados, primordialmente ácido linoleico 24%.
 - **Paredes celulares:** se conforma por 5.3% de fibra cruda (FC), del cual el 75% de hemicelulosa, 24.9% de celulosa y 0.1% de lignina, en materia seca. (Arroyo y Flórez, 2007), dicen que tiene 3.4% de fibra cruda (FC), 33.4% de fibra detergente neutro (FDN) y 6.4% de fibra detergente ácido (FDA).
 - **Carbohidratos solubles:** en los granos en vías de maduración hay niveles más altos de monosacáridos, disacáridos y trisacáridos. Doce días luego de la polinización el contenido de azúcares es subjetivamente alto. Mientras el de almidón es bajo; de acuerdo con el grano madura se reducen los azúcares e incrementa el almidón. El almidón es el primordial elemento químico del grano que constituye de 72% a 82,9% de su peso. Otros carbohidratos solubles que se hallan en el grano son glucosa, azúcar y fructuosa, en porciones que varían de 1 a 3% del grano (Araiza. et al, 2019).
 - **Vitaminas y minerales:** tiene dos vitaminas liposolubles la vitamina A y la vitamina E; las vitaminas hidrosolubles se hallan en la cáscara del grano primordialmente la tiamina y riboflavina. El 78% de los minerales está en el germen el más exuberante es el fósforo (National Research Council, 2001; Arroyo y Flórez, 2007; Parsons, 2008; González, 2009; de Blas et al., 2010).
- **Planta completa:** El contenido de materia seca cambia de 15 a 25 % en la planta verde y el contenido de proteína cruda es de 4 a 11 % de composición, 1 a 3,5% de extracto etéreo (EE) o grasa cruda, 27 a 35% de fibra cruda (FC), 34 a 55% de extracto independiente de nitrógeno (ELN) o carbohidratos consumibles y de 7 a 10% de cenizas (CEN) (National Research Council, 2001; de Blas et al., 2010). Se cree una digestibilidad media de 60% de la materia seca, con valores mínimos de 40% en cultivos bastante maduros y valores máximos de 71% en los adolescentes. Una vez que el grano de maíz está entre el estado lechoso y masoso la planta está en su condición óptima para la cosecha y conservación.

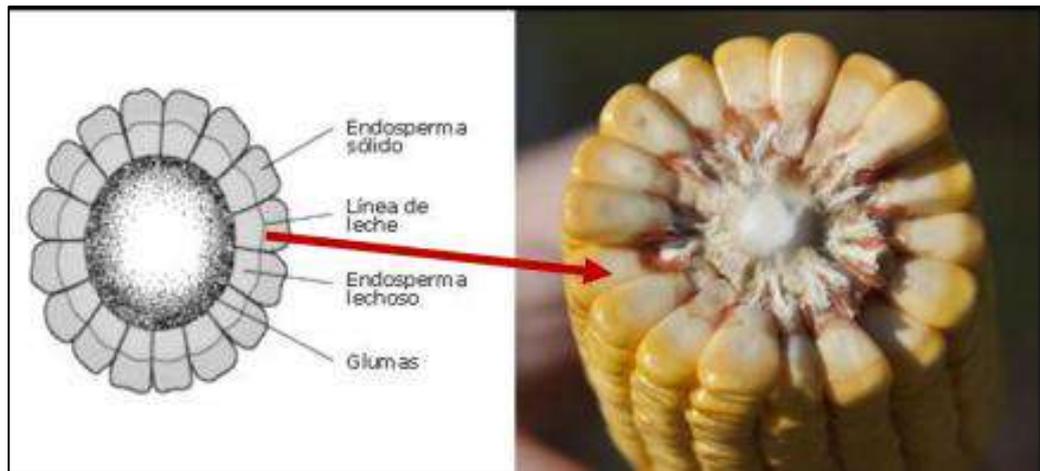


Ilustración 1-2: Línea de la leche en el grano de maíz (*Zea mays*)

Fuente: Araiza. et al, 2019.

Otro indicador para el óptimo estado del corte es una vez que se muestra la “línea de leche” (Ilustración 1-2). Esta línea marca el progreso de endurecimiento de la maduración del grano dividiendo el sector de almidón líquido del sólido el corte puede hacerse una vez que el grano muestra la línea de leche en su cantidad media o a dos tercios de la longitud del grano.

En este estado la estructura química de la planta es: contenido de materia seca es de 25 a 31%, 5,7 a 6,7% de proteína cruda, 55 a 59% de fibra detergente neutra (FDN), 36% de fibra detergente ácida (FDA) y 67% de digestibilidad in vitro de la materia seca (Bravo, 2008; Hiriart, 2008; Cobos, 2013).

Amador y Boschini (2000), observaron que la concentración de materia seca en el tallo es menor que en la hoja en cada una de las edades del aumento. El contenido de proteína cruda en el tallo es elevado (18%) en los primeros 50 días y decrece a 11% a los 80 días y en los restantes días se conserva entre 6,5 y 7,5%. En la hoja, la proteína cruda ha sido mayor a 20% en los primeros 80 días y redujo paulatinamente hasta un 14% finalmente del lapso. El contenido proteico de la flor ha sido parecido al de la hoja (19%) a los 107 días y redujo a 10% luego de los 120 días de incremento de la planta. La mazorca tuvo al principio un contenido proteico sutilmente inferior a la flor el cual creció en los días siguientes (Amador & Boschini, 2000).

El contenido de fibra detergente neutra en el tallo es de cerca de 50% en los primeros 50 días, de 60% hasta los 80 días y mayor a 70% desde los 90 días. Las hojas mostraron un contenido de pared celular (FDN) creciente de 55 a 72% hasta los 90 días de incremento y se estabilizó en 62-65% a lo largo del restante lapso de desarrollo. La mazorca enseñó contenidos cambiantes entre 55 y 65% de pared celular (FDN). El contenido de fibra detergente ácida en el tallo ha sido de un

15% inferior a la fibra detergente neutro a lo largo de los primeros 80 días y más adelante a los 90 días, creció esta diferencia cerca de 25%. En la flor y en la mazorca el contenido de fibra detergente ácida ha sido entre 25 y 40%. El contenido de hemicelulosa ha sido entre 15 y 25% en el tallo, entre 22 y 35% en la hoja y entre 21 y 37% en la flor y la mazorca (Araiza. et al, 2019). Los valores nutricionales difieren de un tipo de maíz (*Zea mays*) a otro, como se muestra en la Tabla 3-2.

2.2.2.2. Importancia del maíz forrajero (*Zea mays* L)

Este cultivo tiene algunas ventajas en la ingesta de alimentos animal. En medio de las cuales, se hallan:

- Muestra distintas maneras de implementación, debido a que el ganado la consume en verde, seco o ensilado.
- Gran adaptabilidad a las condiciones climatológicas de la nación.
- Excelente calidad nutritiva para la producción de leche.
- Facilidad de desempeño manual y con maquinaria, como para su cultivo como para su implementación (Cobos, 2013).

La fama de este forraje se debería al elevado rendimiento que tiene. Además, que es bastante digerible y es enormemente energético. Una virtud de la planta de maíz (*Zea mays*) es que su digestibilidad permanece fundamentalmente constante entre el estado de grano lechoso y la madurez. La planta dispone de carbohidratos en copiosidad lo cual nos garantiza una inmediata fermentación con un aumento del contenido de ácido láctico en el ensilaje (Araiza. et al, 2019).

Tabla 3-2: Composición química general de distintos tipos de grano de maíz (*Zea mays*) (% en base seca)

Tipo de maíz	Humeda	Ceniza	Proteín	Fibra	Extracto	Carbohidrat
	d	s	as	cruda	Etéreo	os
Salpor	12,2	1,2	5,8	0,8	4,1	75,9
Cristalino	10,5	1,7	10,3	2,2	5	70,3
Harinoso	9,6	1,7	10,7	2,2	5,4	70,4
Amiláceo	11,2	2,9	9,1	1,8	2,2	72,8
Dulce	9,5	1,5	12,9	2,9	3,9	69,3
Reventador	10,4	1,7	13,7	2,5	5,7	66
Negro	12,3	1,2	5,2	1	4,4	75,9

Fuente: PARSONS, 2008.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

2.2.2.3. *Problemas de conservación del maíz forrajero (Zea mays L)*

Uno de los puntos de vista críticos para los ganaderos es el abasto de alimento de buena calidad a lo largo de todo el año. Motivo por el cual se busca cosechar los forrajes en el punto óptimo de madurez para afirmar su calidad. Los pastos, la alfalfa o el maíz no se pueden mantener en estado verde. Además, de que para su almacenamiento se necesitaría de enormes espacios. En la actividad pecuaria la conservación de forrajes constituye un instrumento eficaz para contar con fuentes de alimento de calidad. Para saciar los requerimientos nutritivos de los animales en el lapso crítico así sea invierno o etapa de lluvias (Hiriart, 2008). En regiones con períodos prolongados de sequía se produce la escasez de forraje lo que vuelve crítica la ingesta de alimentos constante de los animales y como resultado la baja productividad de los mismos. Presenta a su vez una reducción significativa de la producción de leche, de los límites reproductivos y, además, mortalidad de los animales (Franco et al., 2007).

El primordial objetivo de la conservación de un forraje es mantenerlo guardado sin perder la calidad inicial del forraje. El objetivo de hacer ensilaje al igual que la henificación es aprovechar el forraje producido en las épocas de lluvias. Cultivos o sobrantes de cultivos mismos que pueden ser utilizados para alimentar el ganado con este material a lo largo de la era crítica (Franco et al., 2007; Martínez-Fernández et al., 2014).

2.2.3. *Alfalfa (Medicago sativa)*

La alfalfa (*Medicago sativa*) es una especie perenne que forma parte del núcleo familiar de las leguminosas y se cultiva en nuestra región en la zona Interandina o Sierra. Para el consumo de ganado en pastoreo o para cualquier procedimiento de conservación de forrajes. La alfalfa (*Medicago sativa*) es una planta con bajos requerimientos hídricos y es dependiente básicamente de la temperatura, el fotoperíodo y el agua para un activo incremento, además de los componentes edáficos y de desempeño (Valladares, 2021).

El cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*), pertenece a los recursos forrajeros más relevantes en el territorio gracias a su buena habituación a diferentes climas y suelos que hay. Además, por sí mismo aporta calidad forrajera brindando a los ganaderos forraje de alta calidad a lo largo de parte importante del año y la probabilidad de mantener el forraje excedente para las etapas críticas. Según varios autores, otro elemento fundamental para escoger esta clase de pasto es por pertenecer a el núcleo familiar de las leguminosas que capturan nitrógeno atmosférico simbióticamente. Reduciendo precios en la fertilización y perfeccionando la fertilidad de los suelos (Valladares, 2021).

2.2.3.1. Manejo para el pastoreo

El estado de madurez del cultivo debería ser el primordial indicador del instante conveniente para el pastoreo o corte de la alfalfa (*Medicago sativa*). Táctica que está vinculada a un óptimo sistema de pastoreo posibilitando asegurar forraje de calidad en porciones aceptables y la sostenibilidad del cultivo (Rebuffo, 2005). La productividad, vigor y persistencia de la alfalfa (*Medicago sativa*) se ve perjudicado por el funcionamiento agronómico siendo este componente el más relevante para asegurar la perennidad del cultivo. Tienen que pasar al menos entre 25 y 30 días de incremento activo para que se haga la floración (Clavijo & Cadena, 2011). Los crecimientos del cultivo resultan irregulares, debido a que las altas temperaturas disminuyen los días necesarios para conseguir la floración (Rebuffo & Cuitiño, 2010). Para conceptualizar el mejor instante para el aprovechamiento del cultivo se tienen que considerar dos componentes: el clima y los primeros botones florales (Saroff & Pagliaricci, 2008). En las ilustraciones 2-2 y 3-2, se observa la interacción existente entre el incremento y desarrollo de la planta y su calidad nutricional, reduciendo este último mientras el cultivo se hace maduro (Hernández et al., 2013). La calidad del forraje está relacionada por la cantidad de hojas y tallos que presente, siendo ideal una alta presencia de hojas y un porcentaje bajo de tallos (Rincón et al., 2008).

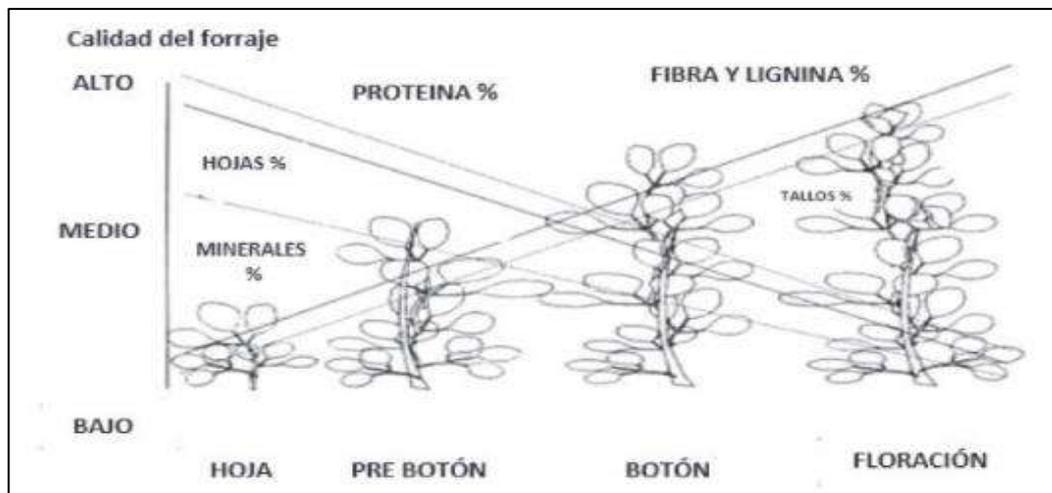


Ilustración 2-2: Evolución de los componentes del forraje de alfalfa (*Medicago sativa*) en relación con los estados de madurez

Fuente: Clavijo & Cadena, 2011.

Esta leguminosa muestra mejor comportamiento en sistemas de pastoreo rotativos de baja magnitud y escasa duración (Hernández et al., 2012). No se debería utilizar a las tres semanas luego de la defoliación instantánea en el que la planta tiene una elevación máxima de 20 cm y tiene los niveles más bajos de reservas energéticas para que sea aprovechado como forraje. Pasado este instante el aumento de la planta continúa favoreciendo la recuperación de las reservas energéticas

(Rebuffo, 2005).

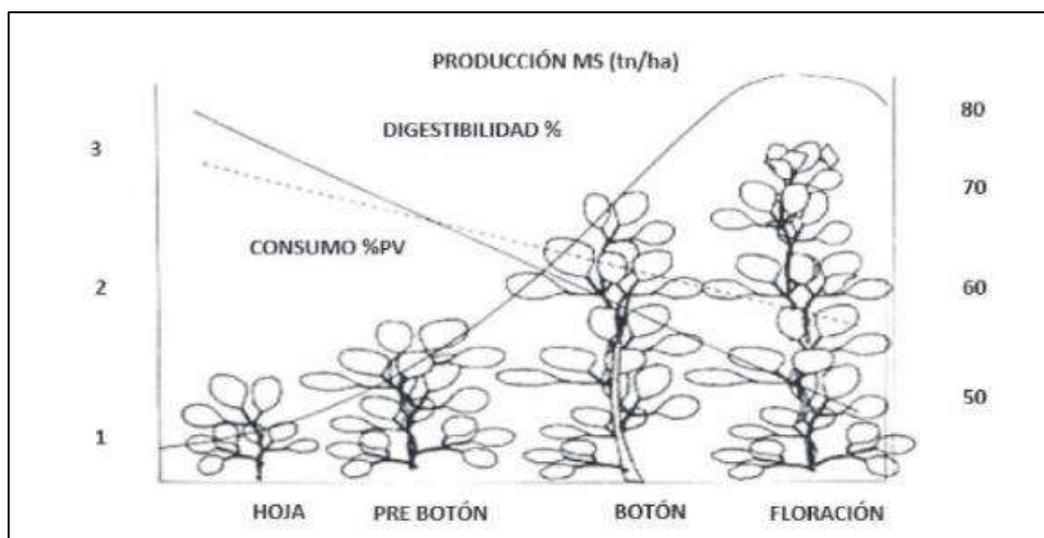


Ilustración 3-2: Evolución de la producción de materia seca, la digestibilidad del forraje y el consumo animal de alfalfa (*Medicago sativa*) en distintos estados de madurez

Fuente: Clavijo & Cadena, 2011.

El pastoreo directo es el primordial uso que se les da a la pradera cuya base forrajera es la alfalfa (*Medicago sativa*) (Jahn et al., 2002). El alfalfar necesita periodos adecuados de tiempo libre entre un pastoreo y otro. Siendo el pastoreo rotacional el más conveniente para esta especie (Carrete et al., 2006). Hay dos instantes claves que indican que el cultivo está en el instante preciso para el pastoreo: el rebrote basal y el principio de la floración (Rebuffo, 2005).

El vigor de la planta se disminuye una vez que el pastoreo se realiza en plantas que no comenzaron el proceso de rebrote o floración (Rincón et al., 2008). Provocando una baja destacable en las reservas energéticas y perjudicando la persistencia del cultivo (Lemus et al., 2013). Mientras las reservas energéticas en la raíz incrementan. Lo hace de la misma forma la producción de forraje hasta que el cultivar alcanza su floración plena perjudicando radicalmente la calidad del forraje (Basigalup, 2007).

2.2.3.2. Producción de biomasa y calidad nutricional

La alfalfa (*Medicago sativa*) se muestra como una opción forrajera en busca de la sostenibilidad de la industria ganadera. Referente a su potencial de producción de biomasa Álvarez (2013), en su indagación “evaluación cuantitativa de 10 variedades de alfalfa (*Medicago sativa*)”. Reporta que las variedades Júpiter y San Miguelito registraron el más grande y menor rendimiento anual de

forraje respectivamente con 14510 y 7890 Kg/materia seca/hectárea. Resultados mejores fueron reportados por Rojas (2011), encontrando rendimientos anuales de 20,275 y 20,644 Kg/materia seca/hectárea para las variedades Júpiter y Milena.

Mendoza et al. (2010) obtuvieron que la más grande producción de forraje total y estacional de alfalfa (*Medicago sativa*) pluralidad San Miguelito varió por impacto de la frecuencia del corte. Reportando la más grande producción al cosechar cada 7 y 6 semanas con 34,457 Kilogramo de materia seca por hectárea. Mendoza (2008) asegura que la persistencia del cultivo está relacionada con la frecuencia del pastoreo o corte así sea favoreciendo o afectando la producción y almacenamiento de carbohidratos no estructurales. Con una frecuencia de corte de 4, 5 y 6 semanas en primavera, otoño e invierno, respectivamente, Rivas et al. (2005) obtuvieron una producción anual de 31132 Kg/materia seca/hectárea evaluado 5 variedades de este forraje.

Con la aplicación de fósforo en una dosis que oscila entre 100 y 200 Kilogramo por hectárea Días & Carvalho (2000) observaron que se recibe una mejor productividad del cultivo. Según los resultados conseguidos por Bustamante (2004) la pluralidad de alfalfa con mejor producción de kg de materia seca ha sido la Abunda verde con 2079 Kilogramo; y la diversidad con inferior producción ha sido la Moapa 69 con 1430 Kilogramo de materia seca.

En el análisis llevado a cabo por Flores-Aguilar et al. (2012), se localizó en la producción promedio de forraje por hectárea sido estadísticamente distinto ($P \leq 0,05$). Evaluando el impacto de fertilización química y orgánica sobre esta especie reportando valores de 19,9 Miligramo por hectárea para la falta de fertilización, 28,8 Miligramo por hectárea para la fertilización química, 29,2 Miligramo por hectárea para la orgánica y 32,7 Miligramo por hectárea para su mezcla.

Evaluando la estructura nutricional se presentaron datos de materia seca reportados por López (2011) con un promedio de 23,25 y 23,90 % en plantas fertilizadas con vinaza. Mullo (2009) indicó un 25 % de materia seca, mientras tanto que Acosta (2010) localizó datos inferiores con un 20,13 % de materia seca en alfalfa.

Referente a la proteína cruda López (2011) y Acosta (2010) encontraron un porcentaje de 17,24 a 18,10 % y de 14,8 %, respectivamente, utilizando el primero la vinaza como fertilizante. Jhan et al. (2000) expresan que con un corte temprano en la alfalfa tienen la posibilidad de obtener porcentajes mejores al 25 % de proteína. Aseverando que mientras avanza el desarrollo del cultivo reduce su calidad nutricional.

2.2.4. Residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales son aquellos materiales sólidos o líquidos que se generan directamente durante el procesamiento de materias primas o durante los procesos de producción industrial. Actualmente, estos residuos no son útiles para los procesos que los generan. No obstante, pueden ser susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto de interés comercial y/o social con un precio económico (Saval, 2012).

Los residuos agroindustriales enfrentan varios problemas, como la falta de conciencia ambiental para su gestión, la escasez de capacidad tecnológica y recursos económicos para su disposición final, y la ausencia de legislación específica que fomente su adecuada administración. Es fundamental garantizar un óptimo desempeño de estos residuos desde su generación hasta su disposición final, y para lograrlo es necesario implementar medidas que aseguren su manejo responsable y sostenible (Saval, 2012).

2.2.4.1. Rastrojo de maíz (*Zea mays*)

El rastrojo de maíz (*Zea mays*) es un conjunto de hojas, tallos y mazorcas que quedan en el campo después de la cosecha. Este rastrojo equivale a aproximadamente la mitad del rendimiento de un cultivo de maíz (*Zea mays*) y se asemeja a la paja de otros cereales. En Gran Bretaña, a veces se le conoce como paja de maíz. Este residuo agrícola es común en zonas con grandes áreas de producción de maíz (*Zea mays*) y puede incluir maleza y pasto, además de los restos no granulares del cultivo (Peña, 2022).

2.2.4.2. Lactosuero

Se trata de un líquido de color verdoso amarillento que se obtiene durante la preparación del queso específicamente en la fase de división de la cuajada o etapa micelar (Parra, 2009). Este líquido se separa del queso después de la precipitación de la caseína, y su proporción es de alrededor de 9 veces con respecto a la masa de queso obtenida (Panesar et al., 2007).

2.2.4.3. Melaza

La melaza es un líquido fino y viscoso de color marrón oscuro con un sabor muy dulce. Se produce como subproducto en la fabricación del azúcar. De la cual, ya no es posible obtener más azúcar de ella por medios físicos (Rojas & Zelaya, 2019).

2.2.5. Bioensilaje

El bioensilaje posibilita mantener el forraje en un estado físico parecido al que poseía en el instante de la recolección y su estructura química está modificada por las fermentaciones que sufre. El objetivo de este proceso es desencadenar, en la biomasa tratada, fermentaciones lácticas que disminuyan el pH y estabilicen el producto. Otro tipo de fermentaciones, como las acéticas o butíricas, degradan la proteína y generan amoníaco y otros fermentos que deterioran el producto ensilado de manera peligrosa (Arellano, 2015).

2.2.6. Proceso de ensilaje

Desde el instante en que se inicia el corte de los recursos forrajeros se generan cambios en la planta (fase enzimática) que continuarán en todo el proceso de la estabilización del ensilado. El ensilaje es una técnica de conservación de las propiedades de los recursos forrajeros que se consigue mediante un proceso de fermentación láctica anaeróbica. La oxidación de los azúcares de la planta por procesos respiratorios perjudica negativamente las propiedades de fermentación en el silo (Ruiz & Codero-Ahiman, 2019).

Los azúcares solubles sirven como sustratos primarios para las bacterias productoras de ácido láctico que deben predominar a lo largo de la fermentación del ensilado. La actividad de estos microorganismos disminuye el pH de la masa forrajera y es un componente clave en la igualdad y la conservación a largo plazo del ensilado (Ruiz & Codero-Ahiman, 2019).

Si existe un exceso de oxígeno en el proceso de producción de ácido láctico, esto disminuye la obtención de una buena fermentación. Una vez que el material fresco está debidamente guardado, compactado y aislado de tal forma que no exista infiltración de oxígeno, el proceso del ensilaje se puede dividir en 4 etapas (Ruiz & Codero-Ahiman, 2019).

2.2.6.1. Etapa aeróbica

Esta fase tiene una duración de pocas horas. El oxígeno atmosférico presente en la masa vegetal disminuye inmediatamente debido a la respiración de los materiales vegetales y a los microorganismos aeróbicos y aeróbicos facultativos como *Lactobacillus* y algunas especies de enterobacterias. Además, hay una actividad importante de varias enzimas vegetales como las proteasas y carbohidrasas, cuando el pH se mantiene en el rango regular para el forraje fresco (pH 6,5-6,0) (Oude et al., 2001).

No obstante, cuando existe suficiente concentración de oxígeno los carbohidratos más sencillos como la glucosa pueden ser metabolizados en agua y dióxido de carbono. Así, los azúcares son oxidados simultáneamente. La velocidad de respiración disminuye por la temperatura y las características del propio material como su contenido de materia seca y el pH. Sin embargo, la energía que resulta liberada por la respiración depende de la cantidad de materia forrajera presente en el silo lo que causa un aumento de la temperatura que inactiva la actividad enzimática (Oude et al., 2001).

Durante esta fase es donde existe la más enorme pérdida de carbohidratos (azúcares y almidones), siendo el sustrato oxidado una hexosa que se degrada vía glucólisis. De la misma forma, pero en menor porcentaje se ven perjudicadas las grasas y las proteínas (Oude et al., 2001).

2.2.6.2. *Etapa de fermentación*

Esta etapa comienza cuando se crea un ambiente anaeróbico y puede durar desde varios días hasta algunas semanas. Dependiendo de las propiedades del material ensilado y las condiciones en el momento del ensilaje. Una vez que los carbohidratos son afectados por la etapa anaerobia se originan entre otras sustancias ácidos orgánicos. Los ácidos orgánicos comúnmente encontrados en el ensilaje son el láctico, acético, propiónico y butírico. Lo que reduce el pH a valores entre 3,8 y 5,0 (Villa, 2008).

El ácido láctico pertenece al grupo de los no volátiles y los tres últimos pertenecen al grupo de los ácidos volátiles. Esta etapa es la más importante del ensilaje porque desde ella se generan los diferentes metabolitos que actúan como conservantes naturales del material ensilado. Después de la primera fase es necesario que el ensilado esté libre de oxígeno y en condiciones anaeróbicas. Esto debe mantenerse durante varias semanas o meses dependiendo de las características y condiciones específicas del tipo de forraje (Villa, 2008).

2.2.6.3. *Etapa estable*

A medida que se mantiene el ambiente sin oxígeno se producen pocos cambios. La mayoría de los microorganismos de la etapa de fermentación disminuyen gradualmente su presencia. Algunos microorganismos acidófilos productores de ácidos orgánicos sobreviven este período en estado inactivo. Manteniendo su población constante durante un largo período de tiempo. Solo los microorganismos ácido-tolerantes como las bacterias lácticas, pueden sobrevivir a las concentraciones ácidas del silo durante esta etapa. A veces en estado latente como el *Lactobacillus buchneri*, cuya actividad se presenta claramente disminuida en esta etapa (Ruiz & Codero-Ahiman,

2019).

La proporción de ácido láctico generado en este período provoca que el pH disminuya por debajo de 4 inhibiendo la actividad microbiana y el desarrollo de las bacterias, incluidas las lácticas. Así, como la acción de las enzimas proteolíticas de la planta. De esta manera, el ensilado llega a una situación de seguridad que permite su conservación casi indefinida, siempre y cuando no haya una entrada de oxígeno (Ruiz & Codero-Ahiman, 2019).

2.2.6.4. Etapa de deterioro aerobio

Esta etapa comienza cuando se abre el silo y se expone el ensilaje al aire. En otras palabras, es inevitable una vez que se necesita retirar y distribuir el ensilaje y también puede ocurrir antes de comenzar la explotación debido a una mala cobertura del silo. El periodo de deterioro se puede dividir en dos fases.

En la primera fase, los ácidos orgánicos que conservan el ensilaje se degradan por acción de levaduras y, en raras ocasiones, por bacterias que producen ácido acético (Ruiz & Codero-Ahiman, 2019). Esto provoca un aumento del valor de pH, lo que permite el inicio de la segunda fase de deterioro. En esta fase se observa un aumento de la temperatura y de la actividad microbiana que deterioran el ensilaje.

El deterioro aeróbico ocurre en casi todos los ensilajes cuando se exponen al oxígeno. Sin embargo, la tasa de deterioro depende de los microorganismos aerobios presentes en el ensilaje y de su nivel de actividad. Siendo lo que causa el deterioro del ensilaje (Ruiz & Codero-Ahiman, 2019).

2.2.7. Seguridad aeróbica

El equilibrio aeróbico se refiere al tiempo en que el ensilaje se mantiene frío y no se deteriora después de ser expuesto al aire. Después de abrir el silo el calentamiento del material es iniciado por las levaduras. La exposición al aire es el primer evento en una cadena de sucesos que llevan al deterioro del ensilaje (Olvera, 2019).

El oxígeno es perjudicial para la calidad del ensilaje porque permite que los microorganismos aeróbicos degraden el material. Cuando se abren los silos las levaduras se reactivan y degradan el ácido láctico lo que produce dióxido de carbono, agua y calor. Esto eleva el pH lo que a su vez reaviva los hongos y bacterias aeróbicos y acelera el deterioro. Provocando la pérdida de nutrientes y palatabilidad. Así, como la formación de compuestos indeseables como micotoxinas

(Filya et al., 2004; Herrmann et al., 2015).

Para mejorar el equilibrio aeróbico del ensilaje se puede utilizar *L. buchneri* como un inoculante que inhibe la actividad de las levaduras. Además, puede combinarse con *L. plantarum* (Filya et al., 2006).

2.2.8. Tipos de Silo

El silo es un depósito utilizado para el proceso de ensilaje. Puede variar en su tipo y tamaño dependiendo de las necesidades de cada unidad de producción pecuaria, el presupuesto y el espacio disponible (Bravo, 2008). Es importante saber cuánto forraje estará disponible para ensilar. Se estima que cada metro cúbico de silo tiene una capacidad de 600 kg de forraje ensilado. Por ejemplo, si se producen 35 toneladas de maíz (incluyendo grano y forraje) en una hectárea se necesitará un silo de 116,67 m³ para ensilar 2 hectáreas (Cobos, 2013).

Según Wilkinson et al. (2003) y Yitbarek (2014), un silo es una estructura sellada que impide la circulación de aire dentro y fuera de la masa de cultivo. Al colocar el material en una estructura el objetivo es conservarlo y evitar su descomposición como ocurre con un montón de composta. La técnica de conservar forrajes en forma de ensilado es bastante antigua con registros sobre la práctica de ensilar maíz en EE. UU. desde 1875.

2.2.8.1. De trinchera y bunker

El silo de trinchera es una estructura que consiste en un piso y dos muros paralelos contruidos con diferentes materiales como cemento, madera o metal. Este tipo de silo puede construirse en terrenos planos y bien drenados (ver Ilustración 4-2). La altura de los muros varía según las necesidades del productor, pero suele ser de al menos 1,5 metros (Franco et al., 2007; Bravo, 2008).

El suelo tiene una pendiente de 2 a 3% hacia el frente y está cerrado por un muro en el extremo opuesto. Este tipo de silo se puede llenar y vaciar de manera fácil y mecánica. Permite la compactación y muestra pérdidas mínimas de materia seca. Su capacidad depende de la cantidad de material que se vaya a ensilar y de las necesidades del productor (Franco et al., 2007; Bravo, 2008).



Ilustración 4-2: Silos de trinchera y bunker

Fuente: Araiza, 2019

Por otro lado, los silos enterrados presentan varias complicaciones en su construcción y solo pueden ser construidos en regiones donde el suelo es firme como terrenos con tepetate (capa dura y compacta de suelo formada por la acumulación de material volcánico y sedimentario) o suelos compactos. Estos silos presentan peligros de infiltración de agua y no poseen un sistema de drenaje. Lo que puede ocasionar putrefacción del material y contaminación con tierra. Sin embargo, tienen la ventaja de poder aprovechar paredes estáticas ya existentes (Bravo, 2008).

2.2.8.2. *De pastel o torta*

Es una opción sencilla y económica para conservar el forraje. Consiste en amontonar el forraje bien apisonado y cubrirlo con plástico, colocando llantas o costales en las orillas para evitar que se levante. Este tipo de silo se recomienda construir en regiones altas y con suelo permeable o con una ligera pendiente del 5%, para evitar encharcamientos. Aunque no tiene paredes, es una alternativa práctica para unidades de producción con limitaciones de inversión. (Ver Ilustración 5-2) (Franco et al., 2007; Bravo, 2008).



Ilustración 5-2: Silos de pastel o torta

Fuente: Araiza, 2019

2.2.8.3. *De bolsa*

El silo press (silo en bolsas largas) se construye con embolsadoras que llenan bolsas de polietileno de un diámetro entre 2,4 y 3 metros y una longitud de hasta 80 metros. Aunque son bastante eficientes, son costosos. Pueden almacenar hasta 70 toneladas (Ilustración 6-2). En los silos de menor tamaño, se utiliza plástico de calibre 600 u 800 (grosor de 0,6 a 0,8 milésimas de pulgada). La máquina envuelve el material y forma el silo en pacas de 1 a 2 toneladas (Franco et al., 2007; Bravo, 2008).

En las bolsas se deposita el forraje picado y se compacta manualmente lo mejor posible. Una vez llenas se aprietan y se atan con el fin de evitar que entre el viento. Dependiendo del tamaño de la bolsa se pueden almacenar de 40 a 60 kilos de forraje. La conservación del forraje es buena si no hay roedores y es una excelente opción para pequeñas cantidades de forraje. Debido a que se pueden manejar fácilmente (Franco et al., 2007; Bravo, 2008).



Ilustración 6-2: Silos de bolsa

Fuente: Araiza, 2019.

2.2.8.4. *En tambos*

Una forma sencilla de almacenar forraje picado en porciones pequeñas es utilizando un tambo. Se llena el tambor con el forraje compactándolo lo mejor posible, ya sea a mano o con una prensa manual. Después, se cierra bien la tapa para evitar la entrada de aire (Ilustración 7-2). Esta opción de almacenamiento es muy práctica y fácil de usar. Sin embargo, si no se compacta correctamente, se pueden presentar pérdidas totales del forraje ensilado debido al tamaño reducido de la porción (Ibañez, 2009).



Ilustración 7-2: Silos en tambos

Fuente: Araiza, 2019

2.2.9. *Propiedades de un óptimo ensilado*

La conservación adecuada del ensilado para obtener un forraje altamente nutritivo depende de una fermentación controlada del forraje en el silo. Es esencial regular el oxígeno y la temperatura manteniéndolos por debajo de los 30 °C (Wagner & Caridad, 2012). Para lograrlo, es necesario tener en cuenta lo siguiente:

El forraje verde debe tener entre un 60% y un 70% de humedad. Para determinar su punto óptimo el forraje se pica al tamaño de partículas que se va a ensilar y se aprieta una porción que abarque ambas manos durante treinta segundos. Si el forraje deja las manos húmedas y conserva la forma ejercida por la presión esto indica que tiene el contenido de humedad ideal (Wagner & Caridad, 2012).

El valor nutricional del producto ensilado es similar al del forraje original antes de ensilar. Sin embargo, es posible añadir nutrientes como almidones y azúcares que pueden acelerar el proceso de incrementar el valor nutricional del producto (Wagner & Caridad, 2012).

2.2.10. Usos del ensilado

El principal objetivo del ensilado es producir alimento para los animales principalmente rumiantes durante épocas de escasez. Para lograr esto, el producto final debe obtenerse sin la producción de sustancias tóxicas para la salud animal. Minimizando las pérdidas de materia seca y nutrientes y manteniendo un buen sabor para el ganado (Heredia, 2020).

Inicialmente la técnica del ensilado se utilizaba para la conservación del forraje húmedo sin alterar su valor nutricional. Sin embargo, actualmente también se utiliza para la preservación de subproductos agroindustriales como yuca, pescado, plátano, caña, maíz y sorgo, entre otros. El ensilado es una técnica exitosa y fácil de preparar. No obstante, es importante tener en cuenta algunos aspectos antes de realizar el proceso para obtener un producto de buena calidad y evitar pérdidas económicas (Heredia, 2020).

Para lograr un mayor rendimiento y contenido nutricional óptimo. La materia a ensilar se debe recolectar en la fase óptima de madurez. También se debe ajustar el porcentaje de humedad ya sea reduciéndolo o aumentándolo. Agregar aditivos para mejorar la preservación o incrementar el valor nutricional del producto. Evitar la entrada de aire apisonando uniformemente el silo y finalmente sellarlo adecuadamente para prevenir su deterioro (Heredia, 2020).

2.2.11. Importancia del ensilaje

El ensilaje es una técnica de conservación de forraje que permite almacenarlo durante épocas de alta producción para poder utilizarlo en momentos de escasez manteniendo sus características nutricionales. Esta técnica beneficia el desempeño y uso integral de los recursos en la interacción suelo-planta. Promueve la utilización de alimentos locales, reduce la importación de concentrados. Por lo tanto, evita la fuga de divisas nacionales. Además, se convierte en una alternativa en épocas de crisis en la producción de pastos (Wagner & Caridad, 2012).

Una vez que se prepara un silo es posible aprovechar el pasto verde de la era lluviosa. Especialmente pastos de corte como el King Grass común, pasto Camerún, maíz, sorgo y caña. De esta manera, se previenen las pérdidas de forraje y se dispone de alimento de calidad adecuada para sostener la producción habitual de la explotación durante todo el año. En particular, el maíz es un material admirable para ensilar debido al alto contenido de almidón en su grano. Lo que se traduce en un mayor valor energético y alimenticio para los animales en comparación con el heno o el forraje de sorgo (Wagner & Caridad, 2012).

2.2.12. Beneficios de utilizar ensilado

El ensilaje se ha convertido en una herramienta fundamental para los productores en la gestión de la producción de cultivos y el programa de ingesta de alimentos del ganado lechero en varios sistemas de producción en todo el mundo (Heredia, 2020).

A continuación, se describen las ventajas de utilizar el ensilaje (Heredia, 2020).

- El ensilaje es un proceso de conservación que permite guardar forraje durante períodos de abundancia para proporcionar alimento fresco a un precio reducido en cualquier época del año.
- El forraje puede ser cortado y almacenado en su punto máximo de valor nutritivo, lo que proporciona alimento de buen sabor durante un largo período de tiempo.
- Permite mantener un mayor número de animales por unidad de terreno.
- Los nutrientes de los materiales forrajeros conservados como ensilado se mantienen en mejores condiciones y conservan sus características nutricionales mejor que el forraje henificado.
- La producción de ensilado ayuda a controlar muchas malezas en el campo a través de cortes periódicos ya que las semillas de las malezas no sobreviven al proceso de fermentación.

El ensilaje es una opción fundamental para garantizar la ingesta de alimentos del ganado en épocas críticas. Las reservas del silo aseguran alimento para el ganado durante sequías y otras situaciones adversas. Esto es especialmente importante en la agricultura que es uno de los sectores más vulnerables a los efectos del cambio climático. La escasez de lluvias disminuye la cantidad y calidad del pasto disponible para los animales lo que puede afectar su salud y rendimiento en la producción de carne y leche (Heredia, 2020).

Una de las ventajas del uso de ensilajes elaborados es que pueden reducir los costos de suplementación al proporcionar una fuente de fibra con un valor nutricional superior al del heno y el henolaje. El henolaje es un tipo de pasto conservado en un proceso intermedio entre ensilaje y heno. Esto puede tener un impacto positivo en la rentabilidad de la actividad ganadera (Heredia, 2020).

2.2.13. Análisis de la composición química

La Bromatología es la ciencia que se dedica a estudiar los alimentos, sus propiedades, su valor nutricional y cualquier tipo de adulteración que puedan tener. Su nombre proviene de las palabras

griegas "broma", que significa alimentos, y "logos", que significa tratado o estudio (Zúñiga, 2019).

La evaluación química de los nutrientes que componen los alimentos es una parte importante de la Bromatología. El conocimiento de la estructura química de los alimentos permite su uso de manera racional, lo que evita deficiencias o excesos nutrientes en la dieta (Zúñiga, 2019).

Se realiza un análisis bromatológico de una muestra de ensilaje con el fin de determinar la cantidad de nutrientes que contiene y evaluar los límites fermentativos, los cuales son un indicador de la calidad del proceso de ensilado (Bermúdez, 2018).

Existen diversas metodologías y tipos de estudio aplicables a los forrajes conservados (CHERNEY, 2000; DEAVILLE et al., 2000; GIVENS et al., 2000; y REEVES, 2000). Sin embargo, los estudios químicos clásicos siguen siendo los más utilizados en el análisis de ensilajes, ya que destacan la importancia de la materia seca, la proteína cruda, la energía, la fibra y las cenizas totales (CHERNEY, 2000).

2.2.13.1. *Materia seca*

El agua presente en un ensilaje no aporta nutrientes ni energía, por lo que debería ser excluida durante el análisis de la muestra. El nivel de pre-marchitamiento suele indicar un alto costo de materia seca. En el caso de ensilajes de corte directo, el costo absoluto de la materia seca es menor al deseado debido al arrastre de nutrientes causado por los efluentes (CHERNEY, 2000).

Bermúdez (2018) sostiene que la materia seca es un indicador de la calidad de la fermentación y de su interacción con el pH final de los forrajes ensilados.

2.2.13.2. *Proteína cruda*

Para determinar el contenido proteico de una muestra, se calcula el nitrógeno presente en la misma y se multiplica por el factor 6,25. El resultado se expresa como un porcentaje en relación a la materia seca. Sin embargo, no todo el nitrógeno presente en los ensilajes corresponde a proteínas ya que una parte se degrada y se convierte en nitrógeno no proteico (CHERNEY, 2000).

2.2.13.3. *Energía*

Para determinar la concentración de energía en una muestra de ensilaje se somete ésta a una digestibilidad in vitro para obtener el porcentaje de materia orgánica digestible en la materia seca ("valor D"). Posteriormente, este valor se utiliza en ecuaciones de regresión o se multiplica por

coeficientes para obtener la energía metabolizable por kilogramo de materia seca. También es posible calcular la energía a través del contenido de fibra (Bermúdez, 2018).

2.2.13.4. *Fibra*

Existen tres tipos de estudios para determinar la cantidad de fibra presente en los ensilajes: (1) fibra detergente ácido que incluye la celulosa, la lignina y la sílice; (2) fibra detergente neutro que representa el total de las paredes celulares (celulosa, hemicelulosa y lignina); y (3) fibra cruda, que no corresponde a ninguna parte química determinada, sino que pondera de manera parcial los contenidos de lignina, hemicelulosa y celulosa. Los resultados de estos análisis se expresan como porcentaje en materia seca (CHERNEY, 2000).

2.2.13.5. *Cenizas totales*

El contenido total de minerales se determina mediante la calcinación de la muestra a 550-600°C durante 5 horas. De acuerdo a CHERNEY (2000), los ensilajes que presentan contaminación por suelo tienden a mostrar niveles elevados de cenizas, los cuales pueden superar el 10%.

2.2.13.6. *Nitrógeno amoniacal*

Según Bermúdez (2018), el nitrógeno amoniacal es uno de los indicadores más importantes de la calidad de la fermentación y se expresa como porcentaje del nitrógeno total. Debe ser medido en ensilajes que han estado cerrados durante al menos 3 meses. La interacción entre el nitrógeno amoniacal, la calidad de fermentación y el consumo en ganado bovino se puede evaluar en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Contenido de nitrógeno amoniacal en ensilajes y su relación con la calidad de fermentación y consumo animal

Nitrógeno amoniacal (% del nitrógeno total)	Calidad de fermentación	Consumo relativo (%)
0-5	Excelente	100
5-10	Buena	98
10-15	Moderada	95
>15	Deficiente	90

Fuente: Bermúdez, 2018.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

2.2.13.7. *pH*

El valor de pH es un indicador de la extensión de la fermentación. Cuanto más bajo sea su valor mayor será la acidez presente en el ensilaje. Puede indicar la calidad de preservación, aunque no tan fiablemente como el nitrógeno amoniacal (Bermúdez, 2018).

El valor de pH final generalmente es máximo cuando aumenta el contenido de materia seca. Lo que refleja el hecho de que en los forrajes con menor contenido de agua. La actividad microbiana es más reducida debido a la falta de agua disponible para sus funciones vitales. La exclusión se produce en ensilajes que han sufrido fermentación secundaria, lo que provoca un aumento gradual del valor de pH a lo largo del tiempo de permanencia del forraje dentro del silo (Bermúdez, 2018).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

En esta investigación utilizaremos un enfoque cuantitativo de investigación, tal como lo describen Hernández et al. (2014). Este enfoque nos permitirá recolectar datos, medir variables y analizar los resultados de manera estadística. De esta forma, podremos evaluar la hipótesis planteada.

En nuestro caso, los análisis de laboratorio se realizaron en un orden riguroso. Comenzando con una idea fundamental y recolectando información a medida que avanzábamos en el proceso. De esta forma, pudimos estimar las características de diferentes muestras de bioensilajes que contenían distintos porcentajes de residuos de maíz (*Zea mays*) y alfalfa (*Medicago sativa*).

Gracias a los análisis estadísticos que aplicamos, pudimos responder a la hipótesis propuesta y determinar cuál sería la mejor mezcla de bioensilaje para lograr una combinación óptima de residuos de maíz (*Zea mays*) y alfalfa (*Medicago sativa*). De esta forma, los resultados obtenidos en nuestra investigación contribuirán al conocimiento y desarrollo de técnicas para la producción de bioensilajes de alta calidad.

3.2. Nivel de investigación

El grado corresponde a un nivel de estudio correlacional, debido a que este tipo de estudio nos permite determinar la medida en la cual dos o más variables están relacionadas entre sí. Identificando si existe una correlación positiva o negativa (Causas, 2015).

En el presente trabajo de investigación nos permite conocer la relación existente entre los porcentajes de residuos de maíz (*Zea mays*) y alfalfa (*Medicago sativa*) utilizados en la elaboración del bioensilaje y sus características bromatológicas finales. Por medio del análisis bromatológico realizado a las diferentes combinaciones de bioensilaje.

3.3. Diseño de investigación

El diseño corresponde a un diseño de experimental puro. Debido a que se manipulan las dos variables independientes como lo son los residuos de maíz (*Zea mays*) y alfalfa (*Medicago sativa*), para observar sus cambios en las variables dependientes “análisis bromatológicos”. Se realizará

diseños con tratamientos múltiples, para lo cual se aplicó un Diseño de Bloques Completamente al Azar.

Se visualiza en la Tabla 5-3, el tratamiento de investigación con sus niveles de dosis:

Tabla 1-3: Tratamiento de investigación con sus niveles de dosis

	T1	T2	T3	T4
Contenido	300 kg de Residuos de maíz (Rastrojo de maíz) y 25 kg de inoculante	250 kg de Residuos de maíz (Rastrojo de maíz), 50 kg de Alfalfa y 25 kg de inoculante	200 kg de Residuos de maíz (Rastrojo de maíz), 100 kg de Alfalfa y 25 kg de inoculante	150 kg de Residuos de maíz (Rastrojo de maíz), 150 kg de Alfalfa y 25 kg
Proporción Residuos de Maíz/Alfalfa	1:0	5:1	2:1	1:1

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente

El presente trabajo de investigación se presenta como un diseño experimental debido a que existe una manipulación de las variables independientes residuos de maíz (*Zea mays*) y alfalfa (*Medicago sativa*). Para poder observar el aumento o disminución de estas variables y su efecto en las características finales de los diferentes tipos de bioensilajes obtenidos a cada tratamiento empleado (Murillo et al, 2011).

3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo

Para obtener la información necesaria, se realizó una investigación de campo en la estación experimental de Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En estas instalaciones se llevaron a cabo las mezclas necesarias para producir los distintos tratamientos de bioensilaje que se analizaron posteriormente para determinar sus características bromatológicas.

3.4. Tipo de estudio

De acuerdo a la manipulación de variables, se considera como una Investigación Experimental; debido a que se evaluará la formulación del bioensilaje a partir del de los residuos del maíz (*Zea Mays*) y alfalfa (*Medicago sativa*).

3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.5.1. Población

Conformado por el total de Calcha de Maíz (*Zea Mays*) procedente de la estación experimental de Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, como desperdicio de cosecha post corte en estado fresco, una mezcla forrajera de alfalfa (70% alfalfa, 20 % pasto azul y 10% llantén forrajero) e inoculante de lactosuero (30% melaza, 60% lactosuero y 10% de agua) que se observa en la tabla 6-2.

Tabla 2-3: Componentes del bioensilaje

Componentes		Grafico
Calcha de maíz	Residuos de maíz (<i>Zea Mays</i>)	
Mezcla forrajera de alfalfa	Alfalfa (<i>Medicago Sativa</i>) Pasto azul (<i>Dactylis Glomerata L.</i>) Llantén forrajero (<i>Plantago Major</i>)	
Inoculante	Melaza Lactosuero Agua	



Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.



Ilustración 1-3: Ubicación de la estación experimental de Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para la obtención de los componentes del bioensilaje.

Fuente: Google Earth, 2023.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

3.5.2. Muestra

Conformado por las muestras obtenidas del bioensilaje en base a la variación del porcentaje que representa los residuos de maíz (*Zea Mays*) y alfalfa (*Medicago sativa*). Esto en bolsas de propileno destinadas a ensilajes con un peso de 37, 5 kg por bolsas. Teniendo un total de 8 bolsas por tratamiento como se puede observar en la ilustración 9-3.

Seleccionando al azar 3 bolsas, extrayendo un 1 kg de bioensilaje por muestra, almacenándolos en bolsas ziploc y llevadas a congelación como se puede apreciar en la ilustración 10-3.



Ilustración 2-3: Bioensilaje en bolsas de propileno para ensilar.

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.



Ilustración 3-3: Almacenamiento y congelación de muestras de bioensilaje en bolsas ziploc.

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

3.5.3. Variables, operacionalización

3.5.3.1. Variables independientes

- Mezclas para la producción del bioensilaje
- Temperatura

3.5.3.2. Variable dependiente

- Análisis Bromatológicos:

3.5.3.3. Operacionalización de las variables

Tabla 3-3: Operacionalización de las variables de estudio

Variable	Nivel De Estudio	Instrumento
Variable independiente:	Porcentaje de maíz utilizado en la elaboración del bioensilaje	Balanza
	Porcentaje mezcla forrajera de alfalfa utilizado en la elaboración del bioensilaje	Balanza
Variable dependiente:	Temperatura	Termómetro
	Materia Seca	Estufa evaporación 105°C
	Humedad	Estufa evaporación 105°C
	pH	PH Metro
	Ceniza	Incineración mufla 500°C
	Grasas	Método de Soxhlet: extracción de gras con solventes
	Fibras	Extractor de fibras (Digestión acida y alcalina)
	Proteínas	Método Kjeldahl: determinación de nitrógeno
	Carbohidratos Digeribles (ElnN)	Cálculo matemático

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1. Investigación experimental

Se realizarán 4 tratamientos con un total de 8 repeticiones cada uno, según la concentración de residuos de maíz y alfalfa, para la elaboración del bioensilaje. Cada repetición estará representada por un saco de 37,5 kg. De los cuales se tomarán 3 sacos al azar y de ellos se obtendrá una muestra de bioensilaje de 1 kg.

El método será la elaboración del bioensilaje por medio de una fermentación anaeróbica. En la tabla 8-3. Se observa:

Tabla 4-3: Diferentes concentraciones de residuos de maíz y alfalfa para la elaboración del bioensilaje.

Insumos	T1 (kg)	T2 (kg)	T3 (kg)	T4 (kg)
Calcha de maíz	33	5,5	22	16,5
Mezcla de alfalfa forrajera	0	27,5	11	16,5
Melaza	1,35	1,35	1,35	1,35
Lactosuero	2,7	2,7	2,7	2,7
Agua	0,45	0,45	0,45	0,45
Total	37,5	37,5	37,5	37,5

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

Tabla 5-3: Distribución de los tratamientos.

BLOQUES	TRATAMIENTOS			
I	T1	T2	T3	T4
II	T2	T3	T1	T4
III	T3	T1	T4	T2
IV	T4	T2	T3	T1
V	T1	T4	T2	T3
VI	T2	T1	T4	T3
VII	T3	T4	T2	T1
VIII	T4	T3	T1	T2

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

Esta tabla, es un Diseño de Bloques Completa al Azar. Reduce el error estadístico debido a variables muy difíciles de controlar como: Temperatura ambiental, humedad relativa, características fisicoquímicas de los de los compuestos utilizados, microorganismos, etc. Siendo los diferentes tratamientos distribuidos en bloques y de esa manera facilitar el trabajo de muestreo al azar para sus respectivos análisis bromatológicos.

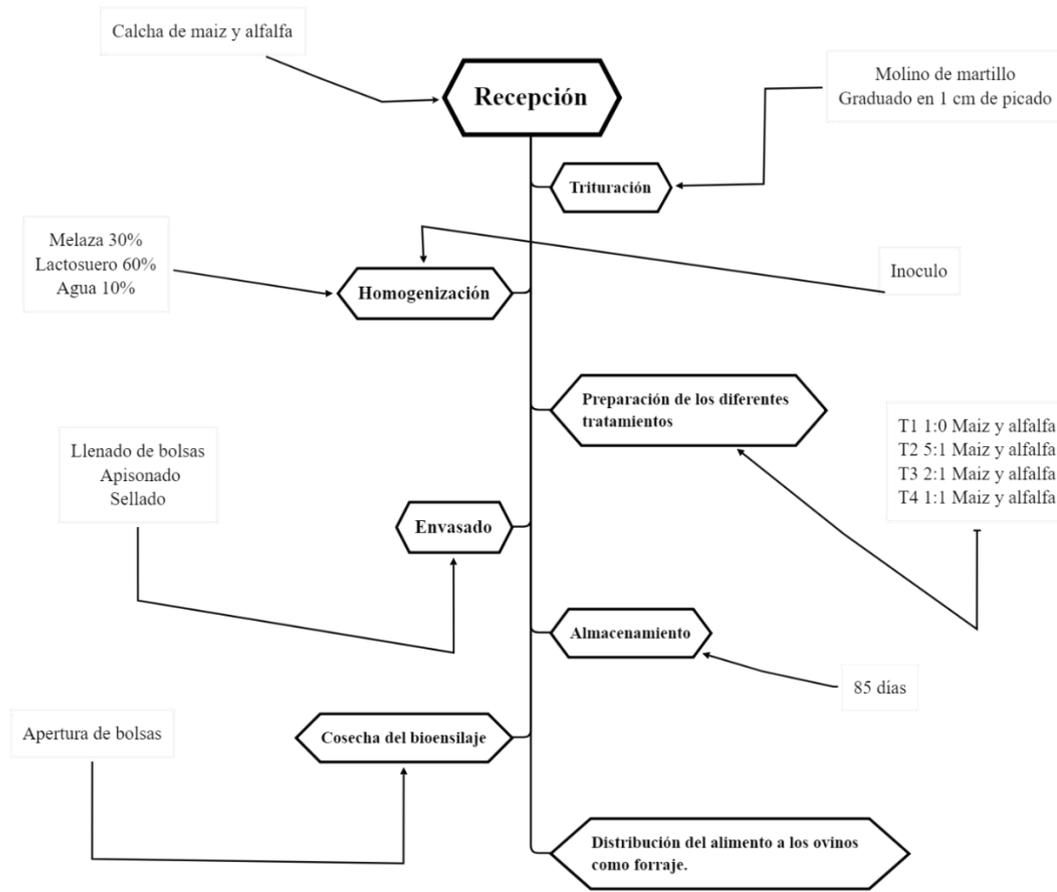


Ilustración 4-3: Diagrama de flujo por tratamientos de ensilado.

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

Una vez elaborado el bioensilaje se procederá a almacenarlo verificando que no exista ningún tipo de aperturas físicas y se dejará en el campo cercado para evitar cualquier daño durante 85 días. Posterior a ello se procederá a sacar muestra por tratamiento al azar de 3 bolsas por cada tratamiento representadas por 1 kg (sub muestras de 1 kg/repeticón).

Se utilizó bolsas ziploc de 2 kilos que se sellan herméticamente para evitar su contaminación en el proceso de llevarlo hasta el laboratorio a congelarlo hasta la realización de los exámenes bromatológico. Se pesó cada muestra en campo de 1 Kg por tratamiento.

3.6.2. Métodos

En esta investigación utilizamos el método inductivo, el cual parte de observaciones específicas para obtener conclusiones que se puedan aplicar a la población de estudio en su conjunto. En nuestro caso, observamos el proceso de bioensilaje de mezclas obtenidas a partir de diferentes

tratamientos que combinaban distintos porcentajes de residuos de maíz (*Zea Mays*) y alfalfa (*Medicago sativa*) con una mezcla homogénea de inoculante (60% suero, 30% melaza, 10% agua).

Nuestro objetivo era obtener conclusiones que pudieran aplicarse a todas las áreas de la alimentación de los rumiantes. Para ello, aplicamos pruebas estadísticas a los resultados obtenidos y comprobamos la hipótesis generalizable que habíamos planteado.

Las técnicas utilizadas fueron las de observación y análisis de laboratorio:

- **De observación**

Con esta técnica se dio seguimiento al proceso de bioensilaje mediante la identificación de características organolépticas como lo son; color, olor y textura. Son indicadores principales muy importantes que nos puede dar una idea general sobre el grado de maduración del bioensilaje. Así, como la calidad del mismo.

- **De análisis**

Con esta técnica mediante la determinación de las características bromatológicas de los diferentes tratamientos se llevó a cabo para conocer el contenido nutricional de los bioensilajes obtenidos.

3.6.3. Instrumentos de recolección de datos

3.6.3.1. Procedimiento

Este trabajo se llevó a cabo en la Estación Experimental Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en Tunshi Grande, parroquia Licto, al suroeste del cantón Riobamba, en la provincia de Chimborazo, Ecuador. La estación experimental se encuentra a unos 12 km de la ciudad capital y su ubicación exacta es UTM Zona 17S Datum WGS 84 X = 763609; Y = 9806880.

La estación experimental se encuentra a una altitud que varía entre 2755 y 2929 msnm. Esta información es importante para entender las condiciones geográficas en las que se llevaron a cabo las investigaciones, lo que puede tener implicaciones significativas en los resultados obtenidos.

3.6.3.2. Descripción de insumos

- **Calcha de maíz:**

En el sector de la Estación Experimental Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se coordinó con el responsable de la estación, el Ing. Carlos Santos, para recolectar los residuos de maíz recién cortado (fresca post corte) directamente del campo de cultivo. Se recolectaron 900 kg de residuos, los cuales fueron trasladados al sitio de investigación para su procesamiento.

Debido a su alto contenido de fibra, los residuos de maíz no pudieron ser cortados en trozos más pequeños, por lo que se utilizó una picadora de martillo para cortarlos en trozos de 1 cm de largo. Este proceso de picado es importante para obtener una mezcla homogénea y facilitar la fermentación del bioensilaje.

- **Mezcla forrajera de alfalfa:**

Se recolectó en las instalaciones de la Estación Experimental Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo una mezcla forrajera de alfalfa recién cortada (fresca post corte), compuesta por 70% de alfalfa, 20% de pasto azul y 10% de llantén forrajero. En una cantidad de 300 kg luego de coordinar con el responsable de la Estación Experimental Tunshi el Ing. Carlos Santos.

La mezcla fue trasladada al lugar de investigación para ser picada con una picadora de martillo en trozos de 1 cm de largo. Debido a su estado fibroso, no se pudo cortar en trozos más pequeños.

- **Lactosuero**

Se adquirió 60 litros de la Estación Experimental Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- **Melaza**

Se adquirió 30 litros de melaza en el mercado de Oriental del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo- Ecuador. Cabe indicar que se agregó 10 litros de agua al formar el inoculante.

En el momento del procesamiento del bioensilaje, se realizó la mezcla en un depósito muy particular donde se incorporó 30% de melaza, 10% de agua y 60% de lactosuero, logrando que se mezcle todo por movimientos físico hasta formar el inoculo.

3.6.3.3. *Elaboración de mezcla de sustratos e insumos*

- **Los sustratos**

Con la extensión de manta gigante de plástico se procedió a pesar por tratamiento las cantidades de calcha de maíz y alfalfa previamente picados. Para luego ser mezclados de forma manual como se observa en la figura 12.



Ilustración 5-3: Calcha de Maíz y Alfalfa picada.

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

- **Los insumos**

Previamente en un balde ya se encontraba el inoculo preparado de melaza, agua y lactosuero, como se observa en la ilustración 13-3.



Ilustración 6-3: Preparación e inoculo final.

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

- **Mezcla por tratamiento**

Se llevaron a cabo 4 mezclas diferentes de acuerdo a los tratamientos de los sustratos. Posteriormente, se pesaron los insumos y se mezclaron hasta lograr su homogeneización física. Luego, se envasaron en bolsas herméticamente selladas y se etiquetaron para su identificación y posterior proceso de evaluación.

El proceso consistió en mezclar la calcha de maíz ya picada, la alfalfa ya picada y el inoculante. Hasta lograr una sola masa homogénea, tal como se puede observar en la ilustración 14-3.



Ilustración 7-3: Preparación de los insumos para la homogenización del bioensilaje, almacenamiento y etiquetado.

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

3.6.3.4. *Lectura de temperatura*

Se registró la temperatura ambiente diariamente durante los 85 días de trabajo de investigación, desde el 6 de julio del 2022 hasta el 28 de septiembre del 2022. La temperatura presentó un rango entre 20 °C y 25 °C, con un pico mínimo de 1,8 °C y un máximo de 24,8 °C, según se observa en la figura 15 de la Estación Agrometeorológica Tunshi, ubicada en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo-Ecuador.

La estación se encuentra geográficamente ubicada en los puntos de referencia UTM Zona 17S Datum WGS 84 X=57782,7; Y=17751,3 y a una altitud de 2850 msnm.

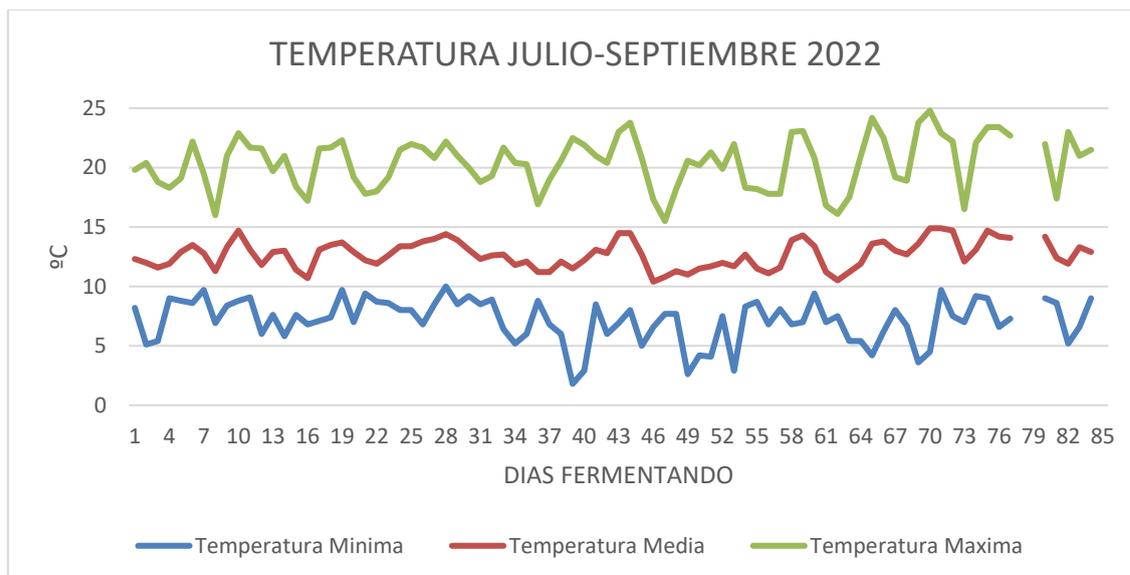


Ilustración 8-3: Temperatura máxima, media y mínima para los 85 días de fermentación del bioensilaje.

Fuente: Estación Agrometeorológica Tunshi, 2022.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

3.6.4. Cosecha del bioensilaje

Se recolectaron las muestras de bioensilaje al cumplirse los 85 días de investigación. Se tomó una muestra al azar de tres bolsas por tratamiento. Estas muestras fueron llevadas al Laboratorio de Investigación, ubicado en el segundo piso del edificio de investigación de la Facultad de Ciencias, para realizar los análisis bromatológicos.

Sin embargo, el análisis de proteína bruta se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, para conocer los aportes nutricionales del producto final.

3.6.5. Análisis de las características bromatológicas del bioensilaje en laboratorio

3.6.5.1. Determinación de pH

- 1) Mezclar la muestra tomada para homogeneizarla y obtener una muestra uniforme, pesar 5 gr de la muestra.
- 2) Para preparar la muestra, se debe tomar una cantidad adecuada de ensilaje y agregar agua destilada en una proporción de 1:1 (una parte de bioensilaje y una parte de agua destilada) en un recipiente limpio y seco.
- 3) Mezclar la muestra de bioensilaje y 5 mL de agua destilada durante unos minutos hasta que

la muestra esté homogénea.

- 4) Encender el pH metro y calibrarlo. Sumergir el electrodo del pH metro en la muestra y esperar a que la lectura se estabilice.

3.6.5.2. *Determinación de materia seca y humedad: Método de desecación en estufa de aire caliente*

- 1) Para iniciar el proceso se debe tarar las cápsulas de porcelana, colocando las cápsulas en la estufa a 105 °C por 30 minutos, sacarlas y ponerlas en el desecador por 20 minutos.
- 2) Pesar de 1 a 10 g de muestra en un vidrio reloj o directamente en la capsula de porcelana previamente tarada y repartir la muestra uniformemente de la base.
- 3) Colocar en la estufa a 105 °C por un lapso de 2h.
- 4) Enfriar en el desecador hasta temperatura ambiente y pesar.

Cálculos

$$SS(\%) = \frac{m_2 - m}{m_1 - m} \times 100$$

En donde:

SS= sustancia seca en porcentaje de masa

m= masa de la cápsula en g

m₁= masa de la cápsula con la muestra en g

m₂= masa de la cápsula con la muestra después del calentamiento en g

%Humedad= 100 - %SS

3.6.5.3. *Determinación de cenizas: Método de incineración en mufla*

- 1) Colocar la cápsula con la muestra seca resultado de la determinación de humedad en un mechero y en Sorbona, para calcinar hasta ausencia de humos.
- 2) Transferir la cápsula a la mufla e incinerar a 500 °C por 3 horas.
- 3) Sacar la cápsula y colocar en el desecador, enfriar y pesar.

Cálculos

$$C(\%) = \frac{m_1 - m}{m_2 - m} \times 100$$

En donde:

C= contenido de cenizas en porcentaje de masa

m= masa de la cápsula en g

m₁= masa de la cápsula con la muestra después de la incineración en g

m₂= masa de la cápsula con la muestra antes de la incineración en g

3.6.5.4. *Determinación de grasa cruda: Método Soxhlet*

- 1) Pesar de 1 a 2 g de muestra seca y colocar en un capuchón elaborado con papel filtro.
- 2) Colocar el capuchón con la muestra en la cámara de sifonación.
- 3) El balón previamente tarado (se debe registrar su peso), adicionar 250 mL de hexano o la cantidad adecuada dependiendo del volumen del tubo de extracción soxhlet que se utilice.
- 4) Embonar la cámara de sifonación al balón.
- 5) Colocar el condensado con las mangueras sobre la cámara de sifonación.
- 6) Encender el reverbero y extraer por 2 a 4 horas.
- 7) Al terminar, retirar el balón con el solvente más el extracto graso y destilar el solvente en un rotavapor.
- 8) El balón con la grasa cruda coloca en la estufa por media hora, enfriar en desecador y pesar.

Cálculos

$$G(\%) = \frac{P_1 - P}{m} \times 100$$

En donde:

G= grasa cruda en muestra seca expresado en porcentaje de masa

P₁= masa del balón más la grasa cruda extraída en g

P= masa del balón de extracción vacío en g

m= masa de la muestra seca tomada para la determinación en g

3.6.5.5. *Determinación de fibra: Método de Weede*

- 1) Pesar de 1 a 1,5 g de muestra en un crisol poroso previamente tarado.

- 2) Introducir los crisoles en el Dosi-Fiber.
- 3) Asegurarse de que las válvulas se encuentren en posición cerrado.
- 4) Añadir 100 a 150 mL de la solución de H₂SO₄ al 0,128M en cada columna.
- 5) Abrir el circuito de refrigeración y activar las resistencias calefactoras (Potencia 90%).
- 6) Esperar a que hierva y reducir la potencias al 30% y dejar hervir durante 1 hora.
- 7) Abrir el circuito de vacío y poner los mandos de las válvulas en posición Absorción. Lavar con agua destilada repetir este proceso 3 veces.
- 8) Repetir los pasos del 3 al 7 pero utilizando la solución de KOH al 0,223M.
- 9) Poner las muestras a secar en la estufa a 150 °C durante 1 hora.
- 10) Dejar enfriar en el desecador.
- 11) Pesar el crisol más el residuo desecado en la estufa.
- 12) Incinerar la muestra del crisol en la mufla a 500 °C durante un mínimo 3h.
- 13) Dejar enfriar en el desecador.
- 14) Pesar el crisol más el residuo incinerado en la mufla.

Cálculos

$$F(\%) = \frac{P_1 - P}{m} \times 100$$

En donde:

F= fibra cruda en muestra seca expresado en porcentaje de masa

P₁= masa del crisol más el residuo desecado en la estufa en g

P= masa del crisola más las cenizas después de la incineración en mufla en g

m= masa de la muestra seca y desengrasada tomada para la determinación en g

3.6.5.6. *Determinación de proteína cruda: Método de MacroKjeldhal*

- 1) Pesar de 1 a 1,5 g muestra seca e introducirla en el balón de digestión macroKjeldhal.
- 2) Añadir 10 g de la mezcla catalizadora (8 g de K₂SO₄ y 2 g de CuSO₄), 25 mL de ácido sulfúrico concentrado.
- 3) Colocar los balones el digestor, encender el digestor y la bomba de agua.
- 4) Retirar el tubo del digestor cuando el contenido del mismo tome una coloración verde y dejar enfriar.
- 5) Una vez frío adicionar 250 mL de solución de hidróxido de sodio al 50 %, y colocar un pedazo de granalla de zinc.

- 6) Colocar el balón en la parte del destilador. En la parte inferior del destilador colocar un vaso de precipitación con 150 mL de ácido bórico al 3% y dejar destilar hasta que aumente el contenido del vaso de precipitación a 200 mL.
- 7) Colocar dos gotas del indicador mixto de rojo de metileno y verde de bromocresol, se observará un color verde esmeralda.
- 8) Titular con HCl 0,1 N hasta observar un rojo pálido.

Cálculos

$$P(\%) = 1,4 \times f \times V \times \frac{N}{m}$$

En donde:

P=proteína cruda en muestra seca expresado en porcentaje de masa

f=factor para transformar el %N₂ en proteína (se usó 6,25 que es el valor de f para los alimentos)

V= volumen de HCl 0,1 N empleado para titular la muestra en mL

N=normalidad del HCl

m=masa en gramos de la muestra

3.6.5.7. *Carbohidratos consumibles*

Se obtiene como resultado de restar de 100 los porcentajes calculados para cada nutriente.

$$C.C(\%) = 100 - \sum(\%C + \%F + \%G + \%P)$$

En donde:

C.C= carbohidratos consumibles en muestra seca expresado en porcentaje de masa

C= contenido de cenizas en porcentaje de masa

F= fibra cruda en muestra seca expresado en porcentaje de masa

G= grasa cruda en muestra seca expresado en porcentaje de masa

P= proteína cruda en muestra seca expresado en porcentaje de masa

3.6.6. *Análisis estadístico e interpretación de los datos*

El modelo estadístico a utilizar en este estudio será un DBCA (Diseño de Bloques Completamente

al Azar). Este tipo de diseño es apropiado cuando se sabe que no hay fuentes de variación fuera de los efectos de los tratamientos. En muchos casos, se sabe de antemano que ciertas unidades experimentales, si se tratan de manera similar, se comportarán de manera diferente.

Los datos obtenidos al momento de realizar los análisis de laboratorio fueron procesados en el software Infostat (versión 2020) para el análisis de varianza, utilizando un modelo univariante (ANOVA al 95% de confiabilidad) y la prueba de Duncan.

El modelo matemático del diseño experimental es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Y_{ij} = observación en la unidad experimental

μ = parámetro efecto medio

T_i = el efecto de i-ésimo tratamiento

B_j = parámetro del efecto de j-ésimo bloque

E_{ij} = es el efecto del error experimental

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados

Tabla 1-4: Análisis bromatológico pH

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO (pH)				
BLOQUE	T1 (0:5)	T2 (5:1)	T3 (2:1)	T4 (1:1)
I	3,91	4,00	3,88	4,09
II	3,79	3,92	4,02	4,02
III	3,98	4,17	4,05	4,13
TOTAL	11,68	12,09	11,95	12,24
PROMEDIO	3,89	4,03	3,98	4,08

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

Tabla 2-4: Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico pH

F de V	G.L	S.C	C.M	p-valor
BLOCKS	2	0,05	0,02	0,0514
TTOS	3	0,06	0,02	0,0657
ERROR	6	0,03	0,006	
TOTAL	11	0,14	0,046	
C.V=1,69				R ² =0,80

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

F de V = Fuente de Variabilidad

G.L = Grado de Libertad

S.C = Suma de Cuadrados

C.M = Cuadrado Medio

p-valor = El valor de p nos indica la importancia del resultado

C.V = Coeficiente de Variación

En la Tabla 11-4 se puede observar la evaluación del análisis bromatológico (pH) para cada uno de los tratamientos del estudio. Al realizar el análisis de varianza ANOVA para esta prueba, se puede observar que no hubo diferencias significativas entre los bloques en estudio, ni entre los tratamientos, ya que en ambos casos $p > 0,05$. Esto nos indica que no hay una diferencia significativa entre la adición o no de alfalfa en este análisis. Además, el coeficiente de variación (C.V) es menor a 30, lo que indica que los datos de la muestra son relativamente homogéneos y, por lo tanto, la media es representativa.

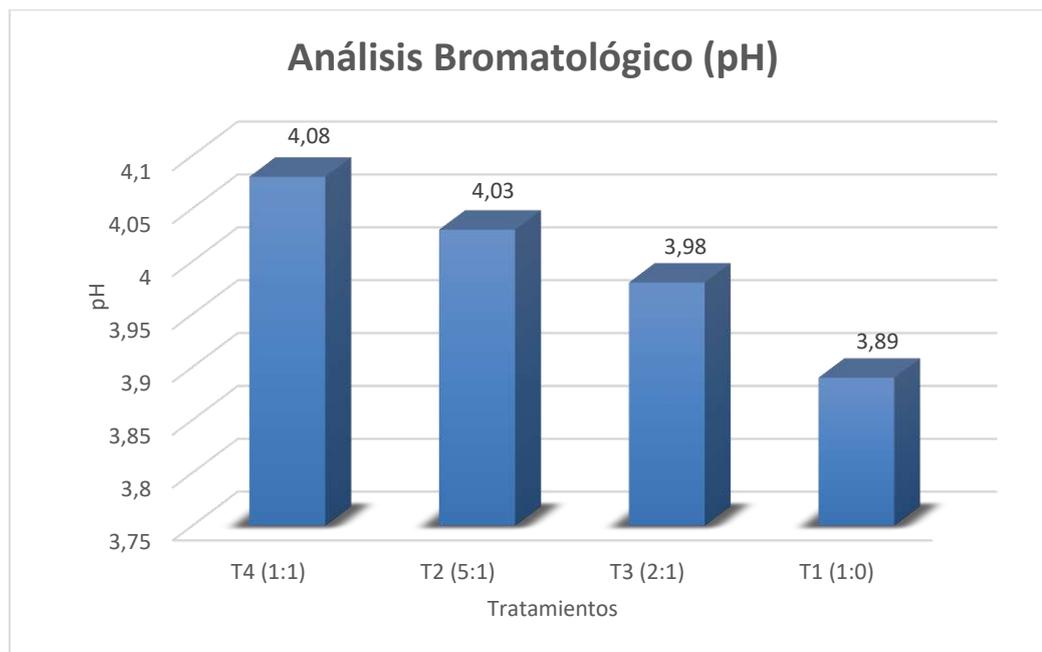


Ilustración 1-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico pH

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la Ilustración 16-4 se muestra la prueba de DUNCAN (0,05) para la evaluación del pH, donde podemos observar que no hay una diferencia significativa entre los valores de las medias de los tratamientos. Sin embargo, numéricamente, el tratamiento que arrojó el valor más alto de materia seca fue el T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa), con un valor de pH de 4,08. Le siguen el T2 (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa) con un pH de 4,03, y el T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa) con un pH de 3,98. Por otro lado, el tratamiento que arrojó el valor más bajo fue el T1 (100% de calcha de maíz y 0% de alfalfa), con un pH de 3,89.

En conclusión, aunque no existen diferencias significativas en los valores medios, los tratamientos con mayor cantidad de alfalfa tienden a tener un pH ligeramente más alto que los que tienen menos o ninguna alfalfa.

Tabla 3-4: Análisis bromatológico materia seca

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO (MATERIA SECA)				
BLOQUE	T1 (0:5)	T2 (5:1)	T3 (2:1)	T4 (1:1)
I	16,37	17,44	17,37	17,82
II	17,16	17,97	18,26	18,49
III	16,13	15,25	17,48	15,29
TOTAL	49,66	50,65	53,11	51,61
PROMEDIO	16,55	16,88	17,70	17,20

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

Tabla 4-4: Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico materia seca

F de V	G.L	S.C	C.M	p-valor
BLOCKS	2	7,65	3,83	0,0269
TTOS	3	2,16	0,72	0,353
ERROR	6	3,27	0,55	
TOTAL	11	13,08	5,1	
C.V= 4,32				R²=0,75

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la tabla 13-4 se puede observar que, para la evaluación del análisis bromatológico de materia seca en cada uno de los tratamientos de estudio, el análisis de varianza ANOVA no mostró una diferencia significativa entre ellos ($p > 0,05$). Sin embargo, se observó una diferencia altamente significativa (0,05 - 0,01) entre los bloques (repeticiones) en estudio. El coeficiente de variación (C.V) < 30 indica que los datos de la muestra son relativamente homogéneos, por lo que la media es representativa.

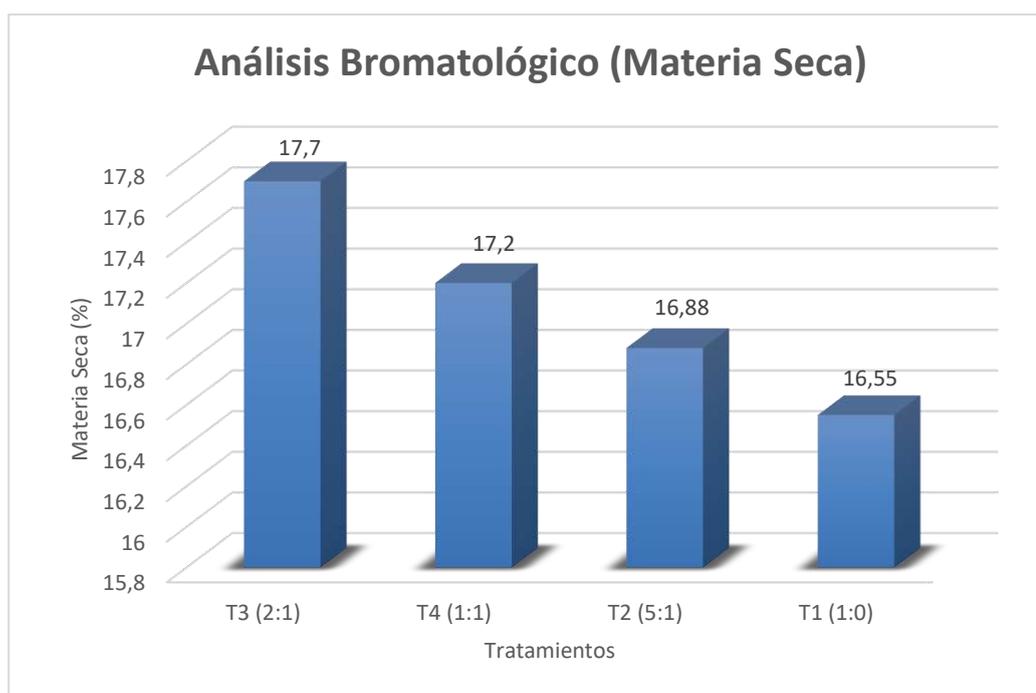


Ilustración 2-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico Materia Seca

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la Ilustración 17-4 se muestra la prueba de DUNCAN (0,05) para la evaluación del contenido de Materia Seca. Se observa que no existe una diferencia significativa entre los valores de las medias de los tratamientos. Sin embargo, numéricamente, el tratamiento que arrojó el valor más alto de materia seca fue el T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa) con un valor de 17,70% de materia seca, seguido de los tratamientos T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa)

con un valor de 17,20% de materia seca y T2 (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa) con un % de materia seca de 16,88%. El tratamiento que arrojó el valor más bajo fue el T1 (100% de calcha de maíz y 0% de alfalfa) con 16,55% de materia seca.

Tabla 5-4: Análisis bromatológico % de humedad

Análisis Bromatológico (% humedad)				
Bloque	T1 (0:5)	T2 (5:1)	T3 (2:1)	T4 (1:1)
I	83,63	82,56	82,63	82,18
II	82,84	82,03	81,74	81,51
III	83,87	84,75	82,52	84,71
TOTAL	250,34	249,35	246,89	248,39
PROMEDIO	83,45	83,12	82,30	82,80

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

Tabla 6-4: Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico % de humedad

F de V	G.L	S.C	C.M	p-valor
BLOCKS	2	7,66	3,83	0,0269
TTOS	3	2,16	0,72	0,3529
ERROR	6	3,27	0,55	
TOTAL	11	13,09	5,1	
C.V= 0,89				R²=0,75

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la Tabla 15-4 se puede observar la evaluación del análisis bromatológico del porcentaje de humedad en cada uno de los tratamientos de estudio. Mediante el análisis de varianza ANOVA para dicha prueba, se puede observar que entre los tratamientos de estudio no hubo una diferencia significativa, ya que $p > 0,05$. Sin embargo, entre los bloques (repeticiones) en estudio, sí se muestra una diferencia altamente significativa (0,05 – 0,01). El coeficiente de variación (C.V) es menor que 30, lo que indica que los datos de la muestra son relativamente homogéneos y la media es representativa.

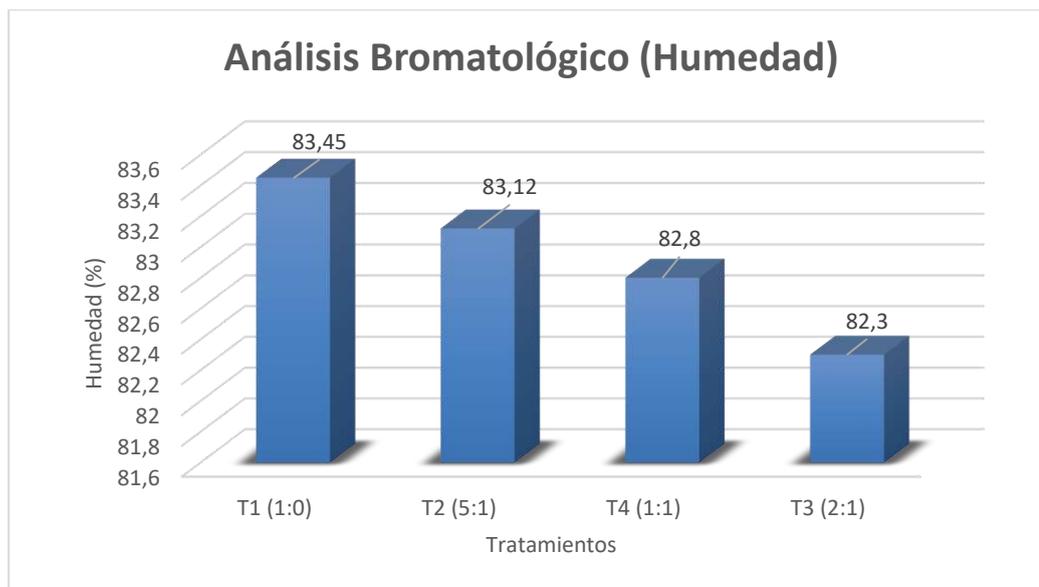


Ilustración 3-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico % humedad

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la Ilustración 18-4 se muestra la prueba de DUNCAN (0,05) para la evaluación del contenido de humedad en los tratamientos de estudio. Se puede observar que no existe diferencia significativa entre los valores de las medias de los tratamientos ($p > 0,05$). Sin embargo, numéricamente se puede observar que el tratamiento T1 (100% de calcha de maíz y 0% de alfalfa) arrojó el valor más alto de humedad con un valor de 83,45%, seguido de los tratamientos T2 (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa) con un valor de 83,12% y T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa) con un valor de 82,80% de humedad. El tratamiento que arrojó el valor más bajo fue el T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa) con un valor de 82,30% de humedad.

Tabla 7-4: Análisis bromatológico % de cenizas

Análisis Bromatológico (%ceniza)				
Bloque	T1 (0:5)	T2 (5:1)	T3 (2:1)	T4 (1:1)
I	2,72	2,14	3,33	2,08
II	3,21	2,11	2,33	2,36
III	2,41	2,15	2,03	2,37
TOTAL	8,34	6,41	7,69	6,81
PROMEDIO	2,78	2,14	2,56	2,27

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

Tabla 8-4: Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico % de ceniza

F de V	G.L	S.C	C.M	p-valor
BLOCKS	2	0,24	0,12	0,5433
TTOS	3	0,76	0,25	0,3244
ERROR	6	1,07	0,18	
TOTAL	11	2,07	0,55	
C.V= 17,30				R²=0,48

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la tabla 17-4 se presenta la evaluación del análisis bromatológico (% de ceniza) para cada uno de los tratamientos de estudio. El análisis de varianza ANOVA muestra que tanto los bloques como los tratamientos no presentan una diferencia significativa, ya que ambos tienen un valor de $p > 0,05$. Esto indica que no hay una diferencia entre la adición o no de alfalfa en relación al contenido de ceniza. El coeficiente de variación (C.V) es menor que 30, lo que sugiere que los datos de la muestra son relativamente homogéneos y que la media es representativa.

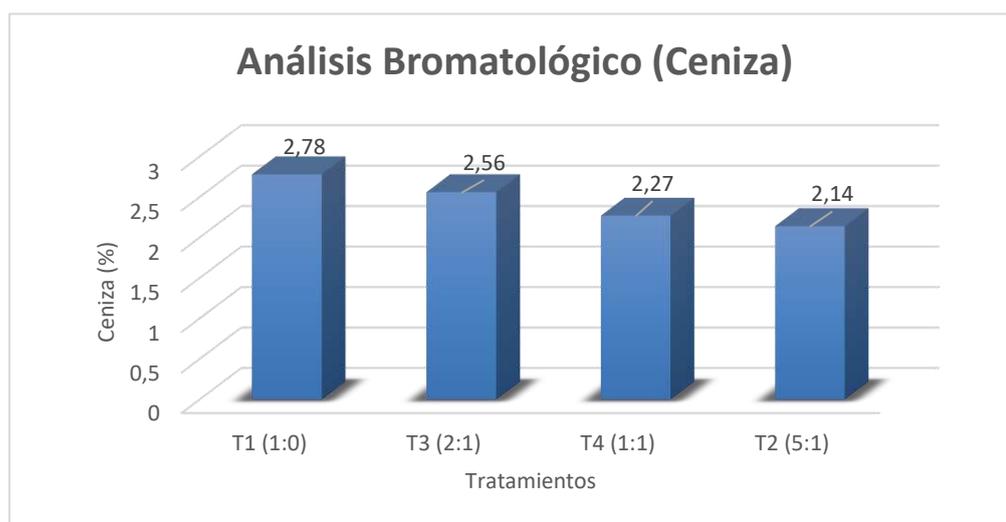


Ilustración 4-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico % ceniza

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la Ilustración 19-4 se presenta la prueba de DUNCAN (0,05) para la evaluación del contenido de ceniza en los diferentes tratamientos. Se puede observar que no hay una diferencia significativa entre los valores de las medias de los tratamientos ($p > 0,05$). Sin embargo, el tratamiento que tuvo el valor más alto de ceniza fue el T1 (100% de calcha de maíz y 0% de alfalfa) con un valor de 2,78%, seguido por el T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa) con un valor de 2,56% y el T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa) con un valor de 2,27%. El tratamiento que tuvo el valor más bajo fue el T2 (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa) con un valor de 2,14%. En resumen, aunque no hubo una diferencia significativa entre los tratamientos, el T1 y el T3

presentaron los valores más altos de ceniza y el T2 presentó el valor más bajo.

Tabla 9-4: Análisis bromatológico % de grasa

Análisis Bromatológico (% grasa)				
Bloque	T1 (0:5)	T2 (5:1)	T3 (2:1)	T4 (1:1)
I	5,49	2,50	2,15	2,17
II	5,65	2,15	2,48	2,15
III	5,49	2,93	2,96	2,07
TOTAL	16,62	7,58	7,59	6,39
PROMEDIO	5,54	2,53	2,53	2,13

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

Tabla 10-4: Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico % de grasa

F de V	G.L	S.C	C.M	p-valor
BLOCKS	2	0,26	0,13	0,2813
TTOS	3	23,07	7,69	<0,0001
ERROR	6	0,5	0,08	
TOTAL	11	23,83	7,9	
C.V= 9,16				R²=0,98

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la tabla 19-4 se muestra la evaluación del análisis bromatológico para el porcentaje de grasa en cada uno de los tratamientos de estudio. Mediante el análisis de varianza ANOVA, se observa que existen diferencias significativas entre los tratamientos de estudio, con un valor de $p < 0,05$. También se encontró una diferencia altamente significativa (0,05-0,01) entre los bloques (repeticiones) en estudio. El coeficiente de variación (C.V) < 30 indica que los datos de la muestra son relativamente homogéneos, lo que sugiere que la media es representativa.

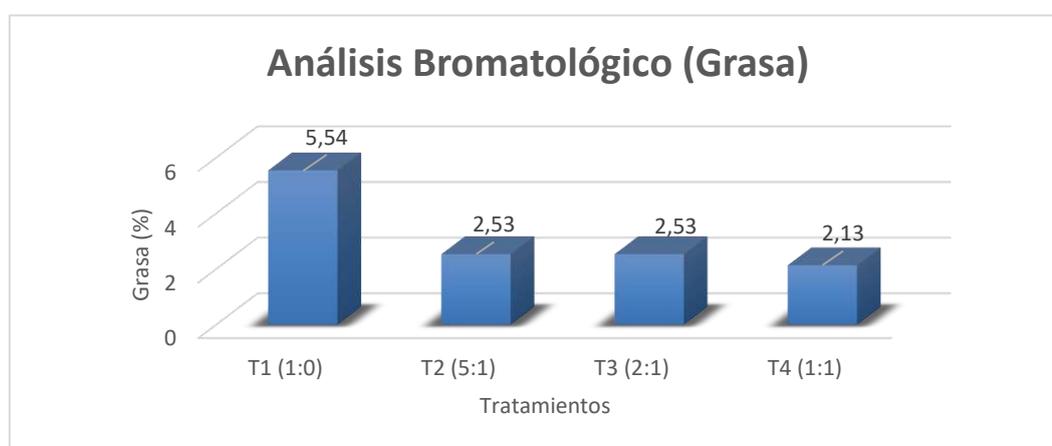


Ilustración 5-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico % de grasa

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la Ilustración 20-4 se presenta la prueba de DUNCAN (0,05) para evaluar el contenido de grasa en diferentes tratamientos. Se observa una diferencia significativa entre los valores medios de los tratamientos. El tratamiento T1, que consistió en 100% de calcha de maíz y 0% de alfalfa, tuvo el valor más alto de grasa con un 5,54%.

Aunque los tratamientos restantes no presentaron diferencias significativas entre sí, numéricamente, el tratamiento T2 (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa) tuvo el segundo valor más alto de grasa con un 2,53%, seguido por el tratamiento T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa) también con un 2,53%. El tratamiento T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa) arrojó el valor más bajo con un 2,13% de grasa.

Tabla 11-4: Análisis bromatológico % de fibra

Análisis Bromatológico (% fibra)				
Bloque	T1 (0:5)	T2 (5:1)	T3 (2:1)	T4 (1:1)
I	62,58	53,58	51,15	52,44
II	66,90	62,95	51,70	46,89
III	61,72	68,20	46,38	45,08
TOTAL	191,20	184,73	149,22	144,41
PROMEDIO	63,73	61,58	49,74	48,14

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

Tabla 12-4: Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico % de fibra

F de V	G.L	S.C	C.M	p-valor
BLOCKS	2	40,67	5,33	0,8249
TTOS	3	575,15	191,72	0,0209
ERROR	6	160,98	26,83	
TOTAL	11	776,8	223,88	
C.V= 9,28				R²=0,80

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la Tabla 21-4 se presenta la evaluación del análisis bromatológico (% de fibra) en cada uno de los tratamientos de estudio. Mediante el análisis de varianza ANOVA, se pudo observar que no hubo diferencias significativas entre los bloques (repeticiones) de estudio, ya que el valor de p fue mayor que 0,05. Sin embargo, en los tratamientos en estudio, sí se encontró una diferencia altamente significativa (0,05-0,01).

El coeficiente de variación (C.V) fue menor a 30, lo que indica que los datos de la muestra son relativamente homogéneos y, por lo tanto, la media es representativa.

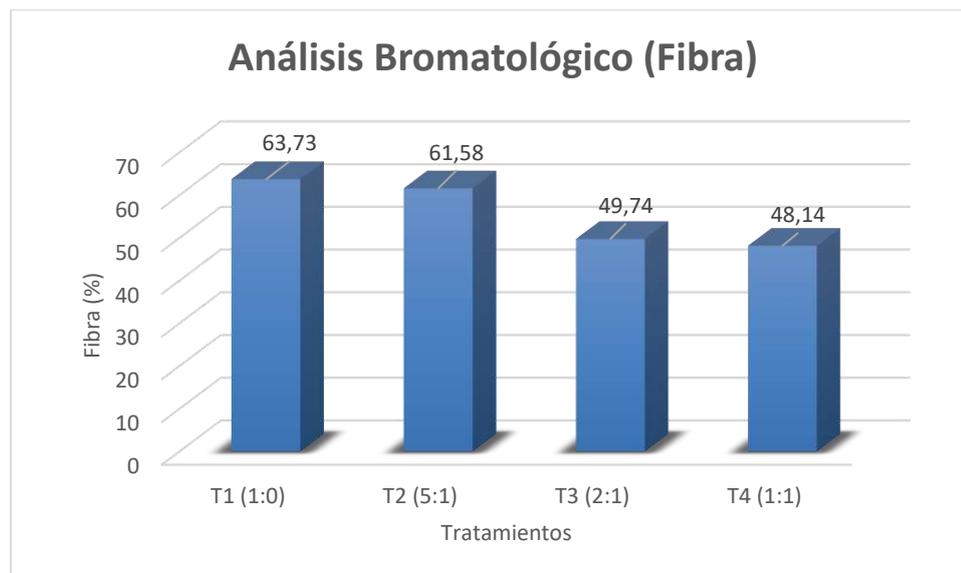


Ilustración 6-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico % de fibra

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la Ilustración 21-4 se presenta la prueba de DUNCAN (0,05) para evaluar el contenido de fibra en diferentes tratamientos. Se observa una diferencia significativa entre los valores medios de los tratamientos. Los tratamientos T1 (100% de calcha de maíz y 0% de alfalfa) y T2 (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa) tuvieron el contenido más alto de fibra, con un 63,73% y un 61,58%, respectivamente. Estos tratamientos no presentaron diferencias significativas entre sí, pero sí hubo una diferencia significativa con respecto a los tratamientos que tenían valores más bajos de fibra.

Los tratamientos T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa) y T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa) tuvieron el contenido más bajo de fibra, con un 49,74% y un 48,14%, respectivamente. A nivel numérico, el tratamiento T1 tuvo el valor más alto de fibra, con un 63,73%, mientras que el tratamiento T4 tuvo el valor más bajo, con un 48,14%.

Tabla 13-4: Análisis bromatológico % de proteína

Análisis Bromatológico (% proteína)				
Bloque	T1 (0:5)	T2 (5:1)	T3 (2:1)	T4 (1:1)
I	3,92	6,24	10,39	8,98
II	4,80	6,56	9,63	10,62
III	4,36	6,21	10,45	9,97
TOTAL	13,08	19,01	30,47	29,57
PROMEDIO	4,36	6,34	10,16	9,86

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

Tabla 14-4: Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico % de proteína

F DE V	G.L	S.C	C.M	p-valor
BLOCKS	2	0,57	0,29	0,4151
TTOS	3	71,1	23,7	<0,0001
ERROR	6	1,67	0,28	
TOTAL	11	73,34		

C.V=6,88 R2=0,98

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la Tabla 23-4 se presenta la evaluación del análisis bromatológico (% de proteína) para cada uno de los tratamientos de estudio. Observamos mediante el análisis de varianza ANOVA que no hay diferencia significativa entre los bloques (repeticiones) de estudio, ya que $p > 0,05$. Por otro lado, se puede apreciar una diferencia altamente significativa ($p < 0,0001$) entre los tratamientos de estudio. El coeficiente de variación (C.V) < 30 indica que los datos de la muestra son relativamente homogéneos, por lo que la media es significativa.

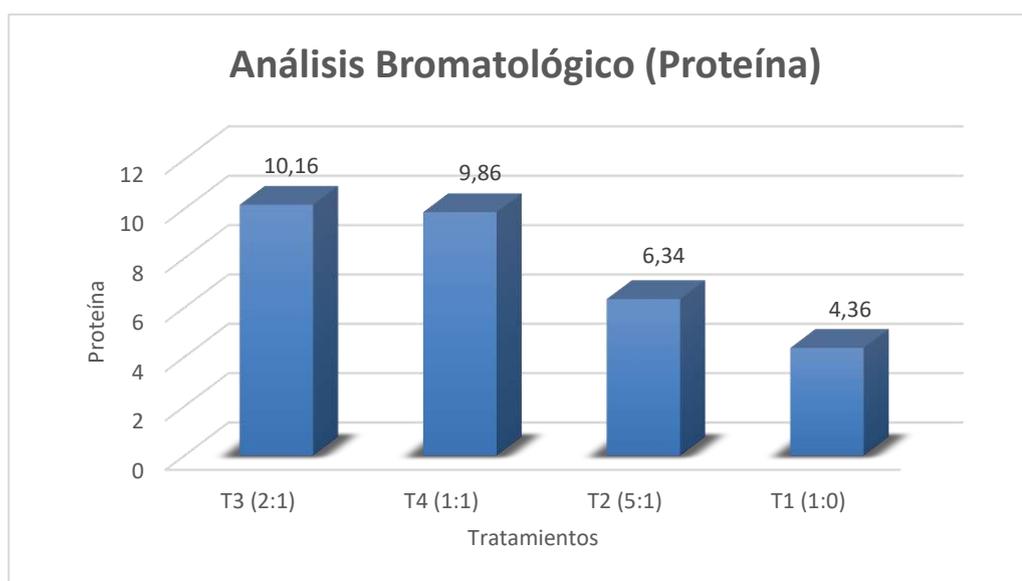


Ilustración 7-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico % de proteína

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la Ilustración 22-4 se muestra la prueba de DUNCAN (0,05) para evaluar el contenido de proteína y determinar si existen diferencias significativas entre los valores de las medidas de los tratamientos. Se observa que los tratamientos T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa) y T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa) tienen el contenido más alto de proteína con un 10,16% y 9,86% respectivamente. Estos tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, pero sí tienen diferencias significativas con los tratamientos que tienen valores más bajos, es decir, los tratamientos T2 (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa) y T1 (100% de calcha

de maíz y 0% de alfalfa) con un contenido más bajo de proteínas del 6,34% y 4,36% respectivamente. Es importante destacar que entre estos tratamientos existe una diferencia significativa.

A nivel numérico, se puede observar que el tratamiento T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa) tiene el valor más alto de proteína con un 10,16%, mientras que el tratamiento T1 (100% de calcha de maíz y 0% de alfalfa) arrojó el valor más bajo con un 4,36% de proteína.

Tabla 15-4: Análisis bromatológico % de carbohidratos consumibles

ANÁLISIS BROMATOLÓGICO (% CARBOHIDRATOS CONSUMIBLES)

BLOQUE	T1 (0:5)	T2 (5:1)	T3 (2:1)	T4 (1:1)
I	25,29	35,53	32,98	34,32
II	19,44	26,23	33,87	37,98
III	26,03	20,50	38,18	40,51
TOTAL	70,76	82,26	105,03	112,81
PROMEDIO	23,59	27,42	35,01	37,60

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

Tabla 16-4: Análisis de varianza (ANOVA): análisis bromatológico % de carbohidratos consumibles

F DE V	G.L	S.C	C.M	p-valor
BLOCKS	2	15,01	7,5	0,7654
TTOS	3	382,27	127,42	0,0502
ERROR	6	160,98	26,83	
TOTAL	11	558,25		
		16,76		R2=0,71

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la Tabla 25-4 se presentó la evaluación del análisis bromatológico de carbohidratos consumibles para cada uno de los tratamientos de estudio. Mediante el análisis de varianza ANOVA se observó que no hubo diferencias significativas en los bloques de estudio (repeticiones), con un valor $p > 0,05$. Sin embargo, en los tratamientos de estudio se pudo observar una diferencia significativa con un valor $p = 0,05$. El coeficiente de variación (C.V) < 30 indica que los datos de la muestra son relativamente homogéneos, por lo que la media es representativa.

Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico % de carbohidratos consumibles

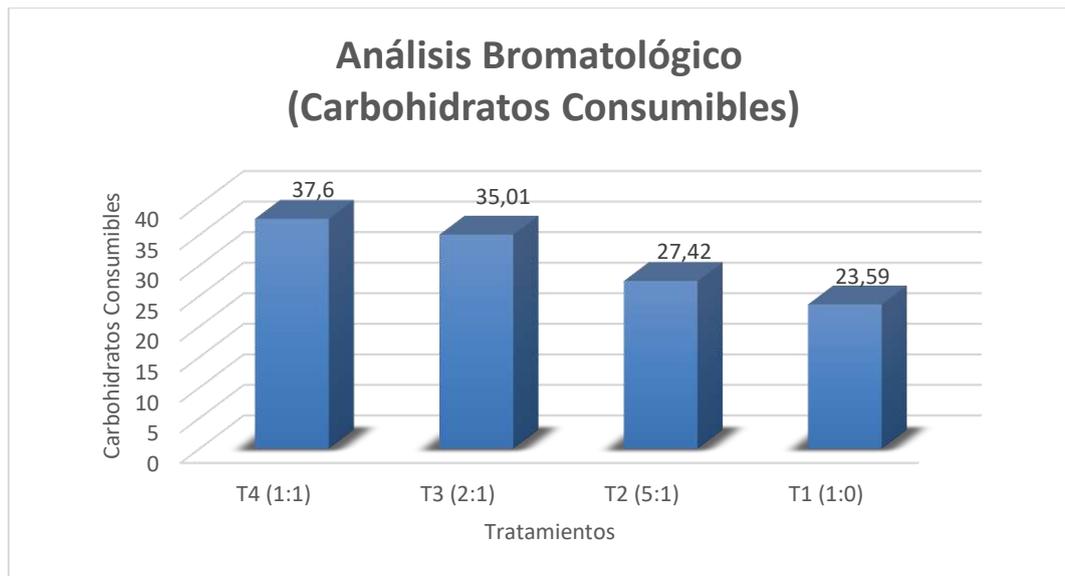


Ilustración 8-4: Prueba de Duncan: Análisis Bromatológico % de carbohidratos consumibles

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la Ilustración 23-4 se muestra la prueba de DUNCAN (0,05) para evaluar el contenido de Carbohidratos Consumibles en los diferentes tratamientos. Podemos observar que existen diferencias significativas entre los valores de las medidas de los tratamientos. Los tratamientos T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa) presentan el contenido más alto de carbohidratos consumibles, con 37,6% y 35,01% respectivamente.

Estos tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, pero sí presentan diferencias con los tratamientos que tienen valores más bajos: T2 (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa) y T1 (100% de calcha de maíz y 0 % de alfalfa), que tienen un contenido más bajo de carbohidratos consumibles de 27,42 y 23,59, respectivamente.

Es importante mencionar que el valor numérico más alto de carbohidratos consumibles lo presenta el tratamiento T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa), con un valor de 37,6. En contraste, el tratamiento que arrojó el valor más bajo es el T1 (100% de calcha de maíz y 0 % de alfalfa) con 23,59% de carbohidratos consumibles.

Tabla 17-4: Resultados de los análisis bromatológicos para cada repetición de los diferentes tratamientos de bioensilaje producidos

Tratamiento	Repetición	pH	%Humedad	%Ceniza	%Grasa	%Fibra	%Proteína	%Carbohidratos consumibles
T1 (0:5)	T1.1	3,91	83,63	2,72	5,49	62,58	3,92	25,29
	T1.2	3,79	82,84	3,21	5,65	66,90	4,80	19,44
	T1.3	3,98	83,87	2,41	5,49	61,72	4,36	26,03
T2 (5:1)	T2.1	4,00	82,56	2,14	2,50	53,58	6,24	35,53
	T2.2	3,92	82,03	2,11	2,15	62,95	6,56	26,23
	T2.3	4,17	84,75	2,15	2,93	68,20	6,21	20,50
T3 (2:1)	T3.1	3,88	82,63	3,33	2,15	51,15	10,39	32,98
	T3.2	4,02	81,74	2,33	2,48	51,70	9,63	33,87
	T3.3	4,05	82,52	2,03	2,96	46,38	10,45	38,18
T4 (1:1)	T4.1	4,09	82,18	2,08	2,17	52,44	8,98	34,32
	T4.2	4,02	81,51	2,36	2,15	46,89	10,62	37,98
	T4.3	4,13	84,71	2,37	2,07	45,08	9,97	40,51

Fuente: Elaboración propia.

Realizado por: Muñoz, J, 2023.

En la Tabla 25-4 se presentan los resultados de los análisis bromatológicos de las diferentes repeticiones de los tratamientos de bioensilaje. Los criterios principales para determinar la calidad nutricional del bioensilaje fueron el porcentaje de fibras, proteínas y carbohidratos consumibles, siendo la proteína el parámetro más importante. Se puede observar que las repeticiones del tratamiento T3 tienen el contenido más alto de proteínas y también valores adecuados de fibras y carbohidratos consumibles, lo que indica que es un bioensilaje de calidad.

Es destacable que el tratamiento T3 contiene más del doble de proteína que el tratamiento T1, el cual consiste únicamente en calcha de maíz. Por lo tanto, es posible afirmar que la adición de alfalfa a la mezcla forrajera de calcha de maíz aumenta significativamente la cantidad de proteína cruda presente.

4.2. Discusión

En relación al pH en el bioensilaje de calcha de maíz con una mezcla forrajera de alfalfa y una fermentación de 85 días, se realizó un análisis estadístico en los tratamientos T1, T2, T3 y T4 con un coeficiente de determinación ($R^2=0,80$). Los resultados demostraron que no existen diferencias significativas según la probabilidad ($P>0,05$). Por lo tanto, se concluyó que la aplicación del inoculante (compuesto por 60% de lactosuero, 30% de melaza y 10% de agua) proporciona un pH adecuado para el desarrollo y conservación de bacterias ácido lácticas en silos.

Estos valores de pH coinciden con lo reportado por McDonald et al. (1991), donde se indica que los pH óptimos para el desarrollo de bacterias lácticas oscilan entre 3 y 4 en condiciones anaeróbicas,

donde las bacterias fermentan los azúcares para producir ácido láctico. En un estudio publicado en 2020 en la revista *Bioresource Technology*, MA, Xuguang, et al. informaron que el pH óptimo para ensilajes de residuos de maíz destinados a la producción de biogás se encuentra entre 4,0 y 4,5, lo que coincide con los valores reportados por Chen, G., Liu, Z. y Su, H. en un artículo de 2020 publicado en la revista *Energies*.

Los análisis estadísticos realizados para evaluar el % de materia seca en los diferentes tratamientos en estudio mostraron un coeficiente de determinación ($R^2=0,75$) en los tratamientos T1, T2, T3, T4, sin diferencia significativa según la probabilidad ($P> 0,05$). Sin embargo, los valores obtenidos en esta investigación estuvieron por debajo de los valores recomendados en otros estudios como el de Kung et al. (2008) de 32,9-33,3%, Kleinschmit, Kung (2006) de 30,70% \pm 1,15 y en el año 2007, Tobía y su equipo encontraron que el contenido de materia seca de ensilajes de maíz sin inóculo fue de 24,5%.

Este resultado se puede explicar por el uso de materia fresca para el bioensilaje de calcha de maíz sin secado previo y por el método de ensilaje en bolsa utilizado, que no permite la salida de efluentes. Además, la toma de muestra homogénea incluyó tanto la parte superior como la inferior del material, lo que también puede haber influido en los resultados.

Según Boschini y Elizondo (2003), los porcentajes de materia seca obtenidos clasifican a estos materiales fermentados como ensilajes con humedad alta, lo que no favorece el consumo de materia seca en animales. El análisis de Duncan mostró que los tratamientos T3 y T4 presentaron los valores más altos de materia seca, con un 17,7% y 17,2% respectivamente. Sin embargo, estos valores no alcanzaron los niveles óptimos mencionados anteriormente, por lo que no se recomienda utilizarlos en dietas que busquen aumentar el consumo de materia seca.

Los análisis estadísticos realizados para evaluar el porcentaje de humedad en los diferentes tratamientos en estudio indicaron que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos T1, T2, T3 y T4, con un coeficiente de determinación de $R^2=0,75$. Sin embargo, mediante la prueba de Duncan, se observó que el tratamiento T1 (100% de calcha de maíz y 0% de alfalfa) arrojó el porcentaje más alto de humedad con un valor de 83,45%, seguido de los tratamientos T2 (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa) con un valor de 83,12% de humedad, y T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa) con un porcentaje de humedad del 82,80%. El tratamiento T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa) arrojó el valor más bajo de humedad con un 82,30%.

Según un estudio de Muck y Shinnors publicado en la revista *Grass and Forage Science* en 2021, la calidad del ensilaje de pasto mejoró significativamente cuando el porcentaje de humedad estaba

entre el 65% y el 70%. En contraste, un estudio de Ni y Zhong publicado en la misma revista en 2017 encontró que la calidad del ensilaje de maíz disminuyó cuando el porcentaje de humedad estaba por encima del 70%. En este estudio, el porcentaje de humedad en los tratamientos estudiados fue más alto que el óptimo debido a que se utilizó materia fresca al momento de realizar el bioensilaje.

Al analizar el contenido de cenizas en los bioensilajes producidos, se observa que no hay diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0,05$). Se encontró un coeficiente de determinación ($R^2 = 0,48$) y mediante la prueba de Duncan se determinó que el porcentaje de ceniza en los cuatro tratamientos oscila entre 2,14% y 2,78%.

Según Hoffman (2005), un contenido de cenizas superior al 10% en el ensilado de maíz indica contaminación del suelo en la muestra utilizada para el ensilaje. En este estudio, los valores obtenidos son adecuados y están por debajo de los resultados reportados por Sibanda et al. (1997), quienes encontraron un 5,2% de ceniza en un ensilaje de maíz mezclado con leguminosas (85% y 15%, respectivamente), y los valores reportados por McDonald (1991) y Johnson et al. (2002), quienes afirmaron que el contenido de ceniza en el ensilado de maíz con inóculo fue de 5,5% y 4,5-4,7%, respectivamente.

Sin embargo, los valores obtenidos son similares a los reportados por Kung et al. (2008), quienes encontraron un valor de 3,48-3,78% para el mismo material fermentado. Es importante tener en cuenta que variables como las diferencias entre cultivos, el tamaño del corte, el contenido de humedad y la adición de aditivos pueden afectar el contenido de ceniza en el material de ensilado (WingChing-Jones 2006).

Tras realizar los análisis estadísticos de los diferentes tratamientos en estudio para evaluar el % de grasa, se observó una diferencia altamente significativa entre los tratamientos según la probabilidad del ($P > 0,05$). El coeficiente de determinación obtenido fue de ($R^2 = 0,98$). El tratamiento T1 (compuesto al 100% de calcha de maíz y 0% de alfalfa) arrojó el porcentaje más alto de grasa, con un valor de 5,54%, siendo este resultado similar al citado por Pérez et al. (2012), quienes encontraron 4,31% de grasas en su ensilaje producido únicamente con maíz, debido al alto contenido de grasas que presenta el maíz.

El tratamiento T2 (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa) presentó un valor de 2,53% de grasa, seguido del tratamiento T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa) con el mismo valor de 2,53% de grasa. El tratamiento que arrojó el valor más bajo de grasa fue el T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa) con 2,13%. Se puede observar que el contenido de alfalfa reduce

significativamente el contenido de grasa en los tratamientos. Los valores de grasa obtenidos en estos tratamientos se encuentran dentro del rango mencionado como normal por Ríos et al. (2015), quienes mencionan que los valores óptimos de grasas se presentan dentro del 1% al 5%.

Por lo tanto, a excepción del tratamiento T1, que presenta un porcentaje de grasa del 5,54% que excede el rango óptimo, los demás tratamientos se encuentran dentro del porcentaje recomendado de contenido de grasas.

Al realizar los análisis estadísticos correspondientes para evaluar el porcentaje de fibra cruda en los diferentes tratamientos del estudio, se pudo determinar que existió una diferencia altamente significativa ($P > 0,05$) entre ellos, con un coeficiente de determinación de $R^2=0,80$. Los tratamientos T1 (100% de calcha de maíz y 0 % de alfalfa) y T2 (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa) obtuvieron los porcentajes más altos con 63,73% y 61,58%, respectivamente, y fueron estadísticamente iguales entre sí. Los tratamientos T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa) y T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa) arrojaron los valores más bajos con 49,74% y 48,14%, respectivamente, y también fueron estadísticamente iguales entre sí. Se pudo observar que a medida que se incrementa la cantidad de alfalfa, se produce una disminución en el porcentaje de fibra.

Diversos estudios han investigado la relación entre el porcentaje de fibra y la calidad del ensilaje. Por ejemplo, en 2017, Sabchuk et al. encontraron que un alto contenido de fibra en el ensilaje de maíz aumentó la digestibilidad de la proteína y redujo el contenido de nitrógeno amoniacal. Por otro lado, en 2019, Zhou et al. descubrieron que el contenido de fibra en el ensilaje de alfalfa afectó la digestibilidad de la fibra, el contenido de nitrógeno amoniacal y la producción de gas in vitro. En base a esto, se puede concluir que los tratamientos T1 y T2 presentan un mejor contenido de fibra en relación a los otros tratamientos evaluados.

Tras analizar estadísticamente los diferentes tratamientos estudiados para determinar el porcentaje de proteína bruta, se observó una diferencia altamente significativa ($P > 0,05$) entre los tratamientos, con un coeficiente de determinación ($R^2=0,98$). Los tratamientos T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa) y T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa) presentaron los porcentajes más altos de proteína, con un 10,16% y un 9,86%, respectivamente, y fueron estadísticamente muy similares. Por otro lado, los tratamientos T2 (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa) y T1 (100% de calcha de maíz y 0% de alfalfa) presentaron un menor porcentaje de proteína, con un 6,36% y un 4,36%, respectivamente. Es importante destacar que el tratamiento T1, compuesto por el 100% de calcha de maíz, presentó la menor cantidad de proteínas.

En la investigación realizada "Caracterización microbiológica, química y fermentativa del ensilaje de subproductos de la industria de la cerveza", publicado en la revista científica Ciencia y Tecnología Alimentaria en el año 2020, se menciona que el ensilaje de subproductos de la industria de la cerveza presentó un contenido proteico de 3,7% en base seca (Fernández-Muñoz et al., 2020).

En el estudio publicado por Firatli et al., en la revista científica Animal Feed Science and Technology en el año 2019, se menciona que el ensilaje de maíz de alta humedad con la adición de harina de girasol presentó un contenido proteico de 5,7% en base seca (Firatli et al., 2019).

En el estudio "Effect of different additives on the fermentation quality, nutrient composition and in vitro digestibility of high-moisture corn stover silage", publicado en la revista científica Animal Science Journal en el año 2018, se menciona que el ensilaje de rastrojo de maíz de alta humedad con la adición de un aditivo a base de ácido acético presentó un contenido proteico de 6,1% en base seca (Zhang et al., 2018).

En el caso del tratamiento T1, que está compuesto por el 100% de residuos de maíz, se encontró un porcentaje de proteína del 4,36%, lo que se encuentra dentro del rango de los porcentajes mencionados anteriormente. En comparación con los demás tratamientos, que presentaron un aumento significativo de maíz, se puede inferir que dicho incremento está relacionado con la adición de la mezcla de alfalfa forrajera. Por lo tanto, el tratamiento que presentaría un mayor contenido de proteínas sería el T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa), con un 10,16% de porcentaje de proteína.

En el estudio sobre el contenido de carbohidratos consumibles en diferentes tratamientos de bioensilaje, se encontraron diferencias significativas entre ellos con una probabilidad de ($P=0,05$). Además, se cuantificó un coeficiente de determinación ($R^2=0,71$). Los tratamientos T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa) y T3 (66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa) arrojaron los porcentajes más altos de carbohidratos consumibles, con 37,60% y 35,01%, respectivamente. En cambio, los tratamientos T2 (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa) y T1 (100% de calcha de maíz y 0% de alfalfa) tuvieron los valores más bajos, con 27,42% y 23,59% de carbohidratos consumibles, respectivamente.

Otros estudios, como el realizado por Hussain et al. en 2019 sobre ensilaje de maíz, encontraron un rango de carbohidratos consumibles entre el 33,3% y el 52,3%. En otro estudio realizado por Naz et al. en 2020 sobre ensilaje de trigo, el rango fue de 32,6% a 41,7%.

Un bioensilaje se considera de calidad cuando tiene un alto contenido de carbohidratos consumibles. En este sentido, el tratamiento T4 (50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa) con un 37,60% podría considerarse un bioensilaje de alta calidad nutricional y una excelente fuente de energía. Por otro lado, el tratamiento T1 (100% de calcha de maíz y 0% de alfalfa) con un 23,59% no cumple con los estándares de calidad deseados en cuanto a su contenido de carbohidratos consumibles.

CONCLUSIONES

Se analizó la incidencia de la temperatura ambiente determinando que es un factor crítico en el proceso de producción del bioensilaje. Ya que una fermentación adecuada y controlada del forraje en el silo depende en gran medida de mantener la temperatura y el oxígeno regulados. Según los datos obtenidos durante 85 días de investigación la temperatura ambiente durante el proceso de producción del bioensilaje se mantuvo dentro del rango ideal de 20 °C a 25 °C. Según lo registrado por la Estación Agrometeorológica Tunshi en la provincia de Chimborazo-Ecuador. Por lo tanto, se puede concluir que la variación de la temperatura no afectó significativamente la calidad del bioensilaje producido durante el estudio.

Se realizaron cuatro tratamientos distintos para evaluar la proporción ideal de residuos de maíz y alfalfa al momento de ensilar y obtener un bioensilaje de alta calidad. El primer tratamiento, T1, consistió en utilizar exclusivamente residuos de maíz, lo cual permitió determinar el impacto que la adición de alfalfa tendría en la calidad del bioensilaje. En los tratamientos T2, T3 y T4, se añadieron diferentes proporciones de residuos de maíz y alfalfa (83,33% de calcha de maíz y 16,67% de alfalfa para T2, 66,67% de calcha de maíz y 33,33% de alfalfa para T3 y 50% de calcha de maíz y 50% de alfalfa para T4). Es importante destacar que en todos los tratamientos se utilizó la misma cantidad de inoculante compuesto por 60% de lactosuero, 30% de melaza y 10% de agua.

Se determinó que los porcentajes de fibra, proteína y carbohidratos consumibles son las variables más relevantes para evaluar las características bromatológicas de los tratamientos. Tras comparar las medias para cada tratamiento, se concluyó que el tratamiento T3 presentó las mejores características. Este tratamiento se caracteriza por un pH de 3,98, un contenido de materia seca de 17,7%. Los análisis en materia seca mostraron un contenido de cenizas de 2,56%, contenido de grasa de 2,53%, un contenido de fibras de 49,74%, contenido de proteínas de 10,16% y finalmente el contenido de carbohidratos consumibles fue de 35,01%. La proporción adecuada para lograr estos resultados es de dos partes de residuos de maíz (*Zea mays*) por una parte de alfalfa (*Medicago sativa*). Por lo tanto, se puede afirmar que la adición de una parte de alfalfa al proceso de elaboración de bioensilaje de residuos de maíz mejora las características bromatológicas del bioensilaje resultante.

RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir monitoreando la temperatura ambiental en futuros estudios y producciones para garantizar la calidad del bioensilaje y optimizar el proceso de producción. Además, sería beneficioso realizar un estudio complementario para evaluar cómo la temperatura ambiente influye en el almacenamiento del bioensilaje.

Al momento de seleccionar los tratamientos para producir bioensilaje, es recomendable considerar las proporciones de las diferentes materias vegetales a ensilar y si se van a utilizar materia fresca o materia seca. Se sugiere desecar la materia a ensilar y mantener la humedad entre 40 y 60% para producir un bioensilaje con mayor contenido de materia seca.

Para utilizar uno de los bioensilajes propuestos en este trabajo de investigación, se recomienda conocer los requerimientos alimenticios del animal que los consumirá y sus necesidades de materia seca, ya que estos productos tienen un alto contenido de humedad. Es importante considerar la cantidad de bioensilaje que se debe proporcionar para cubrir las necesidades nutricionales del animal y evitar problemas de salud o digestivos.

BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, A. *Evaluación de tres concentrados comerciales en la etapa de crecimiento–engorde de cuyes.* (Trabajo de Titulación) (Posgrado). [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba, Ecuador. 2010. Disponible en: <https://biblioteca.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=45072>

ÁLVAREZ, Perpetuo, et al. *Evaluación cuantitativa de diez variedades de alfalfa (Medicago sativa L).* 2013. Disponible en: <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/2031>

AMADOR, Ana.; & BOSCHINI, Carlos. *Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje.* Agronomía mesoamericana, 2000, vol. 11, no 1, p. 171-177.

ARAIZA, Laura, et al. *Efecto de la adición de un complejo de bacterias lácticas sobre la calidad del ensilado de maíz.* 2019.

ARELLANO, Jorge. *Evaluación del ensilaje de una muestra forrajera con la adición de suero de leche, melaza y bentonita y su efecto en la alimentación de cuyes en la etapa de crecimiento–engorde.* (Trabajo de Titulación) (Pregrado). [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela de Zootécnica. Riobamba, Ecuador. 2015. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5293>

ARROYO, Henry.; & FLÓREZ, Alexander. *Caracterización bromatológica de materias primas y subproductos en el municipio de Quibdó, Chocó.* Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó, 2007, vol. 26, no 2, p. 9-12.

AVELLANEDA, Yesid; MANCIPE, Edgar.; & DE JESÚS, Juan. *Efecto de la edad de rebrote sobre el desarrollo morfológico y la composición química del pasto kikuyo (Cenchrus clandestinus) en el trópico alto colombiano.* CES Medicina veterinaria y Zootecnia, 2020, vol. 15, no 2, p. 23-37.

BASIGALUP, Daniel; ROSSANIGO.; & BALLARIO, Maria. *Panorama actual de la alfalfa en la Argentina.* El cultivo de alfalfa en Argentina. Ediciones INTA., Buenos Aires, 2007, vol. 479.

BENÍTEZ, Jonathan. *Rentabilidad del ensilado de maíz y de maíz rastrojo en Almoloya de las Granadas.* 2021.

BERMÚDEZ, R. *Composición nutricional y calidad de ensilajes de la zona sur.* (Trabajo de Titulación) (Pregrado). [en línea]. Universidad austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Agronomía. Valdivia, Chile. 2018. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2002/fab524c/doc/fab524c.pdf>

BERTOIA, Luis.; & AULICINO, Mónica. *Maize forage aptitude: Combining ability of inbred lines and stability of hybrids.* The Crop Journal, 2014, vol. 2, no 6, p. 407-418.

BOON, E, et al. *Stem characteristics of two forage maize (Zea mays L.) cultivars varying in whole plant digestibility. IV. Changes during the growing season in anatomy and chemical composition in relation to fermentation characteristics of a lower internode.* NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences, 2012, vol. 59, no 1-2, p. 13-23.

BRAVO, F. *Manejo, conservación y utilización del ensilaje de maíz forrajero.* Gobierno del Estado de México. Secretaria de Desarrollo Agropecuario, 2008.

BUSTAMANTE, María. *"Adaptación de cuatro variedades de Alfalfa" Medicago Sativo en la zona de Cananvalle-Tabacundo, Cayambe-Ecuador 2004.* La Granja, 2006, vol. 5, no 1, p. 11-19.

CARRETE, J., et al. *Utilización de pasturas de alfalfa-festuca alta con dos sistemas de pastoreo. II. Carga animal y producción de carne.* RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 2006, vol. 35, no 3, p. 19-28.

CASTILLO, Javier, et al. *Applied research on dairy cattle feeding systems in Colombian high tropics.* Revista de Ciencias Agrícolas, 2019, vol. 36, no 2, p. 108-122.

CAUAS, Daniel. *Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación.* Bogotá: Biblioteca electrónica de la universidad Nacional de Colombia, 2015, vol. 2, p. 1-11. Disponible en: <https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w24762w/Definiciondelasvariables,enfoqueytipodeinvestigacion.pdf>

CHEN, Guangwei; LIU, Zhitao.; & SU, Hongye. *An Optimal Fast-Charging Strategy for Lithium-Ion Batteries via an Electrochemical–Thermal Model with Intercalation-Induced Stresses and Film Growth.* Energies, 2020, vol. 13, no 9, p. 2388.

CHERNEY, D. *14 Characterization of Forages by Chemical Analysis.* 2000.

CLAVIJO, Eduardo.; & CADENA, Pedro. *Producción y calidad nutricional de la alfalfa (Medicago sativa) sembrada en dos ambientes diferentes y cosechada en distintos estadios fenológicos.* 2011.

COBOS, M. *Técnicas de ensilaje y construcción de silos forrajeros.* México: SAGARPA. 2013.

DEAVILLE, E., et al. *Near infrared (NIR) spectroscopy: an alternative approach for the estimation of forage quality and voluntary intake.* Forage evaluation in ruminant nutrition, 2000, p. 301-320.

DE BLAS, C.; MATEOS, G.; & GARCÍA, P. *Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos.* Tercera edición FEDNA. Madrid. 423pp, 2010.

DE LA ROZA, BEGOÑA. *El ensilado en zonas húmedas y sus indicadores de calidad.* Memorias. IV Jornada de Alimentación Animal. Lalín, Pontevedra, España, 2005, vol. 7.

DIAS, Moacyr.; & CARVALHO, Cláudio. *Physiological and morphological responses of Brachiaria spp. to flooding.* Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2000, vol. 35, p. 1959-1966.

ELFERINK, Stefanie, et al. *Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación.* Uso Del Ensilaje en El Trópico Privilegiando Opciones Para Pequeños Campesinos, 2001, vol. 161, p. 17.

ESPAC. *Estadísticas Agropecuarias.* Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [en línea]. 2021 [consultado el 20 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

FEDERACIÓN COLOMBIANA DE GANADEROS, FONDO NACIONAL DEL GANADO. *Fondo Nacional del Ganado, & Servicio Nacional de Aprendizaje. Costos modales en ganadería de leche Trópico alto de Colombia: Ventana a la competitividad ganadera.* 2013.

FERNÁNDEZ, E., GUTIÉRREZ, J., LÓPEZ, M., GARCÍA, M., & JURADO, M.

Caracterización microbiológica, química y fermentativa del ensilaje de subproductos de la industria de la cerveza. Ciencia y Tecnología Alimentaria, 2020, 18(2), 79-88.

FERREIRA, Gonzalo.; & BROWN, Alston. *Environmental factors affecting corn quality for silage production.* Advances in silage production and utilization, 2016, p. 39-51.

FILYA, I. *The effect of Lactobacillus buchneri and Lactobacillus plantarum on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of low dry matter corn and sorghum silages.* Journal of dairy science, 2003, vol. 86, no 11, p. 3575-3581.

FILYA, I.; SUCU, E.; & KARABULUT, A. *The effect of Propionibacterium acidipropionici, with or without Lactobacillus plantarum, on the fermentation and aerobic stability of wheat, sorghum and maize silages.* Journal of applied microbiology, 2004, vol. 97, no 4, p. 818-826.

FILYA, I.; SUCU, E.; & KARABULUT, A. *The effect of Lactobacillus buchneri on the fermentation, aerobic stability and ruminal degradability of maize silage.* Journal of Applied Microbiology, 2006, vol. 101, no 6, p. 1216-1223.

FIRATLI, M., GURBUZ, Y., & OZDUVEN, M. *Effect of the addition of sunflower meal on the fermentation characteristics, chemical composition and ruminal degradability of ensiled high moisture corn.* Animal Feed Science and Technology, 2019, 251, 49-57.

FLORES, José, et al. *Efecto de fertilizante orgánico, inorgánico y su combinación en la producción de alfalfa y propiedades químicas del suelo.* Terra Latinoamericana, 2012, vol. 30, no 3, p. 213-220.

FRANCO, Luis; CALERO, David.; & ÁVILA, Patricia. *Alternativas para la conservación de forrajes.* Universidad Nacional de Colombia sede Palmira .2007. Palmira Valle del Cauca, 24.

GIVENS, D.; OWEN, E.; & ADESOGAN, A. *Current Procedures, Future Requirements and the Need for.* Forage evaluation in ruminant nutrition, 2000, p. 449.

GONZÁLEZ, Ubaldo. *El maíz y los productos de su industrialización.* México DF: Trillas, 2009.

HEREDIA, Andrés. *Efecto de la adición de dos aditivos en ensilaje de maíz (Zea mays) sobre la calidad nutritiva del silo.* 2020.

HERNÁNDEZ, Alfonso, et al. *Caracterización del rendimiento de forraje de una pradera de alfalfa-ovillo al variar la frecuencia e intensidad del pastoreo.* Revista fitotecnia mexicana, 2012, vol. 35, no 3, p. 259-266.

HERNÁNDEZ, Gregorio, et al. *Evaluación de la calidad nutricional y producción de leche de diferentes forrajes a través del modelo CPM.* Agrofaz: publicación semestral de investigación científica, 2013, vol. 13, no 3, p. 17-23.

HERNÁNDEZ, F.; Fernández, C.; & Baptista, P. *Metodología de la investigación.* Sexta Edición–UCA. 2014.

HIDALGO, Edwin, et al. *Evaluación de la calidad nutricional de los ensilajes en bolsa de los híbridos de maíz Somma y Trueno aplicando dos aditivos en la zona de Colimes.* Espirales revista multidisciplinaria de investigación, 2018, vol. 2, no 15, p. 137-153.

HIRIART, Mauricio. *Ensilados procesamiento y calidad.* Mexico: Trillas, 2008. ISBN 9789682484674.

HOFFMAN, C. *Ash content of forages.* College of Agricultural & Life Sciences. University of Wisconsin. USA. Focus on forage, 2005, vol. 7, no 1, p. 1-2.

HUSSAIN, M., YAQOUB, M., IQBAL, M., PASHA, T., AHMAD, M., & AKHTAR, M. *Nutritional evaluation and silage quality of maize (Zea mays) varieties at different growth stages.* Journal of Animal and Plant Sciences, 2019, 29(4), 882-890.

IBAÑEZ, S. *Silo de tambo y de bolsa. Alimentación del ganado bovino* [en línea]. [sin fecha] [consultado el 21 de julio de 2022]. Disponible en: <http://alimentaciondelganadobovino.blogspot.mx>

IZQUIERDO, Raúl. *Evaluación del cultivo del maíz (Zea mays), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento.* (Trabajo de Titulación) (Pregrado). [en línea]. Universidad Politécnica Salesianas. Facultad de Ciencias Agrarias. Escuela de Ingeniería Agropecuaria. Cayambe-Ecuador. 2012. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1832>

JAHN, Ernesto; VIDAL, Agustín.; & SOTO, Patricio. *Sistema de producción de leche basado*

en alfalfa (*Medicago sativa*) y maíz (*Zea mays*) para la zona centro sur: producción de leche. Agricultura Técnica, 2000, vol. 60, no 1, p. 43-51.

JAHN, Ernesto, et al. *Utilización de alfalfa (Medicago sativa L.) en tres estados de madurez y dos residuos con vacas en lactancia a pastoreo.* Agricultura Técnica, 2002, vol. 62, no 1, p. 99-109.

JOHNSON, L., et al. *Corn silage management I: Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on chemical and physical characteristics.* Journal of dairy science, 2002, vol. 85, no 4, p. 833-853.

JONES, R. *Role of biological additives in crop conservation. En Biotechnology in the Feed Industry, Proc. of the 11th Annual Symposium (TP Lyons and KA Jacques, eds.), Nottingham Univ. Press. 1995.*

KHAN, Nazir A., et al. *Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality.* Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, vol. 95, no 2, p. 238-252.

KLEINSCHMIT, D.; & KUNG JR, L. *A meta-analysis of the effects of Lactobacillus buchneri on the fermentation and aerobic stability of corn and grass and small-grain silages.* Journal of dairy Science, 2006, vol. 89, no 10, p. 4005-4013.

KUNG JR, L., et al. *The effect of silage cutting height on the nutritive value of a normal corn silage hybrid compared with brown midrib corn silage fed to lactating cows.* Journal of Dairy Science, 2008, vol. 91, no 4, p. 1451-1457.

LEMUS, R. Et al. *Patrón de defoliación de alfalfa por bovinos lecheros en pastoreo con asignación al doble de sus requerimientos de M.S. y con tres niveles de franjeo.* México [en línea]. 2 de diciembre de 2013 [consultado el 20 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/patron-defoliacion-alfalfa-bovinos-t30040.htm>

LÓPEZ, Ana. *Evaluación de diferentes niveles de vinaza aplicados basalmente en la producción forrajera del Medicago sativa (Alfalfa).* 2011. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela de Zootecnia. Riobamba-Ecuador. 2012. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1019>

MA, Xuguang, et al. *Effect of substrate to inoculum ratio on biogas production and microbial community during hemi-solid-state batch anaerobic co-digestion of rape straw and dairy manure.* Applied biochemistry and biotechnology, 2019, vol. 189, p. 884-902.

MACAY, Miguel. *Identificación de uno entre cuatro híbridos de maíz (Zea mays) para ser utilizado como forraje para alimentación de ganado lechero en el cantón Nobol de la provincia del Guayas.* (Trabajo de Titulación) (Posgrado). [en línea]. Católica de Santiago de Guayaquil. Maestría en Sistemas Sostenibles de Producción Animal. Guayaquil-Ecuador. 2015. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/4104>

MAKKAR, Harinder. *Smart livestock feeding strategies for harvesting triple gain—the desired outcomes in planet, people and profit dimensions: a developing country perspective.* Animal Production Science, 2016, vol. 56, no 3, p. 519-534.

MARCHESINI, Giorgio, et al. *Near-infrared calibration transfer for undried whole maize plant between laboratory and on-site spectrometers.* Italian Journal of Animal Science, 2018, vol. 17, no 1, p. 66-72.

MARTÍNEZ, Adela; ARGAMENTERÍA, A.; & DE-LA ROSA, B. *Manejo de forrajes para ensilar.* Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario del Principado de Asturias, España, 2014.

MCDONALD, Peter, et al. *La bioquímica del ensilaje.* Publicaciones Chalcombe, 1991.

MENDOZA, Sergio. *Dinámica de crecimiento y rendimiento de alfalfa en respuesta a diferente frecuencia de corte.* 2008.

MENDOZA, Sergio, et al. *Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte.* Revista mexicana de ciencias pecuarias, 2010, vol. 1, no 3, p. 287-296.

MOLINA, Adelaida, et al. *Evaluación de la calidad bromatológica del ensilaje de pasto kikuyo y maní forrajero.* Revista Lasallista de Investigación, 2006, vol. 3, no 2, p. 34-37.

MUCK, R.; & SHINNERS, K. *Conserved forage (silage and hay): progress and priorities.* 2021.

MUCK, Richard. *Effects of corn silage inoculants on aerobic stability.* En 2002 ASAE Annual

Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2002. p. 1.

MULLO, L. *Aplicación del promotor natural de crecimiento (Sel-plex) en la alimentación de cuyes mejorados (Cavia porcellus) en la etapa de crecimiento-engorde y gestación-lactancia.* (Trabajo de Titulación) (Pregrado). [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela de Zootécnica. Riobamba, Ecuador. 2009. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1326>

MURILLO, Javier, et al. *Métodos de investigación de enfoque experimental.* 2011, vol. 2.

NRC, National Research Council. *Nutrient requirements of dairy cattle. National Research Council,* 2001, vol. 519.

NAZ, S., SOHAIL, M., AYUB, M., SATTAR, A., & RASHID, A. *Nutritional evaluation of wheat (Triticum aestivum) silage prepared with various additives.* Journal of Animal and Plant Sciences, 2020, 30(4), 1281-1286.

NI, Kuikui, et al. *Effects of lactic acid bacteria and molasses additives on the microbial community and fermentation quality of soybean silage.* Bioresource Technology, 2017, vol. 238, p. 706-715.

OCANTO, Gabriel, et al. *Evaluación de las características fisicoquímicas y funcionales del ensilaje de maíz (Zea mays) Y ensilaje de sorgo (Sorghum vulgare).* Municipio Urdaneta del Estado Lara. Agroindustria, Sociedad y Ambiente, 2013, vol. 1, no 1, p. 110-129.

OLVERA, Luis. *Caracterización microbiana y fermentativa de ensilaje de maíz forrajero (Zea mays) con inclusión de cáscara de plátano (Musa paradisiaca)".* (Trabajo de Titulación) (Pregrado). [en línea]. Universidad Técnica de Quevedo. Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, Escuela de Ingeniería Agropecuaria. Quevedo, Ecuador. 2019. Disponible en: <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3822>

PANESAR, Parmjit s., et al. *Bioutilisation of whey for lactic acid production.* Food chemistry, 2007, vol. 105, no 1, p. 1-14.

PALIWAL, R. I., et al. *El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. Colección FAO: producción y protección vegetal N 28.* Roma, 2001.

PARRA, Ricardo. *Lactosuero: importancia en la industria de alimentos.* Revista facultad nacional de agronomía Medellín, 2009, vol. 62, no 1, p. 4967-4982.

PARSONS, D. *Maíz: manuales para la educación agropecuaria.* México: Trillas. 2008.

PEÑA, Kevin. *Alternativas de alimentación con ensilaje de rastrojo de maíz y residuos de cosecha de caña de azúcar para vacas en producción de leche en el Trópico.* 2022. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). [en línea]. Universidad Técnica de Babahoyo. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Escuela de Medicina Veterinaria y Zootécnica. Babahoyo, Ecuador. 2022. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11400>

PÉREZ, Lilia, et al. *Rendimiento, calidad nutricional, contenido fenólico y capacidad antioxidante de forraje verde hidropónico de maíz (Zea mays) producido en invernadero bajo fertilización orgánica.* Interciencia, 2012, vol. 37, no 3, p. 215-220.

PEYRAT, Julie, et al. *Effect of maturity and hybrid on ruminal and intestinal digestion of corn silage in dry cows.* Journal of Dairy Science, 2016, vol. 99, no 1, p. 258-268.

RÍOS, Maria, et al. *Evaluación de ensilaje de Maíz (Zea mays) de 120 días a diferentes tamaños de partícula de corte con tres niveles de melaza.* 2015.

ROJAS, Elma.; & ZELAYA, Yesmin. *Reutilización de residuos de pescado con melaza para la obtención de bioetanol en el mercado 10 de Canto Grande–S JL,* 2018. 2019.

RAO, Idupulapati., et al. *The sustainable intensification of forage-based agricultural systems to improve livelihoods and ecosystem services in the tropics.* CIAT Publication, 2015.

REBUFFO, Mónica; ALTIER, Nora.; & CUITIÑO, María. *La resistencia a enfermedades en el mejoramiento genético de leguminosas forrajeras.* ENFERMEDADES Y PLAGAS EN PASTURAS, 2010.

REBUFFO, Agrmphil. *Alfalfa: principios de manejo del pastoreo.* Revista INIA-Nº, 2005, vol. 5, p. 2.

REEVES , J, et al. *Use of near infrared reflectance spectroscopy.* Farm Animal Metabolism and Nutrition, 2000, p. 184-209.

REYES, María; GÓMEZ, Iván.; & ESPINOZA, Cecilia. *Tablas peruanas de composición de alimentos.* Instituto Nacional de Salud, 2017.

RINCON, Alvaro; LIGARRETO, Gustavo.; & GARAY, Edwin. *Producción de forraje en los pastos Brachiaria decumbens cv. Amargo y Brachiaria brizantha cv. Toledo, sometidos a tres frecuencias ya dos intensidades de defoliación en condiciones del Piedemonte llanero colombiano.* Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 2008, vol. 61, no 1, p. 4336-4346.

RIVAS, Marco, et al. *Efecto de tres regímenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (Medicago sativa L.).* Técnica pecuaria en México, 2005, vol. 43, no 1, p. 79-92.

RUIZ, Jorge.; & VANEGAS; Ahiman. *Ensilaje como fuente alterna de alimentación del ganado de bovino en la producción lechera.* Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal, 2019, vol. 3, no 2, p. 129-162.

SABCHUK, T., et al. *Effect of soya hulls on diet digestibility, palatability, and intestinal gas production in dogs.* Animal Feed Science and Technology, 2017, vol. 225, p. 134-142.

SÁNCHEZ, Leonardo, et al. *Recuperación de suelos y renovación de praderas en sistemas de producción de leche especializada de trópico alto.* 2013.

SÁNCHEZ, Iván.; & PÉREZ, Elena. *Maíz I (Zea mays).* Ene, 2015, vol. 15, p. 39.

SAROFF, Héctor.; & BONVILLANI, Julieta. *Morfofisiología de plantas forrajeras.* 2008. Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina. 10 pp.

SAVAL, Susana. *Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro.* BioTecnología, 2012, vol. 16, no 2, p. 14-46.

SIPA. *Estado del cultivo de maíz amarillo en el Ecuador 2020.* Boletín situacional, 2021, p. 3-7.

SIBANDA, S.; JINGURA, R.; & TOPPS, J. *The effect of level of inclusion of the legume Desmodium uncinatum and the use of molasses or ground maize as additives on the chemical composition of grass-and maize-legume silages.* Animal Feed Science and Technology, 1997, vol. 68, no 3-4, p. 295-305.

TOBÍA, Carlos, et al. *Experiencias en la elaboración de silaje maíz-soya en dos sistemas de producción bovina en Venezuela. Memorias XI Seminario Manejo y utilización de pastos y forrajes en sistemas de producción animal.* UPEL, Barquisimeto, Venezuela, 2007, p. 78-87.

VALLADARES, Gines. *Evaluación de la melaza en la simbiosis de bacterias fijadoras de nitrógeno con el cultivo de alfalfa, Cumbayá-Pichincha.* (Trabajo de Titulación) (Pregrado). [en línea]. Universidad Técnica del Norte. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Escuela de agropecuaria. Pichincha, Ecuador. 2022. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11152>

VANACLOCHA, Bernat, et al. *Fitoterapia: vademécum de prescripción.* Barcelona: Masson, 2003.

VILLA, andrés. *Estudio microbiológico y calidad nutricional de ensilaje de maíz cosechado en dos ecorregiones de Colombia.* Departamento de Ciencias para la Producción Animal, 2008.

WAGNER, Birmania; ASECIO, Víctor.; & CARIDAD, Joaquín. *Como preparar un buen ensilaje. Serie conservación de forrajes. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Centro de Producción Animal. Santo Domingo, República Dominicana.* Industrial processing of Agave wastes and subproducts, 2012.

WILKINSON, J.; BOLSEN, K.; & LIN, C. *History of silage. Silage science and technology,* 2003, vol. 42, p. 1-30.

WINGCHING, R. *Evaluación del proceso de ensilaje de Arachis pintoí.* (Trabajo de Titulación) (Posgrado). [en línea]. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Tesis Doctoral. Tesis de maestría. Pichincha, Ecuador. 2022. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/14590/TESIS%20FINAL%20MAURICIO%20GURDI%C3%81N%202.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

YITBAREK, Melkamu.; & TAMIR, Birhan. *Silage additives.* Open Journal of Applied Sciences, 2014, vol. 2014.

ZHANG, Y., YANG, F., et al. *Effect of different additives on the fermentation quality, nutrient composition and in vitro digestibility of high-moisture corn stover silage.* Animal Science Journal, 2018, 89(6), 944-953.

ZHOU, J., et al. *Tibetan sheep require less energy intake than small-tailed Han sheep for N balance when offered a low protein diet.* *Animal Feed Science and Technology*, 2019, vol. 248, p. 85-94.

ZÚÑIGA, Christian. *Análisis bromatológico en pollos camperos con alimentación del germinado del maíz hidropónico.* . (Trabajo de Titulación) (Posgrado). [en línea]. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Químicas. Tesis de maestría. Guayaquil, Ecuador. 2019. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/40007>



ANEXOS

ANEXO A: PROCESO DE RECEPCIÓN Y TRITURACIÓN DEL MATERIAL PARA ENSILAJE COMPUESTO POR CALCHA DE MAÍZ Y ALFALFA.



ANEXO B: PREPARACIÓN DEL INÓCULO Y SU APLICACIÓN EN LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE MATERIAL PARA ENSILAJE.



ANEXO C: PROCESO DE EMPAQUETADO, PESAJE Y ETIQUETADO DEL BIOENSILAJE EN BOLSA.



ANEXO D: DISEÑO Y CERCADO PARA INICIAR EL PROCESO DE FERMENTACIÓN ANAEROBIA DEL BIOENSILAJE.



ANEXO E: TOMA DE MUESTRAS Y ALMACENAMIENTO EN BOLSAS ZIPLOC DE LOS CUATRO TRATAMIENTOS DE BIOENSILAJE.



ANEXO F: REFRIGERACIÓN DE LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE, DETERMINACIÓN DE SU CONTENIDO DE HUMEDAD Y MATERIA SECA POR EL MÉTODO DE DESECACIÓN EN ESTUFA.



ANEXO G: DESECACIÓN DE LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE PARA SU ALMACENAMIENTO ADECUADO.



ANEXO H: DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE CENIZAS EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE POR EL MÉTODO DE INCINERACIÓN EN MUFLA.



ANEXO I: DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE GRASA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE POR EL MÉTODO SOXHLET.



ANEXO J: DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE FIBRA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE POR EL MÉTODO WEENDE.



ANEXO K: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS Y REACTIVOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE POR EL MÉTODO DE MACRO-KJELDAHL.



ANEXO L: DIGESTIÓN Y DESTILACIÓN EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PROTEÍNA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE POR EL MÉTODO DE MACRO-KJELDAHL.



ANEXO M: DETERMINACIÓN DEL PH EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.



ANEXO N: RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y MATERIA SECA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.

Muestra	m	m₁	M	m₂	Agua	%SS	%H
T1.1	84,7800	91,4390	6,6590	85,8700	5,5690	16,37	83,63
T1.2	74,7800	81,8480	7,0680	75,9930	5,8550	17,16	82,84
T1.3	102,3500	109,1260	6,7760	103,4430	5,6830	16,13	83,87
T2.1	95,0150	102,1550	7,1400	96,2600	5,8950	17,44	82,56
T2.2	91,5520	98,1350	6,5830	92,7350	5,4000	17,97	82,03
T2.3	81,2790	88,3360	7,0570	82,3550	5,9810	15,25	84,75
T3.1	91,2010	99,3750	8,1740	92,6210	6,7540	17,37	82,63
T3.2	106,7900	113,7280	6,9380	108,0570	5,6710	18,26	81,74
T3.3	100,1220	109,6260	9,5040	101,7830	7,8430	17,48	82,52
T4.1	99,5560	107,3100	7,7540	100,9380	6,3720	17,82	82,18
T4.2	76,8760	84,0790	7,2030	78,2080	5,8710	18,49	81,51
T4.3	80,3270	88,6920	8,3650	81,6060	7,0860	15,29	84,71

%SS	Sustancia seca en porcentaje de masa
%H	Porcentaje de humedad
m	Masa de la capsula en g
m₁	Masa de la capsula con muestra en g
m₂	Masa de la capsula con muestra después del calentamiento en gramos
M	Masa de la muestra en g

ANEXO O: RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.

Muestra	m	m₂	M	m₁	Ceniza	%C
T1.1	34,9000	37,9850	3,0850	34,9840	3,00	2,72
T1.2	33,2510	37,7030	4,4520	33,3940	4,31	3,21
T1.3	39,3430	43,5380	4,1950	39,4440	4,09	2,41
T2.1	26,6960	29,9140	3,2180	26,7650	3,15	2,14
T2.2	44,0010	47,6980	3,6970	44,0790	3,62	2,11
T2.3	36,9450	40,6610	3,7160	37,0250	3,64	2,15
T3.1	37,8840	41,5740	3,6900	38,0070	3,57	3,33
T3.2	37,4820	41,2590	3,7770	37,5700	3,69	2,33
T3.3	40,9090	44,5520	3,6430	40,9830	3,57	2,03
T4.1	36,2960	40,1450	3,8490	36,3760	3,77	2,08
T4.2	34,4410	38,3760	3,9350	34,5340	3,84	2,36
T4.3	37,9290	42,1060	4,1770	38,0280	4,08	2,37

%C	Contenido de cenizas en porcentaje de masa
m	masa de la capsula vacía en g
m₁	masa de la capsula con muestra después de la incineración en g
m₂	masa de la capsula con muestra antes de la incineración g
M	Masa de la muestra en g

ANEXO P: RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA DETERMINACIÓN DE GRASA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.

Muestra	P	m	P₁	%G
T1.1	124,4810	1,0937	124,5410	5,49
T1.2	124,4808	1,1226	124,5442	5,65
T1.3	124,4809	1,1575	124,5444	5,49
T2.1	124,4808	1,5125	124,5186	2,50
T2.2	110,6192	1,4322	110,6500	2,15
T2.3	124,4839	1,2624	124,5209	2,93
T3.1	110,6199	1,3744	110,6495	2,15
T3.2	124,4807	1,3774	124,5148	2,48
T3.3	110,6187	1,6244	110,6668	2,96
T4.1	124,4892	1,3766	124,5191	2,17
T4.2	110,6256	1,3900	110,6555	2,15
T4.3	124,4855	1,3305	124,5130	2,07

%G	Grasa cruda o bruta en muestra seca expresado en porcentaje en masa
P₁	Masa del vaso más la grasa cruda o bruta extraída en g
P	masa del vaso de extracción vacío en g
m	Masa de la muestra seca

ANEXO Q: RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.

Muestra	m	Crisol	P1	P	%F
T1.1	1,0329	30,0950	30,7680	30,1216	62,58
T1.2	1,1136	32,9704	33,7588	33,0138	66,90
T1.3	1,0616	30,0933	30,7875	30,1323	61,72
T2.1	1,4056	30,0996	30,9054	30,1523	53,58
T2.2	1,3137	30,0983	30,9767	30,1497	62,95
T2.3	1,1819	32,9684	33,8133	33,0072	68,20
T3.1	1,2969	30,0953	30,8086	30,1453	51,15
T3.2	1,3376	32,9687	33,7139	33,0224	51,70
T3.3	1,5094	30,0978	30,8570	30,1570	46,38
T4.1	1,2780	32,9696	33,6775	33,0073	52,44
T4.2	1,3414	30,0981	30,7820	30,1530	46,89
T4.3	1,2351	32,9677	33,5673	33,0105	45,08

%F	Fibra cruda o bruta en muestra seca y desengrasada expresa en porcentaje en masa
P1	masa del crisol más el residuo desecado en la estufa g
P1	masa del crisol más las cenizas después de la incineración en mufla g
m	masa de la muestra seca y desengrasada tomada para la determinación en g

ANEXO R: RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA CRUDA EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.

Muestra	m	f	V	N1	%P
T1.1	1,2273	6,25	5,5	0,1	3,92
T1.2	1,2213	6,25	6,7	0,1	4,80
T1.3	1,1652	6,25	5,8	0,1	4,36
T2.1	1,2051	6,25	8,6	0,1	6,24
T2.2	1,1204	6,25	8,4	0,1	6,56
T2.3	1,2254	6,25	8,7	0,1	6,21
T3.1	1,2638	6,25	15,0	0,1	10,39
T3.2	1,0996	6,25	12,1	0,1	9,63
T3.3	1,1215	6,25	13,4	0,1	10,45
T4.1	1,2271	6,25	12,6	0,1	8,98
T4.2	1,2033	6,25	14,6	0,1	10,62
T4.3	1,1493	6,25	13,1	0,1	9,97

%P	Contenido de proteína en porcentaje de masa
f	factor para transformar el %N2 en proteína
V	Volumen de HCl empleado para titular la muestra en ml
N1	normalidad del HCl
m	masa de la muestra en gramos

ANEXO S: RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO DE LA DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS CONSUMIBLES EN LAS MUESTRAS DE BIOENSILAJE.

Muestra	%Ceniza	%Grasa	%Fibra	%Proteína	%Carbohidratos consumibles
T1.1	2,7229	5,4860	62,5811	3,9212	25,29
T1.2	3,2120	5,6476	66,9001	4,8002	19,44
T1.3	2,4076	5,4860	61,7182	4,3555	26,03
T2.1	2,1442	2,4992	53,5785	6,2443	35,53
T2.2	2,1098	2,1505	62,9520	6,5602	26,23
T2.3	2,1529	2,9309	68,2037	6,2123	20,50
T3.1	3,3333	2,1537	51,1450	10,3853	32,98
T3.2	2,3299	2,4757	51,6971	9,6285	33,87
T3.3	2,0313	2,9611	46,3760	10,4547	38,18
T4.1	2,0785	2,1720	52,4413	8,9846	34,32
T4.2	2,3634	2,1511	46,8913	10,6166	37,98
T4.3	2,3701	2,0669	45,0814	9,9735	40,51

**ANEXO T: DATOS DE LA ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA DE TUNSHI SOBRE
TEMPERATURA MÍNIMA, MEDIA Y MÁXIMA**

Fecha	# Dia	MIN	MED	MAX	Fecha	# Dia	MIN	MED	MAX
6/7/2022	1	8,2	12,3	19,8	18/8/2022	44	8	14,5	23,8
7/7/2022	2	5,1	12	20,4	19/8/2022	45	5	12,7	20,8
8/7/2022	3	5,4	11,6	18,8	20/8/2022	46	6,6	10,4	17,3
9/7/2022	4	9	11,9	18,3	21/8/2022	47	7,7	10,8	15,5
10/7/2022	5	8,8	12,9	19,1	22/8/2022	48	7,7	11,3	18,2
11/7/2022	6	8,6	13,5	22,2	23/8/2022	49	2,6	11	20,6
12/7/2022	7	9,7	12,8	19,5	24/8/2022	50	4,2	11,5	20,2
13/7/2022	8	6,9	11,3	16	25/8/2022	51	4,1	11,7	21,3
14/7/2022	9	8,4	13,3	21	26/8/2022	52	7,5	12	19,9
15/7/2022	10	8,8	14,7	22,9	27/8/2022	53	2,9	11,7	22
16/7/2022	11	9,1	13,1	21,7	28/8/2022	54	8,3	12,7	18,3
17/7/2022	12	6	11,8	21,6	29/8/2022	55	8,7	11,5	18,2
18/7/2022	13	7,6	12,9	19,7	30/8/2022	56	6,8	11,1	17,8
19/7/2022	14	5,8	13	21	31/8/2022	57	8,1	11,6	17,8
20/7/2022	15	7,6	11,4	18,4	1/9/2022	58	6,8	13,9	23
21/7/2022	16	6,8	10,7	17,2	2/9/2022	59	7	14,3	23,1
22/7/2022	17	7,1	13,1	21,6	3/9/2022	60	9,4	13,4	20,8
23/7/2022	18	7,4	13,5	21,7	4/9/2022	61	7	11,2	16,8
24/7/2022	19	9,7	13,7	22,3	5/9/2022	62	7,5	10,5	16,1
25/7/2022	20	7	12,9	19,2	6/9/2022	63	5,4	11,2	17,5
26/7/2022	21	9,4	12,2	17,8	7/9/2022	64	5,4	11,9	21
27/7/2022	22	8,7	11,9	18	8/9/2022	65	4,2	13,6	24,2
28/7/2022	23	8,6	12,6	19,2	9/9/2022	66	6,2	13,8	22,5
29/7/2022	24	8	13,4	21,5	10/9/2022	67	8	13	19,2
30/7/2022	25	8	13,4	22	11/9/2022	68	6,7	12,7	18,9
31/7/2022	26	6,8	13,8	21,7	12/9/2022	69	3,6	13,6	23,8
1/8/2022	27	8,5	14	20,8	13/9/2022	70	4,5	14,9	24,8
2/8/2022	28	10	14,4	22,2	14/9/2022	71	9,7	14,9	22,9
3/8/2022	29	8,5	13,9	21	15/9/2022	72	7,5	14,7	22,2
4/8/2022	30	9,2	13,1	20	16/9/2022	73	7	12,1	16,5
5/8/2022	31	8,5	12,3	18,8	17/9/2022	74	9,2	13,1	22,1
6/8/2022	32	8,9	12,6	19,3	18/9/2022	75	9	14,7	23,4
7/8/2022	33	6,4	12,7	21,7	19/9/2022	76	6,6	14,2	23,4
8/8/2022	34	5,2	11,8	20,4	20/9/2022	77	7,3	14,1	22,7
9/8/2022	35	6	12,1	20,3	21/9/2022	78			
10/8/2022	36	8,8	11,2	16,9	22/9/2022	79			
11/8/2022	37	6,8	11,2	19	23/9/2022	80	9	14,2	22
12/8/2022	38	6	12,1	20,6	24/9/2022	81	8,6	12,4	17,4
13/8/2022	39	1,8	11,5	22,5	25/9/2022	82	5,2	11,9	23
14/8/2022	40	2,9	12,2	21,9	26/9/2022	83	6,6	13,3	21
15/8/2022	41	8,5	13,1	21	27/9/2022	84	9	12,9	21,5
16/8/2022	42	6	12,8	20,4	28/9/2022	85			
17/8/2022	43	6,9	14,5	23					



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 09 / 05 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Carlos Jahir Muñoz Valverde
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniero en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0748-DBRA-UTP-2023