



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

**PROGRAMA DE DOCTORADO
EN RECURSOS NATURALES Y GESTIÓN SOSTENIBLE**

TESIS DOCTORAL

**Ensilaje de rastrojo de maíz asociado con diferentes
niveles de urea y melaza para la alimentación de
rumiantes. Caracterización y posicionamiento
estratégico**

DOCTORANDO

D. ADOLFO RODOLFO SÁNCHEZ LAIÑO

DIRECTORES DE TESIS

PROF. DR. JOSÉ MANUEL PEREA MUÑOZ

PROF. DR. CECILIO JOSÉ BARBA CAPOTE

PROF. DR. JUAN AVELLANEDA CEVALLOS

CÓRDOBA, 2021

TITULO: *Ensilaje de rastrojo de maíz asociado con diferentes niveles de urea y melaza para la alimentación de rumiantes. Caracterización y posicionamiento estratégico*

AUTOR: *Adolfo Rodolfo Sánchez Laiño*

© Edita: UCOPress. 2021
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

[https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/
ucopress@uco.es](https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/ucopress@uco.es)



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

POSTGRADO EN RECURSOS NATURALES Y GESTIÓN SOSTENIBLE

Ensilaje de rastrojo de maíz asociado con diferentes niveles de urea y melaza para la alimentación de rumiantes. Caracterización y posicionamiento estratégico

Tesis presentada por D. ADOLFO RODOLFO SÁNCHEZ LAIÑO
para optar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba
(España)

Vº Bº
Director 1

Dr. José Manuel Perea
Muñoz

Vº Bº
Director 2

Dr. Cecilio José Barba
Capote

Vº Bº
Director 3

Juan Avellaneda Cevallos



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



D. JOSE MANUEL PEREZ MUÑOZ, PROFESOR TITULAR DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL DE LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA.

INFORMA:

Que la tesis Doctoral titulada “Ensilaje de rastrojo de maíz asociado con diferentes niveles de urea y melaza para la alimentación de rumiantes. Caracterización y posicionamiento estratégico”, que se recoge en la siguiente memoria y de la que es autor D. ADOLFO RODOLFO SÁNCHEZ LAIÑO, ha sido realizada bajo mi dirección, cumpliendo las condiciones exigidas para que la misma pueda optar al Grado de Doctor por la Universidad de Córdoba.

Lo que suscribo como director de dicho trabajo y a los efectos oportunos, en Córdoba a veintiséis de abril de dos mil veintiuno.

Fdo. Dr. José Manuel Perea Muñoz



D. CECILIO JOSÉ BARBA CAPOTE, PROFESOR TITULAR DEL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL DE LA UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA.

INFORMA:

Que la tesis Doctoral titulada “Ensilaje de rastrojo de maíz asociado con diferentes niveles de urea y melaza para la alimentación de rumiantes. Caracterización y posicionamiento estratégico”, que se recoge en la siguiente memoria y de la que es autor D. ADOLFO RODOLFO SÁNCHEZ LAIÑO, ha sido realizada bajo mi dirección, cumpliendo las condiciones exigidas para que la misma pueda optar al Grado de Doctor por la Universidad de Córdoba.

Lo que suscribo como director de dicho trabajo y a los efectos oportunos, en Córdoba a veintiséis de abril de dos mil veintiuno.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Cecilio José Barba Capote", written over a horizontal line.

Fdo. Cecilio José Barba Capote



D. JUAN AVELLANEDA CEVALLOS, PROFESOR CON NOMBRAMIENTO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD TECNICA ESTATAL DE QUEVEDO (ECUADOR).

INFORMA:

Que la tesis Doctoral titulada “Ensilaje de rastrojo de maíz asociado con diferentes niveles de urea y melaza para la alimentación de rumiantes. Caracterización y posicionamiento estratégico”, que se recoge en la siguiente memoria y de la que es autor D. ADOLFO RODOLFO SÁNCHEZ LAIÑO, ha sido realizada bajo mi dirección, cumpliendo las condiciones exigidas para que la misma pueda optar al Grado de Doctor por la Universidad de Córdoba.

Lo que suscribo como director de dicho trabajo y a los efectos oportunos, en Córdoba a veintiséis de abril de dos mil veintiuno.

A handwritten signature in blue ink, reading 'Juan Avellaneda Cevallos' with the initials 'ec' below it.

Fdo. Juan Avellaneda Cevallos



TÍTULO DE LA TESIS:

ENSILAJE DE RASTROJO DE MAÍZ ASOCIADO CON DIFERENTES NIVELES DE UREA Y MELAZA PARA LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES. CARACTERIZACIÓN Y POSICIONAMIENTO ESTRATÉGICO

DOCTORANDO: D. ADOLFO RODOLFO SÁNCHEZ LAIÑO

INFORME RAZONADO DEL/DE LOS DIRECTOR/ES DE LA TESIS

(Se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

Durante el desarrollo del Plan de Investigación, el doctorando ha profundizado en el conocimiento de la utilización de esquilmos y residuos de cosecha, así como de distintos subproductos agroindustriales tropicales en alimentación animal, aunque la tesis doctoral se ha centrado en el manejo del rastrojo de maíz mediante la técnica de ensilado con adición de melaza y urea para su uso en la alimentación de rumiantes en la provincia de Los Ríos, de la Región Costa de Ecuador. A lo largo de este tiempo, el Doctorando ha adquirido habilidades y competencias necesarias para poder abordar las problemáticas zootécnicas existentes en el sector productor bajo diferentes vertientes, tanto desde la óptica de la investigación, lo que permitiría la extrapolación de los conocimientos asimilados con la correcta secuencia metodológica para su aplicación al resto de subproductos agrícolas generados, muchos de ellos actualmente pendientes de caracterizar desde el punto de vista científico, como desde la perspectiva del desarrollo ganadero a la hora de abordar la resolución de problemas organizativos y de gestión relativos a la confección de inventario de subproductos generados, volumen de biomasa disponible y temporalidad del aprovechamiento, entre otros.

La presente Tesis Doctoral plantea un objetivo estratégico como es la caracterización del ensilado de rastrojo de maíz con la adición de melaza y diferentes niveles de urea, así como el conocimiento de la cinética de la degradación ruminal y digestibilidad mediante diferentes técnicas. Se evaluaron diferentes niveles de inclusión de urea más melaza para la mejora de la conservación del ensilado y de la calidad.

Esta Tesis no se erige como investigación aislada, sino que forma parte de un amplio programa de desarrollo ganadero en clave de sustentabilidad, Bioeconomía circular y mitigación del cambio climático en el contexto agrario ecuatoriano.

La presente Tesis Doctoral ha dado lugar a los siguientes trabajos:

Sánchez, A.; Perea, J.; Montenegro, L.; Espinoza, I.; Avellaneda, J.; C. Barba. 2020. *Cinética de degradación ruminal in situ de ensilado de rastrojo de maíz (Zea mays) con niveles crecientes de urea. Archivos de Zootecnia. 69(267): 320-326.*

Sánchez, A.; Espinoza, I.; Montenegro, L; Torres, E.; Torres, Y.; Barba, C., García, A. 2018. *Valor nutritivo in vitro del ensilaje de rastrojo de maíz (Zea mays) asociado con diferentes niveles de urea más melaza. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Volumen 26. Suplemento 1. Pp 102*

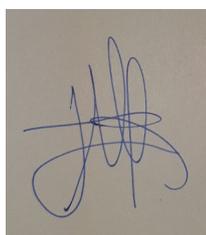
Sánchez, A.; Espinoza, I.; Montenegro, L; Torres, E.; Torres, Y.; Barba, C.; García, A. 2018. *Características nutritivas y estabilidad aeróbica del ensilaje de rastrojo de maíz (Zea mays) enriquecido con urea más melaza. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Volumen 26. Suplemento 1. Pp 103*

Sánchez, A.; Espinoza, I.; Montenegro, L; Torres, E.; Torres, Y.; Barba, C. 2018. *Valoración nutricional del rastrojo de Zea mays y Oryza sativa para la alimentación de ovinos en el trópico ecuatoriano. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Volumen 26. Suplemento 1. Pp 103-104*

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

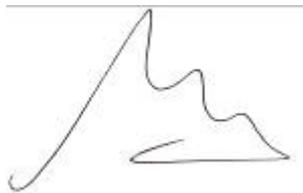
Córdoba, a veintiséis de abril de dos mil veintiuno.

Vº Bº
Director 1



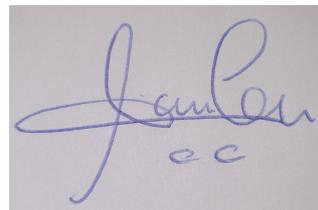
Dr. José Manuel Perea
Muñoz

Vº Bº
Director 2



Dr. Cecilio José Barba
Capote

Vº Bº
Director 3



Juan Avellaneda Cevallos

AGRADECIMIENTOS

Una vez concluida mi Tesis Doctoral es imposible no pararse un momento a mirar atrás, recapitular y pensar cómo he llegado hasta aquí, y dar las gracias a todas las personas e instituciones que han hecho posible, de una manera u otra, haber logrado culminar este gran e importante proyecto.

Un eterno agradecimiento a mis padres (Eufemia † y Pedro †), esposa (Emma), hijos (Daniela, Adrián, Nadia), nietos (Mateo y Sofía), hermanos (Mercy, Asdrúbal, Patricia y Fabiola+) por el amor y apoyo recibido.

*Mi gratitud con la **Universidad Técnica Estatal de Quevedo (Ecuador)**, y en su nombre al Dr. Eduardo Díaz Ocampo, Rector de nuestra institución, a mis colegas y estudiantes por siempre ofrecerme su amistad y experiencia y a todo el personal administrativo por agilizar los procesos durante este periodo.*

*Un agradecimiento especial para la **Universidad de Córdoba (España)**, al Programa de Doctorado de Recursos Naturales y Sostenibilidad. IdEP - Instituto de Estudios de Postgrado.*

A mi Tutor en la Universidad de Córdoba, agradezco al Dr. Antón García Martínez, por su amistad, apoyo y motivación brindada en mi formación como Investigador.

A mis Directores, los Doctores José Manuel Perea Muñoz, Cecilio Barba Capote y Juan Avellaneda Cevallos por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico y haberme ayudado en mi estudio de doctorado.

Al personal técnico del Laboratorio de Rumiología y Metabolismo Nutricional (RUMEN) de la UTEQ por su soporte y colaboración técnica durante el proceso de esta investigación.

Mi agradecimiento también para Andrés Martínez y resto del personal del Dpto. de Producción Animal que siempre me brindaron su amistad y apoyo durante mi estancia en Córdoba,

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta tesis doctoral, con sus altos y bajos y que no necesito nombrar porque tanto ellas como yo sabemos que desde los más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

A Dios

Por regalarme la vida y darme lo necesario e indispensable para alcanzar esta meta.

A mis padres: Eufemia Laiño (†) y Pedro Monserrate (†)

A mis hermanos: Mercy, Jorge, Patricia, Fabiola (†)

A mi esposa: Emma

A mis hijos: Adrián, Daniela Y Nadia

A mis nietos: Mateo y Sofía

Que son su enorme cariño orientan mi vida y son mi razón para existir



El desarrollo de la presente Tesis Doctoral se enmarca dentro del Convenio Específico de Cooperación en Postgrado entre:

La Universidad de Córdoba (España) y la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (Ecuador),

Asimismo, el estudio se ha desarrollado dentro del marco de los siguientes Proyectos de investigación:

1. Caracterización y tipificación de subproductos y residuos tropicales de uso alimenticio en alimentación del bovino de doble propósito (Ecuador). Financiado por el Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica "FOCICYT Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Convocatoria Extraordinaria # 2. y dirigido por D. Ítalo Espinoza Guerra y D. Antón Rafael García Martínez. 2014.
2. Caracterización de ensilajes de pasto elefante (*Cenchrus pupureus*) con inclusión de residuos agroindustriales tropicales de uso alimenticio del bovino de doble propósito. Financiado por el Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica "FOCICYT" Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Convocatoria Extraordinaria # 3. y dirigido por D. Ítalo Espinoza Guerra y D. Antón Rafael García Martínez. 2015.

Adolfo Rodolfo Sánchez Laiño

3. Caracterización de ensilajes de pastos tropicales con niveles de inclusión de residuos agrícolas y agroindustriales de uso alimenticio en rumiantes, Financiado por el Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica "FOCICYT" Universidad Técnica Estatal de Quevedo Convocatoria Extraordinaria # 4. y dirigido por D. Ítalo Espinoza Guerra, D. Antón Rafael García Martínez y D. Andrés Martínez Marín. 2016.
4. Características fermentativas y nutritivas del ensilaje de rastrojo de maíz (*Zea mays*), asociado con diferentes niveles de urea más melaza, para la alimentación de rumiantes. Financiado por el Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica "FOCICYT" Universidad Técnica Estatal de Quevedo Convocatoria. Extraordinaria # 3. y dirigido por M.Sc. Adolfo Sánchez Laiño, D. Antón Rafael García Martínez y D. Cecilio Barba Capote. 2015.

Finalmente, para la colegiatura en el postgrado y la estancia del Doctorando en la Universidad de Córdoba, España, ha disfrutado de beca de colegiatura del Área de Postgrado de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ).

Adolfo Rodolfo Sánchez Laiño

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción y justificación | 11 |
| 1.1 Introducción | 11 |
| 1.2 El proyecto | 14 |
| 1.3 El contexto ecuatoriano en la Región Costa | 18 |
| 1.4 Justificación de la investigación | 21 |
| 2. Objetivos | 27 |
| 3. Revisión bibliográfica | 29 |
| 3.1 El uso del suelo agrícola de Ecuador | 29 |
| 3.2. Los sistemas de producción pecuaria en Ecuador | 32 |
| 3.3. Subproductos agroindustriales | 35 |
| 3.4. El cultivo del maíz (<i>Zea mays</i>) | 38 |
| 3.4.1. Características generales | 38 |
| 3.4.2. Producción de maíz en el mundo | 42 |
| 3.4.3. Producción de maíz en América Latina | 45 |
| 3.4.4. Producción en Ecuador | 50 |
| 3.4.5. Potencial productivo del maíz | 54 |
| 3.4.6. Escandallo del cultivo de maíz | 55 |
| 3.4.7. El rastrojo de maíz | 56 |
| 3.5. Principales aditivos utilizados en alimentación animal | 62 |
| 3.5.1. Melaza | 63 |
| 3.5.2. Urea | 63 |
| 3.6. Ensilaje, uso e importancia | 64 |
| 3.6.1. Preparación del material a ensilar y proceso de ensilaje | 66 |
| 3.6.2. Composición química de los ensilajes | 70 |
| 3.7. Metodologías de evaluación de la degradabilidad/digestibilidad de los alimentos fibrosos | 71 |
| 3.7.1. Degradabilidad <i>in situ</i> | 72 |
| 3.7.2. Digestibilidad <i>in vitro</i> | 78 |
| 3.7.3. Metodología DAISY II (ANKOM TECHNOLOGY) | 81 |
| 3.8. Posicionamiento estratégico | 83 |

| | |
|---|------------|
| 4. MATERIAL Y MÉTODOS | 85 |
| 4.1. Materias primas, manejo de animales y preparación de muestras | 86 |
| 4.2. Plan experimental | 90 |
| 4.2.1. Determinación de la calidad bromatológica, tecnológica y microbiana del ensilado | 91 |
| 4.2.2. Efecto de diferentes niveles de urea más melaza sobre la degradabilidad in situ del ensilado | 92 |
| 4.2.3. Composición química y cinética de degradación ruminal in vitro del ensilado | 94 |
| 4.3. Análisis estadísticos | 97 |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 99 |
| 5.1. Calidad bromatológica, tecnológica y microbiológica del ensilado de rastrojo de maíz con adición de melaza y niveles crecientes de urea | 99 |
| 5.1.1. Calidad bromatológica del rastrojo de maíz con adición de melaza y niveles crecientes de urea | 99 |
| 5.1.2. Calidad bromatológica del ensilado de rastrojo de maíz con adición de melaza y niveles crecientes de urea | 101 |
| 5.1.3. Calidad tecnológica del ensilado de rastrojo de maíz con adición de melaza y niveles crecientes de urea | 105 |
| 5.1.4. Calidad microbiológica del ensilado de rastrojo de maíz con adición de melaza y niveles crecientes de urea | 107 |
| 5.1.5. Análisis de ensilado de rastrojo de maíz con adición de melaza y niveles crecientes de urea a los 35 días de fermentación. | 110 |
| 5.2. Cinética de degradación ruminal “In Situ” de ensilado de rastrojo de maíz (<i>Zea mays</i>) con niveles crecientes de urea | 114 |
| 5.3. Cinética de degradación ruminal In vitro del ensilado de rastrojo de maíz (<i>Zea mays</i>) con niveles crecientes de urea | 122 |
| 5.4. Análisis comparativo entre digestibilidad in vitro y degradabilidad in situ | 126 |
| 5.5. Consideraciones finales e implicaciones futuras | 132 |

| | |
|--------------------------------------|------------|
| 6. CONCLUSIONES | 135 |
| 7. RESUMEN | 137 |
| 8. SUMMARY | 141 |
| 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 145 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1.- Superficie agraria en Ecuador, según categoría de uso del suelo (ha y %) | 30 |
| Tabla 2.- Principales países productores de maíz a nivel mundial. Año 2019. | 42 |
| Tabla 3.- Costos de producción de maíz duro para grano comercial y semilla en el Ecuador (2017). | 52 |
| Tabla 4.- Proporción de los diferentes componentes de una planta de maíz. | 55 |
| Tabla 5.- Relación de estudios sobre degradabilidad in situ en diferentes dietas y especies animales | 73 |
| Tabla 6.- Relación de estudios sobre degradabilidad in vitro en diferentes dietas y especies animales | 79 |
| Tabla 7.- Producción de subproductos agrícolas en algunos cultivos (México). | 84 |
| Tabla 8.- Composición química (%) del rastrojo de maíz (<i>Zea mays</i>) con niveles crecientes de urea. | 100 |
| Tabla 9.- Estadística descriptiva y análisis de varianza de las variables de calidad bromatológica del ensilado de rastrojo de maíz con niveles crecientes de urea a distintos tiempos de fermentación | 102 |
| Tabla 9bis.- Estadística descriptiva y análisis de varianza de las variables de calidad bromatológica del ensilado de rastrojo de maíz con niveles crecientes de urea a distintos tiempos de fermentación. Continuación. | 103 |
| Tabla 10.- Comportamiento del pH y temperatura en el ensilado de rastrojo de maíz con niveles crecientes de urea a distintos tiempos de fermentación. | 105 |
| Tabla 11.- Análisis varianza del ensilado de rastrojo de maíz (<i>Zea mays</i>) con adición de melaza y niveles crecientes de urea, a los 35 días de fermentación. | 111 |
| Tabla 12.- Efecto de los niveles de melaza-urea en la degradabilidad de la materia seca y proteína del ensilaje de rastrojo de maíz. | 114 |
| Tabla 13.- Valores promedio y análisis de varianza para la cinética de degradabilidad ruminal in situ de la materia seca del ensilado de rastrojo de maíz (<i>Zea mays</i>) con niveles crecientes de urea a los 35 días de fermentación. | 115 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 14.- Valores promedio y análisis de varianza para la cinética de degradabilidad ruminal in vivo de la proteína bruta del ensilado de rastrojo de maíz (<i>Zea mays</i>) con niveles crecientes de urea a los 35 días de fermentación | 117 |
| Tabla 15.- Cinética de degradación ruminal in vitro de la materia seca (MS) del ensilaje de rastrojo de maíz (<i>Zea mays</i>) con diferentes niveles de urea. | 122 |
| Tabla 16.- Cinética de degradación ruminal in vitro de la proteína (PB) del ensilaje de rastrojo de maíz (<i>Zea mays</i>) con diferentes niveles de urea | 124 |
| Tabla 17.- Efecto de los niveles de urea y el método empleado sobre la digestibilidad. | 126 |
| Tabla 18.- Relación entre los componentes de la composición química y la digestibilidad in situ. | 127 |
| Tabla 19.- Relación entre los componentes de la composición química y la digestibilidad in vitro | 128 |
| Tabla 20.- Relación entre la digestibilidad in vitro e in situ. | 129 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1.- Estrategia de uso del rastrojo de maíz en alimentación animal</i> | 20 |
| <i>Figura 2.- Distribución del uso del suelo en Ecuador. Año 2019</i> | 31 |
| <i>Figura 3.- Detalle de cultivos con gran potencial en generación de subproductos</i> | 37 |
| <i>Figura 4.- Detalle de un cultivo de maíz</i> | 39 |
| <i>Figura 5.- Fases del cultivo y aprovechamiento del maíz.</i> | 41 |
| <i>Figura 6.- Diagrama de flujo de las opciones productivas del cultivo de maíz.</i> | 54 |
| <i>Figura 7.- Detalle del cultivo de maíz, con área cosechada y área sin cosechar.</i> | 56 |
| <i>Figura 8.- Detalle de la quema en rastrojo de maíz</i> | 57 |
| <i>Figura 9.- Aprovechamiento del rastrojo de maíz mediante pastoreo directo con ovino de pelo.</i> | 58 |
| <i>Figura 10.- Aprovechamiento del rastrojo de maíz mediante pastoreo directo con bovino criollo y cebuino.</i> | 59 |
| <i>Figura 11.- Técnica de digestibilidad in situ.</i> | 77 |
| <i>Figura 12.- Imagen de Digestor/incubador Daysy (ANKOM Technology).</i> | 82 |
| <i>Figura 13.- Detalle de una muestra de rastrojo de maíz tras la recolección en campo.</i> | 86 |
| <i>Figura 14.- Detalle de la fase de preparación de la mezcla: operación de picado.</i> | 86 |
| <i>Figura 15.- Detalle del rastrojo de maíz tras la operación de picado.</i> | 87 |
| <i>Figura 16.- Detalle de la fase de preparación de la mezcla: operación de homogenización de ingredientes-aditivos.</i> | 87 |
| <i>Figura 17.- Detalle de la fase de preparación de la mezcla: inspección y verificación de muestras, según tratamiento.</i> | 88 |
| <i>Figura 18.- Detalle de la fase de preparación de la mezcla: operación de extracción del aire (condiciones anaerobias).</i> | 89 |
| <i>Figura 19.- Imagen del Laboratorio de Ruminología y Metabolismo Ruminal (RUMEN). UTEQ-Ecuador.</i> | 90 |

| | |
|--|-----|
| Figura 20.- <i>Detalle de las bolsas de nylon para el estudio de degradabilidad in situ</i> | 93 |
| Figura 21.- <i>Imagen del manejo de animales en experiencias de degradabilidad in situ.</i> | 93 |
| Figura 22.- <i>Detalle de extracción de las muestras tras el periodo de incubación</i> | 93 |
| Figura 23.- <i>Detalle de extracción de líquido ruminal para los estudios de degradación ruminal in vitro.</i> | 95 |
| Figura 24.- <i>Imagen de la digestibilidad in vitro (Biodigestores DAYSY).</i> | 96 |
| Figura 25.- <i>Detalle de las muestras en el interior de un biodigestor.</i> | 96 |
| Figura 26.- <i>Imagen del producto ensilado resultante (izquierda) y de su consumo por ganado ovino (derecha)</i> | 104 |
| Figura 27.- <i>Variación del recuento bacteriológico total a lo largo del tiempo</i> | 107 |
| Figura 28.- <i>Variación del recuento de Lactobacillus spp a lo largo del tiempo</i> | 108 |
| Figura 29.- <i>Variación del recuento de hongos a lo largo del tiempo</i> | 108 |
| Figura 30.- <i>Efecto de los niveles de urea sobre degradabilidad potencial de la materia seca</i> | 118 |
| Figura 31.- <i>Efecto de los niveles de urea sobre degradabilidad potencial de la proteína bruta</i> | 119 |

ABREVIATURAS

- A:** Degradabilidad potencial.
- a:** Fracción soluble.
- AGV:** Ácidos Grasos Volátiles.
- B:** Fracción no soluble.
- BAL:** Bacterias Acido lácticas.
- c:** Tasa fraccional de degradación constante del alimento.
- CMS:** Consumo de Materia Seca.
- CNF:** Carbohidratos No Fibrosos.
- CV:** Consumo Voluntario.
- DE:** Degradabilidad efectiva.
- DEMS:** Degradabilidad Efectiva de la Materia Seca.
- DEP:** Degradabilidad Efectiva de la Proteína.
- DIS:** Digestibilidad *in situ*.
- DISFC:** Degradabilidad *in situ* de la Fibra Cruda.
- DISMS:** Degradabilidad *in situ* de la Materia Seca.
- DISPC:** Degradabilidad *in situ* de la Proteína Cruda.
- DIV:** Digestibilidad *in vitro*.
- DIVFC:** Degradabilidad *in vitro* de la Fibra Cruda.
- DIVFDN:** Degradabilidad *in vitro* de la Fibra Detergente Neutra.
- DIVMS:** Degradabilidad *in vitro* de la Materia Seca
- DIVPC:** Degradabilidad *in vitro* de la Proteína Cruda.
- ED:** Energía Digestible.
- EE:** Extracto Etéreo.
- EM:** Energía Metabolizable.
- FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FDA:** Fibra Detergente Acida.
- FDN:** Fibra Detergente Neutra.
- FES:** Fermentación en Estado Sólido.
- INEC:** Instituto nacional de Estadísticas y Censos.
- INIAP:** Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- k:** Tasa fraccional de pasaje.

MAGAP: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.

Mcal kg⁻¹ MS: Mega calorías por kg de Materia Seca.

MO: Materia Orgánica.

MS: Materia Seca.

PB: Proteína Bruta.

PC: Proteína Cruda.

pH: Potencial de Hidrogeno.

PIB: Producto Interno Bruto.

PNDR: Proteína No Degradable del Rumen.

PV: Peso Vivo.

R²: Coeficiente de determinación.

Tm: Toneladas métricas.

SENPLADES: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.

UFC: Unidad Formadora de Colonias.

1.- INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

1.1. Introducción

A nivel mundial, la agricultura constituye una actividad fundamental para la subsistencia de la población humana. Diversos factores conducen a un proceso de deterioro de sus escasos recursos y a una creciente dificultad para renovarlos. El suelo como base de los recursos y de la producción se encuentra enmarcado en un ambiente complejo, heterogéneo y frágil, que evidencia una alta susceptibilidad a la erosión y una baja fertilidad natural, con efectos sobre la producción de los cultivos, la productividad del trabajo y la factibilidad del establecimiento de sistemas productivos sustentables. La recuperación y mantenimiento de la fertilidad de los suelos sobre una base sostenible constituye un factor de gran importancia en el desarrollo de la producción pastos a nivel mundial (Rueda *et al.*, 2016).

La cría de ganado bovino criollo de doble propósito es la actividad pecuaria predominante en las regiones tropicales de Latinoamérica (Torres et al., 2015; y Rangel et al., 2017). La alimentación del ganado de doble propósito se basa fundamentalmente en la utilización de pastos naturales y cultivados de no muy alta calidad, así como en el empleo de cantidades crecientes de residuos de cultivos y subproductos agroindustriales (Montenegro et al., 2018).

En el caso de los pastos, existe una clara estacionalidad en la producción de biomasa con grandes diferencias entre la época lluviosa (80% del total) frente a la menor productividad de la época seca (Caraballo et al., 2007), por cuanto se compromete el desarrollo de la producción ganadera y la mejora sostenida del sector agropecuario en estas latitudes. De acuerdo con Rangel et al. (2020) hay carencia de programas de manejo y mejora de la producción de forraje verde y, en el caso de los cultivos, la producción de granos tiene prioridad para el consumo humano, con independencia de que parte de los mismos se estén desviando hacia la producción de biocombustibles.

La utilización de residuos de cosecha y subproductos agroindustriales en alimentación animal resulta estratégica para alcanzar un desarrollo territorial y favorecer la soberanía alimentaria de modo sostenible (García et al., 2016). Además, el empleo de los subproductos permite aumentar su ciclo de vida y reutilización, además de contribuir a mitigar sus efectos en el medio ambiente (Pardo et al., 2016). Sin embargo, el uso de la mayor parte de estos residuos es ineficaz por su escaso valor nutricional, baja estabilidad y reducida durabilidad en condiciones tropicales, entre otros limitantes y desventajas, así como la falta de conocimiento sobre su valoración, estrategias de conservación, pautas de uso e implementación en dietas (Meneses et al., 2007).

El ensilaje puede constituir una técnica adecuada de conservación apropiada para los subproductos en el trópico dado su alto contenido acuoso (Cándido et al. 2007), así como por depender en menor medida de las condiciones climáticas en comparación con la henificación (Sánchez-Laiño et

al., 2019), lo que permitiría su estabilización y conservación durante largos períodos de tiempo evitando las pérdidas debidas la putrefacción (Santos et al., 2010). En este sentido, se trata de una tecnología que puede realizarse con diferentes estrategias, ya sea de modo industrial o a pequeña escala, por lo que se constituye una alternativa accesible a los pequeños productores por su fácil implementación (escasa manipulación y ausencia de mecanización) y bajo coste. Además, esta tecnología aseguraría la disponibilidad de forrajes en épocas de carencia en sistemas de producción de rumiantes, evitando la venta de las existencias de reproductores y garantizando una continuidad en la producción (Santos et al., 2010). Por otra parte, la implementación de esta tecnología en pequeños productores favorece la economía circular alargando la vida de los procesos dado que transforma un residuo en una nueva materia prima (Rivas et al., 2019a).

Por lo anterior, la mayoría de los productores, en especial los de pequeña dimensión que cuentan con escasa disponibilidad de base territorial y nulos recursos económicos, no puedan desarrollar su actividad ganadera de forma óptima, lo que se traduce en una producción con una marcada estacionalidad y baja productividad en la explotación, por cuanto se hace necesario abordar esta actividad bajo un enfoque multidimensional con vistas a mejorar la calidad y disponibilidad de los subproductos agroindustriales disponibles (Torres et al, 2015).

Así, estas materias primas pueden someterse a distintos procesos físicos, químicos, biológicos o de adición de cultivos microbianos y enzimas fibrolíticas exógenas que permitan incrementar sus valores nutritivos y digestibilidad. En este sentido, la transformación de subproductos de maíz mediante técnicas de ensilado no sólo mejora la digestibilidad, sino que además incrementa la durabilidad de estos recursos para su utilización en épocas de escasez de alimentos, así como también la autosuficiencia de los productores de pequeña escala (Rangel et al., 2017), y contribuye a la mitigación del cambio climático disminuyendo las emisiones de rumiantes (Rivas et al., 2019b).

1.2. El Proyecto

El presente proyecto de tesis doctoral se enmarca en el ámbito de la innovación tecnológica, dentro del área agroalimentaria y comprendido en los ejes estratégicos del Plan del Buen Vivir recogidos en los objetivos país, con dos vertientes estrechamente ligadas: Mitigación del cambio climático mediante el tratamiento de residuos de la producción agrícola y su utilización como alimentos para el ganado; ambas marcadas como líneas prioritarias en el país como herramienta clave de competitividad territorial y sostenibilidad.

Dentro de la política agropecuaria ecuatoriana hacia el desarrollo territorial rural sostenible 2015-2025, el Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP, 2016) inicio un proceso de análisis y revisión de sus políticas para ajustar progresivamente el direccionamiento que la dinámica del sector demanda, en el marco y orientación de la política pública vigente: Estrategia Nacional para la Erradicación de la Pobreza, Estrategia Nacional para el Cambio de Matriz Productiva y consideración del nuevo ordenamiento jurídico previsto en la Constitución de la Republica, del Plan Nacional del Buen Vivir y los postulados de la Agenda Productiva Sectorial.

Las primeras conclusiones de este análisis y las acciones emprendidas durante estos tres últimos años para fortalecer la presencia de los pequeños y medianos productores a lo largo de las cadenas productivas llevaron a considerar como un tema imperativo la necesidad de fortalecer estructuralmente al sector agropecuario para ajustar y/o profundizar las intervenciones durante el decenio 2015-2025 dentro del marco mencionado y considerando el comportamiento futuro del sector.

En un contexto internacional inédito de reversión de los términos de intercambio globales entre materias primas y bienes manufacturados, y aumento en los precios de los alimentos después de 70 años de declinación, tal reversión representa, en sí misma, una oportunidad única para la agricultura ecuatoriana y latinoamericana. Tras un examen crítico y objetivo sobre los impactos de la gestión agraria de los últimos 50 años, y con sentido autocritico

respecto a nuestro periodo de gestión, se reconoce la importancia y conveniencia para el país de ajustar las políticas en marcha. Para tal propósito se vuelve indispensable consolidar algunas acciones y reorientar otras (MAGAP, 2016).

El nuevo escenario internacional, y su perspectiva de mediano y largo plazo, replantea el papel de la agricultura en los objetivos de desarrollo nacional y latinoamericano. Esta situación ha generado nuevas reflexiones, ruptura de paradigmas, formulación de propuestas que reconocen e integran las múltiples contribuciones que la agricultura puede hacer al desarrollo, particularmente rural. De ahí que se vuelve imperativo poner en marcha estrategias distintas y concepción diferente del sustantivo papel que la agricultura juega dentro de las políticas públicas.

De esta forma teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, los resultados adquieren un sentido estratégico y podrán contribuir a mediano y largo plazo a erradicar la pobreza en el campo, a garantizar la seguridad alimentaria de toda la población, y a cristalizar las transformaciones que el país anhela en cuanto a las condiciones de producción y la dignificación del nivel de vida de los campesinos ecuatorianos (MAGAP, 2016). Con motivo del COVID-19 la vulnerabilidad del mundo rural se ha incrementado, con caídas de precios de los productos e incremento del coste de los insumos, lo que aleja a los pequeños productores de doble propósito, aún más, de los objetivos de la soberanía alimentaria. En este contexto es más necesario el desarrollo y evaluación de las tecnologías de bajo coste a partir de los recursos locales que favorezcan la continuidad de los medios de vida y de las fuentes de producción de alimentos (Villarreal-Molina et al., 2021).

Por otra parte, el creciente aumento de los precios de las diferentes materias primas, utilizadas habitualmente en la alimentación animal, por su utilización en la producción de biocombustible, provoca incrementos en los costes en el sector agropecuario, por lo que es y será prioritario desarrollar alternativas para suplir los requerimientos nutricionales de las diferentes

especies pecuarias y de esta forma alcanzar producciones sostenibles (FAO, 2018).

Con vista futurista, a partir de los conocimientos generados en la actual investigación, se llevarán a cabo un sistema de transformación y enriquecimiento de materiales fibrosos generados por el cultivo del maíz, los cuales pueden generar contaminación del medio en alimento de calidad para especies rumiantes como alternativa en el periodo de mayor escasez de alimento.

Teniendo en cuenta el panorama nacional e internacional con el crecimiento de la población e incremento en la demanda de alimentos, plantean importantes retos para la agricultura, donde la producción tendrá que aumentar en un 60% para el año 2050; usando terrenos degradados y en proceso de desertificación, todo esto bajo la primicia de producir más, utilizando menos recursos naturales y al mismo tiempo hacer frente a un clima cambiante. Por lo tanto, el objeto de la agricultura va desde lo productivo hacía el desarrollo rural, medioambiental y de justicia social (Morales-Velazco *et al.*, 2016).

En Ecuador la productividad de los sistemas pecuarios tiene una tendencia a declinar, como consecuencia de la utilización de sistemas extensivos y suelos de baja fertilidad, en los que predominan especies naturalizadas, generando poca productividad. Se estima que alrededor de la mitad de las pasturas están en situación de degradación. Esta es causada por varias razones o combinaciones de ellas: la introducción de especies forrajeras no adaptadas a una determinada región, el mal manejo de las pasturas, la compactación del suelo, la erosión y reducción de la fertilidad. Aspectos que reducen aún más la productividad de la ganadería en la región (Arango *et al.*, 2016).

En gran parte de América Latina, la alimentación humana compite con la alimentación animal en sistemas pastoriles y con una política monetaria dependiente del dólar (Rangel *et al.*, 2017). Se considera que no es económico alimentar al bovino con concentrados para de hacerlos crecer y engordar con

mayor rapidez, dejando, como único camino práctico para incrementar la producción de alimentos para los rumiantes, la siembra de nuevas especies de pastos y forrajes con mayor adaptabilidad y potencias productivo (“*land saping*”); así como el empleo de los subproductos de cosecha generados por la agricultura (“*land sharing*”), según Ramírez *et al.* (2017) y Torres *et al.* (2020).

La utilización de forrajes y los subproductos de cosechas conservados es una opción económica y ecológica para mejorar la disponibilidad de alimento en épocas críticas de producción. El ensilaje requiere menor uso de maquinaria e infraestructura y es menos dependiente del clima, con respecto a la henificación o el henilaje. Su principio de conservación es una rápida disminución del pH, gracias a la producción de ácidos orgánicos por las bacterias ácido-lácticas que impide crecimiento microbiano y la actividad de las enzimas endógenas catabólicas de la planta preservando el alimento (Villa *et al.*, 2010).

Anualmente se produce una cantidad considerable de materia orgánica representada por material vegetal en los diversos procesos de la producción agrícola, pero solo una cierta parte de estos son aprovechados directamente para la alimentación tanto humana como animal, dejando a la deriva y, generalmente a la quema, una gran cantidad de mal llamados “*desechos*”, los cuales se convierten en un potencial de contaminación ambiental. Generalmente estos son considerados un problema para el productor ya que no cuentan o no conocen alternativas de manejo para poder dar un uso apropiado a estos residuos, En algunos casos el manejo inadecuado de estos residuos y falta de conciencia ambiental terminan generando problemas de contaminación (Villalba *et al.*, 2011).

Es por esto que los resultados derivados de la actual investigación pueden constituir un elemento fundamental desde el punto de vista ecológico y para evitar daños al ecosistema y alimenticio ya que con este proceso los productos con elevados contenidos en fibra pueden ser empleados para mitigar la falta de alimentos que se genera en un promedio de seis meses sin

precipitaciones en la costa ecuatoriana, donde la calidad y cantidad de los recursos no suplen las necesidades de la ganadería, aspectos que limitan el desarrollo y competitividad del sector.

Por lo tanto, desde el punto de vista ambiental y de la sostenibilidad, el estudio fortalece las buenas prácticas de manejo de los residuos de cosecha y subproductos in situ, dando nueva una dimensión a las prácticas de manejo de los recursos endógenos de la explotación (Torres et al., 2020).

1.3. El contexto ecuatoriano en la Región de la Costa

Los efectos producidos por las actividades humanas en el clima de la tierra ponen en riesgo la seguridad pública y atentan en contra del Buen Vivir, pero todavía estamos a tiempo de cambiar esa realidad.

El Ecuador comienza a vivir los impactos del cambio climático y debe tomar medidas y acciones para no sucumbir frente a una planificación tardía, equívoca y sin coordinación que le imposibilite considerar en todos los sectores y niveles de gestión del Estado al cambio climático como un factor que se convierte en determinante para el desarrollo económico del país (MAE, 2012).

Existen debates a nivel científico y en los procesos de toma de decisiones para la creación de políticas internacionales cada vez más exigentes hacia todos los países del mundo en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Este es el espacio de concertación en donde el Ecuador y otros países participan para definir los acuerdos y normativas internacionales para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que constituyen las causas principales de la problemática mundial que afecta con mayor intensidad a las economías en desarrollo. Adicionalmente, orienta el accionar de los gobiernos en la implementación de medidas de adaptación frente al incremento de la temperatura global del planeta.

La producción agropecuaria es muy vulnerable a los efectos del cambio climático. De hecho, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, en adelante IPCC) ha advertido que probablemente algunos sistemas, sectores y regiones resultarán especialmente afectados por el cambio climático, siendo la agricultura en latitudes medias una de las más afectadas debido a una menor disponibilidad de agua; los recursos hídricos de ciertas regiones secas de latitudes medias; en los trópicos secos debido a la alteración de las precipitaciones de lluvia y de la evapotranspiración; y en áreas dependientes de la nieve y del deshielo (MAE, 2012).

Los cambios en la temperatura promedio del aire o el suelo, las fluctuaciones del agua, ya sea de riego o precipitaciones en el litoral ecuatoriano provoca períodos de mayor productividad de las pasturas (presencia de lluvias) y otra de escasez (ausencia de lluvias) que deprimen la sostenibilidad de los hatos ganaderos. Por otra parte, la gran diversidad de productos de origen fibroso que se generan mediante la cosecha de los cultivos tropicales existentes que son en gran parte desaprovechada; pues, no se implementan sistemas de conservación, debido al desconocimiento de los beneficios de esta práctica, desconocimiento de su valor productivo, utilidad y disponibilidad de los materiales potencialmente almacenables (Espinoza-Guerra *et al.*, 2016).

Los residuos de cosecha, también conocidos como rastrojos, son subproductos agrícolas que desempeñan un papel importante en las actividades agropecuarias. Su papel como alimento animal es ampliamente difundido a nivel nacional e internacional, sobre todo en los sistemas mixtos, que combinan actividades agrícolas con las ganaderas. Su contribución para mejorar y conservar los suelos agrícolas ha sido evidenciada en diferentes partes del mundo y su relevancia en la sustentabilidad agrícola (Monterola *et al.*, 1999). No obstante, la importancia de los rastrojos ha pasado desapercibida por los sectores académico y gubernamental, como lo demuestra la limitada información científica que existe sobre ellos. Asimismo, es evidente que no se

han tomado en cuenta explícitamente en políticas y estrategias gubernamentales que buscan la sustentabilidad en el medio rural. De ahí la necesidad de documentar la situación actual de los rastrojos de maíz en Ecuador: ¿Qué valor nutricional y biológico tienen? ¿Qué se hace con ellos? ¿Cómo se aprovechan? ¿Qué prácticas de manejo serían necesarias para su uso? ¿Qué papeles juegan en la actividad agropecuaria y cuál es su contribución futura para alcanzar la sustentabilidad? (Caviedes, 2019).

La abundancia del rastrojo, subproducto de la cosecha del maíz, coincide con el inicio, propiamente de la época crítica para la ganadería regional, precisamente cuando hay carencia de pasturas por falta de lluvia y explica por qué, en la zona, se utiliza ampliamente en la alimentación bovina. Es claro que su uso no puede ser diferido, ya sea por los resultados percibidos por los productores en la producción animal, por la necesidad imperante en la época o bien por la costumbre de la actividad (Arellano-Vicente *et al.*, 2016).

Guevara *et al.*, (2014) reportaron que 53% de productores de la región utilizan el rastrojo de maíz para alimentar a su ganado, el 27% lo usa para abonos de cobertera dejándolo sobre el suelo y el 20% restante lo queman. Lo anterior, indica la importancia de esta actividad y lo interesante que es realizar estudios que puedan apoyar al desarrollo de una estrategia de uso racional del recurso, como la actual investigación que emplea como alternativa de enriquecimiento de este producto su conservación en forma de ensilaje con urea más melaza (Figura 1).

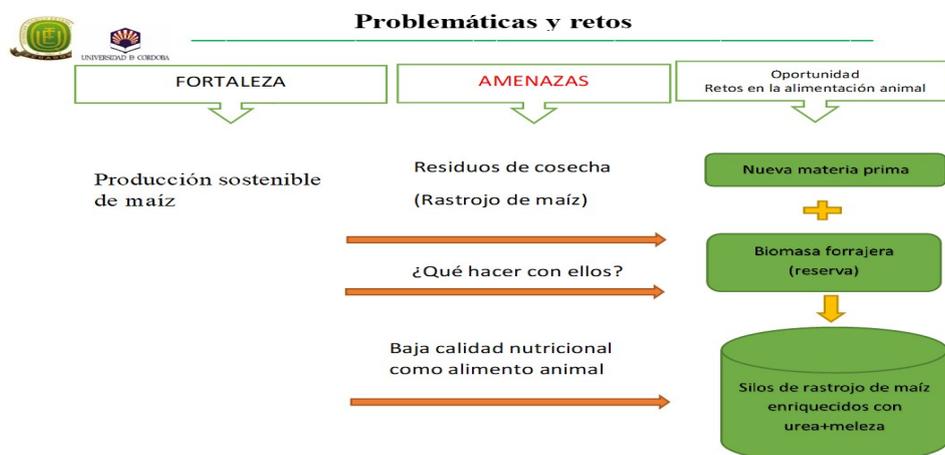


Figura 1. Estrategia de uso del rastrojo de maíz en alimentación animal

1.4. Justificación de la investigación

El Plan Nacional de Desarrollo en Ecuador para el periodo 2017-2021: *“Toda una Vida”* se estructura en tres ejes programáticos y nueve objetivos nacionales de desarrollo sobre la base de la sustentabilidad ambiental y el desarrollo territorial (PND, 2020). El primer eje del Plan denominado *“Derechos para todos durante toda la vida”*, establece la protección de las personas más vulnerables, afirma la plurinacionalidad e interculturalidad, plantea el combate a la pobreza en todas sus dimensiones y todo tipo de discriminación y violencia, así como garantiza los derechos de la naturaleza. El segundo eje titulado *“Economía al servicio de la sociedad”*, plantea consolidar el sistema económico social y solidario, ampliar la productividad y competitividad, generar empleo digno, defender la dolarización, y redistribuir equitativamente la riqueza; además de tratar de garantizar la soberanía alimentaria y el desarrollo rural integral. Finalmente, el tercer eje *“Más sociedad, mejor Estado”*, promueve la participación ciudadana y la construcción de una nueva ética social basada en la transparencia y la solidaridad, un Estado cercano con servicios de calidad y calidez, abierto al diálogo social permanente, así como la soberanía y la paz, posicionando estratégicamente a Ecuador en el mundo.

Asimismo, Ecuador, en términos productivos, se divide en cuatro espacios claramente diferenciados en función de los índices de producción primaria, secundaria y terciaria. En primer lugar, un *“Área de desarrollo industrial en crecimiento con servicios terciarios especializados”* que se encuentra marcada por la bicefalia histórica entre las mayores ciudades del país –Quito y Guayaquil–, las cuales marcan el desarrollo en industria, manufactura y servicios especializados. La segunda categoría se denomina *“Área de desarrollo primario consolidado con enclaves industriales básicos y/o turísticos”*, la cual se caracteriza por tener un nivel de diversificación primaria productiva elevada y consolidada, lo cual permite incursionar en niveles básicos de industrialización, manufactura y/o turismo, dadas las facilidades logísticas y estructurales que ostenta, siendo el caso del espacio comprendido entre las tres principales ciudades del país: Quito, Guayaquil y Cuenca. En

tercer lugar, se encuentra el “Área de bajo desarrollo primario de mayor diversificación con puntales productivos”. Se trata de la mayor superficie del territorio nacional con primaria de los cultivos de cacao, maíz y palma africana, entre otros, dentro del sector primario. Y, finalmente, como cuarta categoría el “Área de bajo desarrollo primario poco diversificado”, caracterizada por un débil impulso económico en los tres sectores, siendo el caso de la provincia de Santa Elena dadas las condiciones topográficas existentes en el norte de esta provincia (cordillera de Chongón Colonche) así como por la considerable cantidad de comunidades con sus orientaciones particulares de producción.

El presente trabajo de investigación se enmarca en un proyecto del Fondo Competitivo de Investigación y Tecnología (FOCICYT) de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo-SENESCYT en colaboración con la Universidad de Córdoba (España) relativo a la *Caracterización y tipificación de subproductos y residuos tropicales de uso alimenticio en alimentación del bovino de doble propósito (Ecuador)*.

Este trabajo de investigación es un caso de innovación tecnológica con aplicación industrial y que tiene el objetivo de dar respuesta a distintos problemas fundamentales del sector agroalimentario:

- ✓ El elevado coste de la alimentación animal y la baja competitividad de las explotaciones agropecuarias
- ✓ La necesidad de favorecer la soberanía alimentaria
- ✓ La necesidad de cambio en el modelo de negocio del país y la búsqueda de otro pertinente con los recursos endógenos y las circunstancias socioeconómicas.
- ✓ El alto impacto medioambiental que generan los residuos y subproductos del complejo agroalimentario ecuatoriano.

Se trata de un proyecto ambicioso y multidisciplinar, con el objeto de generar nuevos conocimientos y su aplicación práctica mediante el desarrollo de una nueva tecnología que dé solución práctica a problemas de la empresa agroalimentaria. Para tal fin, se persigue reunir a los tres pilares fundamentales del complejo agroalimentario: la sociedad con problemas reales existentes en el medio ecuatoriano, la Universidad como generadora de conocimiento y la producción de investigación aplicada mediante la innovación.

El trabajo de investigación se inició en 2014 con los grupos AGR 267 de Economía y Gestión de Sistemas Sostenibles de la Universidad de Córdoba (España), coordinado por el Dr. García Martínez, y el Grupo de Rumiología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (Ecuador), liderado por los *Dres. Avellaneda Cevallos y Espinoza Guerra*. Como fruto de dicha colaboración ha resultado la preparación y defensa de tres tesis doctorales, así como de varios trabajos fin master.

En 2019 se ha constituido un nuevo Grupo de investigación (Clúster interuniversitario) donde se incorpora todo el conocimiento generado y favorece el avance en este campo de la ciencia y sus objetivos y acciones son parte misma del presente trabajo de investigación y que recoge el manuscrito. Hoy este estudio está pendiente de incluirse en una red de trabajo con subproductos dentro de una convocatoria europea conformada con seis países con problemática análoga. Este grupo muestra las siguientes características:

GRUPO INTERUNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN: UTILIZACION DE SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS AGROALIMENTARIOS EN ALIMENTACION ANIMAL Y GESTION AMBIENTAL. **“RED- LIFE”**

Misión:

Favorecer la utilización de subproductos y residuos agroalimentarios en alimentación animal. Ecuador es rico en producción de cultivos tropicales, a la vez que dispone de una larga temporada seca con escasez de pastos, alimentación animal cara y unos sistemas de producción poco competitivos. No obstante, la transformación en materias primas de estos subproductos y residuos agroalimentarios, que se visualizan como un problema ambiental y no como una oportunidad, dentro de los procesos de producción supone un reto estratégico y un modo de incrementar la competitividad del sector. Un modelo productivo que busca minimizar el impacto ambiental de la industria agroalimentaria, mediante procesos de Bioeconomía y economía circular. Posteriormente, mediante su transformación en un proceso industrial de fermentación a nivel industrial en materias primas de alto valor nutricional y bajo coste que puedan ser utilizadas como alimentos para el ganado, (*recurso duradero de alto valor*) y de ese modo incrementar la competitividad del sector agroalimentario ecuatoriano.

Objetivos:

- ✓ Establecer un inventario de subproductos tropicales y residuos agroindustriales de las provincias de Los Ríos y Manabí.
- ✓ Valoración químico-nutricional de los diferentes productos (nuevas materias primas).
- ✓ Estabilidad aeróbica y anaeróbica de los diferentes subproductos (ensilados, henolajes, etc.).
- ✓ Valor biológico de cada materia prima (consumo, digestibilidad, etc.).
- ✓ Formulación y elaboración de dietas alimenticias para rumiantes y no rumiantes.
- ✓ Valoración productiva en animales (diferentes especies y estados fisiológicos).

- ✓ Determinación de la calidad de los productos (leche y carne).
- ✓ Valoración económica y ambiental.

Acciones:

- ✓ Favorecer el trabajo conjunto de ambos grupos humanos de modo multidisciplinar.
- ✓ Planificar investigaciones aplicadas en este ámbito y orientadas al desarrollo de habilidades y del conocimiento.
- ✓ Desarrollo conjunto de proyectos de investigación.
- ✓ Favorecer el uso conjunto de medios y tecnologías.
- ✓ Favorecer la colaboración con otras instituciones y la adscripción de nuevos investigadores.
- ✓ Uso de bases de datos abiertas con comparaciones trasversales y longitudinales.

Grado de innovación previsto

Con este trabajo de investigación se mejora el conocimiento sobre el ensilado de rastrojo de maíz, así como se hace una primera aproximación a su caracterización con la incorporación de diferentes niveles de urea más melaza. Esto permitirá a su vez establecer recomendaciones técnicas y nutricionales para su empleo y aplicación en la alimentación de rumiantes con el consiguiente efecto favorable sobre la eficiencia y costes de producción. La información obtenida podrá incorporarse a tablas de composición de alimentos en el ámbito internacional.

2. OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar el valor nutritivo y cinética de degradación ruminal y digestibilidad del ensilado de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con inclusión de niveles de urea más melaza

Objetivos específicos

- ✓ Determinar la composición química del ensilado de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con inclusión de niveles de urea más melaza.
- ✓ Establecer las características microbianas y estabilidad aeróbica del ensilado de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con inclusión de niveles de urea más melaza.
- ✓ Determinar la degradación ruminal *in situ* de la materia seca y proteína bruta del ensilado de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con inclusión de niveles de urea más melaza.
- ✓ Determinar la cinética de digestibilidad *in vitro* de la materia seca y proteína bruta del ensilado de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con inclusión de niveles de urea más melaza.

3.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. El uso del suelo agrícola de Ecuador

Ecuador está ubicado en América del Sur en el paralelo 0°0'0". Con una extensión de 283.561 km², el país cuenta con cuatro regiones biogeográficas: la Sierra, la cual es atravesada por la Cordillera de los Andes; la Costa Pacífica; la Amazonía y las Islas Galápagos. Su geografía contribuye en gran parte a la biodiversidad presente en el país. Ecuador pertenece al grupo de 12 países megadiversos que en su conjunto representan entre el 60 y 70% de la biodiversidad del planeta, es decir que el país tiene un importante y único patrimonio natural, base del desarrollo económico, social, cultural y productivo (INEC, 2018).

El sector agropecuario en el país es de vital importancia debido a su representatividad en el Producto Interno Bruto (PIB), cuyo aporte del sector durante la última década fue alrededor del 8%, y, por la cantidad de personas que trabajan en este sector que son 48.697. El uso del suelo se refiere a la utilización de las tierras en el sector rural del país. Así, encontramos las siguientes categorías, según su uso: cultivos permanentes, transitorios, barbecho, descanso, pastos cultivados y naturales, montes y bosques, páramos y otros usos. Los productos que estudia la ESPAC corresponden principalmente a los cultivos permanentes, transitorios y pastos cultivados, por ello se prioriza su descripción (INEC, 2020).

La Tabla 1 muestra como la superficie agraria total nacional fue de 12.304.226 hectáreas en el año 2019, presentando una variación positiva del 4%, respecto a la superficie total de la década anterior (INEC, 2020). En ese sentido, se aprecia una clara disminución de la superficie dedicada a pastos naturales (-35,68%) y pastos cultivados (-44,26%), por cuanto se reduce sensiblemente la disponibilidad de alimento del ganado a base de pastos, si bien se contempla un aumento de la superficie agraria destinada a cultivos permanentes.

Tabla 1. Superficie agraria en Ecuador, según categoría de uso del suelo (ha y %)

| Uso del Suelo | Año 2009 | Año 2019 | Participación | Variación |
|----------------------------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|
| Cultivos Permanentes | 1.349.258 | 1.439.504 | 11,70% | 6,69% |
| C. Transitorios y Barbecho | 1.028.623 | 769.708 | 6,26% | -25,17% |
| Descanso | 170.776 | 219.492 | 1,78% | 28,53% |
| Pastos Cultivados | 3.561.947 | 1.985.494 | 16,14% | -44,26% |
| Pastos Naturales | 1.423.946 | 915.843 | 7,44% | -35,68% |
| Páramos | 498.438 | 270.986 | 2,20% | -45,63% |
| Montes y Bosques | 3.548.734 | 6.040.896 | 49,10% | 70,23% |
| Otros Usos | 232.596 | 662.305 | 5,38% | 184,74% |
| Total | 11.237.831 | 12.304.226 | 100,00% | -4,15% |

La mayor superficie de uso de suelo está destinada a montes y bosques que representan un 49,10% del total nacional, los pastos cultivados ocupan el 16,14% y los cultivos permanentes el 11,70% (Figura 2). La superficie de labor agropecuaria en el 2019 fue de 5.279.613 hectáreas, las superficies más importantes son los cultivos permanentes, transitorios, pastos cultivados y naturales (INEC, 2020).

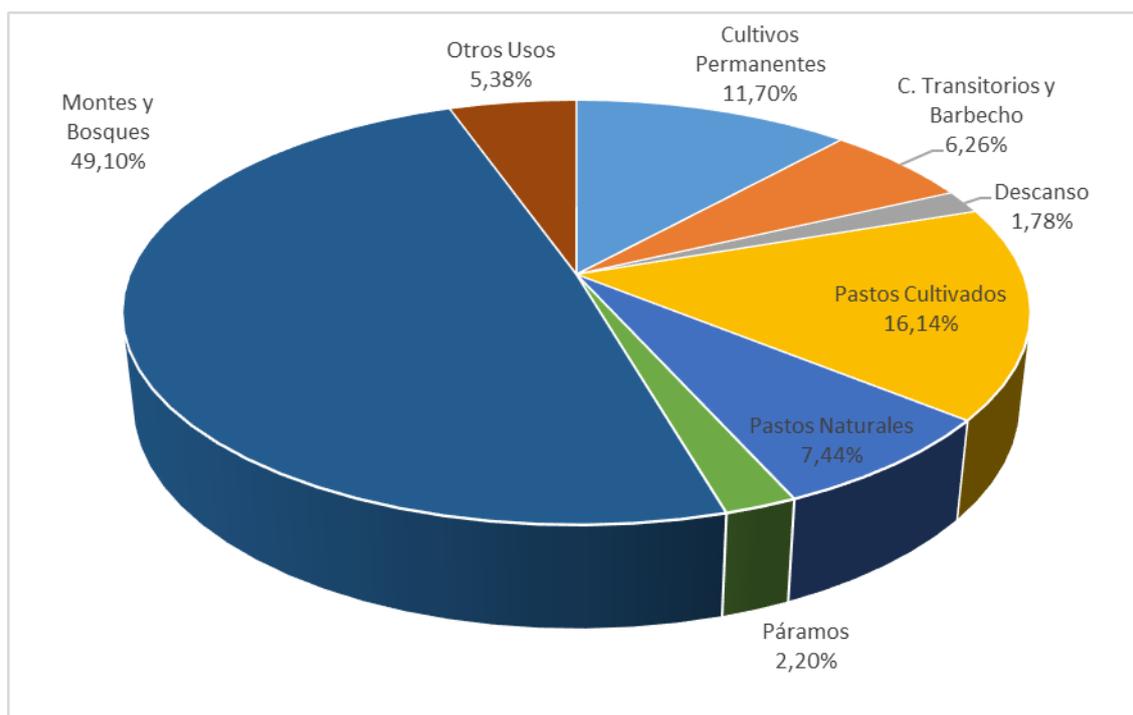


Figura 2. Distribución del uso del suelo en Ecuador. Año 2019

En el año 2019, el área destinada a cultivos permanentes fue de 1.439.504 ha, presentando una variación positiva del 6,69% con relación a la década anterior. A este tenor, la región de la Costa concentra la mayor superficie con 72,5% del total, seguida de la Sierra con 17,70%, y finalmente, la Amazonía y las Zonas no Delimitadas con el 8,9% y 0,9%, respectivamente.

En cuanto a los cultivos transitorios, se puede observar que la superficie fue de 799.494 hectáreas en 2018, presentando una variación negativa del 11,6% al 2017. La región de la Costa cuenta con el 66,2% de la superficie total,

seguida de la Sierra con 30,7%, la Amazonía el 3,0% y Zonas no Delimitadas con el 0,02% (INEC, 2020).

Los pastos cultivados en el 2019 ocupan una superficie nacional de 1.985.494 ha, registrando una disminución mayor al 44% con respecto al decenio anterior. La región de la Costa concentra el 53,5% de esta superficie, la región Sierra el 26,6%, la Amazonía el 19,9%, y las Zonas no Delimitadas el 0,1%.

La superficie con pastos naturales ocupa 915.843 hectáreas, presentando una variación negativa de casi el 36% respecto a la década anterior. La región de la Sierra representa el 80,0%, la Costa el 17,0%, la Amazonía el 3,0% y las Zonas no Delimitadas no tuvieron representación (INEC, 2020). Lo anterior descrito refleja la importancia que tiene la región de la costa en la producción de los diferentes cultivos, en el cual se encuentra el maíz.

3.2. Los sistemas de producción pecuaria en Ecuador

En Ecuador, la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES, 2013), señaló que, aún con los esfuerzos realizados por alcanzar la protección de los bosques, la deforestación ocasionada por la expansión de la frontera agrícola continúa siendo una de las principales preocupaciones del país. Las principales actividades humanas, son la agricultura y la ganadería, la primera, expresada en la práctica de diversos cultivos como maíz, plátano y arroz, y algunos cultivos hortícolas. La ganadería se orienta a la producción de carne y leche a partir del aprovechamiento de pastos cultivados en lugares que anteriormente estaban ocupados por ecosistemas boscosos.

Los sistemas de producción agropecuarios del Ecuador presentan de forma general los mismos problemas. La Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) es una zona de conflictos, donde interactúan por un lado diferentes modelos de explotación de los ecosistemas y, por otro, la responsabilidad nacional e

internacional de conservar estos ecosistemas para que continúen aportando los servicios ambientales y se prolongue la conservación de la vida en la República del Ecuador y el planeta en general (Vargas *et al.*, 2014). Así, la irracionalidad en la explotación de los recursos de la región origina la pérdida de recursos genéticos; el cambio del uso del suelo propicia la pérdida del bosque, de la biodiversidad, agua y la disminución de la capacidad de los ecosistemas de ofrecer sus servicios ambientales (ECORAE, 2011).

La ineficiencia de los indicadores productivos de las entidades ganaderas, se asocia entre otros problemas, a la pérdida de competitividad de los productores; la disminución de la productividad de los pastos y forrajes, que deben asegurar la alimentación del rebaño, por baja capacidad de carga de los sistemas ganaderos; a los resultados desfavorables en la reproducción; a las dificultades con la formación, captación y retención de la fuerza técnica dentro del sector y a la ocurrencia de eventos climáticos desfavorables, que interfieren con los problemas enumerados y empeoran los resultados económicos y sociales de este sistema productivo (INIAP, 2010; MCPE, 2011; GAD Pastaza, 2012).

Otros estudios realizados en el trópico húmedo de baja altitud, zona a la cual pertenece la provincia de Los Ríos, destacan que el bajo nivel de arborización no es solo un problema en sí por lo que afecta al clima y a los sistemas de producción pecuaria, sino porque se pierden nutrientes que pueden ser extraídos de horizontes profundos del suelo, máxime si se trata de árboles leguminosos, de aportes principalmente proteicos a la ración, además de otros beneficios (De Clerk, 2010; y Melera, 2010).

Una opción importante en el trópico, es el empleo de árboles leguminosos en potreros con gramíneas tales como, *Leucaena* asociadas con pasturas como la Guinea, *Megathyrsus maximus* con cargas de unidades de ganado mayor ha^{-1} y producción de leche de $10,6 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$ según Lamela *et al.*, (2009) o con el pasto estrella, *Cynodon nlemfluensis*, con cargas entre 1,7 y 2,6 UGM/ha, que produjeron respectivamente $8,1\text{-}9,3 \text{ kg vaca}^{-1} \text{ día}^{-1}$, según Simón (2010). En la costa ecuatoriana se asociaron pastos y leguminosas arbóreas

como *Samanea saman*, *Calliandra surinamensis*, *Gliricidia sepium* y *Prosopis juliflora*, con las cuales Roca *et al.*, (2014), encontraron respuestas en producción de leche/vaca/día superior a los 9,5 kg con densidades de *Prosopis juliflora* entre 13-18 árboles por ha para ecosistemas secos del trópico bajo. A este tenor, tampoco se puede olvidar la importancia que poseen los ensilajes, los cuales también se pueden realizar a partir de los cultivos antes descritos.

Es también destacable que se dejan de obtener ingresos por diversos productos como madera, frutos diversos, materiales medicinales y de infusiones estimulantes, productos apícolas, estacas para cercados y semillas. La reforestación, los bancos de proteína, las cercas naturales, la poda, la elección de variedades, las unidades de producción y beneficio de semillas son prácticas que integradas dan vías para aumentar la arborización de las unidades lecheras (Guevara *et al.*, 2007; y Torrente *et al.*, 2013). Además, de hacer más sostenibles los sistemas de producción agropecuarios, aquí radica la importancia de los árboles, arbustos y sus derivados en los sistemas de producción agropecuarios.

En cualquier caso, en las regiones tropicales, la estrategia de alimentación de los rumiantes se basa en el pastoreo directo de áreas marginales y en la utilización de los recursos endógenos disponibles en estas zonas de gran vulnerabilidad. La producción cuantitativa y cualitativa se distribuye en dos períodos diferenciados: la estación lluviosa y la temporada seca (Canesin *et al.*, 2014). En la época de lluvia se obtiene hasta el 80% en la producción herbácea anual, mientras que en la estación seca los pastos no consumidos se agostan, disminuyendo su cantidad y valor (Caraballo *et al.*, 2007).

Por otra parte, la larga duración de este periodo seco (hasta seis meses) hace que los productores, que son pequeños y de subsistencia, en su mayor parte, y sin posibilidad de realizar un aporte externo de insumos vendan las existencias de ganado (lechero, doble propósito, carne) hasta que llegue la temporada de lluvias. La disponibilidad de alimento es un requisito

indispensable para promover un incremento de la producción y la mejora sostenida del sector agropecuario en diferentes países de América latina.

Por todo lo anterior, se hace necesario plantear la búsqueda de soluciones alternativas que mejoren la productividad/viabilidad de los sistemas ganaderos y, dado que la alimentación es el principal coste de producción, la optimización de los recursos alimenticios existentes no suficientemente aprovechados hasta la fecha puede erigirse como una estrategia de competitividad presente y futura, en especial, en todo lo referido a la gestión y rentabilización de la gestión de los subproductos agroindustriales, o también denominados residuos agroalimentarios.

3.3. Subproductos agroindustriales

Atendiendo al criterio de Morales-Cerezo (2011), la definición y clasificación de subproductos/residuos agroindustriales plantea problemas significativos en relación con su naturaleza inicial y características intrínsecas, con el modo de generación, así como con sus potencialidades en orden a su gestión, en términos de eliminación o, alternativamente valorización, de ahí la necesidad e importancia de establecer claramente la diferencia existente entre lo que se considera **residuo** y **subproducto** de las actividades agroalimentarias.

Según referencia de la precitada autora, la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), define residuo como: *“Aquellos materiales generados en las actividades de producción y consumo que, en el contexto en el que son producidos (lugar, proceso de producción específico, etc.) no presentan utilidades y, por tanto, no alcanzan valor económico ya que no se dispone de la tecnología adecuada para su aprovechamiento o a la inexistencia de mercado para los productos recuperados”*. En base a esta definición se establece que el residuo no admite ningún tratamiento posterior, en base a los condicionantes técnicos-económicos y, particularmente por la

extracción de la fracción recuperable, así como por la reducción de su carácter peligroso o contaminante.

No obstante, el sector agrícola considera residuo todo aquello que no posee fines alimenticios. Sin embargo, muchos de estos residuos se deberían considerar subproductos ya que, en muchas ocasiones son valorizables a través de su tratamiento y, de este modo, son susceptibles de su reutilización como materia prima destinada a otra actividad.

En líneas generales, se pueden distinguir dos niveles de generación de residuos en la industria agroalimentaria: sector agrícola primario y sector agrícola secundario o de transformación del producto agrícola en producto alimentario.

- Sector agrícola primario

Se trata de los residuos derivados de las prácticas agrícolas y labores culturales realizadas como pueden ser la poda, destallado, deshojado, aclareo de flores y frutos, etc. Asimismo, también se incluye los denominados “restos de cultivo” determinados en su volumen y carácter por las particularidades de cada especie vegetal y su proceso de recolección.

- Sector agrícola secundario o de transformación del producto agrícola en producto alimentario: Los residuos se generan a distintos niveles,

- ✓ Procesos de separación y eliminación de frutos enteros denominados *destríos* que no cumplen las especificaciones de calidad requeridas, aunque conserven de forma general sus características y valores intrínsecos. También se incluyen aquellos frutos derivados de acciones de retirada por superproducción, descenso de precios por debajo de los umbrales de referencia, etc.

- ✓ Procesos propios de transformación en la industria, a través de la separación y eliminación de partes de los frutos, así como de los

residuos resultantes de procesos de transformación industrial. En el primer caso, conservan de forma general las características intrínsecas y esenciales del fruto del que proceden a diferencia del segundo caso que originan materias residuales de naturaleza distinta a los mismos.



Figura 3. Detalle de cultivos con gran potencial en generación de subproductos.

3.4. El cultivo de maíz (*Zea mays*)

3.4.1. Características generales

El maíz no se encuentra como planta silvestre en la actualidad. Esta especie tiene escasa capacidad para reproducirse en condiciones naturales debido a que las semillas están sobre el suro o tusa de la mazorca y por ello no se dispersan con facilidad. La especie botánica maíz (*Zea mays*) pertenece a la tribu *maidea*, la cual incluye ocho géneros. Cinco de origen asiático: *Coix*, *Schlerachne*, *Polytocha*, *Chinonachne* y *Trilobachne*, y tres americanos: *Zea*, *Tripsacum* y *Euchlaena* o *Teosintle* (Llanos, 1984).

Existen dos especies del género *Zea*: *Zea mays* y *Zea diploperennis*. El *Teosintle* y el *Tripsacum* se pueden cruzar con el maíz; este último en condiciones experimentales, mientras que el *Teosintle* lo hace espontáneamente en su medio ambiente. De hecho, parte del vigor híbrido natural del maíz se lo debe a la hibridación introgresiva del *Teosintle*. El ancestro silvestre del maíz doméstico actual fue el maíz tunicado reventón, actualmente desaparecido; el *Teosintle* es el resultado de la hibridación entre el maíz y el *Tripsacum* (Llanos, 1984).

Queda claro que el maíz (*Zea mays* L.) es originario de América, donde era el alimento básico de las culturas americanas muchos siglos antes de que los europeos llegaran al nuevo mundo. Desde el punto de vista descriptivo, Terranova (1995) notificó que esta especie forma un tallo erguido y macizo, con la peculiaridad que diferencia a esta planta de casi todas las demás gramíneas, que lo tienen hueco. La altura es muy variable, y oscila entre poco más de 60 cm en ciertas variedades enanas y 6 m o más; la medida es de 2,4 m. Las hojas alternas son largas y estrechas. El tallo principal determina en una inflorescencia masculina que es una panícula formada por numerosas flores pequeñas llamadas espículas, cada una con tres anteras pequeñas que producen los granos de polen o gametos masculinos.



Figura 4. Detalle de un cultivo de maíz.

La inflorescencia femenina es una estructura única llamada mazorca, que agrupa hasta un millar de semillas dispuestas sobre un núcleo duro. La mazorca crece envuelta en unas hojas modificadas o brácteas; las fibras sedosas o pelos que brotan de la parte superior de la panocha o mazorca son los estilos prolongados, unidos cada uno de ellos a un ovario individual. El polen de la panícula masculina, arrastrado por el viento (polinización anemófila), cae sobre estos estilos, donde germina y avanza hasta llegar al ovario; cada ovario fecundado crece hasta transformarse en un grupo de maíz (Terranova, 1995).

A diferencia de otras especies vegetales que producen flores perfectas (bisexuales), el maíz produce, por una parte, inflorescencias masculinas (espigas), las cuales coronan a la planta en el ápice del tallo y, por otro lado, inflorescencias femeninas (mazorcas), que se disponen en el ápice de los primordios de las ramas laterales que emergen de las axilas foliares. La

inflorescencia masculina (estaminada), una panícula dispersa, produce pares de espiguillas separadas, cada una de las cuales encierra una flor fértil y otra estéril (Salvador, 2001).

Por otra parte, cabe resaltar que el maíz forrajero presenta un bajo contenido en materias nitrogenadas (4,5% de proteína bruta promedio); la pared celular presenta mayor porcentaje de hemicelulosa que de celulosa y su bajo porcentaje de lignina lo hace ser más digestible que las pajas de cereales, siendo más rico en azúcares solubles. Por esta razón este residuo agroalimentario presenta un valor energético superior al de las pajas de cereales, fluctuando entre 1,69 y 2,1 Mcal kg⁻¹ de materia seca (Manterola *et al.*, 1999).

Esta planta es usada para producir granos y forraje, los cuales forman la base para la elaboración de varios alimentos tanto para la especie humana como para las especies de animales domésticos, así como también se emplea como materia prima en la industria farmacéutica y manufacturera. La planta de maíz es alta, de ciclo biológico anual y crecimiento determinado. Sus hojas se ubican una frente a otra, son largas y angostas (su ancho, es de aproximadamente una décima parte de lo que miden de largo), insertándose de modo alterno a lo largo de un tallo sólido. También de su tamaño tiene, otra característica distintiva de esta gramínea consiste en la separación de los sexos en distintas estructuras florales (Salvador, 2001).



Figura 5. Fases del cultivo y aprovechamiento del maíz: 1. Cultivo en verde. 2. Cultivo a término. 3. Cosecha de mazorcas. 4. Rastrojo de maíz postcosecha. 5. Obtención del grano. 6. Picado del rastrojo.

3.4.2. Producción de maíz en el mundo

Según datos de la FAO, Estados Unidos, China y Brasil fueron los principales países productores de maíz a nivel mundial en el año 2019 (FAO, 2021), con más de 700 millones de Tn entre esa terna de países, o lo que es lo mismo, más casi la tercera parte de la producción mundial (Tabla 2). Sin embargo, sería China, con más de 41 millones de ha, el país con mayor superficie dedicada a este cultivo, seguido de Estados Unidos y Brasil. En cualquier caso, Estados Unidos encabeza también la clasificación en rendimiento por unidad de superficie.

Por su parte, Ecuador ocupa la 54^a posición en la clasificación mundial de producción de maíz, con casi 1,5 millones de Tn, así como la posición 64^a desde la perspectiva de la superficie de terreno cultivada. Por otra parte, en cuanto al rendimiento, se constata un valor promedio por encima de las 4,5 Tn/ha.

Tabla 2. Principales países productores de maíz a nivel mundial. Año 2019.

| Clasificación | País | Superficie (ha) | Producción (Tn) | Rendimiento (kg/ha) |
|---------------|----------------|--------------------|----------------------|---------------------|
| 1 | Estados Unidos | 32.950.670 | 347.047.570 | 10.532 |
| 2 | China | 41.309.740 | 260.957.662 | 6.317 |
| 3 | Brasil | 17.518.054 | 101.138.617 | 5.773 |
| 4 | Argentina | 7.232.761 | 56.860.704 | 7.862 |
| 5 | Ucrania | 4.986.900 | 35.880.050 | 7.195 |
| 6 | Indonesia | 5.644.775 | 30.693.355 | 5.437 |
| 7 | India | 9.027.130 | 27.715.100 | 3.070 |
| 8 | México | 6.690.449 | 27.228.242 | 4.070 |
| 54 | Ecuador | 322.846 | 1.479.770 | 4.584 |
| Total | | 238.513.969 | 1.148.665.896 | 4.816 |

Fuente: Faostat (2021)

Para el año 2050, se espera que la población mundial supere los 9 mil millones de personas lo cual requerirá un aumento estimado de 60% más de alimentos, fibras y combustibles. Este cambio demográfico significa que se necesitará un gran impulso en la productividad agrícola primaria actual y se estima que el 80% del aumento requerido podría provenir de la intensificación productiva (Sadras *et al.*, 2015).

Por otra parte, la globalización, el crecimiento de la población mundial, el cambio climático y la producción de biocombustibles constituyen factores que en la actualidad han reducido la disponibilidad de la mayoría de los alimentos, ya sea para consumo humano o animal (FAO, 2013).

El cultivo del maíz para los años 2018/19 presentó una situación de mayor incertidumbre respecto a la existente a comienzos del ciclo anterior. Esto se debió a varios factores internos y externos. En el mercado internacional los aspectos climáticos se mantuvieron normales para el desarrollo del cereal en Estados Unidos, pero la situación financiera y de comercio internacional global presentó alteraciones como consecuencia de la subida de aranceles entre Estados Unidos y China que amenazaron extenderse a otros países de la Unión Europea. Esto ocasionó la instauración de barreras al intercambio y frenó la demanda, por lo que se produjo la disminución de los precios de los productos de intercambio, especialmente los *commodities*. Unido a esta situación, la política de incremento de tasas de la Reserva Federal de Estados Unidos valorizó al dólar respecto al resto de monedas, con lo cual asistimos a otro efecto depresor en los precios internacionales. Como factor favorable a la competitividad externa del maíz nacional se debe mencionar que, a nivel interno, la devaluación de los seis primeros meses de ese año fue del 50% (INDEC, 2018).

Atendiendo a lo anteriormente descrito, se facilitó el destino externo del cereal, aunque se encarecieron los consumos domésticos del mismo que buscan un mayor valor agregado (uso forrajero y combustible). La producción mundial de maíz en el ciclo comercial 2018/19 se ubicó en 1.123 millones de Tm, lo que significó un incremento anual del 4,2%. Se obtuvo una producción récord en Brasil, Argentina y Ucrania. Para el ciclo 2019/20, se proyecta una producción mundial de

1.104 millones de toneladas, lo que significaría un decremento anual de 1,7%. El consumo mundial también se mantiene al alza. Al cierre del ciclo 2018/19 se ubicó en un máximo histórico de 1.127 millones de Tm. El consumo forrajero representó el 62,5 % del total, mientras que el consumo humano e industrial supuso el 37,5% (INDEC, 2019).

Los inventarios mundiales del grano se ubicaron en 324,1 millones de toneladas al cierre del ciclo 2018/19, acumulando su segundo año consecutivo con decremento, después del nivel histórico alcanzado en 2016/17. Dicho volumen equivaldría al 28,8% del consumo. Para los siguientes ciclos, ante la expectativa del crecimiento del consumo, se espera que los inventarios finales se reduzcan nuevamente.

Esta situación conllevó que el comercio mundial de maíz registrase su nivel más alto en 2018/19, totalizando 177,9 millones de Tm, lo que significa un incremento anual de 20,4 por ciento. Para el ciclo 2019/20, se proyecta que las exportaciones mundiales disminuyan 6,3%. El precio del maíz en el mercado internacional mantiene una ligera tendencia al alza desde finales de 2017, aunque permanece en niveles bajos. La cotización promedio del grano en enero-septiembre de 2019, se situó en 170 dólares por tonelada, es un 3,7% superior a la del mismo período de 2018.

Lo anterior demostró la existencia de una tendencia creciente de las variables de oferta y demanda en el último quinquenio. Desde 2012/13, se produjo un importante incremento de oferta excedente en tres campañas lo cual aumentó los stocks finales y también la relación de stocks/consumo. En el último período 2017/18 se produjo un déficit de oferta que mejoró la situación económica del cereal, esto también se ve en las primeras estimaciones de los años 2018/19 donde, a pesar de aumentar en 18 mil t la producción (1.052 mil Tm) los stocks finales se ubicarían en 154,7 mil Tm, que representa una baja de 38 mil t respecto al ciclo anterior con un consiguiente efecto positivo en el precio esperado (WASDE, 2018).

Otros estudios reflejaron que en el periodo correspondiente a los años 2017/18 se apreció una base positiva para el precio a nivel internacional partiendo de la situación climática, financiera y comercial mundial estable, teniendo en cuenta que la superficie sembrada de maíz está ligada a la evolución de la relación de precios con soja, su principal competidor por el uso del suelo (INEC, 2018).

Considerando la favorable situación económica esperada del maíz y, teniendo en cuenta el aporte agronómico del cereal en los esquemas agrícolas es importante conocer la situación actual que refleja este cereal en América Latina.

4.3.3. Producción de maíz en América Latina

En América Latina el maíz se caracteriza por presentar un grano con una gran diversidad de formas, colores y texturas, así como por su elevado consumo directo en alimentación humana, siendo además fuente de la materia prima para la elaboración de balanceados para la alimentación animal. Por otro parte, el maíz en esta extensa región es cultivada en tres mega ambientes contrastantes: la región templada que incluye a países como Argentina, Uruguay y Chile; la región tropical baja que abarca toda América Latina desde México a Brasil, la zona oriental de Bolivia y el Caribe; y la región tropical alta que involucra las áreas de cordillera de México, Guatemala, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. Así mismo, la producción y comercialización del grano de maíz presenta una creciente demanda por nuevas tecnologías y la necesidad de una fuerte integración entre productores y consumidores (Carvajal, 2016).

En el Brasil, se cosechó cerca de 208 millones de Tm de granos con un área sembrada de 60 millones de hectáreas en el ciclo agrícola 2016-2017, constatando un crecimiento del 27,7% en producción en relación con la cosecha del ciclo 2015-2016 (equivalente a 51,6 millones de Tm). Asimismo, en este mismo periodo el área sembrada aumentó apenas 4% con relación al ciclo anterior, indicando que este aumento se debió a la ganancia por productividad.

En el caso del maíz, la producción brasilera del periodo 2016-2017 fue de 97,2 millones de Tm, con un área cultivada de 17,4 millones de hectáreas. En los últimos 30 años, la producción brasilera de maíz pasó de cerca de 20 millones de Tm en 1987 a 97 millones en el año 2017, un aumento de casi cinco veces; en relación al área sembrada creció apenas 30% pasando de 13 a 17 millones de hectáreas (FAO, 2015).

Por su parte, Argentina es el cuarto productor mundial de maíz, ocupando la tercera posición como exportador. La siembra se concentra en zona pampeana, y el 10% en el norte subtropical. La superficie sembrada estuvo estable entre 1974-2010, y luego comenzó una recuperación que se acentuó en 2015/16. En el primer período, la producción aumentó por incremento del rendimiento. Más recientemente los aumentos de producción responden a la expansión del área, con modestos aumentos del rendimiento. Se observa una creciente variabilidad interanual y una tasa de crecimiento anual de los rendimientos en declinación. La producción alcanza 39 millones de Tm, de las cuales 500.000 Tm, se destinan a la producción de bioetanol (Eyhérabide, 2017).

Países de América central, en particular en El Salvador, Guatemala y Honduras, son de las regiones más afectadas por El Niño en 2015-16. Los efectos de la sequía son graves y prolongados, con un inicio tardío e irregular de las lluvias, precipitaciones por debajo de la media, temperaturas por encima de la media, y niveles de los ríos entre el 20 y el 60% por debajo de lo normal. La sequía dio lugar a reducciones significativas de la producción agrícola, con pérdidas estimadas de entre el 50 y el 90% de la cosecha agrícola. Solo en Guatemala, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación estimó que se perdieron 82.000 Tm de maíz en los últimos años, lo cual representaba pérdidas financieras totales de 30,8 millones de USD.

En el Perú la investigación en el maíz se oficializó después de la creación del Ministerio de Agricultura en 1944. Tanto el INIA como el sistema universitario peruano han contribuido a la obtención de los logros disponibles a la fecha. El maíz de la zona alta de Perú incluye al tipo amiláceo y morocho

que agrupa diferentes tipos de maíz, sembrados por pequeños agricultores y la cosecha se dedica para autoconsumo. Se caracterizaron y utilizado una amplia variabilidad genética disponible en estos maíces orientados hacia el mejoramiento del sistema de vida del agricultor andino (Medina, 2017).

A la fecha, se ha hecho la caracterización de los tipos de maíz para muchas regiones de la zona andina, se generaron variedades de maíz andino, se dispone de recomendaciones agronómicas para control de plagas y uso racional de fertilizantes y densidad de siembra. No obstante, las estadísticas no reflejan cambios en la producción de maíz de esta zona, aunque hay la percepción de que el consumo se ha incrementado en la costa (Medina, 2017). Se continúa con la generación de nuevas variedades para vincular al agricultor con el mercado y la agroindustria.

Por otra parte, se implementan un sistema público-privado de producción de semilla, estableciendo vínculos con instituciones para ser parte de la red de cultivos biofortificados, adecuar laboratorios de acuerdo a las necesidades agroindustriales de los nuevos tipos de maíz que se están generando, formar una red de trabajo entre los países productores de estos tipos de maíz para ofertar al mundo productos con certificación de origen (Medina, 2017).

Otros estudios, notificaron que en la Costa y Selva del Perú se siembra maíz de tipo amarillo duro que es el principal insumo para la producción de pollos, la principal fuente proteica de la dieta alimentaria en el país. En 2016 se sembraron 267.000 ha, que produjeron 1.230,000 Tm. Como el consumo anual fue de 4.260,000 Tm, se importó ese año 3.031.300 Tm, o sea el 71% de los requerimientos del país. Para aumentar la producción se espera aumentar el área sembrada con el incentivo del aumento en la rentabilidad y la productividad aplicando los resultados de las investigaciones desarrolladas en la década pasada en el INIA con apoyo del CIMMYT (Sevilla, 2017).

La investigación desarrollada en esta región sobre adaptación de híbridos en 24 localidades durante dos años demostró que hay suficiente oferta de semilla del híbrido recomendado para esta zona. Así, la mejor estrategia es

estudiar el suelo, y es posible mejorar la rentabilidad reduciendo la fertilización nitrogenada si los análisis demuestran niveles adecuados de P_{205} y K_{20} . Además, la mejor manera de controlar las enfermedades es con la resistencia de los híbridos. En la costa se puede mejorar la producción si hay suficiente agua y se maneja bien. En la Selva la productividad es muy baja por la mala calidad de los suelos y la dificultad del control de malezas y plagas. Es preferible concentrar la producción en áreas apropiadas. Se estima que sería muy conveniente la asistencia técnica privada, porque para aumentar la productividad se requiere atender bien pocas recomendaciones con efectos seguros sobre la producción (Sevilla, 2017).

Bolivia fue el país donde se reflejó el rendimiento más bajo en producción de maíz, claramente por debajo de Ecuador y Colombia, y muy por debajo del resto de países latinoamericanos, probablemente por la baja adopción de una tecnología mejorada, poca utilización de la semilla híbrida, labores culturales inoportunas, poca o ninguna utilización de fertilizantes químicos y la incidencia de factores climatológicos y desastres naturales, además de los precios altos de híbridos importados de países vecinos como el Brasil y la Argentina. Ante la poca disponibilidad de semilla híbrida y los altos costos de esta (Claire *et al.*, 2017).

Para la mejora de esta situación se han adoptado diferentes medidas. Se suscribió un convenio de cooperación entre la Sub Gobernación de Carapari Segunda Sección de la Región Autónoma del Gran Chaco, el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria Acuícola y Forestal (INIAF) y la Asociación de Productores de Semilla de Maíz (ASOMAIZ), mediante el cual la subgobernación compra los parentales los dos primeros años, el INIAF capacita en todo el proceso productivo y ASOMAIZ contribuye con un aporte porcentual. Se considera una cláusula especial de protección para la no multiplicación de semilla de los parentales por parte del comprador en función al derecho de obtentor. Todo esto con el fin de incrementar los rendimientos en la región (Claire *et al.*, 2017).

Es necesario destacar que hoy día en muchas áreas de producción la variabilidad climática y fenómenos como el Niño tienen impacto fuerte sobre la producción, ingresos y seguridad alimenticia de productores y poblaciones rurales y urbanas. Considerando las predicciones de instituciones como el IPCC en el futuro cercano la producción de maíz se vería expuesta a cambios de parámetros agroclimáticos en los diferentes mega ambientes de maíz. Debido a su gran importancia alimenticia, económica y cultural, en muchos países desde México hasta Argentina se han realizado varios estudios sobre el potencial impacto del cambio climático basado en predicciones de modelos de cambio globales basados en varios escenarios de emisión (Sonder, 2017).

Trabajos realizados en Meso América y México indican reducciones altas de rendimientos de maíz especialmente para el trópico bajo húmedo y seco, pero también para los ambientes de elevación media. Para México, se encontraron reducciones de rendimiento para el 2050, debido principalmente a aumentos de temperatura y en consecuencia estrés de calor elevado para el cultivo. Este impacto negativo se mostró ambos en temporal y en riego. Las partes beneficiadas con en parte aumentos considerables de rendimiento se identificaron en los valles altos especialmente las agro eco regiones húmedas de las sierras. En Centro América se vieron impactos similares con reducciones de producción para grandes partes de Nicaragua, Honduras, El Salvador y Guatemala especialmente la franja seca y otras partes del trópico bajo (Sonder, 2017).

Para las regiones del altiplano en Guatemala y algunas partes muy húmedas de las costas atlánticas de Nicaragua y Honduras los modelos mostraron incrementos de rendimientos para el 2050. Se mapearon cambios de mega ambientes de maíz entre condiciones recientes, mostrando grandes áreas donde la aptitud para producción de maíz se perdería debido a temperaturas elevadas y reducción de precipitación anual. Grandes áreas también cambiarían a un nivel de rendimiento más bajo en el futuro. Potencial de rendimiento más alto en el futuro solo se vería en áreas limitadas. Áreas nuevas donde condiciones cambiadas permitirían cultivo de maíz se verían en

las cordilleras y en partes de clima templado en el Sur del continente. Otros trabajos globales y para la región muestran tendencias similares (Sonder, 2017).

Los resultados de todo lo anteriormente expuesto lograron la difusión de tecnología de producción de semilla híbrida con el sector productivo contribuyendo a la seguridad alimentaria con soberanía. Reconociendo al maíz como uno de los cultivos más importantes a nivel global y en América Latina. Esto ha llevado a que en el Ecuador se adopten diferentes estrategias para mejorar la producción partiendo de lo descrito anteriormente.

4.3.4. Producción de maíz en Ecuador

El sector agrícola ecuatoriano, denominado sector primario dentro de la economía, es una de las actividades económicas más importantes especialmente por su representatividad en el Producto Interno Bruto (PIB) que en el año 2019 ascendió a 5.511 millones USD, aportando entorno al 8% de la riqueza del país (MAGAP, 2020). Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), los retos más relevantes que el sector agropecuario deberá enfrentar en las zonas rurales son: la inequidad en el acceso, distribución y gestión de riego; las barreras en el acceso a los canales de comercialización e información de precios por parte de los agricultores; la insuficiencia de recursos económicos asignados a la investigación, desarrollo tecnológico, e innovación; el limitado desarrollo de los mercados de productos e insumos para la producción agropecuaria; la débil institucionalidad pública y privada; y la falta de asignación de prioridad fiscal al sector agrícola (MAGAP, 2016).

En este mismo aspecto, el MAGAP plantea como objetivos estratégicos para un desarrollo eficaz y eficiente del sector agropecuario las siguientes políticas: contribuir a reducir la pobreza y vulnerabilidad socioeconómica de los habitantes rurales, particularmente, mejorar la inclusión social de aquellos agricultores de pequeña y mediana escala; mejorar la contribución de la

agricultura para garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de la población en cada zona (en el presente y futuro); y potenciar la contribución de la agricultura al desarrollo rural y al crecimiento económico nacional. Así mismo, debe considerarse la importancia que tienen las tendencias mundiales y los desafíos futuros en lo que respecta al incremento de la población mundial, y por lo tanto, en la demanda de alimentos; a la seguridad y escasez energética; el encarecimiento de los alimentos y elevada volatilidad de los precios; al cambio de las estructuras agrarias, la agro-industrialización y globalización de la producción de alimentos; al cambio y evolución de las políticas comerciales; y al incremento de la vulnerabilidad para la producción agrícola debido al cambio climático (MAGAP, 2016; Carvajal, 2016).

El maíz duro o seco es uno de los cultivos transitorios más importantes del Ecuador, tanto por su papel principal en el consumo humano, así como en la producción de balanceados para consumo animal. La superficie cosechada en 2019, según la FAO (2021), fue de superior a las 320.000 ha, lo que equivale al 14,73% del total nacional, estando presente en todas las provincias del país, si bien la provincia de Los Ríos se erige como el territorio más importante para este cultivo (41%), seguida de Manabí (21%), Guayas (15%), Loja (13%) y Santa Elena (1,1%).

Según estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la productividad promedio del maíz en el Ecuador fue de 3,17 Tm ha⁻¹ y la producción de semillas tanto de cultivos nacionales como importados fue de 12.000 Tm, volumen insuficiente para cubrir las necesidades de los productores ecuatorianos (FAO, 2015). El incremento más importante y significativo en productividad se ha visto reflejado en la producción de maíz duro, gracias al aporte de híbridos de alto rendimiento y buenas características agronómicas generados por el INIAP y por la introducción de nuevos híbridos por parte de la empresa privada (INIAP, 2014).

La utilización de tecnología con híbridos de alto rendimiento y de materiales genéticamente modificados en varios países ha incrementado la productividad y disminuido las pérdidas causadas por plagas y en el caso del

Ecuador, adicional a la utilización de la semilla híbrida, un precio de sustentación atractivo para el productor, permitieron el incremento de la producción y productividad nacional de maíz duro y la disminución de las importaciones de este cereal, generando un gran beneficio para el país (Galeano *et al.*, 2011; INIAP, 2014; Sierra *et al.*, 2016).

Los estudios del costo de producción de maíz duro (Tabla 3), los cuales indican que los más altos para la producción de grano comercial en términos porcentuales corresponden a los rubros de fertilización y cosecha (21,16% y 20,66%, respectivamente), con una relación beneficio/costo de 1,20, lo que refleja su rentabilidad. En lo que se refiere a los costos de producción de semilla híbrida certificada, los porcentajes más altos corresponden a los rubros de siembra (15,29%) y fertilización (14,94%), con una relación beneficio/costo de 5.0, lo que es un indicativo del alto retorno económico que representa el producir semillas de calidad (Red SICTA, 2010; y Mac Robert *et al.*, 2015).

Tabla 3. Costos de producción de maíz duro para grano comercial y semilla en el Ecuador (2017)

| Rubro | Grano Comercial | | Semilla | |
|-----------------------|------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|
| | Costo (\$ ha ⁻¹) | Costo (%) | Costo \$ ha ⁻¹ | Costo (%) |
| Preparación del suelo | 109,50 | 6,65 | 240,00 | 8,57 |
| Siembra | 325,00 | 19,74 | 428,00 | 15,29 |
| Fertilización | 348,25 | 21,16 | 418,00 | 14,94 |
| Desespigamiento | -- | -- | 340,00 | 12,15 |
| Labores culturales | 170,00 | 10,33 | 170,00 | 6,07 |
| Control de insectos | 138,50 | 8,41 | 138,50 | 4,95 |
| Cosecha | 340,00 | 20,66 | 340,00 | 12,15 |
| Poscosecha | -- | -- | 359,00 | 12,83 |
| Costo fijo | 219,68 | 13,05 | 364,95 | 13,04 |
| Costo Total | 1645,93 | 100,00 | 2798,52 | 100,00 |

Fuente: (Caviedes, 2019).

El país posee variedades de maíz de acuerdo al Instituto Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2014) como son las H-551; H553; H-601; H-602. Siendo estas dos primeras tolerantes a sequías, especialmente en la etapa crítica de floración y que son utilizadas en las zonas semi-secas de la provincia de Manabí. En este sentido y, dada la relevancia del híbrido H-551 en el presente estudio, a continuación, se reflejan sus principales características agronómicas: híbrido triple que tiene como padres a tres líneas endogámicas S4. Ciclo vegetativo: 120 días; Floración: 50 días; Altura de planta: 216 a 230 cm; Forma de mazorca: ligeramente cónica, con 12 a 16 hileras de granos; Inserción de la mazorca: 114 a 120 cm; Tipo de grano: Color amarillo y textura cristalina y duro, tolerante a las enfermedades foliares más comunes; siembra: 15-16 kg/ha. Se recomienda la siembra de 55.000 a 62.500 plantas/ha en terrenos llanos, con distanciamiento entre hileras de 0,80-0,90 m y 0,20 m entre plantas.

Al sector productor del Ecuador se le presentan los siguientes retos para el futuro: inequidad en el acceso, distribución y gestión del riego; insuficiencia de recursos económicos asignados a la investigación, desarrollo tecnológico e innovación; limitado desarrollo de los mercados de productos, insumos y servicios para la producción agropecuaria y la falta de asignación de prioridad fiscal al sector agrícola. Asimismo, se presentan las siguientes oportunidades: una Ley y Reglamento de Agrobiodiversidad, Semillas y Fomento de la Agricultura Sustentable que garantiza y promueve la producción y productividad; tecnología disponible y a generar híbridos de alto potencial de rendimiento; aumento de la oferta y demanda por semilla de calidad; creación de un fondo que promueva la investigación en semilla; apertura a la investigación en organismos genéticamente modificados; y, apertura comercial a la Unión Europea y los Estados Unidos. Esto conlleva el estudio de todo lo referente al maíz, ya que pueden ser utilizadas todas las partes de la planta en la alimentación de los animales, uno de estos casos son los rastrojos (Caviedes, 2019).

3.4.6. Escandallo del cultivo de maíz

El cultivo del maíz produce una gran cantidad de biomasa, correspondiendo cerca del 50% a la producción de grano, mientras que el resto representa diversas estructuras de la planta tales como caña, hoja, limbos y mazorca entre otros. La producción de biomasa residual que genera un cultivo de maíz de grano (cañas, hojas, chalas y mazorcas), fluctúa entre 20 a 35 toneladas por hectárea y en el maíz de choclo (cañas y hojas) varía entre 16 a 25 toneladas por hectárea (Monterola et al, 1999).

Así pues, considerando que la proporción entre los componentes del subproducto agrícola obtenido depende principalmente de la variedad, nivel de fertilización y tipo de cultivo, en la Tabla 4, se exponen las proporciones promedio de las diferentes estructuras presentes en la planta de maíz, atendiendo a los autores precitados.

Tabla 4. Proporción de los diferentes componentes de una planta de maíz.

| Parte | % peso | Estructura | % peso | PB | DIVMS |
|--------|--------|------------|--------|------|-------|
| Caña | 38,50 | Panoja | 12,00 | 4,5 | 55,60 |
| | | Tallo | 17,60 | 3,10 | 59,70 |
| | | Chalas | 8,90 | 4,70 | 69,10 |
| Espiga | 61,50 | Mazorca | 11,80 | 4,70 | 58,00 |
| | | Grano | 49,70 | | |

Según los datos aportados por Reyes et al. (2013) en el caso de México, la proporción ponderada de rendimiento de rastrojo/grano para maíz, se situó en el 53,4% en rastrojo y en el 46,6% en grano, citando los trabajos previos de Macedo (2000); Zetina *et al.* (2005); Luna (2010) y Muñoz (2011); mientras que, para las pajas de sorgo, trigo y cebada, el porcentaje de grano y de rastrojo representó el 47 y 53%, respectivamente, citando las referencias de SAGARPA (2010) y Wortmann *et al.* (2012).

3.4.7. El rastrojo de maíz

Recordando que los rastrojos son los subproductos agrícolas que se generan en los cultivos tras la cosecha del grano (producto noble), éstos desempeñan un papel importante en las actividades agropecuarias. En este sentido, bajo nuestra perspectiva su función principal radica en el empleo como alimento animal (siendo esta opción la más ampliamente conocida), especialmente en los sistemas mixtos, donde se combinan actividades agrícolas con las ganaderas. Asimismo, estos subproductos también atesoran una especial relevancia en la conservación y mejora de los suelos agrícolas con relación a la sustentabilidad agrícola, con independencia de otros usos recientes orientados a la producción de energía. Así las cosas, con la búsqueda de nuevas fuentes energéticas alternativas y renovables, el uso de residuos agrícolas se baraja como una opción para la generación de biocombustibles y biogás (Núñez, 2012). Otros usos son como sustrato en la producción de hongos comestibles (Sotelo et al., 2004; y Rodríguez *et al.*, 2010), como ingrediente base en la producción de compostaje (SAGARPA, 2010), o finalmente, como materia prima para la fabricación de artesanías.



Figura 7. Detalle del cultivo de maíz, con área cosechada y área sin cosechar.

En el caso concreto del rastrojo de maíz, destacamos primeramente su utilización en alimentación animal, en segundo lugar, su empleo como enmienda agrícola al suelo y, finalmente, su potencial como biomasa para la obtención de energía o bio-productos. En cualquier caso, existe una primera aproximación en Ecuador aportada por Delgado-Villafuerte (2017) mediante la elaboración de un inventario de subproductos en la provincia de Manabí.

Rastrojo de maíz en alimentación animal

Así, bajo la óptica de insumo, Guevara *et al.* (2014) reportaron en un estudio realizado en México que, el 53% de productores utilizan el rastrojo de maíz para alimentar a su ganado, actividad conocida localmente como “rastrojeo”, mientras que el 27% lo usa para abonos de cobertera dejándolo sobre el suelo y, finalmente, el 20% restante utiliza la técnica de la quema. Lo anterior, indica la importancia de esta actividad y lo interesante que es realizar estudios que puedan apoyar al desarrollo de una estrategia de uso racional del recurso.



Figura 8. Detalle de la quema en rastrojo de maíz

En cuanto a potencial como aprovechamiento directo (Arellano et al., 2016), los resultados encontrados mostraron la alta diversidad de componentes vegetales presentes en un rastrojo, lo que le confiere importancia en términos de mejora en la calidad de la dieta del animal, producto de una mayor posibilidad de selección de la misma, lo que es de importancia para definir estrategias de suplementación más eficientes a los animales que rastrojean directamente.

En muchos países el 80% del rastrojo de maíz se destina a la alimentación de rumiantes. Su uso, sin el auxilio de suplementos principalmente proteicos, en muchos casos no cubre los requerimientos nutricionales de mantenimiento. Se ha considerado que esta deficiencia se debe al elevado contenido del residuo fibra detergente neutro (FDN), al que se atribuye la baja digestibilidad del rastrojo de maíz (Coleman y Moore, 2002; Nuñez *et al.*, 2003; Peña *et al.*, 2003) y la poca disponibilidad de nutrientes en el rumen (Delgado *et al.*, 2002).



Figura 9. Aprovechamiento del rastrojo de maíz mediante pastoreo directo con ovino de pelo



Figura 10. Aprovechamiento del rastrojo de maíz mediante pastoreo directo con bovino criollo y cebuño.

En la gran mayoría de las unidades de producción agropecuaria del altiplano, el maíz es un cultivo prioritario, se obtiene grano para la alimentación humana, y el rastrojo (las partes remanentes de la planta-tallo, hoja, espigas y brácteas de mazorca después de que el grano de maíz es cosechado) para el ganado. El rastrojo llega a representar el 50% de la biomasa total aérea de la planta (Bertoia *et al.*, 2002; Tollenaar *et al.*, 2006; Dhugga *et al.*, 2007), y existen evidencias según Lorenz *et al.*, (2010) de que una mejora en la capacidad de producción de este no incide negativamente en el rendimiento de grano.

Por otra parte, si se considera que, según Muñoz-Orozco (1987) y Gil et al. (2004), entre las poblaciones nativas de maíz, las diferencias fenotípicas y genéticas en atributos agronómicos son comunes, se infiere que es posible encontrar materiales que combinen alto rendimiento de rastrojo y grano, lo que podría erigirse como una fortaleza estratégica de producción en los sistemas mixtos.

En producción animal, el rastrojo puede llegar a ser tanto o más importante que el grano según Estrada *et al.*, (2006), debido a que sustenta en diferente proporción la manutención del ganado, al cual se recurre en tiempos difíciles para amortiguar los desbalances económicos (Viveros *et al.*, 2010; Galaviz *et al.*, 2011). A pesar de su relevancia, en muchas ocasiones el rastrojo producido por el agricultor es insuficiente, por lo que no se cubren totalmente las necesidades de consumo de los rumiantes durante la época de estiaje (principalmente durante la parte final del otoño, el invierno y mediados de primavera).

Una vez que los productores colectan el grano, el rastrojo es cortado y almacenado para su posterior utilización como forraje, sobre todo en la época de estiaje. Por otra parte, en la época de lluvias el panorama cambia notablemente ya que existe una gran disponibilidad de recursos naturales forrajeros, tal es el caso de las arvenses (plantas que crecen dentro de los cultivos de maíz), que son ampliamente utilizadas para la alimentación del ganado (Castelán *et al.*, 2003; Estrada, 2005). Este tipo de prácticas son comunes en los sistemas de producción campesinos con recursos económicos limitados, por lo tanto, su uso representa un ahorro considerable en la compra de forrajes y una mejora en la alimentación del ganado. Sin embargo, en ocasiones disminuye la disponibilidad de alimento para el ganado, por lo que su conservación en forma de ensilaje puede ser de gran importancia para los productores.

Otros usos convencionales del rastrojo de maíz distintos a la alimentación animal

En lugar de su empleo en alimentación animal, el rastrojo de maíz también se puede usar como enmienda agrícola del suelo o abono verde, contribuyendo a mantener la salud del suelo (Zea et al. 1997). En cualquier caso, se estima que entre el 20 al 80% del rastrojo de maíz producido puede cosecharse de forma sostenible quedando al menos un 20% en suelo.

Asimismo, se puede utilizar igualmente como cama del ganado, la cual, mezclada con los purines, finalmente vuelve al suelo como materia orgánica para la enmienda el suelo.

Uso bioenergético

Aunque actualmente el rastrojo de maíz no tiene un uso generalizado en el proceso de obtención de biocombustibles o como materia prima para bioproductos, ya existen algunas iniciativas en ese sentido, especialmente en el caso de Estados Unidos. No obstante, la tecnología actual no posibilita una elevada eficiencia de la celulosa como biocombustible, si bien esto, podría variar si la comercialización de etanol celulósico avanza lo suficiente tecnológicamente, por cuanto la producción de etanol de biomasa usaría el rastrojo de maíz del cultivo de maíz producido en áreas alrededor de las plantas de etanol. Así pues, este subproducto, sería el residuo de cultivo de mayor disponibilidad en el futuro debido a la proximidad relativa del grano de maíz producido para la producción de etanol.

Otros usos

La globalización, el crecimiento de la población mundial, el cambio climático y la producción de biocombustibles constituyen factores que en la actualidad ha reducido la disponibilidad de la mayoría de los alimentos, ya sea para consumo humano o animal (FAO, 2013).

No obstante, según (Reyes et al., 2013), la importancia de los rastrojos ha pasado desapercibida por los sectores académico y gubernamental, como lo demuestra la limitada información científica que existe sobre ellos. En ese sentido, estos autores manifiestan que los rastrojos no se han tomado en cuenta explícitamente en políticas y estrategias gubernamentales que buscan la sustentabilidad en el medio rural. De ahí la necesidad de documentar la situación actual de los rastrojos, qué se hace con ellos, cómo se aprovechan, qué papeles juegan en la actividad agropecuaria y cuál es su contribución futura para alcanzar la sustentabilidad.

3.5. Principales aditivos utilizados en producción animal

Se define como aditivo en alimentación animal a toda sustancia, microorganismo y/o preparado distinto a cualquier de las materias primas que lo componen, que se añade de forma consciente e intencionada los piensos o mezclas con el fin de obtener una o varias de las funciones que se detallan a continuación: a) Influir positivamente en las características del pienso. b) Influir positivamente en las características de los productos animales. c) Influir favorablemente en el color de los pájaros y peces ornamentales. d) Satisfacer las necesidades alimenticias de los animales. e) Influir positivamente en las repercusiones medioambientales de la producción animal. f) Influir positivamente en la producción, la actividad o el bienestar de los animales, especialmente actuando en la flora gastrointestinal o la digestibilidad de los piensos y, g) Tener un efecto coccidiostático o histomonostático

De lo anterior, se desprende que los aditivos podrían clasificarse en tecnológicos, organolépticos, nutriciones y zootécnicos. En el caso de la melaza y urea, como principales aditivos empleados en la preparación de ensilado para la mejora de la calidad de la ración, podríamos destacar las propiedades tecnológicas y organolépticas atribuidas al primero de ellos, mientras que el segundo destacaría por sus atributos de tipo nutricional.

3.5.1. Melaza

La melaza es un subproducto agroindustrial que se genera en el proceso de obtención del azúcar de la caña (*Saccharum officinarum* L.). Principalmente se emplea como insumo en la complementación de raciones alimenticias para el ganado; ya que, presenta alta concentración de sacarosa y otros azúcares solubles (Ruíz *et al.*, 2005).

El empleo de las melazas en la preparación de dietas destinadas a la alimentación animal se justifica porque, aparte de su valor energético, incrementa la palatabilidad y produce un efecto estimulante de la actividad de los microorganismos ruminales; además de que ejerce un mejoramiento en la calidad del ensilado (Ojeda y Díaz, 1991). Asimismo, se trata de un subproducto de bajo coste por cuanto contribuye a la competitividad de las explotaciones ganaderas.

3.5.2. Urea

En cuanto a la Urea, se trata de un fertilizante agrícola que contiene sólo nitrógeno al 46%, siendo su fórmula N-K-P: 46-00-00. Su uso como aditivo en alimentación animal está ampliamente extendido en Ecuador y otros países iberoamericanos, e incluso mantiene su autorización en el ámbito de la Unión Europea (UE, 2012), si bien en las instrucciones de uso del aditivo alimentario y los piensos que contengan urea se incluirá lo siguiente: «Solo se debe suministrar urea a animales con un rumen funcional. La urea se suministrará gradualmente para alcanzar la dosis máxima. Solo se debe suministrar el contenido máximo de urea como parte de dietas ricas en hidratos de carbono fácilmente digeribles y un bajo contenido de nitrógeno soluble. Como máximo un 30 % del nitrógeno total de la ración diaria puede proceder de urea-N.

La mezcla melaza-urea induce que los microorganismos del rumen tomen el N de la urea, así como el C, H, O₂ y energía necesaria para el proceso de la melaza, formando la proteína bacteriana o verdadera.

3.6. El ensilaje, uso e importancia

Los forrajes, los residuos de cosecha y los subproductos agroindustriales son usualmente consumidos en forma fresca por los animales domésticos, sin embargo, es posible transformarlos, para conservarlos y utilizarlos en el futuro durante períodos de escasez de alimentos (Callacná *et al.*, 2014). Principalmente, existen tres formas de conservación de forrajes: henificación, ensilaje y henolaje.

El ensilaje es la fermentación de los carbohidratos solubles del forraje por medio de bacterias que producen ácido láctico en condiciones anaeróbicas. El producto final es la conservación del alimento por que la acidificación del medio inhibe el desarrollo de microorganismos. El oxígeno es perjudicial para el proceso por que habilita la acción de microorganismos aerobios que degradan el forraje ensilado hasta CO_2 y H_2O . Este proceso sirve para almacenar alimento en tiempos de cosecha y suministrarlo en tiempo de escasez, conservando calidad y palatabilidad a bajo costo, permitiendo aumentar el número de animales por hectárea o la sustitución o complementación de los concentrados (Alpizar *et al.*, 2014).

Expresado de otra forma, el ensilaje es una fermentación en estado sólido (FES), proceso que permite el aprovechamiento de fuentes no convencionales de carbohidratos como los residuos fibrosos para la alimentación animal mediante el uso de microorganismos (Díaz-Plascencia, 2011). Una aplicación de fermentación en estado sólido (FES) de residuos agrícolas lignocelulósicos acompañados de fuentes de energía de fácil fermentación, con la finalidad de producir proteína no convencional para alimentación animal, es el uso de residuos agroindustriales de caña de azúcar, desarrollado en Cuba, en donde se obtuvo alimentos como la Saccharina y el Bagarip, entre los más destacados, por sus aplicaciones como sustitutos parciales de alimentos tradicionales y como suplementos dietéticos en algunos animales (Julián y Ramos, 2007).

El maíz (*Zea mays*) es el cultivo más empleado como fuente de forraje en los sistemas de producción bovina, para la elaboración de ensilaje, debido a un alto rendimiento de biomasa/área de 35-95 Tm ha⁻¹ (Somarribas, 2007). El ensilaje de maíz es uno de los forrajes conservados más importantes y versátiles en el mundo, se lo considera una mezcla única de grano y fibra digestible, que constituye una de las principales fuentes energéticas para la alimentación de rumiantes, este se almacena en silos que permiten mantener la condición anaerobia.

El uso del ensilaje es común en sistemas de producción animal intensiva de zonas templadas, sin embargo, la decisión de hacer uso del ensilaje en zonas tropicales debe considerar el tipo de sistema de producción y las condiciones climáticas. Solamente deben ensilarse el excedente de la producción de forraje, los residuos de cosechas y el producto debe poseer buena concentración proteica (Mannetje, 1999).

En condiciones tropicales la reducción de la disponibilidad de forraje en épocas de verano se resuelve mediante el uso del ensilaje, que permite aprovechar los excedentes de forraje, pero con esta práctica, no se solucionan los problemas de disminución del valor nutritivo del forraje, ya que suele ser elaborado a partir de gramíneas con bajo contenido de proteína, alto nivel de fibra y escasa presencia de carbohidratos solubles, factores que afectan la fermentación y resultan en un suplemento de baja calidad. El ensilaje de maíz es uno de los forrajes que se usa ampliamente por los altos rendimiento de materia seca, no requiere ningún tratamiento previo para ser ensilado, pero posee una baja proporción de proteína bruta y minerales, especialmente calcio, requiriendo de una suplementación estratégica (Blanco *et al.*, 2005).

López *et al.* (2012) reportaron que es ampliamente reconocida la importancia que tiene el ensilado de maíz en la producción lechera, su uso principal está dado por la facilidad que presenta el cultivo para obtener un ensilaje de calidad, la obtención de grandes volúmenes de forraje por unidad de superficie y el alto valor nutritivo.

Por otra parte, Tobía *et al.*, (2008) señalaron que una alternativa en el trópico para lograr la conservación acida de forraje de soya con altos rendimientos de materia verde ha^{-1} , es mediante la combinación de este forraje con la planta entera de maíz a la hora de hacer el silo. El maíz complementa las deficiencias de carbohidratos solubles que presenta el forraje de soya, además de incrementar las toneladas de material ensilado por superficie en la finca. Este material ensilado maíz-soja en partes iguales tendría aproximadamente 14% de proteína cruda con una concentración energética de $1,40 \text{ Mcal kg}^{-1} \text{ MS de EN L}$ aproximadamente.

Por otra parte, Phipps (1988) evaluó el reemplazo de concentrado por ensilaje de maíz mezclado con ensilaje de pradera en proporción 2:1 en la ración, obteniendo valores de consumo de materia seca y producciones de leche similares a las raciones solo basadas en ensilaje de pradera. Este se refirió a la importancia y al cuidado que se debe tener en el momento de la preparación y proceso del ensilaje.

3.6.1. Preparación del material a ensilar y proceso del ensilaje

Ashbell y Weinberg (2001) reportaron que, en la mayoría de los cultivos, las condiciones óptimas para preparar ensilado consisten en un contenido de sustancia seca sobre el 35% y un contenido de hidratos de carbono solubles del 6 al 8% (en base a su peso seco). En algunos casos pueden añadirse conservantes o esterilizantes. Si el contenido de humedad del forraje es demasiado alto o el contenido de hidratos de carbono solubles demasiado bajo, la acidez producida por la fermentación no descenderá hasta el nivel 4,0 de pH deseado. La compresión generalmente se logra mediante la forma mecánica, siendo necesario expulsar el aire con el fin de lograr el establecimiento de las condiciones anaeróbicas dentro del silo. El aumento de la compresión adquiere una mayor importancia en la preservación del ensilaje.

Asimismo, el uso de aditivos tales como pulpa de cítricos, entre otros, constituye otra de las técnicas disponibles para mejorar la fermentación del ensilaje. Así, su inclusión en muchas experiencias sobre ensilado de hierba, además de proporcionar una fuente de nutrientes, aporta hidratos de carbono solubles que mejoran la calidad de la fermentación en el silo y tiene una alta capacidad absorbente (Tavares *et al.*, 2009).

Para Oude *et al.* (2001), el ensilaje es una técnica de preservación de forraje que se logra por medio de una fermentación láctica espontánea bajo condiciones anaeróbicas, en las siguientes fases:

Fase 1 - Fase aeróbica

En esta fase, que dura sólo unas pocas horas, el oxígeno atmosférico presente en la masa vegetal disminuye rápidamente debido a la respiración de los materiales vegetales y a los microorganismos aeróbicos y aeróbicos facultativos como las levaduras y las enterobacterias. Además, hay una actividad importante de varias enzimas vegetales, como las proteasas y las carbohidrasas, siempre que el pH se mantenga en el rango normal (pH 6,5-6,0).

Fase 2 - Fases de fermentación

Se produce ácido fórmico y otros ácidos orgánicos como resultado del crecimiento de bacterias enterobacterias aeróbicas facultativas, teniendo este proceso una duración comprendida entre 1 a 2 días. Esta fase comienza al producirse un ambiente anaeróbico. Puede oscilar desde de varios días hasta varias semanas, dependiendo de las características del material ensilado y de las condiciones en el momento del ensilaje. Si la fermentación se desarrolla con éxito, la actividad de las Bacterias Acido Lácticas (BAC) proliferará y se convertirá en la población predominante. A causa de la producción de ácido láctico y otros ácidos, el pH bajará a valores entre 3,8 a 5,0.

Fase 3 - Fase estable

Mientras se mantenga el ambiente sin aire, ocurren pocos cambios. La mayoría de los microorganismos de la Fase 2 lentamente reducen su presencia. Algunos microorganismos acidófilos sobreviven en este período en estado inactivo; otros, como clostridios y bacilos, sobreviven como esporas.

Trujillo (2010), describe cuatro condiciones básicas que son indispensables en todos los ensilajes sin discriminación de su origen, siendo las que siguen:

- ✓ *Carbohidratos solubles*: Incluir ingredientes que contengan carbohidratos altamente fermentables como azúcares (caña de azúcar, melaza, frutas o residuos de estas) y almidones (yuca, banano, plátano).
- ✓ *Materia seca*: La masa a ensilar no debe estar ni muy húmeda ni muy seca. Una masa muy húmeda generará ensilajes avinagrados de muy corta duración, por el contrario, una MS muy alta impedirá el crecimiento de las bacterias benéficas y favorecerá el crecimiento de hongos, dificultando la compactación.
- ✓ *Tamaño de partícula (Picado)*: A menor fracción de las partículas mejor será la condición de compactación y acción de los microorganismos productores de ácido láctico.
- ✓ *Anaerobiosis*: Es una de las condiciones más importantes, pues esta garantiza la correcta conservación ya que en ese ambiente se desarrollan las bacterias ácido lácticas que conservan el ensilaje.

Diferentes estudios han notificado la importancia de realizar un buen ensilaje. Así, Castillo *et al.*, (2009) evaluó la fermentabilidad y valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asociación con Vigna (70:30, y 60:40), tres niveles de melaza (0, 2 y 4%) e inóculo bacteriano (con o sin). En el material ensilado, la densidad de siembra afectó a la materia seca, cenizas proteína

cruda, extracto etéreo, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, lignina, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, capacidad buffer y pH.

La melaza modificó la composición nutricional y las características fermentativas de los tratamientos, excepto el pH. El inóculo bacteriano afectó la proteína cruda, capacidad buffer, y pH del material. La densidad de siembra 70:30 con adición de 2% de melaza y sin inóculo bacteriano presentó valores de digestibilidad *In vitro* de la materia seca y proteína cruda altos, porcentajes de FDN y FDA bajos y un pH inferior a 4.2.

Román *et al.* (2009) evaluaron las propiedades nutricionales de dos variedades de maíz V508 (V1) y Porvasogamoseno (V2) y de su ensilaje, reportando que el porcentaje de proteína del material ensilado presentó un descenso con respecto a las muestras en fresco, sin embargo, este cambio no es estadísticamente significativo para ninguna de las dos variedades. Estas variaciones, según los autores, presumiblemente, se presentan porque en el proceso de fermentación la proteína es hidrolizada por acción de las enzimas de las plantas, convirtiéndose en nitrógeno no proteico y, en consecuencia, esto ocasiona una reducción en el contenido de proteína verdadera en el ensilaje de cerca de un 50 -60%.

Wing y Rojas (2006), mediante la técnica de micro silos, determinaron el efecto de la edad de rebrote (8 y 12 semanas), de la deshidratación parcial (con oreo y sin oreo) y de la adición de melaza (0, 3, y 6%) sobre las características fermentativas y el valor nutritivo del ensilaje de maní forrajero de dos eco tipos (CIAT 17434 y CIAT 18744). El proceso de ensilado se prolongó por 45 días. Los valores de materia seca fueron afectados significativamente por la frecuencia de corte, el oreo y la adición de melaza, no así por el ecotipo ensilado. En cambio, el ecotipo y la frecuencia de corte afectaron el contenido de proteína cruda, la fibra detergente neutro y detergente ácido fueron afectadas. El valor del pH, al igual que la concentración de ácidos acético, butírico y láctico, variaron significativamente en respuesta a la adición de melaza y el oreo, no así por la edad de rebrote y el eco tipo ensilado (Fernández *et al.*, 1997). Estos resultados han llevado a diferentes

investigaciones donde se hace alusión a la composición química de los ensilajes.

3.6.2. Composición química de los ensilajes

Estudios notificados por Castillo *et al.*, (2009) mostraron valores de grasa bruta de superiores a (1,42%). Al respecto, podría indicarse que valores más altos se debería al empleo de la broza de esparrago, la cual posee un mayor contenido de extracto etéreo, lo que aumentaría esta fracción en el ensilaje como reportaron Gómez *et al.*, (2003), reportando que el extracto etéreo de dicho subproducto agrícola en base seca fue del 3,92%.

Por otra parte, valores de fibra cruda en el ensilado mixto de maíz chala y broza han sido reportados por distintos autores, pudiendo considerarse como valores medios, dada la combinación de estos dos forrajes. Sin embargo, para ensilado de maíz con contenido de materia seca que varía de 30 a 35%, se han reportado porcentajes de fibra bruta de 20,98 y 35%, y para variedades de maíz sin ensilar se indican porcentajes de fibra cruda en base seca que varían de 20,50 a 22,99%, según Gómez *et al.*, (2003). Estos mismos autores refieren que para la broza de esparrago sin ensilarlos, porcentajes de fibra cruda en base seca varían de 33,04 al 51,13%, y del 30,70 al 54,18%.

Ramos (2006), empleando diferentes sustratos (maíz molido, sorgo molido, pulpa de cítrico deshidratada y pulidora de arroz) y distintas fuentes energéticas en un estudio en Cuba, logró estimar los valores de proteína cruda, los cuales ascendieron del 17,52 al 22,98%, así como de la proteína verdadera en niveles de 10,62 a 13,27%, al someterlos a FES, afirmando que este tipo de alimentos pudiera competir con alimentos comerciales; además, se demostró el potencial que tienen los procesos de FES en la producción de alimentos de mayor valor nutritivo para los animales, a partir de materiales fibrosos con bajo contenido de proteína, y disponibles local o regionalmente, como es el caso de la caña de azúcar.

Es importante destacar que el valor nutritivo de los alimentos, parte de su composición química, sin embargo, es necesario conocer además su degradabilidad y digestibilidad, en el momento de hacer una ración.

3.7. Metodologías de evaluación de la degradabilidad/digestibilidad de los alimentos fibrosos

Según Merchen (1988), el conocimiento de la digestibilidad de la dieta ofrecida a los rumiantes permite estimar su valor nutritivo, siendo posible tanto en el caso de la dieta completa como de cualquiera de los ingredientes que la componen. Si bien, es cierto que dicha determinación analítica no provee de información exacta sobre el aprovechamiento el alimento por parte del animal, sino que se trata de una herramienta de interés que permite realizar una valoración nutricional.

En cuanto a los rumiantes se refiere, los métodos más conocidos para determinar la digestibilidad son la técnica de las jaulas metabólicas y el empleo de marcadores. En el caso de las jaulas metabólicas, esta metodología requiere de cierta infraestructura y de un elevado manejo de los animales debido a la necesidad de recolección total de las heces, por cuanto esto supone una importante limitación (Merchen, 1988). Por otra parte, se cuenta con la utilización de marcadores, ya sean aquellos de tipo externo, que son añadidos a la dieta o administrados oral o intraruminalmente a los animales, o bien aquellos otros de tipo interno (materiales no digeribles presentes en el propio alimento).

El desarrollo de metodologías para evaluar la degradabilidad de los alimentos fibrosos y forrajes permite establecer qué alimento puede contribuir en mayor grado a la optimización de la fermentación ruminal y consecuentemente a la mejor respuesta animal (Nocek, 1988). Diferentes modelos matemáticos han sido propuestos para estudiar la cinética de degradación. En la construcción de estos modelos se tiene en cuenta las

características particulares del sustrato en estudio, los aspectos anatómicos y fisiológicos del animal y los procesos relacionados con la hidratación y colonización del sustrato por parte de los microorganismos ruminales (Rosero y Posada, 2007).

3.7.1. Degradabilidad *in situ*

La digestibilidad “*in situ*” consiste en la incubación del alimento objeto de evaluación en el rumen de animales previamente canulados o fistulados, durante diferentes lapsos de tiempo mediante la colocación de bolsas de nylon con un tamaño de poro que permite el ingreso de microorganismos, pero no la salida del material. Esta técnica se basa en la desaparición del material incubado como efecto de la degradación microbiana en el rumen y los resultados son calculados por la diferencia de peso en materia seca entre el material incubado y el material presente en la bolsa tras un determinado tiempo de incubación (Romero, 1990).

Son varias las especies animales utilizadas en los estudios de degradabilidad “*in situ*” a lo largo y ancho de los distintos países latinoamericanos, si bien resulta que el ganado bovino es la especie predominante, seguido de la especie ovina y, en menor proporción, la especie caprina, todo ello probablemente debido a la importancia relativa de dichas especies en el panorama zootécnico. Así, en la Tabla 5, se puede ofrecer algunos ejemplos, destacando desde el empleo de animales cebuínos de raza Bramhan (*Bos indicus*), como es el caso de Espinoza et al. (2017) y Montenegro et al. (2018) en Ecuador, así como en otros casos con base racial criolla (Roa y Galeano, 2015), o bien con animales híbridos *Bos taurus* x *Bos indicus* (Holstein x cebú), según Gutiérrez et al. (2015) y Sosa et al. (2019). Por su parte, en el caso de la especie ovina, cabe resaltar la utilización de animales criollos en Colombia (Sánchez-Acosta et al., 2012) o ejemplares mestizos Criollo x Dorper en Cuba (Guzmán et al., 2019), entre otros. Finalmente, se constata el uso menos frecuente del ganado caprino en este tipo de estudios.

Tabla 5. Relación de estudios sobre degradabilidad in situ en diferentes dietas y especies animales

| Especie | Genotipo | País | Autor/autores y año |
|----------------|-------------------|-------------|------------------------------|
| Bovina | Sin especificar | Costa Rica | Vargas (2005) |
| Bovina | Sin especificar | Venezuela | Ojeda et al. (2012) |
| Bovina | Charolesa-Angus | México | Ariaza-Rosales et al. (2013) |
| Bovina | Bos indicus | Brasil | Miranda et al. (2015) |
| Bovina | Criollo x Cebú | Colombia | Roa y Galeano (2015) |
| Bovina | Holstein x Cebú | Cuba | Gutiérrez et al. (2015) |
| Bovina | Brown Swiss | México | López-Inzunza et al. (2017) |
| Bovina | Brahman | Ecuador | Espinoza et al. (2017) |
| Bovina | Brahman | Ecuador | Montenegro et al. (2018) |
| Bovina | Brown Swiss | Perú | Contreras et al. (2019) |
| Ovina | Sin especificar | México | Yescas-Yescas et al. (2004) |
| Ovina | Sin especificar | Brasil | Santos et al. (2009) |
| Ovina | Criollo | Colombia | Sánchez et al. (2012) |
| Ovina | Sin especificar | México | Muro et al. (2017) |
| Ovina | Pelibuey x Dorper | Cuba | Guzmán et al. (2019) |
| Caprina | Nubiana | México | Mora-Castro (2006) |
| Caprina | Criollo x Nubiana | Argentina | Arias et al. (2013) |
| Caprina | Sin especificar | Perú | Cardenas et al. (2016) |

Por último, también hacer mención a la existencia, en menor cuantía, de estudios similares sobre degradabilidad/digestibilidad en otras especies de rumiantes, como puede ser el caso de un análisis en búfalos (raza Mediterránea) por parte de Franzolín et al. (1995), así como un trabajo sobre pastos naturales en camélidos sudamericanos (llama), a cargo de Ponce-Quispe y Merlo-Madama (2020), entre otros.

Por su parte, otros factores de variación interés en este tipo de estudios son la bolsa de nylon empleada, atendiendo a su tamaño y características, así como el tiempo de incubación.

Entre las técnicas propuestas para evaluar digestión ruminal de materias primas, se encuentra la de Orskov *et al.* (1980) que utilizó bolsas no degradables en el rumen para incubar muestras, asumiendo que la porción que desaparece de éstas es la fracción degradable de ese alimento, mientras que la que permanece en las bolsas es la fracción no degradable.

Diversos estudios demuestran que la degradabilidad ruminal *in situ* de la MS mejora entre 37-45%, al añadir diferentes inóculos, particularmente cuando se emplea 4.5 y 6.0% de VITAFERT en las mezclas (Gutiérrez *et al.*, 2014). Estos incrementos debieron estar asociados al aumento en la solubilidad de la pared celular, como resultado del incremento de la actividad enzimática por parte de los microorganismos inoculados presentes en VITAFERT, y su efecto funcional en el material ensilado, disponibilidad de ceniza y nitrógeno (Elías, 1983). También pudieron influir las concentraciones de ácidos grasos de cadena corta presentes en el VITAFERT, como estimuladores del crecimiento de los microorganismos y su actividad con dosis adecuada (Sosa, 2010; Gutiérrez, 2012).

Lo logrado con la degradación de la MS resulta controvertido, y puede ser justificado por pérdidas en la MS (2,6%), tal vez carbohidratos solubles, y por la disminución de la concentración fibrosa, así como por el incremento en la concentración de N-NH₃, sobre todo durante las primeras horas, lo que provoca variaciones durante el resto de la cinética de la fermentación ruminal. De la misma manera pudo influir la acumulación de amoníaco en rumen para limitar la síntesis de proteína (Bolívar e Ibrahim, 2008) y con ello, la disminución de la actividad enzimática de los microorganismos (Monteils *et al.*, 2012; Enríquez *et al.*, 2013 y Romero *et al.*, 2013). Aspectos importantes a tener en cuenta cuando se preparan ensilajes.

Otros estudios, ha notificado la utilización de VITAFER con mezcla de gramíneas y plantas proteicas, esto facilitó el aumento en la constante de degradación ejerció marcado efecto en la desaparición de la MS ruminal, y fue menos afectada con las variaciones en las tasas de pasajes con respecto al resto de las mezclas. Este comportamiento puede atribuirse al menor contenido de la fracción insoluble evidenciado por el menor tiempo de retención en el rumen (Gutiérrez *et al.*, 2014).

Una investigación notificó que, al considerar la degradación ruminal acumulada de la MS, que fue del 64% a las 72 h y, el aporte de fibra bruta (24%) del bagazo asociado a la lignificación de la pared celular, como factor que provocaría severas limitaciones en la degradación de MS. Se podría asumir que el 40,4% del bagazo se degradaría y absorbería a nivel intestinal. Tal vez, esto podría explicar la disponibilidad combinada de hidratos de carbono con diferente velocidad de degradación ruminal en este material durante la fermentación. Este beneficio, sincronizado con un aporte exógeno de proteína en la dieta, podría favorecer la síntesis de proteína microbiana y mejorar el balance de energía-proteína. A su vez, incrementaría el consumo voluntario de materia seca por el animal (Fernández *et al.*, 2007).

Al parecer, el valor alcanzado en la fracción estuvo determinado por el alto contenido de carbohidratos solubles en el bagazo, elemento que debió influir en la tasa de degradación ($c=6\% \text{ h}^{-1}$) y por el menor tiempo de colonización (fase lag= $2,0\% \text{ h}^{-1}$) de los microorganismos ruminales (Aragadvay-Yungán *et al.*, 2015). Con respecto a la velocidad de degradación ($c= 6,7\% \text{ h}^{-1}$), se plantea que el valor alcanzado corresponde a alimentos de mediana calidad, que necesitan menor tiempo de permanencia en el rumen para su degradación, y logran mayor deposición de nutrientes, a la vez que superan el resultado de las gramíneas tropicales ($5,3\% \text{ h}^{-1}$). Asimismo, este valor resulta similar al de los árboles multipropósito ($6,2\% \text{ h}^{-1}$), según lo enunciado por Izaquirre *et al.*, (2011).

La evaluación de la digestibilidad ruminal efectiva (DE) de la materia seca (MS), el nitrógeno total (NT) y la fibra neutro detergente (FDN) se lleva a cabo mediante el modelo matemático de cinética ruminal (Mertens, 2002), siendo como sigue:

$$Y = A + B (1 - E^{-c \cdot t})$$

Donde,

Y (DE) representa la digestibilidad efectiva en porcentaje de desaparición del material degradado y A, B y c son los parámetros a estimar.

t: tiempo de incubación.

A: intercepto con el eje "Y", establece el sustrato soluble rápidamente degradable (para determinar esta fracción las muestras se incubaron dentro de las bolsas de nailon en líquido ruminal durante 40 minutos en baño maría a 39 °C, antes de ser filtradas y secadas).

B: fracción degradada a las 72 horas.

c: tasa fraccional de pasaje ruminal, porcentaje/hora.

k: se utilizó la constante 0,044 sugerida por Ørskov (2002).

E: exponencial de $-c \cdot t$.

La **fracción A** es nitrógeno no proteico y se degrada siempre de forma completa e instantánea. La **fracción B** es proteína verdadera. Toda es potencialmente degradable si permanece suficiente tiempo en el rumen. Sin embargo, debido a que el tiempo de permanencia en el rumen de los alimentos es generalmente inferior al tiempo necesario para que se complete la degradación, una parte de ella escapa sin degradar al intestino grueso. Por tanto, la fracción B contribuye tanto a la proteína degradable como a la no degradable.

La cantidad de B realmente degradada depende de su constante de degradación (característica de cada alimento) y de la velocidad de tránsito, que a su vez depende del nivel de alimentación. La **proteína no degradable** incluye a la parte de B que no ha sido degradada y a una parte denominada C que no es ni degradable en rumen ni digestible en intestino delgado en ninguna circunstancia.



Figura 11. Técnica de digestibilidad in situ.

3.7.2. Digestibilidad *in vitro*

Según Bruni y Chilbroste (2001), la digestibilidad *in vitro* es un método de análisis que se basa en el principio de someter una muestra de alimento (forraje o grano) en un recipiente a la acción de inóculo de líquido ruminal, con el fin de simular las condiciones que ocurren en el rumen. Después de un determinado tiempo se mide la cantidad de materia seca, materia orgánica o celulosa que ha desaparecido durante la incubación, y a la proporción desaparecida se le denomina digestibilidad *in vitro*.

Dentro de los métodos químicos y biológicos descritos para predecir la digestibilidad, aparece también la técnica *in vitro* de los alimentos, propuesta por Tilley and Terry (1963), que aún hoy se sigue reconociendo como una de las más interesantes en este ámbito. Esta se basa en la acción de dos tratamientos, uno biológico y otro químico, sobre la muestra a analizar. El tratamiento biológico se refiere a una digestión anaeróbica de una muestra seca de forraje con microorganismos ruminales, de 38 a 40 °C a pH constante de 6,8 a 6,9 durante 48 horas en condiciones de oscuridad. Esta digestión debe hacerse en tubos de vidrio asegurándose que la producción de gas, como consecuencia de la fermentación, mantiene la condición de anaerobiosis. El tratamiento químico consta de una digestión en pepsina, cuya finalidad es solubilizar la gran proporción de proteína que resiste al tratamiento biológico previo.

Posiblemente, esta técnica haya sido desarrollada en menor medida que la de la digestibilidad *in situ* dado que puede resultar más compleja desde el punto de vista logístico al requerir la infraestructura la técnica de la propia digestibilidad *in situ* más la técnica específica de la degradabilidad *in vitro*. En cualquier caso, Tabla 6 informa de los estudios sobre degradabilidad *in vitro* contenidos en los trabajos referidos sobre la digestibilidad *in situ* expuestos anteriormente en la Tabla 5.

Tabla 6. Relación de estudios sobre degradabilidad *in vitro* en diferentes dietas y especies animales

| Especie | Genotipo | País | Autor/autores y año |
|----------------|-----------------|-------------|------------------------------|
| Bovina | Sin especificar | Costa Rica | Vargas (2005) |
| Bovina | Charolesa-Angus | México | Ariaza-Rosales et al. (2013) |
| Bovina | Brahman | Ecuador | Montenegro et al. (2018) |
| Ovina | Sin especificar | México | Muro et al. (2017) |

Por otra parte, el uso de enzimas fibrolíticas exógenas aplicadas al forraje puede incrementar la digestibilidad *in vitro*, *in situ* e *in vivo* de la materia seca y de la fibra neutro detergente (FND) de alimentos fibrosos (Colombatto, 2000; Colombatto *et al.*, 2002; Moreno *et al.*, 2007), habiéndose demostrado que estas enzimas pueden también mejorar la degradación de la materia orgánica y la eficiencia fermentativa, dado que alteran la estructura del ensilaje, haciéndolo más susceptible a la acción de los microorganismos del rumen (Colombatto *et al.*, 2004). Además, su aplicación, durante el proceso de ensilado puede disminuir el porcentaje de FDA (Colombatto *et al.* 2004).

Se ha encontrado que la adición de enzimas exógenas a un alimento para borregos aumentó la digestibilidad de la proteína cruda, hemicelulosa, FDN y la concentración de AGV, y mejoró además el balance de N (Pino *et al.*, 2000). En bovinos, el uso de enzimas comerciales (Fibrozyme) mejoró la ganancia de peso y producción de leche debido a un incremento en la digestibilidad y consumo de materia seca (Yang *et al.*, 2000; Gómez., *et al.*, 2003; Pino *et al.*, 2005).

Otros estudios reflejaron aumentos en la digestibilidad de la FDN y de la materia orgánica (MO) al utilizar complejos de enzimas fibrolíticas exógenas en sustratos diversos (Yang *et al.*, 2002; Colombatto *et al.*, 2004); sin embargo, parece que el momento de la aplicación de los suplementos enzimáticos podría tener un efecto en el modo de acción de éstos (Colombatto *et al.*, 2003). Los resultados sugieren que la actividad de las enzimas fibrolíticas del Fibrozyme

inician la degradación de los polisacáridos estructurales de la fibra del RM, antes de ser ingeridos, cuando se adicionan 24 horas antes de la incubación *in situ* en el rumen.

El aumento en la concentración de AGVt puede atribuirse al incremento de la fertilidad del RM por efecto de la enzima aplicada. Lewis *et al.* (1996) indicaron la existencia de un efecto positivo en la suplementación de enzimas previa a la alimentación, donde el forraje con un pretratamiento de 16 horas produjo un incremento del 30% de los AGVt y aumentó la digestibilidad de la FDN.

Otros trabajos notificaron que aplicar enzimas fibrolíticas exógenas durante el ensilaje puede modificar la disponibilidad potencial de los nutrientes de los rastrojos. Por ejemplo, Clister *et al.* (1999) encontraron que las digestibilidades de la MS y FDN fueron menores cuando distintas dosis del preparado enzimático comercial se aplicaron en el rumen directamente en comparación con su aplicación al momento del proceso de ensilado.

Investigaciones realizadas por Nkosi *et al.* (2011) concluyeron que la inoculación del ensilaje de rastrojo de maíz con *Lactobacillus lactis* y *Lactobacillus buchneri* mejoró el consumo y la digestibilidad de la materia seca, materia orgánica, proteína bruta y la fibra, además mejoró la fermentación del ensilaje y digestibilidad de la dieta. De igual manera Ozkose *et al.* (2009) informaron la reducción de fracciones de fibras en ensilaje de paja de trigo con inoculación de *Lactobacillus lactis* en comparación con el control. La inoculación de ensilaje de sorgo con *Lactobacillus plantarum* y *L. buchneri* redujeron la FDN en 6,47% y la FDA en 3,25%, lo cual incrementó la degradabilidad de la pared celular y mejoró la digestibilidad *in vitro* de los nutrientes (Thomas *et al.*, 2013).

Nkosi *et al.* (2015), evaluaron la calidad de un ensilaje elaborado con desechos de papa, e inoculado con BAL, el cual fue suministrado a carneros con heno de alfalfa, encontrando aumento de la proteína, disminución de la fibra y aumento de la digestibilidad en los animales. Asimismo, el material

secante utilizado (salvado de trigo) mejoró el contenido de materia seca del ensilaje. Comportamiento similar a lo ocurrido en el dicho trabajo, se observó con la incorporación de las diferentes materias primas que actuaron como materiales secantes dentro del alimento y mejoraron sensiblemente el contenido de la MS final y la disminución de la fibra pudiera estar relacionado a la concentración de ácido láctico y ácidos orgánicos producidos durante la fermentación. Por otro lado, se ha informado que los efectos de los inoculantes BAL sobre la degradación de la fibra, no son consistentes porque BAL no pueden utilizar eficazmente la fibra como fuente de energía para producir ácido láctico (Muck, 2010).

Los resultados antes referidos son posibles por diferentes técnicas aplicadas, sin embargo, en la actualidad existe una que ha renovado el mundo por su precisión y relativa sencillez.

3.7.3. Metodología DAISY II (ANKOM TECHNOLOGY)

El método de digestibilidad *in vitro* con la utilización de incubadoras DAISY II (ANKOM Technology, 2014) ha sido ampliamente estudiado y difundido, siendo preciso, confiable y rápido, lo que representa ventajas significativas para el análisis del forraje, grano y muestras mixtas (Holden, 1999), reemplazando las metodologías tradicionales en tubos (Pedercen, *et al.*, 2000; Mabeesh, *et al.*, 2000; Wilman *et al.*, 2000). El aparato permite la incubación simultánea de un gran número de muestras (para un máximo de 96 bolsas por lote de fermentación), dando ventajas en términos de mano de obra y los costos consumidos por determinación (Spanghero *et al.*, 2003). El uso de bolsas ANKOM F-57 asegura una alternativa más estandarizada y repetible para el método de Tilley y Terry (2005) y con el método *in vivo* utilizando la degradabilidad ruminal *in situ* o de la bolsa de nylon (Spanghero *et al.*, 2003; Giraldo *et al.*, 2007).



Figura 12. Imagen de Digestor/incubador Daysy (ANKOM Technology).

La incubadora DAISY II consta de cuatro jarras, con cuatro litros de capacidad cada una, que rotan permanentemente facilitando la agitación constante del material incubado y al interior del sistema se dispone de una temperatura controlada de 39 °C (Ceballos *et al.*, 2008). Con la aplicación de esta metodología, el material que desaparece de las bolsas durante la incubación es considerado digerible (Mabjeesh *et al.*, 2000). El procesamiento por lotes y la eliminación de la etapa de filtración simplifican ensayos *in vitro*, tales como la digestibilidad verdadera, aparente y enzimática (ANKOM Technology, 2014).

Arce *et al.* (2003) indican en los problemas que mayormente se presentan en los experimentos *in vitro* son: la variación en la actividad del fluido ruminal, variaciones incontrolables que se dan dentro del laboratorio y entre laboratorios, y la disponibilidad de animales ruminalmente canulados, ya que se requiere de una fuente uniforme y confiable de inóculo ruminal. El proceso mediante del sistema de incubación DAISY II requiere de: A) Termos acondicionados a 39 °C extracción de líquido ruminal incluido fracción fibrosa; B) licuado de líquido ruminal en presencia de CO₂, C) Forma de gasear con CO₂; D) Filtrado del inóculo; E) Llenado de jarras de incubación; F) Sellado de jarras para digestión (ANKOM Technology, 2014).

3.8. Posicionamiento estratégico

Los subproductos agroindustriales, residuos de cosechas o esquilmos tienen una amplia variedad de usos, tal y como se ha puesto en evidencia en epígrafes anteriores. Aunque su utilización como alimento para el ganado es tu orientación productiva principal, también se incluyen otros usos como la incorporación directa al suelo (enmienda agrícola), el compostaje y la producción de bioenergía.

Generalmente, en la mayor parte de los países chequeados, no existe información estadística actualizada que permita cuantificar y resaltar la importancia económica de los residuos de cosecha. En este sentido, Ecuador no es ajeno a dicha realidad, por cuanto no se cuenta con información específica en dicho ámbito.

Según Bravo et al. (2013), empíricamente se conoce que existe una determinada oferta y demanda de subproductos agrícolas en el ámbito de cada país, si bien se desconoce la magnitud y el entorno del mercado. Por tanto, se hace necesario cuantificar tanto la producción como el consumo de rastrojos en nuestro caso, teniendo en cuenta que dicha estimación se hace extensible al resto de cultivos y producciones.

Para la estimación de la producción de subproductos se emplean índices que relacionan la cantidad de materia prima obtenida en un determinado cultivo con la cantidad de subproducto generada y empleada en los distintos usos. Los índices utilizados se elaboran para cada tipo de agroindustria y subproducto a partir de la información obtenida en encuestas al sector. El balance global se obtiene como resultado de la agregación de la información calculada a nivel de la agroindustria.

Diversos trabajos en México estimaron que por cada kilogramo de grano producido se obtiene 1 kg de residuo (Macedo, 2000; y Muñoz, 2011). El rendimiento de rastrojo en la producción agrícola, depende de diversos

factores, como son: tipo de suelo, clima, manejo agronómico, disponibilidad de agua y variedades sembradas (Luna, 2010 y Ramírez y Volke, 1999).

A nivel de país, para estimar el volumen de la producción de esquilmos agrícolas se debe calcular un rendimiento promedio ponderado utilizando datos de diversas fuentes sobre proporción de esquilmos bajo diferentes criterios, como: modalidad hídrica, variedades, fertilización y tipo de labranza. En el caso del cultivo de maíz en México (Bravo et al., 2013), la proporción ponderada de rendimiento de rastrojo/grano (Tabla 7), se determinó teniendo en cuenta el criterio que, del total de la producción obtenida en una hectárea, 46.6% es grano y 53.4% rastrojo (Macedo, 2000; Zetina *et al.*, 2005; Luna, 2010 y Muñoz, 2011); mientras que, para las pajas de sorgo, trigo y cebada, el porcentaje de grano y de MS, representó 47 y 53%, respectivamente (SAGARPA, 2010 y Wortmann *et al.*, 2012).

Tabla 7. Producción de subproductos agrícolas en algunos cultivos (México).

| Cultivo | Producción grano | Producción rastrojo | Proporción |
|----------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|
| Maíz | 21,372,598 | 25,089,571 | 1:1,17 |
| Sorgo | 6,517,668 | 7,349,711 | 1:1,13 |
| Trigo | 3,908,481 | 4,407,436 | 1:1,13 |
| Cebada | 614,961 | 693,467 | 1:1,13 |

En Ecuador, Ajila, C et al. (2012), en relación a la gestión de subproductos agroindustriales, afirman que mediante el enriquecimiento de nutrientes y tecnologías apropiadas para su valorización pueden ser empleados como soluciones potenciales a los problemas de nutrición animal y el suministro mundial de proteínas y calorías. Además, las crecientes preocupaciones ambientales y el rápido aumento de los costos de los vertederos han llevado a la necesidad de evaluar estos productos para su uso potencial en programas de alimentación animal. La utilización de subproductos puede ser económicamente viable, pues los alimentos convencionales a menudo son costosos (Noriega, A., Silva, R. & García, M. 2008).

4.- MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Laboratorio de Ruminología y Metabolismo Nutricional (RUMEN) de la Facultad de Ciencias Pecuarias (FCP), Universidad Técnica Estatal de Quevedo, finca experimental “La María”, ubicada en el km 7½ de la Vía Quevedo-El Empalme, Recinto San Felipe, cantón Mocache, provincia Los Ríos (Ecuador), entre las coordenadas geográficas de 01° 0' 6" de latitud Sur y 79° 29' de longitud Oeste, a una altitud de 75 msnm, ubicada en zona bosque húmedo tropical (Bht) con una temperatura media de 25,47°C.

4.1. Materias primas, manejo de animales y preparación de muestras

El estudio se inició con la cosecha y picado (cortes inferiores a 5,0 cm) de rastrojo de maíz (variedad INIAP-H-551), obtenido en una parcela establecida en el Campus Experimental de la Facultad de Ciencias Pecuarias (FCP) de la UTEQ.



Figura 13. Detalle de una muestra de rastrojo de maíz tras la recolección en campo.



Figura 14. Detalle de la fase de preparación de la mezcla: operación de picado.



Figura 15. Detalle del rastrojo de maíz tras la operación de picado.



Figura 16. Detalle de la fase de preparación de la mezcla: operación de homogenización de ingredientes-aditivos

Se utilizó una picadora de pasto (Trapp® ES 400, Tapp, Jaraguá do Sul, Brasil).

La mezcla base del ensilado se preparó con rastrojo de maíz más melaza al 10%, preparando cuatro tipos de tratamientos al adicionar el 0 (T0), 1 (T1), 2 (T2) y 3% (T3) de urea en cada caso. Se utilizó una balanza MOBBA BS, (Mobba, Barcelona, España).

Tras la homogeneización manual de la mezcla, se elaboraron 128 microsilos de 3 kg cada uno (4 repeticiones por tratamiento), utilizando fundas de polietileno para empaque al vacío (0,063 mm de grosor), a efectos de garantizar el ambiente anaeróbico requerido durante el proceso de fermentación, según lo establecido por Pereira et al. (2005), Espinoza et al. (2016) y Montenegro et al. (2018).



Figura 17. *Detalle de la fase de preparación de la mezcla: inspección y verificación de muestras, según tratamiento.*

El aire fue extraído por medio de una bomba de vacío y cada bolsa sellada con cinta adhesiva para evitar el ingreso de aire. Posteriormente, se colocaron en un depósito con una temperatura ambiente de $26\pm 0,6$ °C, sin radiación solar directa. Cada 24 horas hasta las 144 horas, se registró la temperatura (Digital 9.2, Gessa, Urkuliz, España) y el pH (pH-metro digital: Crison Basic 20, Crison Instruments, Barcelona-España).



Figura 18. Detalle de la fase de preparación de la mezcla: operación de extracción del aire (condiciones anaerobias).

La apertura de los silos se realizó cada siete días (7; 14; 21; 28; 35; 42; 49 y 56 días). De cada microsilo se extrajo una muestra de 200 gramos, procediendo a su desecación en una estufa (POL-EKO Aparatura) a 65°C y molienda a 1mm de tamaño de partícula en un molino tipo Thomas-Wiley.

A continuación, se determinó el contenido de materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína bruta (PB), según AOAC (2000), así como la fibra neutro-detergente ((FND) y fibra ácido-detergente (FAD), de acuerdo a los procedimientos de Van Soest *et al.* (1991).

4.2. Plan experimental.

Se realizaron cuatro experimentos en los que se utilizó ensilado de rastrojo de maíz (*Zea mays*) y melaza con adición de niveles crecientes de urea

- ✓ **Experimento 1:** Determinación de la calidad bromatológica, tecnológica y microbiológica del ensilado.
- ✓ **Experimento 2:** Efecto de diferentes niveles de urea más melaza sobre la degradabilidad *In situ* del ensilado.
- ✓ **Experimento 3:** Composición química y cinética de degradación ruminal *in vitro* del ensilado.
- ✓ **Experimento 4:** Digestibilidad *in vitro* y degradabilidad *in situ* del ensilado.



Figura 19. Imagen del Laboratorio de Ruminología y Metabolismo Ruminal (RUMEN). UTEQ-Ecuador.

4.2.1. Determinación de la calidad bromatológica, tecnológica y microbiana del ensilado

Para los análisis de la composición bromatológica se tomaron muestras de 200g según diseño experimental para cada tratamiento y repetición, las cuales se colocaron a una estufa (POL-EKO Aparatura) a 65°C, y fueron molinadas a un mm de tamaño de partícula en un molino (Thomas - Wiley). Posteriormente fueron llevadas al laboratorio donde se determinó los valores de materia seca (MS), proteína bruta (PB), ceniza y materia orgánica (MO), según AOAC (2016). En cuanto a la determinación de fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y hemicelulosa (HCEL), se atendió al protocolo de Goering y Van Soest (1970).

Para determinar el contenido microbiano (bacterias, hongos y lactobacilos), se tomaron 25 g de cada silo, procediendo a su homogenización durante un minuto en 225 ml de solución estéril de Ringer al 25%. La solución se filtró con gasa en matraces esterilizados para la preparación de soluciones seriadas (factor 10) con solución de Ringer, las cuales se utilizaron para hacer las siembras por duplicado en placas de Petri con agar MRS y de extracto de malta.

Las placas se incubaron (Mettler, Schwabach, Alemania) a 32 °C. El período de incubación fue de 72 horas (h) para BAL y de 120 h para hongos y levaduras. Pasado el período de incubación, las colonias se enumeraron con un contador y los valores se expresaron como \log_{10} unidades formadoras de colonias (UFC) g^{-1} . La estabilidad aeróbica (T y pH) se determinó diariamente durante seis días a la misma hora y con registro de la temperatura ambiente en los silos. Los silos se mantuvieron cubiertos con un paño de algodón que permitió el paso del aire, pero evitando la contaminación.

4.2.2. Efecto de diferentes niveles de urea más melaza sobre la degradabilidad in situ del ensilado

La degradabilidad *in situ* se obtuvo mediante el método de Mehrez y Orskov (1977) utilizando cuatro bovinos machos (Brahman) con peso vivo de $450,3 \pm 35,2$ kg, provistos de cánulas ruminal permanente (cuatro pulgadas de diámetro interno, Bar Diamond, Parma, Idaho, EEUU), los cuales se alojaron en cubículos individuales, consumieron pasto saboya (*Megathyrsus maximus*) y King grass (*Cenchrus purpureus*) durante el experimento, con libre acceso a sales minerales y agua. Las muestras se incubaron por duplicado en cada animal utilizando bolsas (15 cm x 10 cm) con un tamaño de poro de 45 μm . Las bolsas se extrajeron a las 0, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 horas, se lavaron con agua fría y se congelaron a -30°C . Estas se descongelaron en una cámara frigorífica a 4°C , se lavaron con agua fría, se secaron en estufa de aire forzado a 53°C hasta peso constante y se pesaron. Los residuos se procesaron por método Kjeldhal (AOAC, 2000) para determinar la degradabilidad de MS y PB.

La desaparición de MS y PB se ajustó a la ecuación $p = a + b \times (1 - e^{-ct})$ (Orskov y McDonald, 1979), donde p es la desaparición de MS a tiempo t , a es la fracción soluble por lavado de las bolsas a la hora 0 (%), b es la fracción insoluble pero potencialmente degradable (%), y c es la tasa de degradación de b (h^{-1}). La degradabilidad efectiva (DEMS y la DEPB) se calculó para tres tasas de paso ruminal (k): 0,02, 0,05 y 0,08 h^{-1} , de acuerdo con la ecuación $\text{DEMS} = a + [(b \times c) / (c + k)]$, donde a , b , c y k se han descrito anteriormente.

Para establecer la relación funcional entre la degradabilidad y los niveles de urea, se analizaron las ecuaciones de regresión (lineales, cuadráticas, cúbicas, logarítmicas y Gompertz) y se utilizó el método descendente. Para la selección de la ecuación de mejor ajuste se consideró valor más elevado de R^2 , alta significación, bajo error estándar de los términos y de estimación, menor cuadrado medio del error, aporte significativo de los términos de la ecuación y bajo coeficiente de indeterminación ($1 - R^2$).



Figura 20. Detalle de las bolsas de nylon para el estudio de degradabilidad in situ.



Figura 21. Imagen del manejo de animales en experiencias de degradabilidad in situ.



Figura 22. Detalle de extracción de las muestras tras el periodo de incubación.

4.2.3. Composición química y cinética de degradación ruminal in vitro del ensilado

Para determinar la degradabilidad ruminal *in vitro* de la MS y PB, en cada uno de los tratamientos se preparó una muestra compuesta con alícuotas de los microsilos (150 g). Se siguió el protocolo recomendado por el fabricante del sistema de incubación DAISY II® (Ankom, 2008), usando bolsas filtro ANKOM F-57 (Ankom Technology, Macedon, NY, EUA) con tamaño de poro de 25 micromilímetros (μm) y dimensiones de 5 x 4 cm fabricadas de poliéster / polietileno con filamentos extruidos en una matriz de tres dimensiones (Giraldo *et al.*, 2007).

Se introdujeron 0,5 g de muestra molida en cada bolsa y luego se sellaron con prensa térmica (Heat Sealer 1915, Ankom Technology, Macedon, NY, EUA). Por cada tratamiento y tiempo de incubación (0; 3; 6; 12; 24; 48 y 72 h), se incubaron seis bolsas. Por cada tiempo de incubación, se incluyeron dos bolsas vacías que sirvieron como blancos para determinar el factor de corrección para el efecto del lavado.

La relación entre la solución tampón y el inóculo ruminal fue 3:2. El inóculo ruminal se obtuvo de tres bovinos, castrados y fistulados en el rumen, de raza Brahman (*Bos indicus*) con 500 kg \pm 25 kg de peso vivo, mantenidos en pastoreo libre sobre pasto saboya (*Megathyrsus maximus*). Para la preparación del inóculo, se extrajo líquido ruminal de los animales, a través de la cánula, con una bomba de vacío manual (VACU-H01-001, Laboxx, Mataró, España) en termos aclimatados a 39 °C.

Los termos se trasladaron inmediatamente al laboratorio y su contenido se filtró con una cuádruple gasa estéril sobre un matraz continuamente saturado con CO₂. Finalmente, el inóculo se introdujo junto con la solución tampón y las bolsas con las muestras en las jarras de fermentación, que se purgaron durante 30 segundos (s) con CO₂, se sellaron, y se pusieron en incubación.



Figura 23. Detalle de extracción de líquido ruminal para los estudios de degradación ruminal *in vitro*.

Terminado el periodo de incubación correspondiente a los tiempos de experimentación, las bolsas se extrajeron y se lavaron con agua fría hasta obtener un efluente transparente y, posteriormente, se secaron en estufa a 65 °C durante 48 h.

La desaparición de la MS y la PB se ajustó a la ecuación $p = a + b \times (1 - e^{-ct})$ (Ørskov y McDonald, 1979), donde p es la desaparición de la MS a tiempo t , a es la fracción soluble por lavado de las bolsas a la h 0 (%), b es la fracción insoluble pero potencialmente degradable (%), y c es la tasa de degradación de b (h^{-1}). La degradabilidad efectiva (DEMS) se calculó para tres tasas de paso ruminal (k): 0,02, 0,05 y 0,08 h^{-1} , de acuerdo con la ecuación $DEMS = a + [(b \times c) / (c+k)]$, donde a , b , c y k se han descrito anteriormente.



Figura 24. Imagen de la digestibilidad in vitro (Biodifesteros DAYSY)

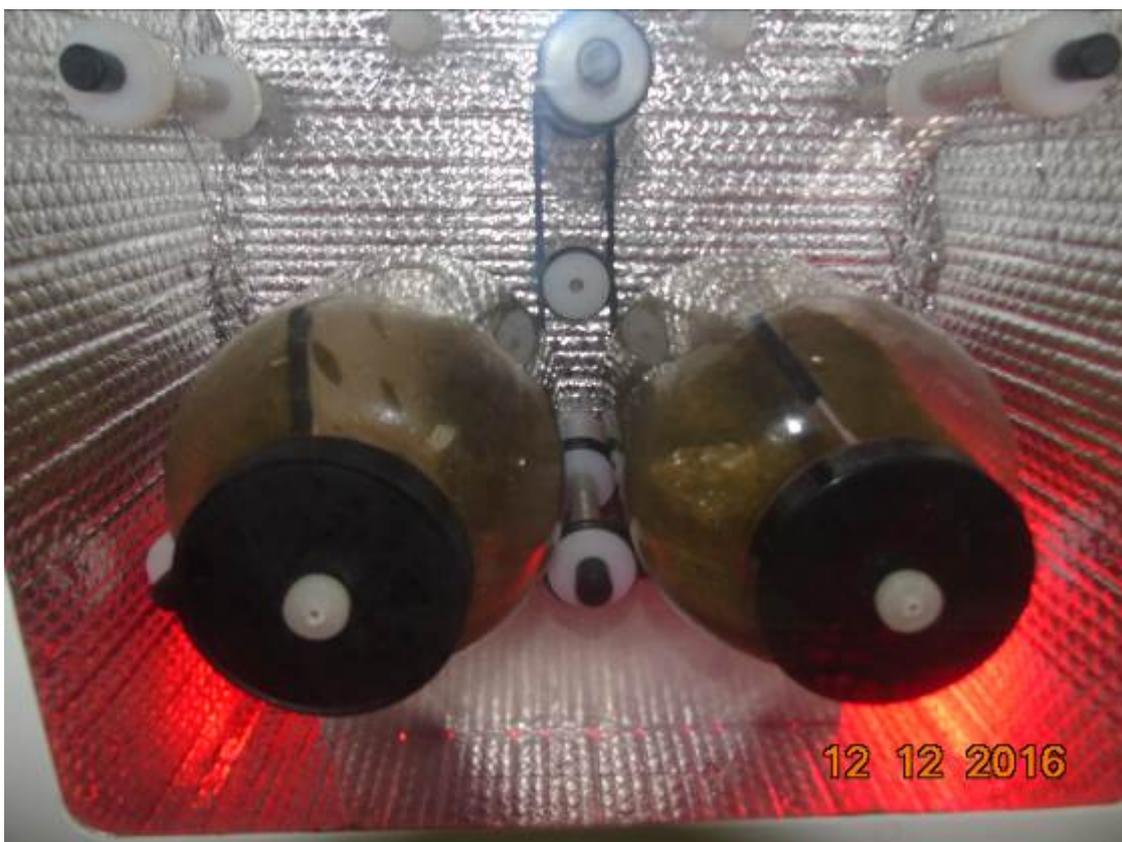


Figura 25. Detalle de las muestras en el interior de un biodigestor

4.3. Análisis estadísticos

Todos los análisis estadísticos se hicieron con SAS 9,1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EUA) (SAS Institute Inc. 2004). En primer lugar, los estadísticos descriptivos se obtuvieron mediante el procedimiento PROC MEANS, centrándose especialmente en el valor promedio como principal estadístico descriptivo de tendencia central.

Para el estudio de la calidad del ensilado, se analizó el efecto de la adición de urea como factor de variación, considerando cuatro niveles: 0, 1, 2 y 3%. Los datos se analizaron con el procedimiento GLM y las medias se compararon mediante un arreglo factorial 4x8, cuatro niveles de urea y ocho periodos, mediante el test de Tukey ($p < 0,05$).

Para el cálculo de la composición química y la cinética de la degradación ruminal *in vitro* e *in situ*, las respuestas lineales de las variables a la inclusión de niveles de urea se analizaron mediante contrastes polinómicos ortogonales con la opción CONTRAST. Los parámetros de la cinética de degradación se calcularon con el modo de resolución GRG NONLINEAR de la función SOLVER de Microsoft EXCEL®.

Para comparar ambas técnicas se utilizó un arreglo factorial 4x2, considerado como factores de variación, tanto el nivel de inclusión de urea (cuatro niveles: 0, 1, 2 y 3%), como la metodología (digestibilidad "*in situ*" / degradabilidad "*in vitro*"), Para establecer la relación funcional entre la degradabilidad y los niveles de urea, se analizaron las ecuaciones de regresión (lineales, cuadráticas, cúbicas, logarítmicas y Gompertz) y se utilizó el método descendente. Para la selección de la ecuación de mejor ajuste se consideró valor más elevado de R^2 , alta significación, bajo error estándar de los términos y de estimación, menor cuadrado medio del error, aporte significativo de los términos de la ecuación y bajo coeficiente de indeterminación ($1-R^2$).

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.- Calidad bromatológica, tecnológica y microbiológica del ensilado de rastrojo de maíz con adición de melaza y niveles crecientes de urea

5.1.1. Calidad bromatológica del rastrojo de maíz con adición de melaza y niveles crecientes de urea

La Tabla 8 muestra la composición química del rastrojo de maíz solo y combinado con diferentes niveles de urea (0, 1, 2 y 3%) más la adición de melaza, destacando el escaso valor de PB que oscila desde el 3,85 al 5,90%. Los resultados obtenidos sobre la composición química del rastrojo de maíz fueron coincidentes con los reportados en México por Fuentes et al. (2001) y López Aguirre et al. (2015), a excepción del valor de PB, el cual se mostró en torno a 1% inferior, así como sensiblemente diferentes a los expuestos por Sánchez- Acosta et al. (2012) también en México, de manera que, en nuestro estudio, se observaron mayores valores en MS, MO, FND y FAD y claramente inferiores en PB y cenizas. Esta situación podría explicarse atendiendo a la alta variabilidad existente entre las múltiples variedades de maíz cultivadas, tal y como se refleja en el trabajo de Muñoz-Tlahuiz et al. (2013) al valorar 144 variedades de esta especie.

Tabla 8. Composición química (%) del rastrojo de maíz (*Zea mays*) con niveles crecientes de urea

| Variables | Rastrojo de maíz | Rastrojo de maíz, melaza y niveles crecientes de urea (%) | | | |
|-----------|------------------|---|-------|-------|-------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| MS | 95,81 | 98,39 | 97,99 | 97,48 | 98,77 |
| MO | 93,20 | 89,33 | 90,16 | 90,54 | 90,66 |
| Cenizas | 6,80 | 10,67 | 9,84 | 9,46 | 9,34 |
| PB | 3,85 | 4,90 | 5,67 | 5,66 | 5,90 |
| FND | 72,25 | 64,41 | 62,54 | 60,39 | 64,92 |
| FAD | 46,55 | 40,61 | 40,69 | 38,53 | 40,39 |

MS: materia seca; MO: materia orgánica; PB: proteína bruta, FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente

Aunque la utilización del rastrojo de maíz está muy extendida en todo el continente americano, dado que se trata del residuo agrícola mayoritario, ya sea por la amplia extensión de su cultivo como en el caso de Ecuador (INEC, 2018), como por su rendimiento (Muñoz, 2011), queda claro que la mezcla estudiada sería apta solamente para cubrir las necesidades de mantenimiento de los animales, a pesar que, generalmente, se explotan poblaciones criollas o mestizas con ganado cebuino las cuales destacan por su alta rusticidad.

Atendiendo a lo anteriormente expuesto, estaría justificada la apuesta por la mejora de la calidad del rastrojo de maíz con adicción de melaza y urea mediante técnicas de ensilado, considerando que los residuos de cosecha desempeñan un papel preponderante en los sistemas mixtos agrícolas y pecuarios en el mundo, según Camacho et al. (2014), si bien su uso como alimentación animal se viene compartiendo con las necesidades de cobertura del suelo de la agricultura de conservación en las últimas décadas, siendo muy escaso su empleo como biomasa para la fabricación de bioetanol (García-Stepien et al. 2016).

En ese sentido, cabe resaltar la relevancia de los estudios orientados hacia la evaluación de los subproductos agroindustriales en términos nutricionales, de digestibilidad, eficiencia y desempeño (García-Martínez et al., 2009; Espinoza, et al., 2016; López-Inzunza, et al. 2017; y Montenegro et al., 2018, entre otros), así como su utilización bajo criterios de sostenibilidad (Erenstein et al., 2011 y Hellin et al., 2013).

5.1.2. Calidad bromatológica del ensilado de rastrojo de maíz con adición de melaza y niveles crecientes de urea

Los estadísticos descriptivos de las variables bromatológicas del ensilado de maíz con adición de melaza y niveles crecientes de urea se exponen en las Tablas 9 y 9bis atendiendo a distintos tiempos de fermentación. Así, se observó como la calidad del ensilado aumentó conforme se incrementaron ambos efectos, con aumentos para la MS, PB; mientras que, en el caso de las variables relacionadas con los componentes de la pared celular, se evidenció una disminución de dichos valores hasta los 35 días de fermentación.

La composición química de la mezcla inicial de ensilado presentó valores inferiores para todas las variables en los distintos tratamientos de urea a los expuestos por Fuentes et al. (2001), si bien en este caso se incorporó un 4% de urea a la mezcla del ensilado y no contó con adición de melaza.

Por su parte, los resultados del análisis de varianza utilizando el porcentaje de adición de urea como factor de variación evidenciaron la existencia de diferencias significativas para todas las variables estudiadas, excepto en el caso de MO. Se vislumbró un comportamiento diferenciado entre el ensilado sin adición de melaza respecto al resto de tratamientos que contenían diferentes niveles tanto en MS y PB como FND y FAD, de manera que la adición de urea se relacionó con el incremento de MS y PB y con el descenso de valores de FND y FAD ($p < 0,01$).

Tabla 9. Estadística descriptiva y análisis de varianza de las variables de calidad bromatológica del ensilado de rastrojo de maíz con niveles crecientes de urea a distintos tiempos de fermentación

| Urea % | Días | | | | | | | | EE | p |
|----------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|--------|
| | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 | | |
| MS (%) | | | | | | | | | | |
| 0 | 68,61 ^j | 69,23 ⁱ | 68,58 ^j | 69,33 ^{h,i} | 69,95 ^h | 69,82 ^h | 69,83 ^h | 70,59 ^g | 0,560 | 0,0001 |
| 1 | 63,86 ^k | 72,66 ^c | 72,92 ^c | 73,13 ^{b,c} | 73,20 ^b | 73,35 ^b | 73,67 ^{a,b} | 74,01 ^a | | |
| 2 | 64,15 ^k | 71,97 ^e | 72,34 ^d | 72,62 ^c | 72,63 ^c | 72,42 ^{c,d} | 72,81 ^c | 74,17 ^a | | |
| 3 | 70,93 ^g | 71,78 ^{e,f} | 71,43 ^f | 72,40 ^{c,d} | 72,33 ^d | 72,43 ^{c,d} | 73,02 ^c | 73,92 ^a | | |
| PB (%) | | | | | | | | | | |
| 0 | 4,27 ^m | 5,58 ^l | 6,43 ^k | 6,67 ^f | 6,67 ^j | 6,66 ^{j,k} | 6,72 ^j | 6,79 ^j | 0,159 | 0,0001 |
| 1 | 6,42 ^k | 6,47 ^k | 6,43 ^k | 7,27 ⁱ | 7,52 ^g | 7,53 ^{g,h} | 7,55 ^{g,h} | 7,60 ^g | | |
| 2 | 6,52 ^k | 6,79 ^j | 7,60 ^g | 7,65 ^g | 8,41 ^f | 8,74 ^e | 9,53 ^c | 9,24 ^d | | |
| 3 | 7,25 ^j | 7,44 ^h | 7,61 ^g | 7,73 ^g | 8,65 ^e | 9,66 ^c | 10,04 ^b | 10,91 ^a | | |
| FND (%) | | | | | | | | | | |
| 0 | 69,89 ^{c,d} | 67,60 ^d | 67,45 ^e | 68,16 ^{b,c} | 67,31 ^{e,f} | 67,91 ^c | 67,33 ^e | 68,64 ^a | 0,368 | 0,0001 |
| 1 | 67,71 ^d | 67,87 ^{c,d} | 67,37 ^e | 66,95 ^{f,g} | 66,60 ^f | 67,25 ^e | 67,57 ^d | 68,37 ^{a,b} | | |
| 2 | 64,72 ^k | 65,63 ⁱ | 65,01 ^j | 66,71 ^g | 62,22 ^h | 64,68 ^k | 67,02 ^f | 65,20 ⁱ | | |
| 3 | 63,16 ^m | 62,78 ⁿ | 62,71 ⁿ | 63,68 ^l | 62,99 ^m | 63,46 ^l | 63,96 ^l | 63,81 ^l | | |

E.E.: Error estándar de la interacción tratamiento urea x tiempo; p: nivel de significación; MS: materia seca; PB: proteína bruta, FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; EEM: error estándar de la media; p: nivel de significación; letras iguales en las filas asociadas a cada variable: homogeneidad estadística; letras diferentes en las filas asociadas a cada variable: diferencias estadísticas $p < 0,001$.

Tabla 9bis. Estadística descriptiva y análisis de varianza de las variables de calidad bromatológica del ensilado de rastrojo de maíz con niveles crecientes de urea a distintos tiempos de fermentación

| Urea % | Días | | | | | | | | E.E. | p |
|-----------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|--------|
| | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 | | |
| FAD (%) | | | | | | | | | | |
| 0 | 38,08 ^a | 31,89 ^{f,g} | 30,82 ^g | 32,08 ^f | 32,54 ^{c,d} | 34,20 ^d | 32,69 ^f | 34,14 ^d | 0,497 | 0,0001 |
| 1 | 38,05 ^a | 32,94 ^e | 32,94 ^e | 30,85 ^g | 30,40 ^g | 35,74 ^b | 34,41 ^d | 34,75 ^c | | |
| 2 | 35,03 ^c | 32,10 ^f | 32,10 ^f | 29,00 ^h | 28,65 ⁱ | 31,15 ^g | 32,40 ^f | 34,53 ^{c,d} | | |
| 3 | 38,06 ^a | 32,02 ^f | 32,09 ^f | 28,51 ⁱ | 30,37 ^g | 32,07 ^f | 31,88 ^{f,g} | 32,65 ^{e,f} | | |
| HCEL (%) | | | | | | | | | | |
| 0 | 28,81 ^l | 35,71 ^{b,c} | 36,63 ^b | 36,08 ^b | 34,77 ^{d,e} | 33,71 ^{e,f} | 34,64 ^d | 34,50 ^d | 0,571 | 0,0001 |
| 1 | 29,66 ^j | 34,92 ^d | 34,17 ^e | 36,10 ^b | 36,19 ^b | 31,51 ^h | 33,16 ^f | 33,62 ^{e,f} | | |
| 2 | 29,69 ^k | 33,53 ^f | 31,07 ^{h,i} | 37,71 ^a | 37,57 ^a | 33,53 ^f | 34,62 ^d | 30,67 ⁱ | | |
| 3 | 25,10 ^m | 30,76 ⁱ | 30,62 ⁱ | 35,16 ^{c,d} | 32,61 ^g | 31,39 ^h | 32,08 ^g | 31,16 ^h | | |

E.E.: Error estándar de la interacción tratamiento urea x tiempo; p: nivel de significación; MS: materia seca; PB: proteína bruta, FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; EEM: error estándar de la media; p: nivel de significación; letras iguales en las filas asociadas a cada variable: homogeneidad estadística; letras diferentes en las filas asociadas a cada variable: diferencias estadísticas $p < 0,001$.

Al ensilar maíz y las mezclas de manzana y melaza, Araiza-Rosales *et al.*, (2015) encontraron que, a medida que se incrementaba el nivel de adición de melaza, aumentaba la concentración MS, no sucediendo así con el aumento en la adición de manzana. En cualquier caso, los niveles de PB en este trabajo (6-7%) se mostraron inferiores a los encontrados en nuestro estudio.

Del mismo modo, Martínez-Loperana *et al.*, (2011) notificaron incrementos de la calidad de la mezcla ensilada (especies arbóreas con rastrojo de maíz) en comparación con el rastrojo solo. Estos autores mencionan que la suplementación de forrajes de baja y mediana calidad, con altos niveles de lignina y bajos niveles de N en combinación con plantas de otras especies más nutritivas y aditivos, suponen una estrategia importante para mejorar la calidad de la mezcla de forrajes en su conjunto. Sin embargo, la planta o sustancia suplementaria deberá proveer a los microorganismos del rumen los nutrientes requeridos para su crecimiento y actividad fibrolítica, en especial proteína y energía. Estos nutrientes, especialmente el N, se deben encontrar en forma fácilmente disponible para los microorganismos del rumen, aportando por ejemplo el amonio y los carbohidratos solubles necesarios para la síntesis de proteína microbiana en el rumen.



Figura 26. Imagen del producto ensilado resultante (izquierda) y de su consumo por ganado ovino (derecha)

5.1.3. Calidad tecnológica del ensilado de rastrojo de maíz con adición de melaza y niveles crecientes de urea

En la Tabla 10 se ofrecen los resultados de la calidad tecnológica del ensilado estudiado a través del análisis del pH y temperatura, evidenciando la existencia de interacciones tratamiento de urea-tiempo de fermentación con elevada significación estadística. Así, se halló una clara tendencia al incremento de los valores de pH para el T0 desde el inicio de la experiencia hasta los 35 días, mientras que para T1, T2 y T3, la tendencia de los valores de pH fue descendente hasta el final del periodo analizado. En cualquier caso, se confirmó un incremento de pH en el producto ensilado al aumentar el nivel de adición de urea hasta el 2% (T2), descendiendo ligeramente en T3.

Tabla 10. Comportamiento del pH y temperatura en el ensilado de rastrojo de maíz con niveles crecientes de urea a distintos tiempos de fermentación.

| Urea % | Días | | | | | | | | p |
|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------|
| | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 | |
| pH | | | | | | | | | |
| 0 | 4,29 ^w | 4,18 ^x | 4,56 st | 4,59 ^s | 4,75 ^r | 4,49 ^t | 4,28 ^w | 4,39 ^v | |
| 1 | 7,30 ^h | 6,82 ^j | 6,69 ^k | 5,51 ^o | 5,32 ^q | 5,57 ^o | 5,60 ^o | 5,45 ^p | 0,0001 |
| 2 | 8,73 ^a | 8,35 ^c | 8,18 ^d | 7,42 ^g | 6,58 ^m | 6,47 ^m | 6,45 ^m | 6,51 ^m | |
| 3 | 8,55 ^b | 7,65 ^f | 7,77 ^e | 6,64 ^{kl} | 6,50 ^m | 6,91 ⁱ | 6,60 ^l | 6,38 ⁿ | |
| Temperatura (°C) | | | | | | | | | |
| 0 | 23,00 ^f | 23,50 ^d | 23,57 ^{de} | 24,21 ^a | 24,21 ^a | 24,11 ^a | 23,79 ^b | 23,75 ^c | |
| 1 | 23,07 ^f | 22,93 ^f | 23,96 ^b | 23,79 ^b | 23,29 ^e | 24,07 ^a | 23,04 ^f | 23,75 ^{bc} | |
| 2 | 22,86 ^g | 23,50 ^d | 23,61 ^c | 23,86 ^b | 23,32 ^e | 24,04 ^{ab} | 23,86 ^b | 23,64 ^c | 0,005 |
| 3 | 22,71 ^g | 23,71 ^c | 23,39 ^c | 23,93 ^b | 23,61 ^c | 24,11 ^a | 23,61 ^c | 23,79 ^b | |

p: nivel de significación; letras iguales en las filas asociadas a cada variable: homogeneidad estadística; letras diferentes en las filas asociadas a cada variable: diferencias estadísticas $p < 0,01$.

Por todo lo anterior, los valores más elevados de pH en los tratamientos donde se utilizó la urea en ensilajes puede explicarse por el efecto que produce su hidrólisis en la formación de amoníaco, lo que tiene un efecto inhibitorio sobre la población de levaduras y mohos, favoreciendo la reducción de etanol y pérdida de materia seca (Quiroz, 2009). Estos resultados son similares a los reportados por Callacná *et al.*, (2014) al utilizar miel-urea en ensilaje mixto de maíz y broza de esparrago.

En cuanto a la temperatura, si bien esta variable ofreció menor grado de variación que el pH, la tendencia fue creciente desde el inicio de la experiencia hasta los 35 días para T0 y hasta los 42 días en el resto de tratamientos, para luego descender en todos los casos. Por su parte, la temperatura fue minorando su valor al incrementar el nivel de adición de urea, desde los mínimos observados en T0 hasta T2, evidenciado un ligero descenso en T3.

Por otra parte, Espinoza *et al.*, (2016) encontraron que la temperatura no presentó diferencias significativas entre tratamientos en el ensilado de pasto saboya con niveles crecientes de maracuyá, pero se observó como la temperatura experimentó un aumento con el paso de los días, mientras que, por otra parte, los valores de pH se mostraron directamente proporcionales a los niveles de maracuyá empleados.

El deterioro aeróbico de los ensilados es un proceso microbiológico complejo en el que los productos de la fermentación, como los ácidos lácticos y los carbohidratos solubles residuales, entre otros, sirven de sustrato para el crecimiento de bacterias aeróbicas, hongos y levaduras. En definitiva, la temperatura del ensilado aumenta linealmente con el catabolismo del ácido láctico y el consecuente incremento del pH como resultado de la oxidación de los sustratos. Este comportamiento puede explicar los resultados de nuestro trabajo.

5.1.4. Calidad microbiológica del ensilado de rastrojo de maíz con adición de melaza y niveles crecientes de urea

La Figura 27 muestra la representación gráfica del recuento bacteriológico total a lo largo del tiempo de ensilaje, destacando la existencia de interacción entre el nivel de adición de urea y el tiempo ($p < 0,05$) donde todos los tratamientos experimentaron disminución en cuanto a las unidades formadoras de colonias desde los 10 hasta los 35 días, para luego incrementar hasta los 56 días. Los mayores valores se encontraron para T2 con 22,21 y 19,46 UFC g^{-1} , respectivamente.

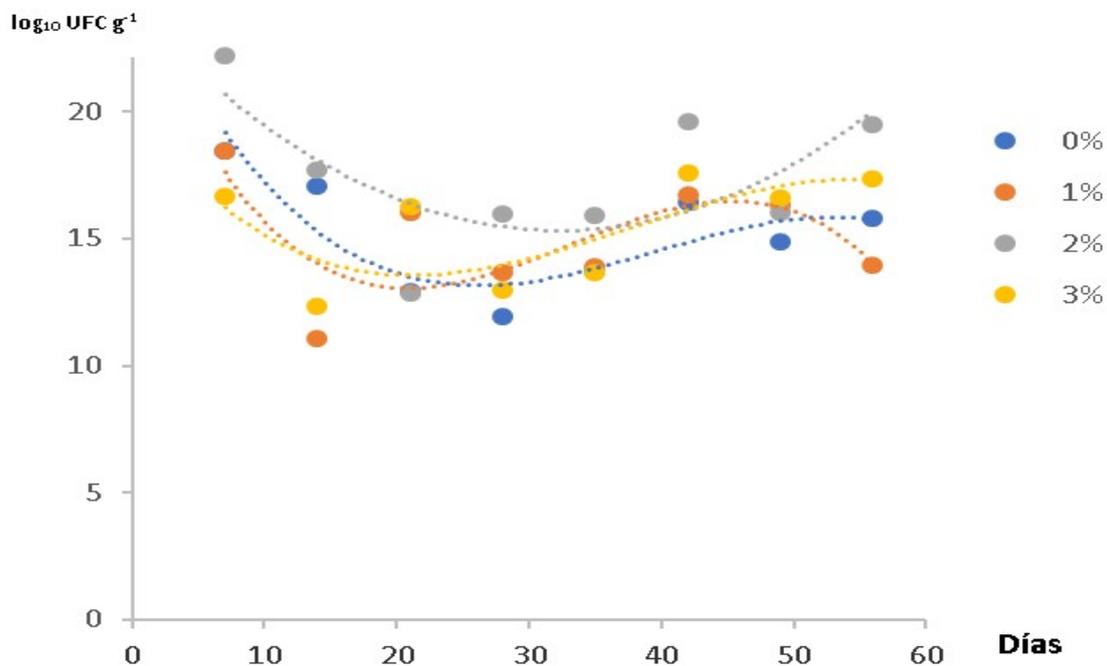


Figura 27. Variación del recuento bacteriológico total a lo largo del tiempo

Para el caso de los *Lactobacillus* (Figura 28) se presentó un comportamiento similar con los mayores resultados con 16,82 y 15,60 UFC g^{-1} a los 10 días para el T0 y T2, mientras que a los 56 días se halló un valor de 16,24 UFC g^{-1} para T3.

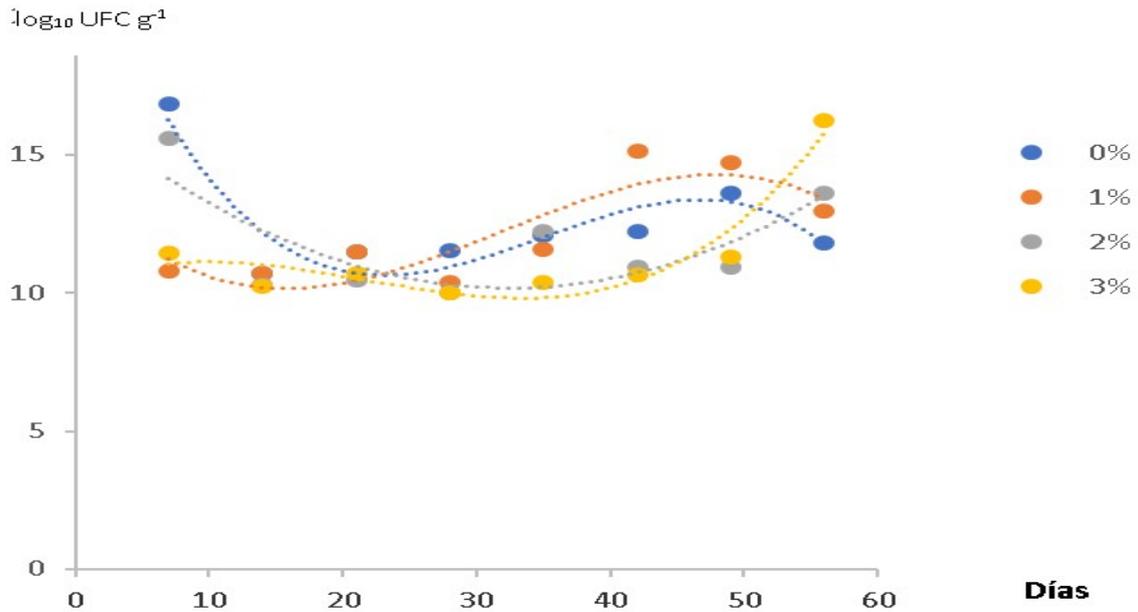


Figura 28. Variación del recuento de *Lactobacillus spp* a lo largo del tiempo

En el caso de los hongos (Figura 29) se presentó un comportamiento poco definido en T3 con variaciones constantes, aunque todos los tratamientos presentaron una tendencia al incremento con el paso del tiempo. Mientras que para T0, el recuento disminuyó de los 10 hasta los 35 días, posteriormente se observó un incremento hasta los 56 con un valor de 8,53 UFC g⁻¹.

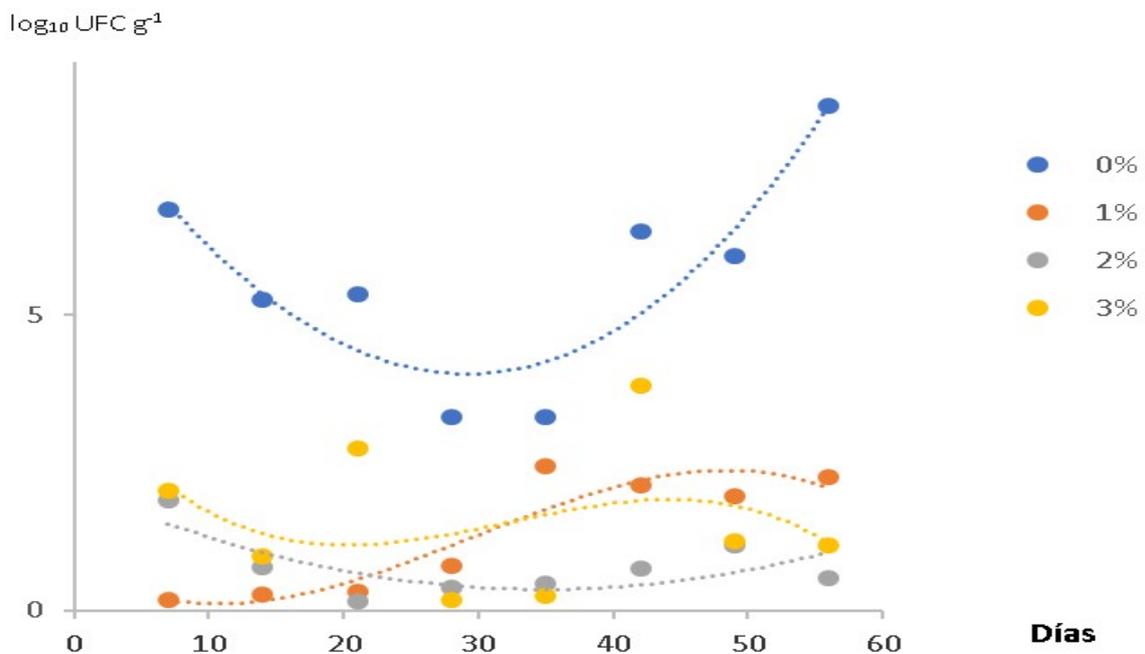


Figura 29. Variación del recuento de hongos a lo largo del tiempo

Las bacterias presentan crecimiento adecuado a temperatura entre 25 y 40 °C con un óptimo de 35 a 37 °C, por lo tanto, la temperatura (32 °C) pudo influenciar el comportamiento. Es aquí donde las BAL epífitas juegan un papel primordial en la fermentación del ensilaje; su concentración dentro del silo se convierte en un factor importante para la predicción de un buen proceso fermentativo. Por su parte, Villa *et al.*, (2010) al evaluar la incidencia de los climas sobre la microbiología de los ensilajes de maíz, encontraron que en las concentraciones de bacterias encontradas para el día cero en ambos climas, demuestran las altas poblaciones de bacterias epífitas que posee el maíz en estas condiciones y que al momento de ensilar sirven de guía para decidir si se utilizará o no algún tipo de inoculante bacteriano en pro de asegurar una adecuada fermentación. El mayor crecimiento de estas bacterias en el silo de clima cálido fue debido a que, a pesar de comenzar el proceso con una población similar, las condiciones de temperatura fueron más propicias para un buen crecimiento de los lactobacilos. Estas bacterias, mesófilas en su mayoría, se desarrollan idealmente a temperaturas entre 30 y 37 °C. Esto podría explicarse porque el tiempo de estabilización del ensilaje fue mayor al no incorporar inoculante, obteniendo así, una carga de microorganismos aeróbicos más alta.

Mientras que Espinoza *et al.*, (2016) al emplear residuos de maracuyá (*Passiflora edulis*) en 10, 20, 30 y 40 % en la conservación de pasto saboya encontraron que el efecto general sobre la microbiología las bacterias totales se encontraron entre los 15 y 35 días, resultados que coinciden con los encontrados por Gómez-Vázquez *et al.*, (2018). Sin embargo, los recuentos de hongos y levaduras fueron de menores de 2 UFC g⁻¹ resultados que coinciden a los reportados expuesto en este estudio. Esto podría deberse a una baja en la carga de microorganismos aeróbicos en la etapa inicial al estabilizarse el pH de forma más rápida mediante el uso de inoculante. Estos valores fueron inferiores a los reportados por Ranjit y Kung (2000), que en el día 60 de ensilaje realizaron recuentos de 9,4 UFC/g⁻¹.

Por su parte, Villa *et al.* (2010), al evaluar el efecto del clima sobre la calidad del ensilaje de maíz, notificaron la inexistencia de diferencias significativas entre ambos, pero que el clima cálido presentó menos porcentajes de PB, así como una mayor concentración de MS, FND, FAD, frente a los resultados en el clima frío, indicando un excelente proceso fermentativo que certifica la eficiencia de las BAL epífitas en ambos climas para la conservación de la energía dentro del silo y la excepcional calidad del forraje de maíz para ser ensilado. A pesar de que la humedad en ambos forrajes fue mucho mayor que la recomendada por la literatura, especialmente en el forraje de clima frío, esto no fue obstáculo para que el proceso fermentativo se llevara a cabo de una manera adecuada, indicando que aunque este es un factor importante en la confección de ensilajes, no es el punto más crítico dentro del proceso, ya que si se cuenta con un buen nivel de anaerobiosis, una alta concentración de azúcares fermentables y una población de BAL epífitas alta, el proceso fermentativo se llevará a cabo sin mayores contratiempos. Según estos resultados, se comprueba que siempre y cuando se cumplan las condiciones planteadas, no será necesario el uso de aditivos microbianos para la confección de silo de maíz, ya que las BAL epífitas, serán suficientes para realizar el proceso fermentativo necesario para alcanzar la estabilidad del silo (Villa *et al.*, 2010).

5.1.5. Análisis de ensilado de rastrojo de maíz con adición de melaza y niveles crecientes de urea a los 35 días de fermentación.

Atendiendo a los datos expuestos en los epígrafes anteriores, se llevó a cabo un análisis de varianza sobre las variables composicionales del ensilado considerando como único factor de variación el tiempo de fermentación del ensilado, observando el mejor comportamiento en el tratamiento de 35 días de duración, en comparación al resto de tratamientos ($p < 0,05$).

Así, la Tabla 11 muestra el análisis de varianza del ensilado de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con adición de melaza y niveles crecientes de urea, a los 35 días de fermentación, donde se observaron diferencias altamente significativas en todas las variables consideradas.

Tabla 11. Análisis varianza del ensilado de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con adición de melaza y niveles crecientes de urea, a los 35 días de fermentación.

| Variables | T0 | T1 | T2 | T3 | EE | p | R ² |
|-----------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|------|---------|----------------|
| MS | 69,65 ^b | 73,20 ^a | 72,63 ^a | 72,33 ^a | 0,33 | < 0,001 | 0,8708 |
| MO | 90,34 ^{ab} | 90,16 ^b | 90,54 ^{ab} | 90,66 ^a | 0,14 | < 0,015 | 0,7696 |
| PB | 6,67 ^c | 7,52 ^b | 8,42 ^a | 8,55 ^a | 0,08 | < 0,000 | 0,9854 |
| FND | 67,31 ^a | 66,60 ^b | 66,22 ^b | 62,99 ^c | 0,16 | < 0,000 | 0,9540 |
| FAD | 32,54 ^a | 30,41 ^b | 28,65 ^c | 30,37 ^b | 0,45 | < 0,001 | 0,9364 |

T0: grupo control sin adición de urea; T1: tratamiento con adición de urea al 1%; T2: tratamiento con adición de urea al 2%; T3: tratamiento con adición de urea al 3%; E.E.: Error estándar de la interacción tratamiento urea x tiempo; p: nivel de significación; MS: materia seca; MO: Materia orgánica; PB: proteína bruta, FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; EEM: error estándar de la media; p: nivel de significación; letras iguales en la misma fila: homogeneidad estadística; letras diferentes en la misma fila: diferencias estadísticas $p < 0,001$.

Los niveles de urea influenciaron ($p < 0,001$) sobre el contenido de MS observando una fuerte asociación cuadrática ($R^2 = 0,8708$). En cualquier caso, se evidenció un agrupamiento conformado por los tres tratamientos con adición de urea frente al grupo control (sin adición de urea). En cualquier caso, los valores de PB fueron inferiores a los reportados por Fuentes et al. (2001). Sin embargo, nuestros datos están en consonancia con los aportados por Araujo-Febres et al. (1996) en bagazo de caña de azucar, en el sentido del incremento de MS al aumentar la aplicación de urea. Este incremento estuvo relacionado directamente con alto contenido de MS del rastrojo de maíz (95,81%), coincidiendo con Cárdenas *et al.*, (2003), quienes consideran que las variaciones en el contenido de MS de los ensilados dependen principalmente del contenido de MS del material a ensilar.

En cuanto a la concentración de PB, los mayores valores se obtuvieron en T2 y T3, conformando ambos tratamientos un grupo de homogeneidad (8,55 y 8,42%), que supera claramente a T0 y T1, mostrando esta variable una fuerte asociación cuadrática ($R^2=0.9854$).

Respecto a MO, los mayores porcentajes correspondieron a T2 y T3 (90,66 y 9,54%), reflejando diferencias significativas ($p<0,05$) frente al resto de tratamientos.

El uso de urea como aditivo, es una práctica común en la elaboración de ensilajes de forrajes con bajo contenido de proteína (Yitbarek y Tamir, 2014); dado que la urea aumenta el contenido de este componente (Yunus *et al.*, 2000; Arrollo *et al.*, 2003; Stanton y Whittier, 2006; Borges *et al.*, 2011), además, de aportar estabilidad aeróbica del ensilado.

Nuestros resultados son similares a los obtenidos por Ben Salem *et al.*, (1994) y Madrid *et al.*, (1996), quienes trataron con urea al rastrojo de sorgo, paja de cebada y rastrojo de maíz, respectivamente. Estos autores atribuyen el incremento de la proteína en las pajas tratadas a la adición de nitrógeno proveniente de la urea.

Si profundizamos en el análisis de las variables FDN y FDA, los mayores valores correspondieron al tratamiento testigo (T0), con promedios del 67,31 y 32,54%, respectivamente. T0 conformó un grupo estadísticamente diferente al resto de tratamientos. En cualquier caso, nuestros valores fueron inferiores a los reportados por Cann *et al.* (1991); Tuen *et al.* (1991) y Mgheni *et al.* (1994). Los menores contenidos de FDN y FDA en los ensilados, favorecen el consumo de MS de mayor digestibilidad, debido a su menor contenido de componentes de la pared celular, mientras que los valores elevados de FDN y FDA, muestran un menor consumo y una pobre o discreta digestibilidad del mismo.

Conforme a la información sobre cenizas, si bien no se ha obtenido realizado este tipo de análisis en nuestra experiencia, los valores descritos generalmente están por debajo del 7% (Muhammad *et al.*, 2008; y Castillo *et al.*, 2009), así como valores superiores al 14% se asocian a contaminación del suelo durante la cosecha o elaboración del silo, lo que favorece la presencia de fermentaciones secundarias y reducción del consumo (Chaverra y Bernal, 2000).

En resumen, este aumento de forma proporcional de MS, MO y PB, como consecuencia del incremento del nivel de urea y la adición o inclusión de melaza, podría deberse a que tanto la urea como la melaza poseen alto potencial amortiguador (Moharrery, 2007). Cuando se adiciona urea a materiales bajos en PB, durante el proceso de ensilaje se obtiene un pH mayor y más producción de ácidos orgánicos. Este aumento del pH podría ser producto de la hidrólisis de la urea en el silo debido a la actividad de las ureasas (Borges *et al.*, 2011). Por tanto, el contenido de ácidos orgánicos en el ensilado, el contenido de iones en la melaza y el contenido nitrógeno en la urea favorecen el aumento del pH de los materiales ensilados.

En definitiva, múltiples estudios han constatado la bondad de la técnica de ensilaje con relación a la modificación de la composición química y mejora de la digestibilidad, como Castillo *et al.* (2009), Nkosi *et al.* (2009) y Thomas *et al.* (2013), entre otros, cuestión que también pudo corroborarse en el presente trabajo, así como se evidenció T2 como el tratamiento de elección en el caso del rastrojo de maíz, al contar con el nivel más alto de PB y menor proporción de FAD. En el caso de Ecuador, ese mismo comportamiento ha sido puesto de manifiesto al estudiar el ensilado de distintos subproductos agroindustriales como residuos de maracuyá (Espinoza *et al.*, 2017), así como también residuos de piña y plátano (Montenegro *et al.*, 2018).

Por todo lo anterior, queda acreditado que la incorporación de melaza y urea al ensilado como estrategia para la mejora de la calidad bromatológica del ensilado de rastrojo de maíz.

5.2. Cinética de degradación ruminal “*In Situ*” de ensilado de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con niveles crecientes de urea.

Los resultados del efecto de la inclusión de niveles crecientes de urea en la degradabilidad de MS y PB en ensilado de rastrojo de maíz con melaza se muestra en la Tabla 12, observando cómo se ajustaron ecuaciones polinómicas de tercer orden para la degradabilidad tanto de MS como de PB en todas las horas en ambos casos, excepto para las 72 horas en el caso de MS y las cero y tres horas en PB- En estos casos, se ajustaron a ecuaciones lineales con coeficientes de determinación (R^2) por encima de 0,94, con una significación de $P < 0.001$, lo que denota el efecto de la mezcla de melaza-urea en la digestibilidad del rastrojo de maíz con los mejores resultados para tercera combinación.

Tabla 12. Efecto de los niveles de melaza-urea en la degradabilidad de la materia seca y proteína del ensilaje de rastrojo de maíz

| Horas | Degradabilidad de la MS | Degradabilidad PB |
|-------|---|--|
| 0 | $41,43-17,454(\text{MU})+8,56(\text{MU})^2-1,275(\text{MU})^3$ $R^2=0,99^{***}$ | $6,1238+4,6975(\text{MU})$ $R^2=0,98^{***}$ |
| 3 | $46,22-20,93(\text{MU})+9,84(\text{MU})^2-1,348(\text{MU})^3$ $R^2=0,99^{***}$ | $12,075+4,3605(\text{MU})$ $R^2=0,94^{***}$ |
| 6 | $50,085-24,538(\text{MU})+11,474(\text{MU})^2-1,540(\text{MU})^3$ $R^2=0,99^{***}$ | $82,645-90,669(\text{MU})+43,087(\text{MU})^2-5,818(\text{MU})^3$ $R^2=0,99^{***}$ |
| 12 | $71,1-51,18(\text{MU})+23,28(\text{MU})^2-3,129(\text{MU})^3$ $R^2=0,99^{***}$ | $58,347-43,44(\text{MU})+21,842(\text{MU})^2-3,018(\text{MU})^3$ $R^2=0,99^{***}$ |
| 24 | $59,307-21,176(\text{MU})+10,82(\text{MU})^2-1,630(\text{MU})^3$ $R^2=0,99^{***}$ | $28,692+15,356(\text{MU})-4,037(\text{MU})^2+0,2517(\text{MU})^3$ $R^2=0,99^{***}$ |
| 48 | $65,65-17,852(\text{MU})+8,313(\text{MU})^2-1,172(\text{MU})^3$ $R^2=0,99^{***}$ | $59,487-33,403(\text{MU})+16,492(\text{MU})^2-2,314(\text{MU})^3$ $R^2=0,99^{***}$ |
| 72 | $62,549-0,883(\text{MU})$ $R^2=0,98^{***}$ | $110,07-72,893(\text{MU})+26,185(\text{MU})^2-2,9696(\text{MU})^3$ $R^2=0,99^{***}$ |

** $p < 0,01$ *** $p < 0,001$

Los resultados sobre la cinética de la degradabilidad ruminal *In situ* de MS se muestran en la Tabla 13 donde pudo observarse los valores en las distintas variables van ascendiendo desde mínimos establecidos para T0 hasta máximos reportados para T3.

Asimismo, el análisis de varianza reflejó la existencia de diferencias significativas en todas las variables analizadas, según el tratamiento del ensilado, excepto en el caso del factor c. Así, quedan claras las diferencias existentes entre los ensilados con y sin adición, así como, generalmente, entre el nivel de adición de urea al 3% y el resto.

Para el parámetro b (fracción soluble), DP y DEMS (2h) los valores del mejor tratamiento analizado (T3) fueron 33,61; 64,58 y 53,53%, respectivamente.

Tabla 13. Valores promedio y análisis de varianza para la cinética de degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca (MS) del ensilado de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con niveles crecientes de urea a los 35 días de fermentación.

| Parámetro | Nivel de urea (%) | | | | EEM | p |
|----------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|------|--------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | | |
| a | 26,58 ^b | 32,00 ^a | 30,39 ^a | 30,97 ^a | 1,23 | <0,044 |
| b | 27,16 ^b | 27,87 ^b | 31,71 ^{ab} | 33,61 ^a | 1,55 | <0,036 |
| c | 0,05 ^a | 0,03 ^a | 0,04 ^a | 0,04 ^a | 0,01 | >0,426 |
| DP | 53,74 ^c | 59,87 ^b | 62,10 ^{ab} | 64,58 ^a | 0,95 | <0,000 |
| DE (2h) | 44,94 ^d | 48,12 ^c | 50,74 ^b | 53,54 ^a | 0,65 | <0,000 |
| DE (5h) | 39,10 ^c | 41,88 ^b | 43,65 ^b | 46,15 ^a | 0,81 | <0,000 |
| DE (8h) | 36,13 ^c | 39,12 ^b | 40,22 ^{ab} | 42,41 ^a | 0,88 | <0,002 |

EE±: Error estándar de la media; p: nivel de significación; **a:** fracción soluble; **b:** fracción potencialmente degradable; **c:** tasa de degradación de b; **DP:** Degradabilidad Potencial (a+b); **DE:** Degradabilidad Efectiva a tasas de paso ruminal (2; 5 y 8 h); letras en superíndice idénticas: homogeneidad estadística (p>0,05); letras en superíndice diferentes: diferenciación estadística (P<0,05)

Los forrajes y residuos de cosecha en los países tropicales presentan limitaciones nutricionales por su bajo contenido en proteínas y alta proporción en fibra, por lo que estos alimentos se deben complementar en el rumen con fuentes degradables de nitrógeno, como es la urea o bien, la utilización de enzimas fibrolíticas, las cuales pueden tener un efecto beneficioso incrementando el consumo y la digestibilidad del alimento, habiéndose demostrado la existencia de efectos positivos al adicionarlo durante el proceso de ensilado (Beauchemin *et al.*, 2000). Gómez-Vázquez *et al.* (2018) al evaluar el consumo no encontraron diferencias significativas, mientras que al añadir 15 y 30g de fibrozyme encontraron mayores porcentajes de digestibilidad (68,88%) y mayor relación consumo/digestibilidad (11,70) con la adición de 15 g de fibrozyme. Este comportamiento se debe a que, a medida que se incrementan los niveles enzimáticos, éstos pueden ser menos efectivos, sin embargo, dosis moderadas causan una ruptura beneficiosa de la estructura superficial de los alimentos (pared celular, cutículas, etc.). Cuando estos niveles son excesivos, dicha ruptura disminuye por el incremento de enzimas exógenas unidas al alimento que restringen la unión de microorganismos, limitando de esta manera la digestión del alimento.

Martínez *et al.* (2016), al evaluar el efecto de la amonificación sobre la degradabilidad de *H. altissima* y *C. nlemfuensis* con diferentes niveles de urea (0, 2, 4 y 6%), encontraron aumentos en la medida que se incrementaron los niveles de urea, respuesta debida a que este tratamiento promueve la solubilidad de FND. Sin embargo, Ramírez *et al.* (2007) y Martínez-Trejo *et al.*, (2012) reportaron una reducción del 8,9% en FDN del rastrojo de maíz tratado con urea. Los resultados de nuestro estudio fueron menores que aquellos reportados por autores precitados; sin embargo, la urea es un agente con menor potencial alcalino que otros químicos, que también se usaron para mejorar la digestibilidad de la paja, como es el caso de NaOH, teniendo un efecto menor sobre los constituyentes de la pared celular que aquellos de otros químicos.

En la Tabla 14 se exponen los resultados sobre la cinética de la degradabilidad ruminal *In situ* de PB donde se apreció la existencia de homogeneidad estadística entre los distintos tratamientos para las variables factor (a), factor (b), factor (c) y DEP 8%, mientras que si evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos para el resto de las variables.

Así, se conformaron dos agrupamientos para DEP 2% y DEP 5%, de manera que T0 se separó claramente respecto al grupo compuesto por T1, T2 y T3, correspondiendo los valores menores a T0. En el caso de DP, el comportamiento fue similar al de DEP 2% y DEP 5% con la excepción que T1 compartió grupo de homogeneidad con T0 y con T2-T3.

Tabla 14. Valores promedio y análisis de varianza para la cinética de degradabilidad ruminal *in situ* de la proteína bruta (PB) del ensilado de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con niveles crecientes de urea a los 35 días de fermentación.

| Parámetro | Nivel de urea (%) | | | | EEM | p |
|----------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|------|--------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | | |
| a | 13,84 ^a | 18,81 ^a | 19,41 ^a | 20,79 ^a | 3,24 | >0,482 |
| b | 23,94 ^a | 30,08 ^a | 33,52 ^a | 33,77 ^a | 5,74 | >0,606 |
| c | 0,15 ^a | 0,08 ^a | 0,07 ^a | 0,06 ^a | 0,06 | >0,679 |
| DP | 37,78 ^b | 48,89 ^{ab} | 52,92 ^a | 54,56 ^a | 3,68 | <0,029 |
| DE (2h) | 30,03 ^b | 42,14 ^a | 41,97 ^a | 44,34 ^a | 1,93 | <0,000 |
| DE (5h) | 25,48 ^b | 36,38 ^a | 35,34 ^a | 37,39 ^a | 2,65 | <0,028 |
| DE (8h) | 23,23 ^b | 32,95 ^{ab} | 31,94 ^{ab} | 33,72 ^a | 3,03 | <0,101 |

EE±: Error estándar de la media; p: nivel de significación; **a:** fracción soluble; **b:** fracción potencialmente degradable; **c:** tasa de degradación de b; **DP:** Degradabilidad Potencial (a+b); **DE:** Degradabilidad Efectiva a tasas de paso ruminal (2; 5 y 8 h); letras en superíndice idénticas: homogeneidad estadística (p>0,05); letras en superíndice diferentes: diferenciación estadística (P<0,05)

Al analizar las figuras 30 y 31, se puso de manifiesto el efecto de la urea en la DP, %MS y DP, %PB donde los mejores resultados correspondieron a T3, aunque vale destacar que para todos los tratamientos se incrementó este indicador con el paso del tiempo.

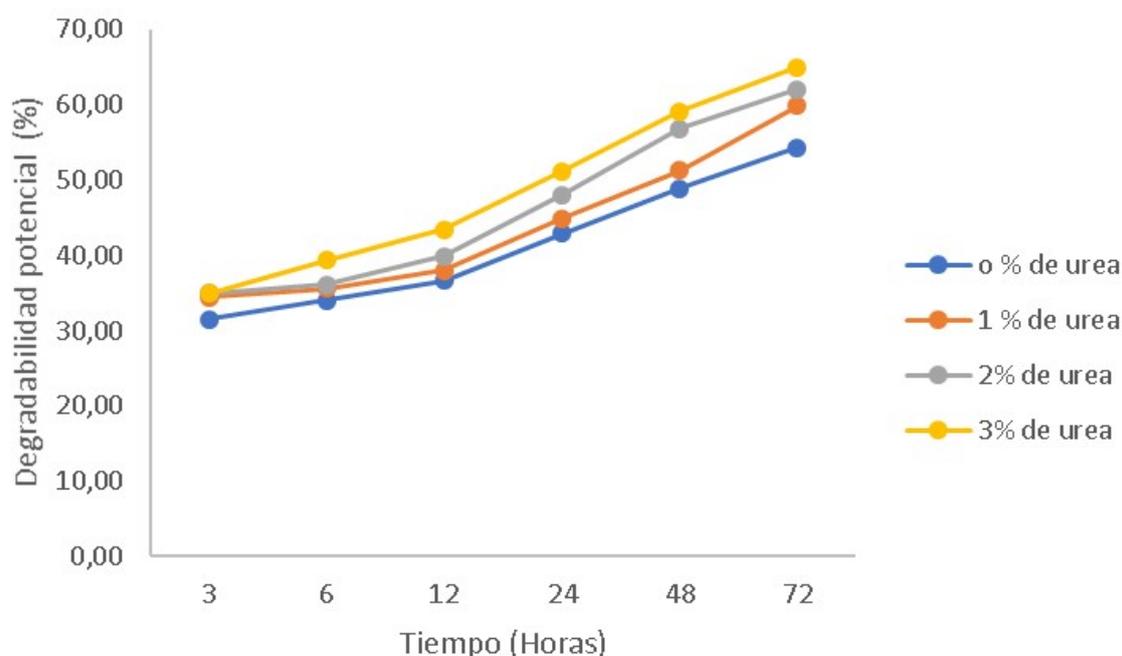


Figura 30. Efecto de los niveles de urea sobre degradabilidad potencial de la materia seca

El efecto significativo de la inclusión de urea en el ensilado sugiere una mejor utilización de MS a nivel general, y de PB a nivel particular, atendiendo a los parámetros de cinética de degradabilidad ruminal in situ, así como los valores de degradabilidad potencial y efectiva. Esta situación puede deberse a la mayor disponibilidad de solubles neutro detergentes (SND = 100 – FND) por parte de los microorganismos ruminales.

Asimismo, el aumento de la DEMS y DEPB se relaciona con una mejora del valor energético del ensilado con la inclusión del 3% de urea, la cual podría estimarse en 0,21 megajulios (MJ)/kg MS para rumiantes.

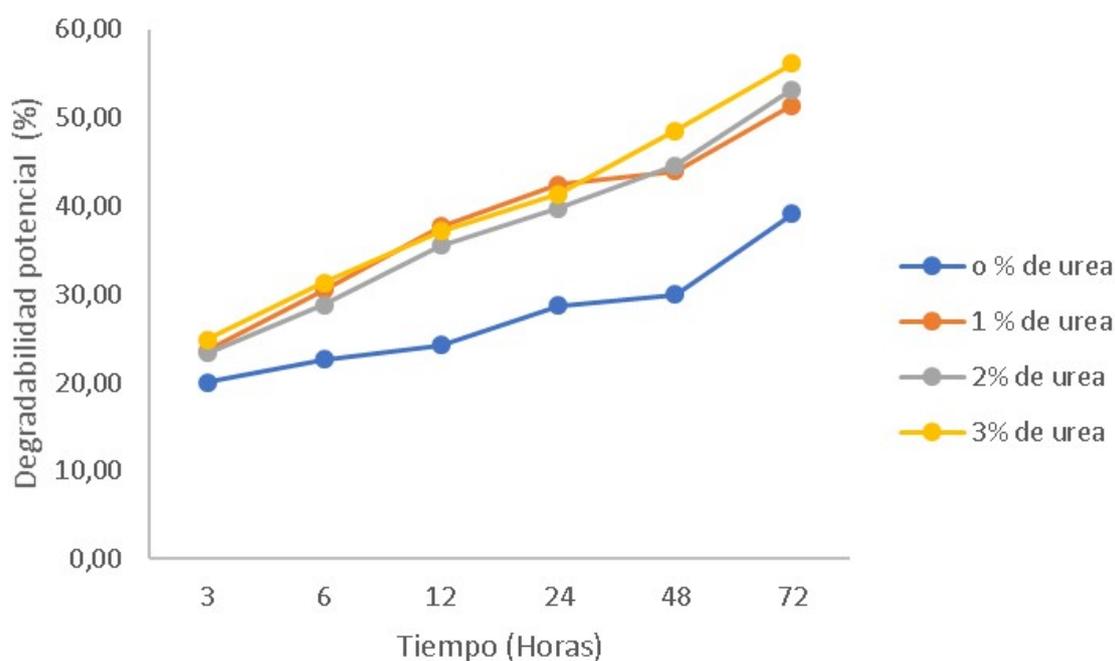


Figura 31. Efecto de los niveles de urea sobre degradabilidad potencial de la proteína bruta

Delgado *et al.* (2011) al evaluar la degradabilidad MS y PB del heno de *Cynodon dactylon* con la adición de no degradable en el rumen no encontraron diferencias significativas entre las diferentes variantes. Trabajos realizados por diferentes autores, encaminados a la suplementación de gramíneas tropicales de mediana a baja calidad, con diferentes fuentes proteicas y niveles de PNDR, han demostrado resultados variables. Franzolin y Andrade (1990) no encontraron diferencias en la degradación de la MS, PB y FDN de la gramínea *M. maximus* en búfalos alimentados con pasto y concentrado (70:30), donde la soya tostada se incrementó para lograr mayor aporte de nitrógeno degradable. Franco *et al.*, (2004) en estudios con vacunos concentrados con proteína de diferente degradabilidad y niveles de inclusión variables tampoco encontraron efectos en la desaparición de estos nutrientes en *Brachiaria brizantha* vc. Marandu. Las diferencias encontradas entre resultados pudieran estar relacionados con la fuente proteica, el nivel de inclusión, el tipo y categoría animal, entre otros factores.

Tas *et al.*, (2006) mencionaron que una mayor concentración de PB está asociada con una mayor tasa fraccional de degradación. Este comportamiento también fue observado por Martínez-Loperena *et al.* (2011) al estudiar las especies *Tridax coronopifolia*, *Bidens anthemoides*, *Tripogandra purpuracens*, y *Drymaria laxiflora*, cuya tasa fraccional de degradación específicamente de la fracción soluble (a) osciló entre 0,04 a 0,10, mientras que para la fracción b, se observó que a mayor inclusión de rastrojo de maíz se incrementó esta fracción. Esto se debe a que el rastrojo de maíz aporta una mayor cantidad de carbohidratos estructurales a la mezcla de forrajes, los cuales son potencialmente degradables.

Boschini y Amador (2001) estudiaron la cinética de la degradación ruminal de la planta de maíz en diferentes estados de crecimiento. Hasta los tres meses, se mostró una importante fracción soluble en hoja y tallo y una alta tasa de degradación de la fracción soluble. El tallo mostró una degradabilidad potencial mayor que las hojas, desde edades tempranas hasta los 120 días. Con la aparición de la mazorca, a los 3,5 a 4 meses de edad, se enriqueció la degradabilidad de la planta entera. Los resultados mostraron un excelente aprovechamiento ruminal de la planta de maíz en estadios menores a los 80 días.

Aunque existen referencias de la inclusión de un 4% de urea en ensilado de rastrojo de maíz para la alimentación de ovino (Sánchez *et al.*, 2012), un factor limitante en nuestro estudio es el desconocimiento del efecto de niveles superiores de dicho aditivo sobre la degradabilidad de la mezcla, así como respecto al límite de tolerancia de los animales, especialmente en el caso del bovino. En este sentido, el trabajo experimental se realizó utilizando bovinos fistulados de raza Brahman en el laboratorio acreditado de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) de Ecuador, si bien la población bovina preponderante en nuestra área de estudio es el ganado criollo de doble propósito, siendo recomendable ampliar estudios de degradabilidad específicos en estos animales al constituir la base productiva de la región como estrategia de desarrollo rural en el futuro.

Los resultados obtenidos contribuyen al conocimiento de la utilización del ensilado de rastrojo de maíz en las condiciones de Ecuador, pudiendo recomendarse su uso en los sistemas de producción de rumiantes durante los períodos de escasez de alimento. Esta modalidad de conservación de forrajes que, minimiza las pérdidas de materia prima tanto en el proceso de transformación como en la fase de almacenamiento, así como permite su elaboración en la explotación en aquellos intervalos de tiempo sin actividad agrícola (Sánchez-Laiño et al., 2019), puede emplearse, al menos, como ración de mantenimiento de los animales, coincidiendo con Guzmán et al. (2019). Igualmente, también podría ser viable su utilización como un ingrediente más de la dieta en sintonía con el estudio de Sánchez-Acosta et al. 2012). En cualquier caso, los valores nutricionales superan a los del rastrojo de maíz cuando los productores optan por su uso directo (Arellano-Vicente et al. 2016).

El ensilado de rastrojo de maíz con adición de melaza y urea constituye una adopción tecnológica de fácil implementación y bajo coste, la cual puede convertirse en el eje vertebrador de los sistemas mixtos y de producción integrada en Ecuador como herramienta dinamizadora de desarrollo rural bajo criterios de sostenibilidad, de mitigación y adaptación al cambio climático (Galindo-Barboza et al., 2020) y economía circular (Ward et al., 2016).

En resumen, la utilización de rastrojo de maíz y su combinación con melaza y urea mediante técnicas de ensilado mejora las características nutritivas iniciales del ingrediente base, pudiéndose erigir como una alternativa de suplementación animal eficiente y aceptable ambientalmente por parte de los productores de pequeña escala en su área de producción. Nuestros resultados evidenciaron la existencia de un marcado efecto de la inclusión de melaza y urea en la mezcla de ensilado sobre la degradabilidad de la materia seca y proteína bruta, así como un adecuado comportamiento de los parámetros de la cinética de degradabilidad. Asimismo, estos datos sugieren que la mejor elección sería el tratamiento con un nivel de inclusión del 3% de urea.

5.3. Cinética de degradación ruminal *In vitro* del ensilado de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con niveles crecientes de urea

Los parámetros de la cinética de degradación ruminal *in vitro* de la MS (DIVMS) y los valores de degradabilidad potencial (DP) y efectiva (DE) se muestran en la Tabla 15. La inclusión de niveles de urea en el ensilado aumentó ($p < 0,05$) la fracción soluble, resaltando T2 con el mejor comportamiento (a : 25,56) para la adición de urea frente al resto de tratamientos, mientras que el caso de la fracción potencialmente degradable el mayor valor (b : 34,21) se encontró para T3. Asimismo, se constató homogeneidad estadística para el parámetro c en todos los tratamientos analizados. Del mismo modo, DP destacó en T2 y T3 con valores de 58,19 y 57,39, respectivamente, frente al resto de tratamientos con valores entre 50 y 52%. Igualmente, este mismo comportamiento se constató para DE tanto a las 2, 5 como 8 horas.

Tabla 15. Cinética de degradación ruminal *in vitro* de la materia seca (MS) del ensilaje de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con diferentes niveles de urea

| Parámetro | Nivel de urea (%) | | | | EE± | p | R ² |
|----------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------|--------|----------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | | | |
| a | 21,80 ^b | 21,54 ^b | 25,56 ^a | 23,18 ^b | 0,60 | <0,002 | 0,4384 |
| b | 28,35 ^c | 30,77 ^{bc} | 32,62 ^{ab} | 34,21 ^a | 1,00 | <0,008 | 0,9997 |
| c | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,003 | 0,233 | - |
| DP | 50,15 ^b | 52,31 ^b | 58,19 ^a | 57,39 ^a | 0,99 | <0,000 | 0,8816 |
| DE (2h) | 39,01 ^b | 40,30 ^b | 45,86 ^a | 45,70 ^a | 0,53 | <0,000 | 0,8699 |
| DE (5h) | 32,64 ^b | 33,39 ^b | 38,61 ^a | 38,09 ^a | 0,48 | <0,000 | 0,8195 |
| DE (8h) | 29,71 ^b | 30,21 ^b | 35,19 ^a | 34,34 ^a | 0,44 | <0,000 | 0,7746 |

EE±: Error estándar de la media; **p:** nivel de significación; **R²:** coeficiente de determinación; **a:** fracción soluble; **b:** fracción potencialmente degradable; **c:** tasa de degradación de b; **DP:** Degradabilidad Potencial (a+b); **DE:** Degradabilidad Efectiva a tasas de paso ruminal (2; 5 y 8 h); letras en superíndice idénticas: homogeneidad estadística ($p > 0,05$); letras en superíndice diferentes: diferenciación estadística ($P < 0,05$)

Nuestros resultados fueron inferiores a los reportados por Rendón *et al.*, (2013), quienes reportaron valores para las fracciones a ($29,0 \pm 0,4\%$) y b ($37,5 \pm 0,9\%$), así como DE a las cinco horas de $50,1 \pm 0,3\%$, al evaluar la cinética de degradación ruminal del ensilaje de maíz con el 30% de inclusión de vinaza. Los valores de la fracción soluble (a) de los ensilajes con urea (25.56 y 23.18) que corresponden a la fracción que desaparece rápidamente de la bolsa y representa la fracción que es rápida y completamente degradada en rumen, son menores que los reportados por Araiza *et al.*, (2013), en trabajos realizados para evaluar el efecto de la adición de desecho de manzana (ripió) y melaza, sobre la digestibilidad y degradabilidad del ensilado de maíz forrajero. Esta disminución en la fracción soluble influye directamente en la reducción de la degradabilidad efectiva de los ensilajes.

Enrique y Viveros (2002) reportaron valores de la fracción soluble (a) de la MS entre 42,80 a 52,80% en ensilados de gramíneas, siendo estos valores superiores a los obtenidos en nuestro trabajo, posiblemente debido a un menor escape de partículas de la bolsa por los poros o por la disminución de la proteólisis y el contenido de carbohidratos solubles en la MS que se produce durante el proceso de fermentación del ensilaje.

Los parámetros de la cinética de degradación ruminal *in vitro* de la PB (DIVPB) y los valores de degradabilidad potencial (DP) y efectiva (DE) se muestran en la Tabla 16. La inclusión de niveles de urea en el ensilado aumentó ($p < 0,05$) la fracción soluble, destacando la conformación de un grupo de homogeneidad T1, T2 y T3 frente a T0; mientras que el caso de la fracción potencialmente degradable el mayor valor (b : 42,10) se encontró para T0 en comparación con los tratamientos con adición de urea. Por su parte, se constató homogeneidad estadística para el parámetro c en todos los tratamientos analizados. En cuanto a DP, dicha variable destacó significativamente en T1, T2 y T3, con valores superiores al 70%, respecto a T0. Finalmente, DE mostró el mejor comportamiento en T2 y T3, mientras que T0 y T1 mostraron tendencia a acaparar los peores resultados fueron para T0 y

T1. Por tanto, en líneas generales, los efectos más evidentes correspondieron a los niveles de adición de urea más elevados.

Tabla 16. Cinética de degradación ruminal *in vitro* de la proteína (PB) del ensilaje de rastrojo de maíz (*Zea mays*) con diferentes niveles de urea

| Parámetro | Nivel de urea (%) | | | | EE± | P | R ² |
|----------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|------|--------|----------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | | | |
| a | 22,86 ^b | 45,17 ^a | 46,89 ^a | 47,01 ^a | 1,90 | <0,000 | -0,9567 |
| b | 42,10 ^a | 27,59 ^b | 24,62 ^b | 25,79 ^b | 2,15 | <0,000 | 0,9862 |
| c | 0,07 | 0,06 | 0,10 | 0,10 | 0,01 | 0,154 | - |
| DP | 64,97 ^b | 72,77 ^a | 71,50 ^a | 72,80 ^a | 1,81 | <0,029 | 0,8388 |
| DE (2h) | 54,78 ^b | 65,50 ^a | 67,08 ^a | 67,90 ^a | 1,25 | <0,000 | 0,9686 |
| DE (5h) | 46,49 ^c | 59,79 ^b | 62,83 ^{ab} | 63,45 ^a | 1,06 | <0,000 | 0,9837 |
| DE (8h) | 41,69 ^c | 56,60 ^b | 60,07 ^a | 60,63 ^a | 1,03 | <0,000 | 0,9846 |

EE±: Error estándar de la media; **p:** nivel de significación; **R²:** coeficiente de determinación; **a:** fracción soluble; **b:** fracción potencialmente degradable; **c:** tasa de degradación de b; **DP:** Degradabilidad Potencial (a+b); **DE:** Degradabilidad Efectiva a tasas de paso ruminal (2; 5 y 8 h). letras en superíndice idénticas: homogeneidad estadística (p>0,05); letras en superíndice diferentes: diferenciación estadística (P<0,05)

La interpretación de la cinética de degradación de los alimentos para rumiantes ha tomado especial importancia en los sistemas de suplementación y un ejemplo específico es el caso de PB. Para hacer un uso adecuado de los sistemas de suplementación proteica, es necesario tener información acerca de la degradación ruminal de la proteína presente tanto en el forraje como en el suplemento. Los sistemas propuestos para calcular los requerimientos de proteína para rumiantes han reconocido la importancia de la degradación de la proteína en el rumen, como el principal factor que determina la cantidad de proteína que se absorbe en el intestino delgado (NRC, 2001).

Numerosos factores afectan la proporción de PB degradada en el rumen, en relación y contenida en los alimentos. Las dos consideraciones más importantes de la química de la PB dietética son, por una parte, las concentraciones proporcionales de nitrógeno no proteico (NNP) y la proteína verdadera (PV) y, por otro lado, las características físicas y químicas de la proteína que comprende la fracción de proteína verdadera del alimento (NRC, 2001; Nolan y Dobos, 2005).

El consumo de nutrientes en los animales, incrementando la digestibilidad de las fracciones potencialmente digestibles o la velocidad de paso de las fracciones no digeribles en rumen (Correa, 2002; Barahona y Sánchez, 2005 y Forbes, 2005), pero estas estrategias deben desarrollarse conociendo muy bien la cinética de los forrajes en su tránsito por el tracto digestivo de los animales.

Al tratar el rastrojo con estas sustancias, se realiza una predigestión, por lo que se aprovecha de un modo más eficiente, ya que al hacerlo más disponible a los microorganismos del rumen se mejora la producción animal, con un costo menor de producción, ya que estos alimentos no son caros y las técnicas y materiales utilizados son sencillos.

Experiencias en este sentido, indican que es posible mejorar el contenido de proteína y la digestibilidad de forrajes bajos en proteína cruda al utilizar urea (Yunus *et al.*, 2000; Stanton y Whittier, 2006).

5.4. Análisis comparativo entre Digestibilidad *In Vitro* y Degradabilidad *In Situ*.

La Tabla 17 muestra el efecto de los niveles de urea y el método empleado sobre la digestibilidad, a través de un análisis de varianza, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$) para las interacciones entre el método y el nivel de urea superiores en todas las variables estudiadas. El mayor porcentaje de DMS (65,01 %) se obtuvo para el T3 y la metodología *in situ*, siendo este comportamiento similar para el resto de variables, con valores de 65,16; 56,15 y 48,23% para la MO, FND y FAD, respectivamente, excepto en el caso de DPB, donde el mejor comportamiento correspondió a T3 con la metodología *in vitro* (74,05%).

Tabla 17. Efecto de los niveles de urea y el método empleado sobre la digestibilidad.

| Digestibilidad | Método | Niveles de Urea (%) | | | | EE | p |
|---------------------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-------|-------|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | | |
| Digestibilidad (%) | | | | | | | |
| DMS | <i>In situ</i> | 54,29 ^f | 59,87 ^c | 62,10 ^b | 65,01 ^a | 0,884 | 0,001 |
| | <i>In vitro</i> | 50,15 ^h | 52,31 ^g | 58,19 ^d | 57,39 ^e | | |
| DPB | <i>In situ</i> | 39,16 ^g | 51,44 ^f | 53,18 ^e | 56,17 ^d | 3,033 | 0,019 |
| | <i>In vitro</i> | 65,78 ^c | 72,83 ^b | 73,37 ^{ab} | 74,05 ^a | | |
| DMO | <i>In situ</i> | 53,88 ^f | 60,07 ^c | 62,20 ^b | 65,16 ^a | 0,943 | 0,001 |
| | <i>In vitro</i> | 46,32 ^h | 48,93 ^g | 54,97 ^e | 55,67 ^d | | |
| DFND | <i>In situ</i> | 46,05 ^e | 51,90 ^c | 54,13 ^b | 56,15 ^a | 0,844 | 0,001 |
| | <i>In vitro</i> | 36,84 ^g | 41,41 ^f | 46,32 ^e | 48,22 ^d | | |
| DFAD | <i>In situ</i> | 43,13 ^d | 45,96 ^c | 46,28 ^b | 48,23 ^a | 1,779 | 0,032 |
| | <i>In vitro</i> | 31,98 ^g | 31,43 ^g | 35,99 ^f | 37,40 ^e | | |

DMS: digestibilidad de la materia seca; DPB: digestibilidad de la proteína bruta; DMO: digestibilidad de la materia orgánica; DFND: digestibilidad de la fibra neutro-detergente; DFAD: digestibilidad de la fibra ácido-detergente; EE: error estándar de la interacción método x nivel de urea; p: nivel de significación; letras en superíndice idénticas: homogeneidad estadística ($p > 0,05$); letras en superíndice diferentes: diferenciación estadística ($P < 0,05$)

Los coeficientes de correlación de Pearson (Tabla 18) entre las variables de composición química del ensilado y la digestibilidad *in situ* evidenciaron la existencia de diferencias significativas en el 42,85% de las combinaciones posibles, destacando como MS no se correlacionó con ninguna de las variables de digestibilidad, así como también se observó ese mismo comportamiento en el caso de HEL, a excepción de la variable DISMS, donde se halló una relación negativa (-0,99) altamente significativa. Del mismo modo, las variables Ceniza y MO tampoco se correlacionaron con la mayoría de las variables de digestibilidad, salvo en el caso de DISFND.

Por su parte, destacó las correlaciones encontradas entre los componentes de la composición química (PB, FND, FAD) y todas las variables sobre digestibilidad *in situ*, destacando los valores del 83 y 88% entre PB con DISMS y DISMO, respectivamente, así como la asociación negativa entre FND y todas las variables de digestibilidad, resaltando valores de -0,77 FND y DISMS. Del mismo modo, FAD evidenció asociación estadística negativa con todas las variables, excepto en el caso de DISMS donde el valor fue positivo (0,50).

Tabla 18. Relación entre los componentes de la composición química y la digestibilidad *in situ*

| Indicadores | Composición química (%) | | | | | | |
|---------------|-------------------------|--------|---------|--------|----------|--------|-------|
| | MS | PB | FND | FAD | HCEL | Ceniza | MO |
| DISMS | 0,37 | 0,83** | -0,77** | 0,50* | -0,99*** | -0,45 | 0,45 |
| DISPB | 0,21 | 0,51* | -0,43 | -0,42 | 0,12 | -0,14 | 0,14 |
| DISMO | 0,37 | 0,88** | -0,73** | -0,49 | -0,06 | -0,38 | 0,38 |
| DISFND | 0,37 | 0,78** | -0,69* | -0,53* | -0,01 | -0,41 | 0,41 |
| DISFAD | 0,21 | 0,75** | -0,74** | -0,56* | 0,07 | -0,57* | 0,57* |

MS: materia seca; PB: proteína bruta, FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; HEL: Hemicelulosa; MO: materia orgánica; DISMS: digestibilidad *in situ* de la materia seca; DISPB: digestibilidad *in situ* de la proteína bruta; DISMO: digestibilidad *in situ* de la materia orgánica; DISFND: digestibilidad *in situ* de la fibra neutro-detergente; DISFAD: digestibilidad *in situ* de la fibra ácido-detergente; *: nivel de significación $p < 0,05$; **: nivel de significación $p < 0,01$; ***: nivel de significación $p < 0,001$.

En cuanto al comportamiento de la digestibilidad *in vitro* con respecto a la composición química (Tabla 19), los resultados obtenidos señalan una respuesta similar a la obtenida en la digestibilidad *in situ*. La MS solo tuvo correlación con la DIVPB y DIVFAD, con valores del 52 y 76%, respectivamente. Por su parte la PB presentó asociación significativa positiva con todas las variables de digestibilidad, con valores que oscilaron entre 0,64 y 0,92. Asimismo, en FND y FAD se hallaron asociaciones negativas con valores comprendidos entre -0,53 y -0,85. En cualquier caso, PB, FND y FAD no mostraron asociación alguna con DIVFAD. Y finalmente, la ceniza y MO solo se relacionaron de forma significativa con DIVMS y DIVMO.

Tabla 19. Relación entre los componentes de la composición química y la digestibilidad *in vitro*

| Variables | Composición química (%) | | | | | | |
|---------------|-------------------------|---------|---------|--------|-------|--------|-------|
| | MS | PB | FND | FAD | HCEL | Ceniza | MO |
| DIVMS | 0,21 | 0,75** | -0,74** | -0,56* | -0,07 | -0,57* | 0,57* |
| DIVPB | 0,52* | 0,64* | -0,75** | -0,61* | -0,11 | -0,21 | 0,21 |
| DIVMO | 0,16 | 0,85** | -0,76** | -0,53* | -0,01 | -0,54* | 0,54* |
| DIVFND | 0,36 | 0,92*** | -0,85** | -0,57* | -0,07 | -0,33 | 0,33 |
| DIVFAD | 0,76** | 0,48 | -0,45 | -0,38 | 0,02 | -0,31 | 0,31 |

MS: materia seca; PB: proteína bruta, FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; HEL: Hemicelulosa; MO: materia orgánica; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; DISPB: digestibilidad *in vitro* de la proteína bruta; DIVMO: digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica; DIVFND: digestibilidad *in vitro* de la fibra neutro-detergente; DIVFAD: digestibilidad *in vitro* de la fibra ácido-detergente; *: nivel de significación $p < 0,05$; **: nivel de significación $p < 0,01$; ***: nivel de significación $p < 0,001$.

Al relacionar las digestibilidades *in vitro* e *in situ* (Tabla 20), solo la FAD no se correlacionó en ambos métodos con los demás indicadores, no existiendo relación para la PB entre ambos métodos. Los coeficientes más elevados fueron encontrados para FND con la MS y MO (0,91), destacando que las relaciones entre ambos métodos fueron positivas con valores de comprendidos entre 0,61 – 0,91 para $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**) y $p < 0,001$ (***).

Tabla 20. Relación entre la digestibilidad *in vitro* e *in situ*.

| | | Digestibilidad <i>In vitro</i> | | | | |
|-------------------------------|-----|--------------------------------|-------|--------|---------|------|
| | | MS | PB | MO | FND | FAD |
| Digestibilidad <i>In situ</i> | MS | 0,77** | 0,61* | 0,82** | 0,91*** | 0,38 |
| | PB | 0,63* | 0,23 | 0,66** | 0,65** | 0,19 |
| | MO | 0,76** | 0,60* | 0,81** | 0,91** | 0,35 |
| | FND | 0,77** | 0,54* | 0,80** | 0,86** | 0,29 |
| | FAD | 0,30 | 0,37 | 0,31 | 0,33 | 0,02 |

MS: materia seca; PB: proteína bruta, MO: materia orgánica; FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; *: nivel de significación $p < 0,05$; **: nivel de significación $p < 0,01$; ***: nivel de significación $p < 0,001$.

Estas variaciones resultan lógicas, si atendemos a la naturaleza y características químicas (Tablas 18, 19 y 20), así como a las diversas fuentes de variación que pueden influir en la digestibilidad de los constituyentes. Entre estas características se encuentran las intrínsecas de cada variedad y las relaciones que se establecen entre las macromoléculas en su interacción con el ambiente ruminal. En este sentido, La O *et al.* (2008 y 2012) señalaron la importancia de realizar evaluaciones *in vitro* con metodologías rápidas y de gran reproducibilidad, entre las que se encuentran algunas que no provocan invasión en los animales y permiten representar las diferencias nutritivas de cualquier alimento.

Nuestros resultados concuerdan con estudios que muestran aumentos en la digestibilidad de la pared celular y la materia orgánica al utilizar complejos de enzimas fibrolíticas exógenas en varios sustratos (Colombatto *et al.*, 2004). Por su parte, Tirado-Estrada *et al.* (2015) informaron que el momento de la aplicación de los suplementos podría tener un efecto en el modo de acción de estos, que en la literatura científica internacional se plantea que la aplicación de suplementos, aditivos y enzimas durante el proceso de ensilaje pueden modificar el potencial de los nutrientes.

El alto contenido de FDN del rastrojo de maíz impacta negativamente en la capacidad de ingesta del ganado y explica aproximadamente el 70% de la variación en la producción animal. En la última década aumentó el número de investigaciones sobre el uso de procesos físicos, químicos, biológicos o aditivos como cultivos microbianos y enzimas fibrolíticas exógenas en la degradación de los componentes fibrosos de la pared celular para mejorar la digestibilidad de los nutrientes de las pajas y esquilmos agrícolas, en la búsqueda del incremento significativo de la digestibilidad *in vitro*, *in situ* e *in vivo* de la MS, PB, MO, así como de FND y FDA de alimentos fibrosos (Eun y Beauchemin, 2007; Tirado-Estrada *et al.*, 2015).

Elghandour *et al.* (2014), encontraron que las digestibilidades de la materia seca y la pared celular fueron menores cuando distintas dosis de preparado enzimático se aplicaron directamente en el rumen en comparación con su aplicación en el momento del proceso de ensilado. Dosualdo *et al.*, (2006) reportan que, al evaluar tres tipos de ensilado, uno sin enzimas y dos con preparados enzimáticos bacterianos: una mezcla de enzimas amilasa, celulasa y hemicelulasa (Maize All, Alltech®) y dos cepas de bacterias ácido lácticas *Lactobacillus plantarum* (CH6072 and K-270), para mejorar la preservación de ensilajes de forrajes (Biomax®, Christian Hansen), y seis periodos de fermentación (0, 3, 7, 14, 28 y 56 días). Hubo efecto de la interacción entre inoculante y tiempo de fermentación sobre los contenidos de materia seca y proteína cruda, mientras que la digestibilidad *in vitro* de la MS se incrementó con el tiempo de fermentación a razón de 0,054 unidades diarias.

Torres *et al.* (2009) al realizar la comparación de la técnicas *in vitro*, *in situ* y enzimas encontraron que los valores de la digestibilidad *in vitro* y enzimática se sobrestimaron algunos nutrientes con respecto a la *in situ*, estos concluyeron que existen diferencias entre las técnicas *in situ*, *in vitro* y celulasa para estimar la digestibilidad de la materia seca del forraje en ovinos y estas diferencias dependen de la calidad del forraje. Los mayores valores en la DISMS se deberían a que esta técnica aseguraría una mezcla constante de las

fases sólida y líquida de la digesta, dando lugar a que el forraje contenido en las bolsas se encuentre expuesto al ataque continuo de bacterias celulolíticas, resultando en una mayor degradación de las paredes celulares. Otra ventaja sería la estabilidad del pH ruminal, gracias a la secreción de sustancias tampón (saliva) que mantienen al rumen en un pH entre 6 y 7.

Por su parte, Giraldo *et al.* (2007) no encontraron diferencias significativas al comparar la digestibilidad verdadera por el método *in situ* e *in vitro*, mientras que, Ceballos *et al.* (2008) en forrajes de sorgo, pasto elefante y maralfalfa, y Araiza-Rosales *et al.* (2013), en ensilaje de maíz y utilizando manzana+melaza, encontraron diferencias entre ambas técnicas con los mejores resultados para la técnica *in situ* planteando que estas diferencias pueden deberse al tamaño de las partículas. La operación de picado fino pudo favorecer el escape de las partículas en los primeros tiempos de degradación. Los materiales finamente molidos sufren mayor pérdida mecánica de partículas a partir de los sacos de nylon. Los movimientos ruminales pueden ser alrededor de 1.440 día^{-1} y estos ejercen una mayor presión mecánica sobre los sacos de nylon incubados e inducen una mayor pérdida de partículas, marcando una gran diferencia con respecto al sistema *in vitro* con digestor Daisy cuyos movimientos son solo rotativos sin ejercer más presión que el propio peso de las bolsas incubadas y de la solución utilizada para la incubación.

En el contexto zootécnico actual, los ganaderos deben producir eficientemente para ser competitivos en un mercado global. Ecuador no está ajeno a estas exigencias y, para poder alcanzar este objetivo, se hace necesario diseñar estrategias alternativas que permitan disminuir la dependencia del mercado exterior en cuanto a la importación de alimento concentrado para el ganado. En este escenario, la utilización de subproductos locales como el rastrojo de maíz ensilado son de especial interés, teniendo en cuenta que los rumiantes requieren siempre de una mínima proporción de alimentos fibrosos en su ingesta.

5.5. Consideraciones finales e implicaciones futuras

Al finalizar la redacción de esta obra cuento con 61 años, su culminación constituye la obra de mi vida y de mi trayectoria como profesor e investigador de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), lo que me permite trazar estrategias en el ámbito zootécnico, según la experiencia acumulada durante todos estos años, trazar estrategias.

Con base a lo reportado por INEC (2020) y FAO (2021), la superficie sembrada de maíz (*Zea mays*) en el Ecuador supera las 322.846 hectáreas en 2019, concentrándose la mayor superficie y producción (129.101 ha. 648.354 Tm, respectivamente) en la provincia de Los Ríos, lo que genera un volumen de subproductos de cosecha muy importante, los cuales tradicionalmente suelen ser quemados o incorporados en los campos, siendo una pequeña proporción de estos esquilmos los que se aprovechan como alimento para rumiantes. En ese sentido, recordamos que, por cada kg de grano producido se genera un 1,17 kg de rastrojo o paja (Bravo et al., 2013), por cuanto se puede estimar que la disponibilidad de los residuos agrícolas para la alimentación directa de rumiantes en la provincia de Los Ríos fue alrededor de 761.111 Tm en el año 2019.

Desde el punto de vista de su aplicación a la producción ganadera, si empleamos el nivel uno del programa del NRC-1996, utilizado para determinar los requerimientos de proteína y energía, se puede estimar que el volumen de rastrojo de maíz producido en la provincia de Los Ríos es suficiente para mantener aproximadamente a 325.000 vacunos de carne o doble propósito, equivalente al 8-8,20% del inventario nacional bovino. Por tanto, estos valores, con independencia de las posibles fluctuaciones anuales en la producción del cultivo, informan sobre la posibilidad de alimentar a toda la población bovina de la provincia de Los Ríos (82.421 cabezas en 2019) solo con la gestión y manejo correctos de este subproducto agrícola, pudiendo además prescindir de cierta proporción del mismo como enmienda o abono de cobertura en las tierras de cultivo como apuesta a la implementación de prácticas correctas de agricultura de conservación.

Las tierras de pastos representan el 77% de las tierras agrícolas y contribuyen con el 14,5% de los gases de efecto invernadero (Gerber et al. 2013) y el problema es más marcado en los trópicos con una deforestación creciente (Bolier et al., 2020). El dilema global es cómo alcanzar una intensificación sostenible. En este trabajo se opta por la estrategia de mejora de la productividad ganadera de forma sostenible (*land sharing*) mediante el uso de los residuos de los cultivos en la propia explotación y de modo diferido. Para ello se propone un protocolo de Buenas Practicas de Manejo de residuos de cultivo *in situ bajo la estrategia de land sharing*. Mediante el desarrollo de microsilos de rastrojo de maíz, melaza y un nivel de urea entre el 2 y el 3% dependiendo de los objetivos productivos y la época del año.

Además, se propone incorporar en los análisis tecnológicos de las explotaciones el desarrollo de un protocolo donde se incorpore un plan de uso de residuos de cultivos, donde se prime su uso directo, su durabilidad y su utilización como alternativa a la adquisición de insumos externos.

Resulta indudable la importancia de continuar evaluando métodos físicos, químicos, y/o bilógicos, o bien, la adición de suplementos a las dietas basadas en rastrojos para el mejoramiento de la digestibilidad de los principales residuos agroindustriales generados en el litoral ecuatoriano (maíz, arroz, banano, cacao, maracuyá, piña, etc.). No obstante, existe poca información publicada sobre el efecto de los tratamientos con NaOH o urea sobre la utilización ruminal, y cinética de la misma, del rastrojo de maíz.

Por otra parte, las técnicas de conservación de forrajes como la henificación, momificación, ensilajes, etc. tan sobradamente conocidas como de fácil implementación, sin embargo, estas técnicas no se desarrollan y aplican en nuestro entorno de forma general ni sistemática. Por tanto, esta ausencia de innovación tecnológica supone una oportunidad para la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) en sentido de apoyar el desarrollo territorial de la región a través de programas de extensión agraria, que incluyen actividades varias como la impartición de cursos, seminarios, talleres, charlas y jornadas prácticas de campo a los pequeños y medianos

agricultores de la zona de influencia, con el fin de optimizar la producción de recursos naturales disponibles en la alimentación de rumiantes, en pos de una mejora de la productividad y competitividad de los sistemas ganaderos mixtos bajo una perspectiva de producción integrada. Todo ello contribuiría indirectamente a la mejora de la calidad de vida de la población, en general, y a la mejora de la alimentación, en particular.

Además, estas iniciativas plantean la ampliación del campo laboral, tanto de los profesionales que actualmente desarrollan su labor en este sector, como de aquellos otros que se encuentran en formación, todo ello en un marco de apuesta por la sostenibilidad económica, social y ambiental dentro de los objetivos de Desarrollo Sostenible 2030.

6.- CONCLUSIONES

Primera. El tiempo de elección en la fermentación del ensilado de rastrojo de maíz con adición de melaza y urea fue de 35 días, dado que en este periodo se evidenció aumento del recuento de bacterias totales, lactobacillus, el incremento de la proporción de materia seca y proteína bruta; así como la disminución del recuento de hongos y de los componentes de la pared celular.

Segunda. La utilización de rastrojo de maíz y su combinación con melaza y urea mediante técnicas de ensilado mejora las características nutritivas iniciales del ingrediente base, pudiéndose erigir como una alternativa de suplementación animal eficiente y aceptable ambientalmente.

Tercera. La inclusión de melaza y urea en la mezcla de ensilado incrementan la degradabilidad *in situ* de la materia seca y proteína bruta, así como mejoran el comportamiento de los parámetros de la cinética de degradabilidad *in situ*, pudiendo establecer el nivel de adición del 3% de urea como la mejor elección.

Cuarta. La inclusión de melaza y urea en la mezcla de ensilado incrementa especialmente la digestibilidad *in vitro* de la proteína bruta, así como mejora el comportamiento de los parámetros de la cinética, donde resulta homogénea la adición de urea al 2 y 3%.

Quinta. Los conocimientos obtenidos sobre degradabilidad y cinética ruminal del ensilado de maíz con adición de melaza y urea permiten que este recurso alimenticio pueda ser incluido en los programas de alimentación de rumiantes al incorporar los valores nutritivos de estos alimentos y la energía disponible para los animales.

Sexta. El modelo de producción de ensilado de rastrojo de maíz con adición de melaza y urea estudiado podría extrapolarse a la gestión y manejo de otros subproductos agrícolas a utilizar en las estrategias de alimentación animal en el trópico bajo criterios de sostenibilidad económica, social y ambiental de los sistemas ganaderos.

7.- RESUMEN

El conocimiento de la adición de melaza y urea, y su efecto sobre el tiempo de ensilado de los alimentos ricos en fibra, resulta fundamental para la conservación y calidad nutritiva de estos alimentos, de forma que se puedan suministrar al ganado como alimento principal o complementario de los pastos durante los periodos críticos. Se estudió el efecto de la inclusión de urea sobre la composición nutricional y microbiología del ensilado de rastrojo de maíz, así como de la cinética de degradación ruminal *in situ e in situ*. Se partió de cuatro de tratamientos al adicionar el 0, 1, 2 y 3% de urea a una mezcla de rastrojo de maíz con el 10% de melaza. Se elaboraron 128 microsilos (3 kg/unidad y 4 repeticiones por tratamiento). La apertura de los silos se realizó a los 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 y 56 días.

Se determinó el contenido de la materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína bruta (PB), fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD) desde el punto de vista de la composición química, así como

la temperatura y pH como indicadores tecnológicos y el recuento de bacterias totales, lactobacillus, y hongos como variables de calidad microbiológica. La degradabilidad *in situ* se obtuvo mediante el método de Mehrez y Orskov y la degradabilidad de MS y PB mediante el análisis de los residuos con el método Kjeldhal. Además del cálculo de los estadísticos descriptivos, los datos se analizaron con el procedimiento GLM y el test de Tukey ($P \pm < 0.05$) del SAS, la opción CONTRAST y la función SOLVER de Microsoft EXCEL®.

Se evidenció la existencia de diferencias significativas para todas las variables excepto MO. El mejor comportamiento del ensilado se observó a los 35 días de fermentación ($p < 0,05$), atendiendo al incremento de MS y PB, así como disminución de las variables relacionadas con la pared celular (FND y FAD). Desde el punto de vista microbiológico, se evidenció aumento del recuento de bacterias totales y lactobacillus y reducción del recuento de hongos.

La inclusión de los niveles de urea redujo linealmente ($P < 0.05$) el contenido de fibra detergente acida (FDA) del ensilado y aumentó linealmente ($P < 0.05$) la degradabilidad efectiva de la MS y la PB, por un aumento ($P < 0.05$) de las fracciones soluble y potencialmente degradable de la misma. Se ajustaron ecuaciones polinómicas de tercer orden para todas las horas en ambos casos excepto para las 72 horas para MS y las cero y tres horas en la PB con $R^2 = 0,94$. Para la cinética en la MS los mejores resultados se alcanzaron en los niveles crecientes de urea. Asimismo, los mejores resultados para la fracción soluble, degradación potencial y efectiva se alcanzaron con la adición del 3% de urea con valores 33,61; 64,58 y 53,53%, respectivamente; mientras que no hubo diferencias significativas en PB para los parámetros a, b y c. Los resultados evidenciaron el marcado efecto de los niveles de urea con incrementos en la degradabilidad de la materia seca y proteína. Para todos los indicadores estudiados se encontró interacciones superiores a ($P < 0,01$) método de digestibilidad x nivel de urea. Los mayores valores para MS, MO, FND y FAD fueron 65,01; 65,16; 56,15 y 48,23%, respectivamente para el nivel de adición de urea al 3% y la metodología *in situ*.

La degradabilidad ruminal *In Situ* de MS ascendió conforme aumentó el nivel de urea, excepto en el caso del factor c, mientras que para PB no reflejó diferencias entre los distintos tratamientos. La degradabilidad efectiva fue superior en MS, y con mayor variabilidad entre tratamientos, que en PB donde se apreció un comportamiento más homogéneo.

Se encontraron correlaciones de Pearson significativas entre los componentes de la composición química (PB, FND, FAD) y la digestibilidad *in situ* de MS, PB, MO, FND y FAD. La adición de urea durante el proceso de ensilado mejora la digestibilidad y aporte de nutrientes de este en la medida que se incrementan los niveles de urea. Así como, existen diferencias entre las técnica *in vitro* e *in situ*, con los mejores resultados en la *in situ*.

En definitiva, la adición de urea al 3% mejora la composición nutricional y degradabilidad del ensilado de rastrojo de maíz con melaza, lo que hace posible que los pequeños productores dispongan de una alternativa de suplementación animal eficiente y aceptable ambientalmente con esta técnica.

8.- SUMMARY

The knowledge of the addition of molasses and urea, and its effect on the ensiling time of foods rich in fiber, is essential for the conservation and nutritional quality of these foods, so that they can be supplied to livestock as main or complementary food of pastures during critical periods. The effect of the inclusion of urea on the nutritional composition and microbiology of the maize stubble silage, as well as the kinetics of ruminal degradation in situ and in situ, was studied. Four treatments were started by adding 0, 1, 2 and 3% urea to a mixture of maize stubble with 10% molasses. 128 microsilos were elaborated (3 kg/unit and 4 repetitions per treatment). The silos were opened at 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 and 56 days.

The content of dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (PB), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were determined from the point of view of chemical composition, as well as the temperature and pH as technological indicators and the count of total bacteria, lactobacillus, and fungi as variables of microbiological quality. The in situ degradability was obtained by the Mehrez and Orskov method and the degradability of MS and PB by the analysis of the residues with the Kjeldhal method. In addition to the calculation of descriptive statistics, the data were analyzed with the GLM procedure and the Tukey test of the SAS, the CONTRAST option and the SOLVER function of Microsoft EXCEL®.

The existence of significant differences was evidenced for all variables except OM. The best performance of the silage was observed at 35 days of fermentation ($p < 0.05$), attending to the increase in DM and CP, as well as a decrease in the variables related to the cell wall (NDF and FAD). From a microbiological point of view, there was an increase in the count of total bacteria and lactobacillus and a reduction in the count of fungi.

The inclusion of urea levels linearly reduced ($p < 0.05$) the content of acid detergent fiber (ADF) of the silage and increased linearly ($P < 0.05$) the effective degradability of DM and CP, due to an increase ($p < 0.05$) of the soluble and potentially degradable fractions thereof. Third order polynomial equations were adjusted for all hours in both cases except for 72 hours for MS and zero and three hours for PB with $R^2 = 0.94$. For the kinetics in the MS the best results were achieved in the increasing levels of urea. Likewise, the best results for the soluble fraction, potential and effective degradation were achieved with the addition of 3% urea with values 33.61; 64.58 and 53.53%, respectively; while there were no significant differences in PB for parameters a, b and c. The results showed the marked effect of urea levels with increases in the degradability of dry matter and protein. Interactions superior to ($p < 0.01$) digestibility method x urea level were found for all the indicators studied. The highest values for MS, MO, FND and FAD were 65.01; 65.16; 56.15 and

48.23%, respectively for the level of addition of 3% urea and the in situ methodology.

In Situ ruminal degradability of DM increased as the urea level increased, except in the case of factor c, while for PB it did not reflect differences between the different treatments. The effective degradability was higher in DM, and with greater variability between treatments, than in PB where a more homogeneous behavior was observed.

Significant Pearson correlations between the components of the chemical composition (PB, FND, FAD) and the in situ digestibility of MS, PB, MO, FND and FAD were found. The addition of urea during the ensiling process improves its digestibility and nutrient supply as urea levels increase. As well as, there are differences between the in vitro and in situ techniques, with the best results in the in situ.

In short, the addition of 3% urea improves the nutritional composition and degradability of maize stubble silage with molasses, which makes it possible for small producers to have an efficient and environmentally acceptable animal supplementation alternative with this technique.

-

9.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alizar, A.; Sáenz, C; Campos, M.; Arece, J. y M, Esperance. 2014. Efecto de la inclusión de diferentes niveles de morera (*Morus alba*) en la calidad nutricional de ensilajes de sorgo (*Sorghum almum*). Pastos y Forrajes, Vol.37, No.1,55-60.
- Ajila, C.; Brar, S.K.; Verma, M.; Prasada Rao U. 2012. Sustainable solutions for agro processing waste management: an overview. In: Malik A., Grohman E. (eds). Environmental Protection Strategies for Sustainable Development. Strategies for Sustainability. Springer, Dordrecht.
- Ankom Technology. 2014. In vitro True Digestibility with DAISY II Incubator. ANKOM. Technology, Macedon, NY. Pp 5-6.
- Ankom Techonology. 2008. Method for Determining Neutral Detergent Fiber (NDF). ANKOM Technology, Macedon, NY. Pp 1-2.
- AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 17 th Ed. Ass. Off. Anal. Chem. Washington, D.C. USA. 2:777-778.

- AOAC. 2016. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of AOAC International. 20th ed., Rockville, MD: AOAC International, ISBN: 978-0-935584-87-5, Available: <http://www.directtextbook.com/isbn/9780935584875>>, [Consulted: October 10, 2019].
- Aragadvay-Yungán, R.G., Amor, A.A.R., Heredia-Nava, D., Estada-Flores, J.G., Martínez-Castañeda, F.E. & Arriaga-Jordán, C.M. 2015. Evaluación *in vitro* del ensilaje de girasol (*Helianthus annuus* L.) solo y combinado con ensilaje de maíz. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 6 (3), 315-327
- Araiza-Rosales, E.; Delgado-Licon, E. Carrete-Carreón, F. O. Medrano-Roldán, H. Solís-Soto, A. Murillo-Ortiz, M. y Haubi-Segura, C. 2013. Degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de diferentes formulaciones de ensilados de maíz-manzana adicionados con melaza. Avances en Investigación Agropecuaria: 17(2): 79-96.
- Araiza-Rosales, E.E., Delgado-Licón, E., Carrete-Carreón, F.O., Medrano-Roldán, H., Solís-Soto, A., Rosales-Serna, R. y Haubi-Segura, C.U. 2015. Calidad fermentativa y nutricional de ensilados de maíz complementados con manzana y melaza. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 2(6):255-267.
- Arango, J., Gutiérrez, J.F., Mazabel, J., Pardo, P., Enciso, K., Burkart, S., Sotelo, M., Hincapié, B., Molina, I., Herrera, Y. & Serrano G. 2016. Estrategias tecnológicas para mejorar la productividad y competitividad de la actividad ganadera. En: Herramientas para enfrentar el cambio climático. Ed. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia: 58 p. ISBN: 978-958-694-155-6. ISBN: 978-958-694-156-3.
- Araujo-Febres, O., A. Márquez-Araque, G. Marzocca. 1996. Efecto del tratamiento con urea sobre la composición química y digestibilidad del bagazo de caña de azúcar. Arch. Latinoam. Prod. Anim: 4(1): 1-6.
- Arce, C., Arbaiza, T., Carcelén, F., & Lucas, O. 2003. Estudio Comparativo de la digestibilidad de forrajes mediante dos métodos de laboratorio. Rev. Inv. Vet. Perú., 14(1), 7-12.
- Arellano-Vicente, I., Pinto-Ruiz, R., Guevara-Hernández, F., Reyes-Muro, L., Hernández-Sánchez, D. y Ley-de Coss, A. 2016. Caracterización del uso directo del rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) por bovinos. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 7(5): 1117-1129.
- Arias, R.O.; Muro, M.G.; Cordiviola, C.A.; Trigo, M.A.; Brusa, M.; Lacchini, R.A. 2013. Incidencia de la proporción de maíz sobre la degradabilidad *in situ* de heno de alfalfa en dietas para caprinos. Revista de la Facultad de Agronomía La Plata (2013) Vol 112 (2): 62-67

- Arroyo C., Rojas-Bourrillon A., Rosales R. 2003. Uso de urea o pollinaza como suplemento proteico para toretes consumiendo ensilaje de pulpa de pejobaye. *Agronomía Costarricense* 27(2): 69-73.
- Ashbell, G. y Weinberg, Z. 2001. Ensilaje de cereales y cultivos forrajeros en el trópico. Memorias de la conferencia electrónica de la FAO sobre el ensilaje en los trópicos. Estudio FAO producción y protección vegetal 161, p. 111-119.
- Barahona R y Sánchez S. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Revista CORPOICA*; 6 (1):69-82.
- Beauchemin, K.A., Rode, L.M., Maekawa, M M., Morgavi, D.P. and Kampen, R. 2000. Evaluation of a nonstarch polysaccharidase feed enzyme in dairy cow diets. *Journal of Dairy Science* 83: 543-553.
- Ben Salem H, Nefzaoui A, Rokbani N. 1994. Upgrading of sorghum stover with anhydrous ammonia or urea treatments. *Anim. Feed Sci. Technol.* 48: 15-26.
- Bertoia, L., Burak, R. and Torrecillas M. 2002. Identifying inbred lines capable of improving ear and stover yield and quality of superior silage maize hybrids. *Crop Sci*; 42: 365-372.
- Blanco, G. M., Chamorro, D. R., Rey, A. M., & Arreaza, L. C. 2005. Evaluación nutricional del ensilaje de *Sambucus peruviana*, *Acacia decurrens* y *Avena sativa*. *Caproica*, 6, 81-85.
- Bolívar, V. D. y Ibrahim, M. 2008. Solubilidad de la proteína y degradabilidad ruminal de *Brachiaria humidicola* en un sistema silvopastoril con *Acacia mangium*. Disponible en: <http://www.cipav.org.co/redagrofor/memorias99/BolivarC>. htm. [Consultado: 11 enero 2020].
- Borges, J.A., Y. Bastardo, E. Sandoval, M. Barrios, y R. Ortega. 2011. Efecto de la adición de urea y el tipo de fermentación en la estabilidad de silajes de caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Zootecnia Trop.* 23:283-291.
- Boschini, C. y Amador, A.L. 2001. Degradabilidad ruminal de la planta de sorgo negro forrajero (*Sorghum almum*) en diferentes etapas de crecimiento. *Agronomía Mesoamericana* 12(2):169-174.
- Bravo, M.B.; Reyes-Muro, L.; Espinoza, J.A. 2013. Producción y consumo de rastrojos en México. in Reyes-Muro, Luis; Camacho-Villa, Tania Carolina y Guevara-Hernández, Francisco. (Coords.). (2013). *Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 7. Aguascalientes, México. 242 p.

- Bruni, M. y Chilbroste, P. 2001. Simulación de la digestión ruminal por el método de la producción de gas. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 9, 43-51.
- Callacná, M., León, Z. and Mendoza, G. 2014. Nutritional characteristics of corn (*Zea mays L.*) and asparagus (*Asparagus officinalis*) mixed silage with molasses - urea and bacterial inoculum as a food supplement for goats in semi extensive management. Sciencio. 17(2):40-41.
- Camacho, TC, Espinosa, JA, Borja, M, Reyes, L, Guevara, F 2014, 'Antecedentes', in Reyes-Muro, Luis; Camacho-Villa, Tania Carolina y Guevara-Hernández, Francisco. (Coords.). (2013). *Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 7. Aguascalientes, México. 242 p.
- Cándido, M, Neiva, J, Rodríguez, N, & Ferreira, A. 2007. Características fermentativas e composição química de silagens de capim-elefante contendo subproduto desidratado do maracujá', *Revista Brasileira de Zootecnia*, vol. 36, nº 5, pp. 1489-1494.
- Canesin, R., Berchielli, T., Messana J, Baldi, F., Pires A, y Frighetto R. 2014. Effects of supplementation frequency on the ruminal fermentation and enteric methane production of beef cattle grazing in tropical pastures. *Revista Brasileira de zootecnia*, 43 (11), 590-600.
- Cann Iko, Kobayashi Y Wakita M, Hoshino S. 1991. Digestion properties of ammoniated rice straw in the rumen and lower tract of sheep. *Anim.Feed Sci. Technol.* 35: 55-68.
- Caraballo, A., Betancourt, M, y Florio J. 2007. Efecto de la melaza, estado fisiológico del pasto y tamaño del material cosechado sobre el ensilado de pasto guinea (*Panicum maximum*, Jacq.). *Ciencia*. 15, 35-46.
- Cárdenas MJV, Sandoval CCA, Solorio SFJ. 2003. Composición química de ensilajes mixtos de gramíneas y especies arbóreas de Yucatán, México. *Téc. Pec. Méx.* 41: 283-294.
- Carvajal, F.E. 2016. El futuro de los alimentos en el 2025. Una perspectiva global. *Revista de la facultad de ciencias químicas (Ed. especial)*, 1-6. Disponible en; http://rraae.org.ec/Record/0001_1c102cf7e1eca4dbceaa3de4580698ea. [Consultado: 23 de abril de 2019].
- Castelán, O., Estrada, J., Carretero, L., Vieyra A., Martínez, N., Cárdenas S. y Arriaga, C. 2003. Degradation characteristics of maize land races stover used as forage in smallholder maize-livestock production systems of central México, in different growing periods. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 3:121-126.

- Castillo, M., Rojas, A. y Wing Ching, R. 2009. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con Vigna. *Agronomía Costarricense* 33(1):133-146.
- Caviedes, G.M. 2019. Producción de semilla de maíz duro en el Ecuador: retos y oportunidades. *Avances en Ciencias e Ingenierías*. 11(17), 116-123. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18272/aci.v11i1.1100>. [Consultado: 21 febrero de 2020].
- Ceballos, A., Noguera, R.R., Bolívar, D.M. y Posada, S.L. 2008. Comparación de las técnicas *in situ* de los sacos de nylon e *in vitro* (Daisy^{II}) para estimar la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. [Livestock Research for Rural Development 20 \(7\): Available: http://www.lrrd.org/lrrd20/7/ceba20108.htm](http://www.lrrd.org/lrrd20/7/ceba20108.htm). [Accessed: Julio 4, 2019].
- Chaverra G, Bernal E. 2000 *Ensilaje en la Alimentación de Ganado Vacuno*. IICA. Tercer Mundo Editores. Bogotá, Colombia. 153 pp.
- Claure, T., Saldaño, D., Herbas G. 2017. Estrategias de Producción de Semilla Híbrida de Maíz en la Región del Chaco Boliviano y su Proyección Futura. *Memorias de la XXII REUNIÓN LATINOAMERICANA DEL MAÍZ Quevedo – Ecuador*. ISSN 2528-7753.
- Coleman, S., Moore, E. 2002. Variability in relationships among forage intake digestibility, NDF and ADF. *J. Anim. Sci.* 80 (Suppl. 1): 94.
- Colombatto, D. 2000. *Análisis de alimentos: Aplicaciones prácticas*. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Colombatto, D., Mould, F., Bhat, M. and Morgavi, D. 2003. Influence of fibrolytic enzymes on the hydrolysis and fermentation of pure cellulose xylan by mixed ruminal microorganism *in vitro*. *J. Anim. Sci.* 81: 1040-1050.
- Colombatto, D., Mould, F., Bhat, M. y Owen, E. 2002. The effect of fibrolytic enzyme application on rate and extent of alfalfa stem fermentation, assessed *in vitro*. *Proc. Br. Soc. Anim. Sci. Annu. Mtg. Penicuik, RU*. p. 209.
- Colombatto, D., Mould, F., Bhat, M., Phipps, R., Owen, E. 2004. Evaluation of fibrolytic enzymes as additives for maize (*Zea mays* L.) silage: III. Effects of ensiling temperature, enzyme source and addition level. *Anim. Feed Sci. Technol.* 111(1-4): 145-160. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2003.08.010>
- Contreras, J.L.; Matos, M.A.; Felipe, E.; Cordero, A.F., Ramos, Y. 2019. Degradabilidad ruminal de forrajes y residuos de cosecha en bovinos Brown Swiss. *Inv Vet Perú*. Vol. 30 (3): 1117-1128

- Correa, HJ. 2002. Limitaciones metabólicas para la producción bovina en el trópico bajo. En: Estrategias de alimentación en la ganadería y su impacto en la productividad. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Producción Animal. Sección de Nutrición Animal. p. 34.
- De Clerck, F., 2010. Aplicaciones ecológicas para la adaptación al cambio climático en paisajes ganaderos. Resúmenes. VI Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. Multiplicación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles para la adaptación y mitigación del cambio climático en territorios ganaderos (Ibrahim, M. & E. Murgueitio, Eds.). CATIECIPAV. Turrialba, C.R., 6 pp.
- Delgado, D., Franzolin, R. y Abdalla, C. 2011. Efecto del nivel de proteína no degradable en rumen en la degradación ruminal *in situ* del heno de bermuda cruzada (*Cynodon dactylon* (L.) Pers) cv. Coast cross en búfalos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 45(2):135-139.
- Delgado, N., Casler, M., Grau, C. y Jung, H. 2002. Reactions of smooth Bromegrass clones with divergent lignin or etherified ferulic acid concentration to three fungal pathogens. Crop. Sci. 42: 1824-1831.
- Delgado-Villafuerte, C.R. 2017. Inventario de subproductos de cultivos tropicales en la provincia de Manabí. Ecuador. Trabajo Fin de Master. Universidad de Córdoba. España.
- Dhugga, K. 2007. Maize biomass yield and composition for biofuels. Crop Sci; 47:2211-2227.
- Díaz Plascencia D. 2011. Desarrollo de un inóculo con diferentes sustratos mediante fermentación sólida sumergida. REDVET [en línea] [Fecha de acceso 11 de enero 2013]; 12(1). Recuperado de: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n010111/011101.pdf>.
- Dosualdo, R.K., Gomes, P.O., Campos, V.S., Prates, O.A., Bastos, P.L. and Martins, C.F. 2006. Valor nutritivo del ensilado de maíz (*Zea mays* L.) producido con inoculantes enzimo-bacterianos. Rev. Bras. Zootec 35: 389-395.
- ECORAE. 2011. Última versión del plan integral de la circunscripción territorial especial amazónica, 564p.
- Elghandour, M., Vázquez-Chagoyán, J.C., Salem, A., Kholif, A.E., Martínez-Castañeda, J.S., Camacho, L.M. and Cerrillo-Soto, M. 2014. Effects of *Saccharomyces Cerevisiae* at direct addition or pre-incubation on *in vitro* gas production kinetics and degradability of four fibrous feeds. Italian Journal of Animal Science. 13: (3075):295-301. DOI:10.4081/ijas.2014.3075.

- Elías, A. 1983. Digestión de pastos y forrajes tropicales. En: Los pastos en Cuba: Utilización. Tomo 2. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p. 187:24.
- Erenstein, O, Samaddar, A, Teufel, N, & Blummel, M. 2011. The paradox of limited maize stover use in India's smallholder crop-livestock systems', *Experimental Agriculture*, vol. 47, nº 4, pp. 677-704
- Enrique, R y Viveros, MP. 2002. Efecto del ensilado sobre la composición química y degradabilidad ruminal de la pulpa de manzana. *Arch Med Vet*; 2: 189-197.
- Enríquez, O., Solís, N., Ruiz, O., Castillo, Y., Angulo, C., Marrero, Y., Elías, A., Corral, A. y Santellano, E. 2013. Parámetros fermentativos y digestibilidad *in vitro* del rastrojo de maíz adicionado con levaduras *Candida norvegensis*. XXIII Reunión de la ALPA. IV Congreso Internacional de Producción Animal Tropical. La Habana, Cuba, CD-ROM.
- Espinoza, I., Pérez, C., Montenegro, L., Sánchez, A., García, A. y Martínez, A.L. 2016. Composición química y cinética de degradación ruminal in vitro del ensilado de pasto saboya (*Megathyrsus maximus*) con niveles crecientes de inclusión de residuos de maracuyá (*Passiflora edulis* Sims.). *Revista Científica, FVC-LUZ*. 26(6): 402-407.
- Espinoza, I, Montenegro, L, Rivas, J, Romero, M, García, & Martínez, A 2017, 'Características microbianas, estabilidad aeróbica y cinética de degradación ruminal del ensilado de pasto saboya (*Megathyrsus maximus*) con nivel crecientes de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*)', *Revista Científica FVC-LUZ*, vol. XXVII, nº 4, pp. 241-248.
- Estrada, J. 2005. Caracterización nutricional de maíz y arvenses utilizados en la alimentación del ganado en sistemas campesinos en dos zonas contrastantes del Estado de México. Tesis Doctoral en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México, pp 3-4.
- Estrada, J., González, M., Mould, L., Arriaga, C. and Castelán, O. 2006. Chemical composition and fermentation characteristics of grain and different parts of the stover from maize land races harvested at different growing periods in two zones of central Mexico. *J Anim. Sci.*; 82: 845-852.
- Eun, J.S. and Beauchemin, K.A. 2007. Assessment of the efficacy of varying experimental exogenous fibrolytic enzymes using *in vitro* fermentation characteristics. *Anim. Feed Sci. Technol.* 132(3-4): 298-315. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2006.02.014.

- Eyhérabide, G. 2017. Presente del Cultivo de Maíz en Argentina: Desafíos y Oportunidades de la Investigación. Archivos Académicos USFQ 7, septiembre. Memorias de la XXII REUNIÓN LATINOAMERICANA DEL MAÍZ Quevedo – Ecuador. ISSN 2528-7753.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2013. Food Outlook. Bianual Report on Global Markets. Digital edition, Ed. by FAO, Roma, Italia. 140 pp.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. La guía voluntaria para la formulación de políticas nacionales de semillas. Roma.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2018. Informe Anual 2018. América Latina y el Caribe. 22 p. ISSN 1564-2801 (Versión web).
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura 2021. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Fernández, B., Barreal, M., Flores, G., González, A., Valladares, J., Pereira, S. y Cardelle S 2007. Estabilidad aeróbica y calidad fermentativa e higiénica de ensilados de maíz. Efecto de la fecha de aprovechamiento y del uso de inoculantes. PASTOS. 37 (1), 71–80.
- Fernández, J.; Pérez, J. y Fernández, J. 1997. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. Food Chemistry. 59 (3), 345 - 353.
- Forbes, JM. 2005. Voluntary Feed Intake and Diet Selection. In: Dijkstra J, Forbes JM, France J. 2nd ed. Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. CABI Publishing. p. 607-627.
- Franco, A.V.M., Franco, G.L. & Andrade. P. 2004. Parâmetros ruminais e desaparecimento da MS, PB e FDN da forragem em bovinos suplementadas em pastagem na estação seca. R. Bras. Zootec. 33:1316-1326.
- Franzolin, R. & Andrade, P. 1995. Effect of ration with different level of rumen degradable nitrogen on *in situ* disappearance of dry matter, organic matter, crude protein and neutral detergent fiber in buffaloes. Proceedings of XVI World Buiatric Congress. Salvador, Brazil. p. 343.
- Fuentes, J., C. Magaña, L. Suarez, R. Peña, S. Rodríguez y B. Ortiz De La Rosa. 2001. Análisis químico y digestibilidad "*in vitro*" de rastrojo de maíz (*Zea mays* L.). Agronomía Mesoamericana 12(2):189-192.

- GAD Pastaza 2012,- Plan de desarrollo de la provincia de Pastaza al año 2025, Gobierno Autónomo Descentralizado de Pastaza, Puyo 2012, 283p, INIAP 2010.- Mejoramiento y recuperación de la investigación, soberanía, seguridad alimentaria y desarrollo agropecuario sostenible en la amazonia ecuatoriana. Disponible en: <http://www.iniap.gob.ec>. [Consultado: 23 febrero de 2020].
- Galaviz, J., Vargas, S., Zaragoza, J., Bustamante, A., Ramírez, E., Guerrero, J., y Hernández, J. 2011. Territorial evaluation of sheep production systems in Northwest Tlaxcala. *Rev. Mex Cienc. Pecu.* 2: 53-68.
- Galeano, P., Martínez Debat, C., Ruibal, F., Franco Fraguas, L., y Galván, G. 2011. Interpolinización entre cultivos de maíz transgénico y no transgénico comerciales en Uruguay. Uruguay: Universidad de la Republica. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/228497946>. [Consultado: 23 febrero de 2020].
- Galindo-Barboza, AJ, Domínguez-Araujo, G, Arteaga-Garibay, RI, & Sálazar-Gutiérrez, G 2020, 'Mitigación y adaptación al cambio climático mediante la implementación de modelos integrados para el manejo y aprovechamiento de los residuos pecuarios. Revisión', *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, vol. 11, supl. 2, pp. 107-125
- García, A, Rivas, J, Rangel, J, Espinosa, JA, Barba, C, De Pablos-Heredero, C. 2016. A methodological approach to evaluate livestock innovations on small-scale farms in developing countries', *Future Internet*, vol. 8, pp. 1–17.
- García-Martínez, A, Albarran-Portillo, B, Castelan-Ortega, OA, Espinoza-Ortega, A, & Arriaga-Jordan, C. 2009. Urea treated maize straw for small-scale dairy systems in the highlands of Central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, vol. 41, nº 7, pp. 1487–1494.
- García-Stepien LE, Borlandelli, MS, Roldán, DO, & Ibáñez, YM 2016, 'Rastrojo de maíz: producción teórica de etanol lignocelulósico en relación a la fecha de siembra', In: IIPAAS (ed), *Cuarto Congreso Internacional Científico y Tecnológico de la provincia de Buenos Aires*, Buenos Aires, Argentina, Consultado 5 abril 2020, <https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/6854/14-IIPAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

- Gil, A., López, A., Muñoz, A. y López, H. 2004. Variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Puebla, México: diversidad y utilización. En: Chávez-Servia JLS, Tuxill J, Jarvis DI editores. Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos:18-25.
- Giraldo, L.A., Gutiérrez, L.A. y Rúa, C. 2007. Comparación de dos técnicas *in vitro* e *in situ* para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 20:269-279.
- Goering, H. K. & Soest, P. J. V. 1970. Forage Fiber Analyses (apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications). (ser. Agriculture handbook, no. ser. 379), U.S. Agricultural Research Service, 24 p., Available: https://books.google.com/cu/books/about/Forage_Fiber_Analyses_apparatus_Reagents.html?id=yn8wAAAAYAAJ&redir_esc=y, [Accessed: February 12, 2019].
- Gómez, A., Pérez, J., Mendoza, G. Aranda, E. y Hernández, A. 2003. Fibrolytic exogenous enzymes improve performance in steers fed sugar cane and stargrass. Livest. Product. Sci. 82: 249-255.
- Gómez-Vázquez, A., Govea-Luciano, A., Cruz-Hernández, A., De la Cruz Lázaro, E., Chay-Canul, A., Plascencia-Jorquera, A., Jiménez-Ferrer, G., Nahed-Toral, J., Villegas-Aparicio, Y., Huerta-Jiménez, M., Brito-Vega H., Martínez-Martínez, R. y Hernández-Garay, A. 2018. Uso de enzimas fibrolíticas con ensilado de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) para la engorda de toretes en pastoreo. Agroproductividad. 11(5):39-45.
- Guevara, G.V., A.Y. Hernández, A.G. Hernández, A.G. Hernández, R.V. Guevara, R.O. Pedraza, L.R. Curbelo, 2007. Integración diversificada y simultánea en espacio y tiempo de producción vegetal y animal. Rev. Prod. Anim, (Número especial), 13-17.
- Guevara, H. F.; Rodríguez, L. L. A.; Ovando, C. J.; Gómez, C. H.; Ocaña, G. M. J. y Camacho, V. T. C. 2013. Implicaciones socioeconómicas y energéticas del uso y manejo de rastrojo en la región Frailesca, Chiapas. In: Reyes-Muro, Luis; Camacho-Villa, Tania Carolina y Guevara-Hernández, Francisco. (Coords.). (2013). *Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 7. Aguascalientes, México. 242 p.
- Gutiérrez, D. 2012. Efecto del aditivo biológico VITAFERT en dietas de forrajes de baja calidad para la alimentación de cabras lecheras. Tesis Dr. Instituto de Ciencia Animal. p. 1-145.

- Gutiérrez, D.; Borjas, E.; Rodríguez, R.; Rodríguez, Z.; Stuart, R.; Sarduy, L. 2015. Evaluación de la composición química y degradabilidad ruminal in situ de ensilaje mixto con *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-169: Moringa oleífera. *Avances en Investigación Agropecuaria*. Vol. 19(3): 7-16.
- Gutiérrez, D., Morales, A., Elías, A., García, R., y Sarduy Lucía. 2014. Composición química y degradabilidad ruminal *in situ* de la materia seca en ensilajes mixtos *Tithonia diversifolia*: *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-169, inoculados con el producto biológico VITAFERT. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48(4); 23-28.
- Guzmán, O, Lemus-Flores, C, Bugarín, J, Bonillas, J, González-Vizcarra, V, & Ly J. 2019. In situ ruminal degradability of silage of mango wastes (*Mangifera indica* L.) and maize stubbles. *Cuban Journal of Agricultural Science*, vol. 53, nº 2, pp. 139-148.
- Hellin, J, Erenstein, O, Beuchelta, T, Camacho, C, & Flores, D 2013, 'Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop–livestock systems in Mexico', *Fields Crops Research*, vol. 153, pp. 12-21.
- Holden, L. 1999. Comparison of Methods of In Vitro Dry Matter Digestibility for Ten Feeds. *Journal of Dairy Science*. Vol. 82(8): 1791–1794.
- INDEC. 2018. Instituto Nacional De Estadísticas y Censos. República de Argentina.
- INDEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2019. Informe de Actualización Técnica en línea N° 11. 2018. Maíz. Actualización 2018. INTA. Ediciones. Colección Divulgación. 79 p. República Argentina.
- INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2015. Datos Estadísticos Agropecuarios. Resumen Ejecutivo. Sistema Estadístico Agropecuario Nacional (SEAN). Quito – Ecuador.
- INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2018. Manual del encuestador y supervisor "Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC. Quito. Ecuador.
- INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2020. Metodología de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC. Quito. Ecuador
- INIAP. 2010. Mejoramiento y recuperación de la investigación, soberanía, seguridad alimentaria y desarrollo agropecuario sostenible en la amazonia. Documento de trabajo. INIAP Joya de los Tsáchilas. Orellana.
- INIAP. 2014. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Boletines divulgativos de híbridos de maíz duro. Quito.

- Izaguirre, F., Martínez, J.J.T., Jiménez, O.G.J.F., Posada, S.C., García, G.C.C.; Martínez, G.P. 2011. Digestibilidad *in situ* de la materia seca de tres árboles multipropósito (AMP) y pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) en borregas fistuladas. *Livestock Research for Rural development* 23:10.
- Julián M y Ramos L. 2007. Fermentación en estado sólido (I). Producción de alimento animal. *Tecnología química*, 27(3):10p.
- La O, O., González, H., Orozco, A., Castillo, Y., Ruiz, O., Estrada, A., Ríos, F., Gutiérrez, E., Bernal, H., Valenciaga, D., Castro, B.I., y Hernández, Y. 2012. Composición química, degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de ecotipos de *Tithonia diversifolia* de interés para la alimentación de rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 46(1): 47-53.
- La O, O., Valenciaga, D., Ruiz, T.E., Ruiz, O., Castillo, Y., González, H., Rodríguez, C., Alfonso, D., Chongo, B., Arzola, C. y Cairo, J. 2008. Efecto de la edad de corte en la capacidad fermentativa *in vitro* y la dinámica de degradación ruminal *in situ* de materia seca de *Tithonia diversifolia*. *Zoot. Trop.* 26:243-448.
- Lamela, L., O. López, T. Sánchez, M. Díaz, R. Valdés. 2009. Efecto del sistema silvopastoril en el comportamiento productivo de vacas Holstein. *Pastos y Forrajes*, 32(2), 1-12.
- Lewis, G., Hunt, C., Sanchez, W., Treacher, R., Pritchard, G. and Feng, J. 1996. Effect of direct fed fibrolytic enzymes on the digestive characteristics of a forage based diet fed to beef steers. *J. Anim. Sci.* 74: 3020-3028.
- Llanos, C. M. 1984. El maíz, su cultivo y aprovechamiento. Ed. Mundiprensa, Castelló. Madrid, España. 318 p.
- López, G.; Rodríguez, J.; León-Velarde, C.; Bernal-Marcelo, A.; Ramos-Peñaloza, E.; Delgado-Herrera, W. y Schutze-Arrieta, K. 2012. Ensilaje con *Ipomoea batatas* (L) Lam."Camote forrajero" y *Zea mays* "Maíz Chala" para alimentación animal- Oxapampa. *Revista Praxis*; 8(1):16-21.
- López-Aguirre, D, Vázquez-Armijo, JF, Salem, AZM, Hernández-Meléndez, J, Rojo, R, & Limas, AG 2015, 'Degradabilidad de la materia seca y las fracciones de fibra de forrajes de baja calidad tratados con enzimas exógenas', in AIDA (ed.), Proceedings XVI Jornadas sobre Producción Animal, pp. 197-199
- López-Inzunza, HJ, Chongo-García, BB, La O-León, O, Guerra-Liera, JE, Luna-López, M, Castro-Camacho, SJ, & López-Juárez, LA. 2017. 'Digestibilidad *in situ* de rastrojo de maíz tratado con enzimas fibrolíticas. *Revista Ciencia y Agricultura*, vol. 14, nº 1, pp. 31-37.

- Lorenz, A., Gustafson, T., Coors, J., de Leon, N. 2010. Breeding Maize for a Bioeconomy: A literature survey examining harvest index and stover yield and their relationship to grain yield. *Crop Sci.* 50:1-12.
- Luna, M. 2010. Rendimiento de maíz en un año lluvioso y uno seco. *Investigación Científica*, 6, 1-13.
- Mabjeesh, S., Cohen, M., and Arieli, A. 2000. *In vitro* Methods for Measuring the Dry Matter
- Macedo, R. J. (2000). Análisis del sistema de alimentación pecuario rastrojo de maíz alimenticio pecuario (*Zea mays* L.) – pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* P.) en la Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México.
- MacRobert, J., Setimela, P., Gethi, J., y Worku Regasa, M. 2015. Manual de producción de semilla de maíz híbrido. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Disponible en: <http://libcatalog.cimmyt.org/Download/cim/57179.pdf>. [Consultado: 18 febrero de 2020].
- Madrid J, Hernández F, Pulgar MA, Cid JM. 1996. Dried lemon as energetic supplement of diet based on urea-treated barley straw: Effects on intake and digestibility in goats. *Anim. Feed Sci. Technol.* 63: 89-98.
- MAE. 2012. Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador 2012-2025. Ministerio del Ambiente, Republica del Ecuador. 158 p.
- MAGAP, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. 2016. La Política Agropecuaria Ecuatoriana: Hacia el desarrollo territorial rural sostenible: 2015-2025. I Parte: El sector agropecuario ecuatoriano: análisis histórico y prospectiva a 2025. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. 482p. Quito. Ecuador.
- MAGAP, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca 2020. Indicadores económicos. <http://indestadistica.sni.gob.ec/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=SNI.qvw&host=QVS@kukuri&anonymous=truehttp://indestadistica.sni.gob.ec/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=SNI.qvw&host=QVS@kukuri&anonymous=true&bookmark=Document/BM42>
- Mannetje, L. 1999. Introducción a la conferencia sobre el uso de ensilajes en el trópico. Memorias de la Conferencia Electrónica de la FAO-Roma, p. 1-4.
- Manterola, H.; Cerda, D.; Mira, J. 1999. Los residuos agrícolas y su uso en la alimentación de rumiantes. Editorial: Fundación para la Innovación Agraria. Santiago- Chile.

- Martínez, E.V., Slanac, A.L. y Kucseva, C.D. 2016. Resultados de la amonificación con urea sobre la degradabilidad ruminal de *Hemarthria altissima* y *Cynodon nlemfuensis* en bovinos. *Revista Veterinaria*. 27 (2): 93-97.
- Martínez-Loperena, R., Castelán-Ortega, O.A., González-Ronquillo, M., y Estrada-Flores, J.G. 2011. Determinación de la calidad nutritiva, fermentación in vitro y metabolitos secundarios en arvenses y rastrojo de maíz utilizados para la alimentación del ganado lechero. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14: 525-536.
- Martínez-Trejo, G., Ortega-Cerrilla, M., Landois-Palencia, L., Pineda-Osnaya, A. y Pérez-Pérez, J. 2012. Rendimiento productivo y las variables ruminales de corderos alimentados con rastrojo de maíz tratado con urea. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(6): 1157-1170.
- McAllister, T., Oosting, S., Popp, J., Mir, Z., Yanke, L., Hristov A., Treacher R. and Cheng, K. 1999. Effect of exogenous enzymes on digestibility of barley silage and growth performance of feedlot cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 79: 353-360.
- MCPE, Ministerio de Coordinación de la Política Económica de Ecuador. 2011. *Agendas para la transformación productiva de la provincia Pastaza*, 57 p.
- Medina, A. 2017. Situación I+D del Cultivo de Maíz en Perú (Sierra). *Archivos Académicos USFQ* 7, septiembre. *Memorias de la XXII REUNIÓN LATINOAMERICANA DEL MAÍZ Quevedo – Ecuador*. ISSN 2528-7753.
- Mehrez, AZ, & Ørskov, E. 1977. A study of artificial fiber bag technique for determining the digestibility of feed in the rumen', *Journal of Agricultural Science*, vol. 88, pp. 645-650.
- Meneses, J, Corrales, C, & Valencia, M. 2007. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista Escuela Ingeniería Antioquia*, vol. 8, pp. 57-67.
- Merchen, N.R. 1988. Digestion, absorption, and excretion in ruminant. In: DC Church. *The ruminal animal: Digestive physiology and nutrition*. Waveland press, inc. Illinois, pp 172-201.
- Mertens, D. 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feed with refluxing in beaker or crucibles collaborative study. *Journal of AOAC International*. 85 (6):1217-1240.
- Mgheni DM, Kimambo AE, Sundstol F, Madsen J. 1994. The influence of urea supplementation or treatment of rice straw and fish meal supplementation on rumen environment and activity in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 49: 223-235.

- Milera, M., 2010. Los recursos forrajeros herbáceos y arbustivos en la alimentación de rumiantes para mitigar el cambio climático. VI Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. Multiplicación de los sistemas agroforestales y silvopastoriles para la adaptación y mitigación del cambio climático en territorios ganaderos. (Ibrahim, M., E. Murgueitio, Eds.). CATIE-CIPAV. Turrialba, C.R., 45 pp.
- Moharrery, A. 2007. The determination of buffering capacity of some ruminant's feedstuffs and their cumulative effects on TMR ration. American J. Anim. Vet. Sci. 2:72-78.
- Monteils, V., Rey, M., Silberberg, M., Cauquil, L. and Combes, S. 2012. Modification of activities of the ruminal ecosystem and its bacterial and protozoan composition during repeated dietary changes in cows. J. Anim. Sci. 90: 4431.
- Montenegro, L, Espinoza, I, Sánchez, A, Barba, C, García, A, Requena, F, & Martínez, A 2018, 'Composición química y cinética de degradación ruminal *in vitro* del ensilado de pasto saboya (*Megathyrus maximus*) con inclusión de residuos de frutas tropicales', *Revista Científica FVC-LUZ*, vol. XXVIII, nº 4, pp. 306-312.
- Monterola, H.; Cerda, D. y Mira, J. 1999. Los residuos agrícolas y su uso en la alimentación de rumiantes. Fundación para la Innovación Agraria (FIA). Chile. 221pp.
- Mora-Castro, N.A. 2006. Evaluación de *Macrocystis pyrifera* como complemento alimenticio para ganado caprino. Trabajo Fin de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. México. 75p.
- Morales-Cerezo, M. 2011. Inventario de subproductos de origen vegetal susceptibles de uso en alimentación animal mediante ensilado. Trabajo Fin de Master. Universidad de Córdoba. España. 77 pp.
- Morales-Velasco, S., Vivas-Quila, N. & Terán-Gómez, V.F. 2016. Ganadería ecoeficiente y la adaptación al cambio climático. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 14(1): 135-144. DOI:10.18684/BSAA (14)135-144.
- Moreno, R., Pinos, R., González, S., Álvarez, G., García, J-. Mendoza, G. y Bárcena, R. 2007. Efecto de enzimas fibrolíticas exógenas en la degradación ruminal *in vitro* de dietas para vacas lecheras. Interciencia 32: 850-853.
- Muck, R.E. 2010. Silage microbiology and its control through additives. Revista Brasileira de Zootecnia 39 (Suplemento especial):183-191.

- Muhammad, LR, Baba, M, Mustapha, A, Ahmad MY, Abdurrahman LS. 2008. Use Legumes in the improvement of silage quality of Columbus grass (*Sorghum almum* Parodi). Res. J. Anim. Sci. 2: 109-112.
- Muñoz, F. 2011. Producción, valor nutricional y aprovechamiento del rastrojo de maíces nativos en la región de Libres-Serdán, Puebla, México. Tesis de maestría, Colegio de Postgraduados de México, consultado 5 abril 2020, <http://www.biblio.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/602>.
- Muñoz-Orozco A. 1987. Resistencia a factores adversos y mejoramiento de los patrones etnofitogenéticos de la mixteca Tomo II. En: Muñoz-Orozco A, Dimas-Chávez B editores. Cómo aumentar la producción agropecuaria y forestal en la región Mixteca Oaxaqueña. Tiltepec, Oaxaca, México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Gobierno del estado de Oaxaca, Colegio de Postgraduado: 537-548.
- Muñoz-Tlahuiz, F.; Guerrero-Rodríguez J.; López, P. A.; Gil-Muñoz A.; López-Sánchez H.; Ortiz-Torres, E.; J. Hernández-Guzmán A.; Taboada-Gaytán O.; Vargas-López, S. y Valadez-Ramírez, M. 2013. Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 4(4), 515-530.
- Muro Reyes, A., Arzola Álvarez, C., Rodríguez Muela, C., Corral Luna, A., Gutiérrez-Bañuelos, H., Herrera Torres, E., Gutiérrez Piña, F. J., Espinoza Canales, A. 2017. Cinética de degradación ruminal *in vitro* de dietas con manzarina y rastrojo de maíz en ovinos. *Acta Universitaria*, 27(2), 17-23. doi: 10.15174/au.2017.1200
- Nkosi, BD, Meeske, R, Palic, D, Langa, T, Leeuw, KJ, & Groenewald, I.B. 2009. Effects of ensiling whole crop maize with bacterial inoculants on the fermentation, aerobic stability, and growth performance of lambs. *Animal Feed Science Technology*, vol. 154, nº 3-4, pp. 193–203
- Nkosi, B, Meeskeb, R., Langaa, T., Motianga, M., Mutavhatsindia, T., Thomasa, R., Groenewaldc, I. and Baloyid, J. 2015. The influence of ensiling potato hash waste with enzyme/bacterial inoculant mixtures on the fermentation characteristics, aerobic stability and nutrient digestion of the resultant silages by rams. *Small Ruminant Research* 127 (2015) 28–35.
- Nkosi, B., Meeske, R., Langa T. and Thomas. R. 2011. Effects of bacterial silage inoculants on whole-crop maize silage fermentation and silage digestibility in rams. *S. Afr. j. anim. sci.* [revista en la Internet]. 2011. [citado 2014 Mar 25]; 41(4): 350-359. Disponible en: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S03751589201100040005&lng=es. [Consultado: 11 enero 2020].

- Nocek, J. E. 1988. *In situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. *Journal of Dairy Science*, Vol. 71 (8): 2051-2069
- Nolan, JV, Dobos, RC. 2005. Nitrogen Transactions in Ruminants. In: Dijkstra J, Forbes JM, France J (eds.) *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*, 2nd edition. CABI Publishing. p. 177-207.
- Noriega, A., Silva, R. y García, M. 2008. Utilización de la pulpa de café en la alimentación animal. *Revista Zootecnia tropical*. 26(4): 411-419.
- NRC. 2001. National Research Council. The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition. National Academy Press, Washington. 381 p.
- Núñez, D. W. 2012. Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta. *Tecnura*, 16, 142-156.
- Núñez G, Contreras EF, Contreras R. 2003. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Tec. Pec. Mex.* 41: 37-48.
- Ojeda, F. y Díaz, D. 1991. Ensilaje de gramíneas y leguminosas para la producción de leche. I. *Panicum maximum* cv. Likoni y *Lablab purpureus* cv. Rongai. *Pastos y Forrajes* (14):175-184.
- Ørskov, E. R. 2002. Trails and trails in Livestock Research. Aberdeen. Garamond. p.204
- Ørskov, E., Hovell, F. y Mould, F. 1980. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para la valuación de los alimentos. *Producción animal tropical*. 5 (3), 213-233.
- Ørskov, E, & McDonald, J 1979, 'The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage', *Journal of Agricultural Science*, vol. 92, pp. 499-504.
- Oude, S., Driehuis, F., Gottschal, J., & Spoelstra, S. 2001. Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación. En FAO, & L. 't Mannelje (Ed.), *Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos* (págs. 17-31). FAO.
- Ozkose, E., Akyol, I., Kar, B., Comlekcioglu, U. and Ekinci, M.S. 2009. Expression of fungal cellulose gene in *Lactococcus lactis* to construct novel recombinant silage inoculants. *Folia Microbiol.* 54, 335-342.
- Pardo, G, Martín-García, I, Arco, A, Yañez-Ruiz, D, Moral, R, & Del Prado, A 2016. 'Greenhouse-gas mitigation potential of agro-industrial by-products in the diet of dairy goats in Spain: a life-cycle perspective', *Animal Production Science*, vol. 56, nº 3, pp. 646-654.

- Pederacen, J., Milton, T., and Mass, R. 2000. A Twelve-Hour In vitro Procedure for Sorghum Grain Feed Quality Assessment. *Crop Science*, 40, 204-208.
- Peña, A., Nuñez, G. y González, F. 2003. Importancia de la planta y el elote en poblaciones de maíz para el mejoramiento genético de la calidad forrajera. *Tec. Pec. Méx.* 41: 63-74.
- Pereira, L, Gonçalves, L, Tomich, T, Borges, I, & Rodríguez, N 2005. `Silos experimentais para avaliação da silagem de três genótipos de girasol (*Helianthus annuus* L.)', *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, vol. 57, nº 5, pp. 690-696.
- Phipps, R.; Weller, R.; Elliot, J. y Sutton, D. 1988. The effect of level and type of concentrate and type of conserved forage on dry matter intake and milk production of lactating dairy cows. *J. Agric. Sci* 56, 57-67.
- Pino, J., González, S., Mendoza, G., García, J., Miranda, L., De La Cruz, G. y De Lerma V. 2005 Efecto de enzimas fibrolíticas exógenas en la degradación *in vitro* de ingredientes alimenticios y en la producción de leche de vacas Holstein. *Interciencia* 30: 752-757.
- Pino, J., González, S., Mendoza, G., Bárcena, R., Cobos, M., Hernández, A y Ortega, M. 2000. Effect of exogenous fibrolytic enzymes on ruminal fermentation and digestibility of alfalfa and rye grass hay fed to lambs. *J. Anim. Sci.* 80: 3016-3021.
- PND, Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una vida. 2020. <https://www.planificacion.gob.ec/plan-nacional-de-desarrollo-2017-2021-toda-una-vida/>
- Ponce-Quispe, W. y Merlo-Maydana, F.E. 2020. Degradabilidad in situ de la dieta seleccionada por la llama (*Lama glama*). *Revista Alfa* 4(11):135-156
- Ramírez, G. R., Aguilera-González, J. C., García-Díaz, G. and Núñez-González, A. M. 2007 Effect of urea treatment on chemical composition and digestión of *Cenchrus ciliaris* and *Cynodon dactylon* hays and *Zea mays* residues. *J. Animal Veterinary Advances*. 6:1036-1041.
- Ramirez, J.L., Zambrano-Burgos, D.A., Campuzano, Y., Verdecia-Acosta, D.M., Chacón-Marcheco, E., Arceo-Benítez, Y., Labrada-Ching, J. & Uvidia-Cabadiana, H. 2017. El clima y su influencia en la producción de pastos. *Revista Electrónica de Veterinaria (REDVET)*. 18(6). ISSN: 1695-7504. Available: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n060617/061701.pdf>. [Consulted: October 10, 2019].
- Ramírez, A. M. y Volke, H. V. 1999. Estratificación del potencial productivo del maíz en la región oriente del estado de Tlaxcala. *Terra*, 17, 131-138.

- Rangel, J., Espinosa, J.A.; De Pablos-Heredero, C., Rivas, J., Perea, J. Angón, E., García, A. 2017. Is the increase of scale in the tropis a pathway to smallholders? Dimensional and ecological zone effect onf the mixed crop-livestock farms. Spanish Journal of Agricultura Research, vol. 15(2):1-10
- Rangel, J., Perea, J., De Pablos-Heredero, C., Espinosa, J.A.; Toro-Mújica, P.; Barba, C., García, A. 2020. Structural and Technological Characterization of Tropical Smallholder Farms of Dual-Purpose Cattle in Mexico. Animals, vol. 86, n 86, pp. 1-13
- Ranjit, N.K. and Kung, L. 2000. The effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum* or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. J. Dairy Sci. 83(3): 526-535.
- Red SICTA. 2010. Experiencia en la producción de semilla certificada de maíz híbrido de la Asociación de Productores Nueva Esperanza. Municipio de Ixcán, departamento de Quiché, Guatemala. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/B3214e/B3214e.pdf>. [Consultado: 16 febrero de 2020].
- Rendón, ME; Noguera, R y Posada, SL. 2013. Cinética de degradación ruminal del ensilaje de maíz con diferentes niveles de inclusión de vinaza. Rev. CES Med. Zootec. Vol. 8 (2): 42-51.
- Reyes-Muro, Luis; Camacho-Villa, Tania Carolina y Guevara-Hernández, Francisco. (Coords.). (2013). *Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Libro Técnico Núm. 7. Aguascalientes, México. 242 p.
- Rivas, J, Perea, J, De Pablos-Heredero, C, Angón, E, Barba, C, García, A 2019a, `Canonical correlation of technological innovation and performance in sheep's dairy farms: Selection of a set of indicators', *Agricultural Systems*, vol. 176, pp. 102665
- Rivas, J, Perea, J, De Pablos-Heredero, C, Morantes, M, Angón, E, Barba, C, García, A 2019b, `Role of technological innovation in livestock breeding programmes: a case of cereal-sheep system', *Italian Journal of Animal Science*, vol. 18, nº 1, pp. 1049-1057
- Roa, M.L. y Galeano, J.R. 2015. Calidad nutricional y digestibilidad in situ de ensilajes de cuatro leñosas forrajeras. Pastos y Forrajes, Vol. 38 (4): 431-440

- Roca, A.J.C., J.C. Vera, R.V. Guevara, A.R. del Toro, G.V. Guevara, F.Q. Lemoine, L.R. Curbelo, S.S. Soto. 2014. Influencia de *Prosopis juliflora*: en composición botánica del pastizal, producción de leche y conducta de vacas mestizas en pastoreo. *Rev. Prod. Anim.*, 26(1), 6 pp.
- Rodríguez, A., Durán, E., Anchondo, A., López, J. C., López, G. y Aguilar, M. (2010). El consumo de hongos comestibles en Chihuahua [en línea]. *Synthesis* 55. Universidad Autónoma de Chihuahua [Consulta: 22 de octubre de 2013]. Disponible en: <http://www.uach.mx/extension_y_difusion/synthesis/2011/06/01/el_consumo_dehongos_comestibles_en_chihuahua.pdf>.
- Román-Ponce H., Ortega-Reyes L. Hernández-Andrade L., Díaz-Aparicio E., Espinoza-García JA., Núñez-Hernández G., Vera-Ávila HR., Medina-Cruz M. y Ruiz-López F.J. 2009. Producción de leche de bovinos en el sistema de doble propósito. Veracruz, México: INIFAP.
- Romero, J.J., Zarate, M.A., Queiroz, O.C.M., Han, J.H., Shin, J.H., Staples, C.R., Brown, W.F. y Adesogan, A.T. 2013. Fibrolytic enzyme and ammonia application effects on the nutritive value, intake and digestion kinetics of bermudagrass hay in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 90:4345.
- Rosero, R. y Posada, S. 2007. Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. *Revista colombiana de Ciencias Pecuarias.* 20, 174-182.
- Rueda, J. A., Ortega, J. E., Hernández, G. A., Enríquez, Q. J. F., Guerrero, R. J. D. and Quero, C. A. R. 2016. Growth, yield, fiber content and lodging resistance in eight varieties of *Cenchrus purpureus* Morrone intended as energy crop. *Bio. Bioen.* 88 (1):59-65.
- Ruiz, B., Castillo, Y., Anchondo, A., Rodríguez, C., Beltrán, R., La O. y Payán J. 2009. Efectos de enzimas e inoculantes sobre la composición del ensilaje de maíz. *Archivos de Zootecnia.* 58(22):163-172.
- Sadras, V., Cassman, K., Grassini, P., Hall, A., Bastiaanssen, W., Laborte, A., Milne, E., Sileshi, G., Steduto. 2015. Yield gap analysis of field crops – methods and case studies. *FAO Water Reports* no. 41, Rome, Italy.
- SAGARPA. 2010. Estudio sobre la utilización de la paja de trigo [en línea]. Baja California, México. Secretaría de Fomento Agropecuario, junio de 2010 [Consulta: 22 de octubre de 2013]. Gobierno del estado de Baja California. Disponible en: <http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/biblioteca/Estudios/Agricolas/Paja-Trigo.pdf>. Coleman y Moore, 2002
- Salvador, S. 2001. Maíz. México. Disponible en: <http://www.chapingo.mx/bagebage/08.pdf>. [Consultado: 21 febrero de 2020].

- Sánchez-Acosta, E, Ortega-Cerrilla, ME, Mendoza-Martínez, G, Montañez-Valdez, OD, & Buntix-Dios, S.E. 2012. Rastrojo de maíz tratado con urea y metionina protegida en dietas para ovinos en crecimiento', *Interciencia*, vol. 37, n° 5, pp. 395-399.
- Sánchez-Laiño, A, Torres-Navarrete, E, Espinoza-Guerra, I, Montenegro-Vivas, L, Barba-Capote, C, & García-Martínez, A 2019, 'Valoración nutricional in situ de dietas con harina de maracuyá (*Passiflora edulis*) en sustitución del maíz (*Zea mays*)', *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, vol. 30, n° 1, pp 149-157
- Sánchez-Laiño, R; Torres-Navarrete, E; Estupiñan-Véliz, K; Vargas-Burgos, J; Sánchez-Torres, J; Sánchez-Vélez, N. 2015. Valoración nutritiva del rastrojo de *Zea mays* y *Oryza sativa* para la alimentación de ovinos en el trópico ecuatoriano. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*. 4(3): 235-249.
- Santos, MVF, Gómez-Castro, AG, Perea, JM, García, A, Guim, A & Pérez-Hernández, M 2010. Factores que afetam o valor nutritivo da silagens de forrageiras tropicais', *Archivos de Zootecnia*, vol. 59 (R), pp. 25-43.
- Santos, E.M.; Zanine, A.M.; Ferreira, D.J.; Oliveira, J.S.; Pereira, O.G.; Cecón, P.R.; Edvan, R.L.; Vasconcelos, W.A. 2009. Composição química e debradabilidade in situ da matéria seca de leguminosas no semi-árido baiano. *Archives of Veterinary Science*, v.14, n.2, p.96-102
- SAS. 2004. INSTITUTE INC. SAS/STAT 9.1 User's Guide, Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SENPLADES. 2013. Plan Nacional de Desarrollo / Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. Quito, Ecuador, 602 pp.
- Sevilla, R. 2017. Situación I+D del Cultivo de Maíz en Perú (Costa). Memorias de la XXII Reunión Latinoamericana del maíz Quevedo – Ecuador. ISSN 2528-7753.
- Sierra, M., Rodríguez, F. A., Palafox, A., Espinosa, A., Andrés, P., Gómez, N. O., y Valdivia-Bernal, R. 2016. Productividad de semilla y adopción del híbrido de maíz H-520, en el trópico de México. *ASyD*, 13, 19-32. Disponible en: <http://www.colpos.mx/asyd/volumen13/numero1/asd-14-022.pdf>. [Consultado: 15 enero de 2020].
- Simón, L., 2010. La tecnología de silvopastoreo. "AGRORED para la transferencia de tecnologías en ganadería vacuna" (2a ed.). Cuba, Habana: MINAGRI, 4 pp.

- Somarribas, M. 2007. Efecto de diferentes densidades de maíz y diferentes agotamientos del agua disponible en el suelo sobre la producción de forraje de maíz asociado con mucuna. Tesis de maestría. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 90 p.
- Sonder, K. 2017. Posible Impacto de Cambio Climático sobre Producción de Maíz en América Latina. Memorias de la XXII Reunión Latinoamericana del maíz. Quevedo – Ecuador. ISSN 2528-7753.
- Sosa, A.C. 2010. Efecto de *Aspergillus oryzae* como activador de la fermentación ruminal de *Pennisetum purpureum* en condiciones *in vitro*. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba. p. 45.
- Sosa, A.; Ayala, A.; Galindo, J.; Rosado, C.; Capetillo, C.; Valenciaga, D. y Méndez, M. 2018. Degradabilidad ruminal *in situ* de *Spartina spartinae*. Livestock Research for Rural Development, Vol. 31 (1);1-8
- Spanghero, M., Boccalon, S., Gracco, L., y Gruber, L. 2003. NDF degradability of hays measured *in situ* and *in vitro*. Animal Feed Science and Technology, 104, 201-208.
- Sotelo, E.; Acosta, L. y Alpuche, O. 2004. Evaluación de rastrojo de maíz, sorgo y aserrín de encino como sustrato para la producción de hongo comestible Shiitake (*Lentinula edodes*). Investigación Agropecuaria. Vol 1 (1): 35-38.
- Stanton, TL., Whittier, J. 2006. Urea and NPN for cattle and sheep. Fact Sheet N° 1608. Livestock series/Management. Colorado State University. United States. 3p.
- Tas, B.M., Tameel, H. Z., Smit, H. J., Elgerma, A., Dijkstra, J. and Tamminga, S. 2006. Rumen degradation characteristics of perennial ryegrass cultivars during the growing season. Journal Animal Science, 131:102-119.
- Tavares, V., Pinto, J., Evangelista, A., Figueiredo, H., y Ávila, C. 2009. Efeitos da compactação, da inclusão de aditivo absorvente e do emurhecimento na composição bromatológica de silagens de capim-tanzânia. Revista Brasileira de Zootecnia, 38(1), 40-49
- Terranova. 1995. Enciclopedia Agropecuaria. Tomos I y III. Santa Fe de Bogotá. Colombia. Terranova, editores. P. 109-112.
- Thomas, R., Nkosi, BD, Umesiobi, DO, Meeske, R., Kanengoni, AT, y Langa, T. 2013. Evaluation of potato hash two silage inoculants bacteria and their effects on the growth of fattening pigs. Sudafricana Journal of Animal Science, 40 (5), 488-490.
- Tilley J M and Terry R A. 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. Journal of British Grassland Society. 18: 104-111.

- Tirado-Estrada, G., Mejia-Haro, I., Cruz-Vázquez, C.R., Mendoza-Martínez, G.D. y Tirado-González, D.N. 2015. Degradación in situ y patrones de fermentación del rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) tratado con enzimas exógenas en vacas Holstein. *Interciencia*. 40(10):716-721.
- Tobia, C.; Sequera, C.; Villalobos, E.; Cioffi, R.; Escobar, O. 2008. Experiencias en la elaboración de silaje de Maíz – Soya en dos sistemas de producción bovina en Venezuela. En XI Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal. Disponible en <https://agronotas.wordpress.com/2008/05/29/ensilajedemaizsoya/>.
- Tollenaar, M., Deen W., Echarte, L. and Liu, W. 2006. Effect of crowding stress on dry matter accumulation and harvest index in maize. *Agron. J.*; 98: 930-937.
- Torres, B.; Vasseur, L.; López, R.; Lozano, P.; García, Y.; Arteaga, Y.; Bravo, C.; Barba, C.; García, A. 2019. Structure and above ground biomass along an elevation small-scale gradient: case study in an Evergreen Andean Amazon forest, Ecuador. *Agroforestry Systems*, Vol. 94: 235–1245
- Torres, G, Arbaiza, T, Carcelén, F, & Lucas, O. 2009. Comparación de las técnicas *in situ*, *in vitro* y enzimática (celulasa) para estimar la digestibilidad de forrajes en ovinos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, vol. 20, n° 1, pp 5-9
- Torres, Y, García, A, Rivas, J, Perea, J, Angón, E, De-Pablos-Heredero, C. 2015. Socioeconomic and productive characterization of dual-purpose farms oriented to milk production in a tropical region of Ecuador. The case of the province of Manabí, *Revista Científica FVC-LUZ*, vol. XXV, n° 25, pp. 330–337.
- Torriente, R.Z., V.R. Mauri, G.V. Guevara. 2013. Análisis de sostenibilidad de una finca pequeña con integración ganadería-agricultura. *Rev. Prod. Anim.*, 25(2), 9 pp.
- Trujillo, G. 2010. Guía para la utilización de recursos forrajeros tropicales para la alimentación de bovinos: SENA-Comité de Ganaderos de Huila. Fondo Ganadero de Huila.
- Tuen AA, Dahan MM, Young BA, Vijchulata P. 1991. Intake and digestion of urea-treated, urea-supplemented and untreated rice straw by goats. *Anim. Feed Technol.* 32: 333-341.
- Unión Europea (UE), 2012. Reglamento de ejecución (UE) n° 839/2012 de la Comisión, de 18 de septiembre de 2012 relativo a la autorización de la urea como aditivo en piensos para rumiantes. Diario Oficial de la Unión Europea. L 252/11, fecha 19.9.2012

- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., & Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral fiber and no starch polysaccharides in relation to nutrition', *Journal Dairy Science*, vol.74, nº 10, pp. 3583-3597.
- Vargas, C.F. 2005. Valoración nutricional y degradabilidad ruminal de genotipos de sorgo forrajero (*Sorghum sp*). *Agronomía mesoamericana*, vol. 16 (2): 215-223.
- Vargas, J.C.; Benítez, D.; Torres, V.; Ríos, S.; Soria, S.; Navarrete, H. y Pérez, M. 2014. Tipificación de los sistemas de producción ganaderos en la provincia Pastaza. Informe de resultado del proyecto: Tipificación de los sistemas de producción ganaderos en la provincia Pastaza. Modelo de gestión. Universidad Estatal Amazónica. Puyo. 81 pp.
- Villa, A. F., Meléndez, A.P., Carulla, J.E., Pabón, M.L. y Cárdenas, E.A. 2010. Estudio microbiológico y calidad nutricional del ensilaje de maíz en dos ecorregiones de Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 23(1): 65-77.
- Villalba, D.K., Holguin, V.A., Acuña J.A. y Piñero-Varon, R. 2011. Calidad bromatológica y organoléptica de ensilajes de residuos orgánicos del sistema de producción café-musáceas. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. 4(1):47-52.
- Viveros, C., Gil, A., López, P., Ramírez, B., Guerrero, D. y Cruz, A. 2010. Patrones de utilización de maíz en unidades de producción familiar del valle de Puebla, México. *Trop Subtrop Agroecosyst*;12: 447-461.
- Ward, SM, Holden, NM, White, EP, & Oldfield, TL 2016, 'The "Circular Economy" applied to the agriculture (livestock production) sector – Discussion paper', in *Workshop on the Sustainability of the EU's Livestock Production Systems Hosted*, DG Agriculture and Rural Development, European Commission, Brussels, Belgium
- WASDE. 2018. World Agricultural Supply and Demand Estimates USDA, Nº 578, junio 2018.
- Villarreal-Molina, O.; De-Pablos-Heredero, C.; Barba, C.; Rangel, J.; García, A. 2021. The Importance of Network Position in the Diffusion of Agricultural Innovations in Smallholders of Dual-Purpose Cattle in Mexico. *Land*, Vol. 10(401):1114. doi.org/10.3390/land10040401
- Wilman, D. and Adesogan, A. 2000. A comparison of filter bag methods with conventional tube methods of determining the *in vitro* digestibility of forages. *Animal Feed Science and Technology*, 84, 33-47.
- Wing Ching, R. y Rojas, A. 2006. Composición Nutricional y Características Fermentativas del ensilaje de Maní Forrajero. *Agronomía Costarricense*: 30 (1):87-100.

- Wortmann et al. 2012. Wortmann, C., Klein, R. N. and Shapiro, C. A. (2012). Harvesting crop residues [en línea]. [Consulta: septiembre de 2020]. Disponible en: <<http://www.ianrpubs.unl.edu/live/g1846/build/g1846.pdf>>.
- Yang, W., Beauchemin, K. and Rode, L. 2000. A comparison of methods of adding fibrolytic enzymes to lactating cow diets. *J. Dairy Sci.* 83:2512-2520.
- Yang, W., Beauchemin, K. and Vedres, D. 2002. Effects of pH and fibrolytic enzymes on digestibility, bacterial protein synthesis, and fermentation in continuous culture. *Anim. Feed Sci. Technol.* 102: 137-151.
- Yescas-Yescas, R.; Bárcena-Gama, R.; Mendoza-Martínez, G.; González-Muñoz S.; Cobos-Peralta M. y Ortega, C. M. 2004. Digestibilidad *in situ* de dietas con rastrojo de maíz o paja de avena con enzimas fibrolíticas. *Agrociencia*, 38, 23-31.
- Yitbarek MB., Tamir B. 2014. Silage Additives: Review. *Open Journal of Applied Sciences* 4: 258-274.
- Yunus, M., Ohba, N., Shimojo, M., Furuse, M., Masuda. 2000. Effects of adding urea and molasses on Napiergrass silage quality. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 13(11): 1542 – 1547.
- Zea, J.L.; Osorio, M. y Bolaños, J. 1997. Uso de rastrojo de maíz como cobertura superficial y sus implicaciones en la economía del nitrógeno en el cultivo del maíz. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 8(2): 85-89. 1997
- Zetina, R., Trinidad, A., Oropeza, J.L., Volke, V. y Landois, L.L. 2005. Relación bases intercambiables–rendimiento de maíz en un cambisol dístrico con labranza, encalado y abono verde. *Terra Latinoamericana*, 23, 389-397.