

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA**



**“PRESERVANTES PARA REDUCIR LAS PÉRDIDAS  
NUTRICIONALES EN ENSILADOS Y HENOS”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL  
TÍTULO DE ING. ZOOTECNISTA**

**JUAN JOSÉ ROMERO GÓMEZ**

**La Molina – Perú  
2022**

---














**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación**

**(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

## Document Information

Analyzed document	TESIS_TSP_ J Romero Última versión 26-01-23.docx (D159166134)
Submitted	2023-02-21 13:59:00
Submitted by	Carlos Gomez Bravo
Submitter email	cagomez@lamolina.edu.pe
Similarity	5%
Analysis address	cagomez.unalm@analysis.orkund.com

## Sources included in the report

<b>SA</b>	<b>DT- Putumayo-V3-29-07-22.pdf</b> Document DT- Putumayo-V3-29-07-22.pdf (D143585837)	 16
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.mdpi.com/2073-4395/8/9/164/htm">https://www.mdpi.com/2073-4395/8/9/164/htm</a> Fetched: 2021-04-02 19:26:25	 1
<b>SA</b>	<b>ING. JAVIER TINGO.docx</b> Document ING. JAVIER TINGO.docx (D78043876)	 3
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.researchgate.net/publication/324867628_Silage_review_Factors_affecting_dry_matter...">https://www.researchgate.net/publication/324867628_Silage_review_Factors_affecting_dry_matter...</a> Fetched: 2020-05-03 09:58:40	 11
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.researchgate.net/publication/365267874_Corn_silage_a_systematic_review_of_the_qual...">https://www.researchgate.net/publication/365267874_Corn_silage_a_systematic_review_of_the_qual...</a> Fetched: 2023-01-31 17:15:03	 4
<b>W</b>	URL: <a href="https://content.ces.ncsu.edu/forage-conservation-techniques-silage-and-haylage-production">https://content.ces.ncsu.edu/forage-conservation-techniques-silage-and-haylage-production</a> Fetched: 2019-11-30 13:24:29	 4
<b>W</b>	URL: <a href="https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16535180">https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16535180</a> Fetched: 2023-02-21 14:00:00	 3
<b>W</b>	URL: <a href="https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_efecto_del_tiempo_de_maduracion_sobre_la_calidad...">https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_efecto_del_tiempo_de_maduracion_sobre_la_calidad...</a> Fetched: 2020-01-16 18:32:55	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.mdpi.com/2311-5637/8/7/320">https://www.mdpi.com/2311-5637/8/7/320</a> Fetched: 2023-02-11 20:05:23	 4
<b>SA</b>	<b>JIMMY BERNARDO ROSADO LITARDO.pdf</b> Document JIMMY BERNARDO ROSADO LITARDO.pdf (D11288603)	 1
<b>SA</b>	<b>TESIS COMPLETA DE ZAMBRANO JORGE.docx</b> Document TESIS COMPLETA DE ZAMBRANO JORGE.docx (D10311185)	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://stud.epsilon.slu.se/5958/1/persson_a_130820.pdf">https://stud.epsilon.slu.se/5958/1/persson_a_130820.pdf</a> Fetched: 2019-09-30 12:32:55	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://journal.fi/afs/article/view/6711">https://journal.fi/afs/article/view/6711</a> Fetched: 2023-02-21 14:01:00	 1

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA  
FACULTAD DE ZOOTECNIA**

**“PRESERVANTES PARA REDUCIR LAS PÉRDIDAS  
NUTRICIONALES EN ENSILADOS Y HENOS”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL  
TÍTULO DE ING. ZOOTECNISTA**

Presentado por:

**JUAN JOSÉ ROMERO GÓMEZ**

---

Ph.D. María Helena Souza de Abreu  
Presidente

---

Mg.Sc. Víctor Hidalgo Lozano  
Miembro

---

Ing. Jorge Gamarra Bojórquez  
Miembro

---

Ph.D. Carlos Gómez Bravo  
Asesor

La Molina – Perú

2022

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de suficiencia profesional  
está dedicado a mi querida madre Luz  
R. Gomez Pando, mi padre Marino J.  
Romero Loli, mi esposa Zhengxin Ma,  
y mi hijo Elden I. Romero-Ma.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco el apoyo y la guía de mi asesor Carlos Gómez.

A la presidenta de mi comité María Abreu y de los miembros de mi comité Víctor Hidalgo y Jorge Gamarra.

También agradezco mucho el apoyo de mi madre Luz Gómez Pando y mi esposa Zhengxin Ma.

## ÍNDICE GENERAL

RESÚMEN .....	
ABSTRACT .....	
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo general .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1. Producción de forrajes y factores limitantes en el Perú .....	4
3.2. Conservación de cultivos forrajeros .....	9
3.2.1. Ensilaje .....	10
3.2.2. Henificación.....	22
IV. DESARROLLO DEL TRABAJO .....	32
4.1. Experiencia profesional .....	32
4.2. Trabajos sobre ensilaje.....	32
4.3. Trabajos sobre henificación .....	33
4.4. Trabajos adicionales con preservantes.....	35
V. METODOLOGÍA .....	37
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	38

6.1. La utilización de inoculantes para mitigar la pérdida de nutrientes en la producción de ensilados.....	38
6.1.1. Inoculantes basados solamente en bacterias de ácido láctico homofermentadoras obligatorias y heterofermentadoras facultativas.....	38
6.1.2. Inoculantes basados solamente en bacterias de ácido láctico heterofermentadoras obligatorias.....	41
6.1.3. Combinaciones de <i>L. buchneri</i> con BAL del tipo homofermentador obligatorio y heterofermentador facultativo.....	43
6.2. Preservantes para una producción óptima de heno.....	45
6.2.1. Efectos de los preservantes químicos.....	47
6.2.2. Efectos de los inoculantes microbianos.....	52
VII. CONCLUSIONES.....	54
VIII. RECOMENDACIONES.....	55
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Perú: Superficie cosechada de los principales cultivos forrajeros según región - 2019 (ha).....	6
Tabla 2. Recomendaciones para la cosecha de forrajes a ser ensilados.....	11
Tabla 3. Pérdidas de materia seca durante el almacenamiento en relación con la densidad del silo. ....	14
Tabla 4. Pérdidas de MS y energía bruta en algunas vías de fermentación del ensilaje.....	19



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso y consecuencias de la pudrición de henos embalados a una humedad mayor a 20-25 por ciento.....	26
Figura 2. Efecto de la dosis de aplicación del ácido propiónico en las pérdidas de MS. ....	47
Figura 3. Efecto de la humedad en las pérdidas de MS de henos tratados con otros ácidos orgánicos.....	48
Figura 4. Efecto del tipo de forraje sobre la eficacia del ácido propiónico en prevenir las pérdidas de MS.....	49
Figura 5. Efecto del tipo de preservante sobre el enmohecimiento visual relativo. ....	51
Figura 6. Efecto de la dosis de aplicación de preservantes en la temperatura máxima de pacas de leguminosas y mezclas de gramíneas y leguminosas. ....	52

## RESÚMEN

El objetivo general del presente manuscrito es delinear los avances más recientes en cuanto a la aplicación de preservantes que permiten la reducción de pérdidas nutricionales durante el almacenamiento y alimentación de ensilados y henos. Para ese cometido, primero se describió la realidad de la producción forrajera en el Perú, que es muy diversa por la gran cantidad de microclimas. Seguidamente, se describieron los factores que afectan la producción de ensilados y henos, y cada una de las fases que existen en la cadena productiva de los mismos, desde su cosecha hasta su consumo por el animal. Se dieron las recomendaciones más recientes para el uso de inoculantes en ensilados y preservantes químicos en henos. En el caso de los inoculantes para ensilados se hace énfasis en la reducción de pérdidas nutricionales durante la fase de alimentación en el caso de maíz, a través del uso de *Lactobacillus buchneri* para incrementar la producción de ácido acético a expensas del láctico. Para forrajes de alto valor proteico y de pectina, como las leguminosas, se recomienda el uso de inoculantes que priorizan una producción muy rápida y abundante de ácido láctico (*Lactobacillus plantarum* y *Pediococcus* spp.). En el caso de los preservantes químicos para henos que tuvieron que ser embalados entre 70-80 por ciento de materia seca, se recomienda el uso de ácido propionico y el propionato de amonio, con dosis más altas para las leguminosas vs. gramíneas. También se menciona la falta de eficacia de los inoculantes en el caso de los henos debido a la falta de humedad y las condiciones aerobias. En conclusión, para una selección y aplicación óptima de preservantes para henos y ensilados se deberán tener en cuenta factores críticos como el tipo de forraje, el manejo de este por parte del ganadero, entre otros.

**Palabras claves:** ensilado, heno, preservantes, cultivos forrajeros

## ABSTRACT

The general objective of this manuscript is to present the most recent advances in the application of preservatives that mitigate nutrient losses during the storage and feeding of silage and hay. For this purpose, the current situation of forage production in Peru was first described, which was found to be quite diverse due to the great variety of microclimates. Next, the factors affecting silage and hay production were described, including their production phases, from harvest to feeding. This document outlined the most recent recommendations about the use of inoculants for silage and chemical preservatives for hay. In the case of silage inoculants, there was an emphasis on reducing nutritional losses during the feeding phase of whole-crop corn by applying *Lactobacillus buchneri* to reach a higher production of acetic acid at the expense of lactic acid. For forages high in crude protein and pectin, such as legumes, the application of inoculants favoring a rapid and abundant production of lactic acid was recommended (*Lactobacillus plantarum* y *Pediococcus* spp.). In the case of hay baled between 70-80 percent of dry matter, the application of propionic acid or ammonium propionate was recommended, with higher doses for legumes relative to grasses. The lack of efficacy of current hay inoculants is discussed, including how moisture and aerobic conditions explain their failure. In conclusion, critical factors such as forage type, management, and others must be considered for the optimal selection and application of preservatives for hay and silage.

**Key words:** silage, hay, preservatives, forage crop

## I. INTRODUCCIÓN

La ganadería en el Perú es una actividad económica muy importante y que contribuye en forma significativa a la seguridad alimentaria. Se señala que el 2014, el Sector Agropecuario; que incluye actividades agrícolas, ganaderas, de caza y silvicultura contribuyó con el 5.3 por ciento del Producto Bruto Interno (PBI) nacional (MINAGRI, 2013) y según el BCR (2020) el año 2019 contribuyó con 5.6 por ciento al PBI. Según (Maletta, 2017) la producción agropecuaria se desarrolla en 53 microrregiones eco-geográficas y de las cuales 42 por ciento con actividades agrícolas, 28 por ciento con actividades pecuarias y el 30 por ciento con actividades agropecuarias o mixta.

La sostenibilidad productiva del ganado herbívoro depende de la disponibilidad de pasturas naturales, forrajes, residuos de cosecha y alimentos concentrados y las cuales varían de acuerdo a la región costa, sierra y selva. De acuerdo a las condiciones climáticas y a los sistemas de producción de pastos y forrajes existen una serie de factores que impactan negativamente en la disponibilidad de alimentos para el ganado herbívoro en cantidad y calidad y en forma oportuna. En líneas generales, la producción de las especies forrajeras en secano es fluctuante durante el año y se maximiza durante la temporada de lluvias y disminuye durante la temporada seca (Paytan *et al.*, 2017). La henificación y el ensilamiento son técnicas que ayudan a preservar los forrajes durante las épocas de alta productividad forrajera para poder satisfacer la demanda en la época de sequía (Arrige, 1982; Catchpoole & Henzell, 1971; Moore *et al.*, 2020). La henificación es una técnica que preserva los nutrientes del forraje bajo condiciones aerobias debido a que la humedad del forraje se reduce hasta 20 por ciento para pacas pequeñas y 15 por ciento para pacas de gran tamaño, evitando así cualquier actividad microbiana (Collins, 1995; Collins & Moore, 2017). Si el forraje es empacado a humedades mayores o no es almacenado correctamente, este terminara enmoheciéndose y pudriéndose (Coblentz *et al.*, 2020; Collins & Moore, 2017). En el caso del ensilaje, las condiciones anaeróbicas y una adecuada fermentación son críticas para el almacenamiento a largo plazo del ensilaje (Collins & Moore, 2017; Santos Pereira *et al.*, 2019). En el caso específico de los ensilados, la fase de alimentación es crítica ya que la cara

del silo deja de ser anaeróbica y permite que el proceso de pudrición ocurra si no se hace un manejo adecuado del silo (Arriola *et al.*, 2015; Molina *et al.*, 2004; Ogunade *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2016). Comparado al heno, los ensilados son muy difíciles de comercializar debido a su alta humedad y susceptibilidad bajo condiciones aerobias. El heno en cambio, puede ser fácilmente transportado en largas distancias para satisfacer la demanda en diversas partes del país.

Aunque no existan cifras para el Perú, se estima que las pérdidas por pudrición que ocurren durante la producción de henos y ensilados alcanzan los \$3,000 y 1,200 millones de dólares americanos en los EEUU, respectivamente (Ball *et al.*, 1998; Bolsen, 2014). Esta pudrición no solo resulta en una pérdida bruta de materia seca producida de hasta un 40 por ciento (Adesogan, 2014; Bolsen, 2014), sino también en una reducción del valor nutricional al disminuir la disponibilidad de componentes nutricionales de alta digestibilidad que terminan siendo metabolizados por microorganismos no deseados (Reyes *et al.*, 2020). En ese sentido, el proceso de pudrición también es una de las principales fuentes de patógenos que comprometen la productividad del ganado (Whitlock *et al.*, 2000) y la salubridad de productos animales como la leche y la carne (Vissers, 2009). No menos importante es también las emisiones de gases de invernadero que ocurren durante el proceso de pudrición de henos y ensilados y que contribuyen al impacto de operaciones ganaderas al calentamiento global (Malkina *et al.*, 2011).

Preservantes químicos como biológicos han sido desarrollados para poder enfrentar condiciones subóptimas durante la cosecha, almacenamiento, y alimentación de los forrajes conservados. En líneas generales, los henos tienen más pérdidas nutricionales durante la cosecha y el almacenamiento mientras que los ensilados durante el almacenamiento y la alimentación relativo a otras fases (Killerby, Reyes, *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2017). En el presente trabajo de investigación se hará una revisión de los avances más recientes en el manejo de preservantes para henos y ensilados para así maximizar su efectividad y abrir nuevas posibilidades productivas que puedan cubrir la demanda de forraje especialmente en las épocas de escasez. También se incluirá mis contribuciones profesionales a avances recientes en el manejo óptimo de ensilados y henos.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Contribuir a la sostenibilidad de la producción ganadera mediante el uso óptimo de preservantes de heno y ensilados, los cuales mejoran la conservación de los nutrientes del forraje desde su producción y almacenamiento hasta su consumo por el ganado.

### **2.2 Objetivos específicos**

1.- Revisar los avances más recientes en el uso adecuado de inoculantes para ensilados con el propósito de reducir las pérdidas nutricionales desde su producción y almacenamiento hasta su consumo por el ganado.

2.- Revisar los avances más recientes en el uso adecuado de preservantes para henos con el propósito de reducir las pérdidas nutricionales desde su producción y almacenamiento hasta su consumo por el ganado.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Producción de forrajes y factores limitantes en el Perú

En Perú existen aproximadamente 2.2 millones de productores ubicados en 53 microrregiones (Maletta, 2017) con una gran diversidad de microambientes que requieren estrategias de explotación específicas a su entorno y que en su vasta mayoría (96 por ciento) pueden ser clasificadas como del tipo agricultura familiar (Zegarra, 2020). Según Maletta (2017), el 42 por ciento de las granjas peruanas se dedican exclusivamente a la producción de cultivos, el 28 por ciento a la explotación pecuaria, y un 30 por ciento son del tipo mixto.

En el año 2019, la producción agrícola peruana destinada al mercado interno fue de 21.3 millones de toneladas métricas (TM) y de este total 51 por ciento corresponde a cultivos transitorios y 49 por ciento a cultivos permanentes entre los que destaca la alfalfa, empleada como forraje del ganado vacuno lechero (Castillo, 2021). En cuanto a la productividad pecuaria, la producción total alcanzó los 5.4 millones de TM, de los cuales 40 por ciento corresponde a aves, 9 por ciento a huevos, 40 por ciento a leche, 7 por ciento a vacunos y 4 por ciento a porcinos (Castillo, 2021). Según MIDAGRI (2022), en el año 2021 se reportó una población de 4,484,888 alpacas, 1,075,425 llamas, 1,754,968 caprinos, 1,094,309 ovinos, 4,853,660 porcinos, 5,858,660 vacunos y 932,318 vacunos de ordeño. La población de rumiantes y pseudo-rumiantes se sustenta con la producción de pastos y forrajes de diversa calidad y productividad en las diferentes regiones ganaderas del Perú. La ganadería tiene una gran importancia en diversificar los sistemas productivos rurales; especialmente el de la economía familiar rural, y en última instancia, en diversificar la economía del Perú. El ganado es una forma de ahorro familiar y de seguridad económica ante desastres causados por la naturaleza o por la inestabilidad política del país. Los recursos forrajeros son esenciales para la alimentación del ganado herbívoro, incluido los rumiantes, debido al requerimiento de estos animales por fibra forrajera para mantener una adecuada salud gastrointestinal.

En la Tabla 1 se presenta la superficie de forrajes sembradas en el Perú en la campaña del 2019 (MIDAGRI, 2022). Las regiones con mayores superficies sembradas con alfalfa (*Medicago sativa* L.) son Arequipa, Moquegua y Puno; con avena forrajera (*Avena sativa*

L.) son Puno, Cusco y Ayacucho; con *Brachiaria* (*Brachiaria* spp.) son Huánuco, Amazonas y San Martín; con cebada forrajera (*Hordeum vulgare* L.) son Puno, Cusco y Apurímac; maíz chala (*Zea mays* L.) principalmente en Arequipa, Lima y La Libertad; el pasto elefante (*Pennisetum purpureum* S.) en Amazonas, San Martín y Cajamarca; el ryegrass (*Lolium* spp.) en Cajamarca, Amazonas y Junín; y el trébol (*Trifolium* spp.) en Amazonas, Apurímac y Junín. Otros forrajes, de siembra más regional, incluyen la grama azul (*Festuca glauca* L.) en Amazonas; la grama chilena en Amazonas y Cajamarca, y el gramalote (*Brachiaria mutica* F.) en Amazonas y Cajamarca.

Según Silva (2020) el germoplasma forrajero promisorio adaptado en la Amazonía, dependiendo de la calidad de los suelos y ambientes, incluye: (a) gramíneas como: *Andropogon gayanus* cv San Martín, *Brachiaria decumbens* CIAT 606, *Brachiaria dictyoneura* CIAT 1633, *Brachiaria humidicola* CIAT 679, *Pennisetum purpureum* (pasto elefante), *Panicum maximum* (pasto castilla), *Cenchrus ciliaris* (pasto buffel), *Digitaria decumbens* (pasto pangola), *Cynodum dactylon* (pasto bermuda), *Cynodum plectostachyus* (pasto estrella), y *Brachiaria brizantha*, cv Marandu; (b) leguminosas como *Stylosanthes guyanensis* cv Pucallpa, *Centrocema pubescens* CIAT 438, *Centrocema macrocarpum* CIAT 5065, *Desmodium ovalifolium* CIAT 350 y *Pueraria phaseoloides* CIAT 9900, *Neonotonia wightii* (soya perenne), *Clitoria ternata* (clitoria), *Macroptilium atropurpureum* (siratro), y *Leucena leucocephala*. La producción es baja debido al mal manejo de los pastizales cultivados, la pobreza de los productores y la falta de asistencia técnica, el desconocimiento de tecnologías de manejo, y la estacionalidad.



1 **Tabla 1. Perú: Superficie cosechada de los principales cultivos forrajeros según región - 2019 (ha).**

<b>Región</b>	<b>Alfalfa</b>	<b>Avena forrajera</b>	<b>Cebada forrajera</b>	<b>Maíz chala</b>	<b>Brachiaria</b>	<b>Grama azul</b>	<b>Grama chilena</b>	<b>Gramalote</b>	<b>Ryegrass</b>	<b>Pasto elefante</b>	<b>Trébol</b>
<b>Nacional</b>	<b>6,848,049</b>	<b>107,084</b>	<b>19,031</b>	<b>36,159</b>	<b>11,647,416</b>	<b>439,413</b>	<b>585,180</b>	<b>808,017</b>	<b>1,965,168</b>	<b>2,838,647</b>	<b>502,572</b>
Amazonas	13,031	0	0	0	2,233,755	439,413	294,590	620,406	207,465	1,914,433	322,697
Áncash	244,177	0	0	583	0	0	0	0	0	0	0
Apurímac	151,561	794	539	0	0	0	0	0	88,135	127	117,614
Arequipa	2,525,365	350	447	15,313	0	0	0	0	1,179	0	0
Ayacucho	231,190	7,562	95	0	0	0	0	0	0	0	0
Cajamarca	169,918	591	0	131	0	0	290,590	187,611	1,390,627	267,010	2,806
Callao	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cusco	206,392	13,608	1,118	0	0	0	0	0	60,201	0	0
Huancavelica	210,029	1,112	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huánuco	24,460	1,027	0	345	4,570,999	0	0	0	9,575	0	5,867
Ica	131,676	0	0	182	0	0	0	0	0	0	0
Junín	135,339	5,345	433	0	123,313	0	0	0	202,821	93,787	47,475
La Libertad	231,099	1,417	68	3,211	0	0	0	0	0	10,480	5,190
Lambayeque	49,982	0	0	1,608	0	0	0	0	0	0	0
Lima	234,852	17	0	10,756	0	0	0	0	0	0	0

Región	Alfalfa	Avena forrajera	Cebada forrajera	Maíz chala	Brachiaria	Gramma azul	Gramma chilena	Gramalote	Ryegrass	Pasto elefante	Trébol
<b>Nacional</b>	<b>6,848,049</b>	<b>107,084</b>	<b>19,031</b>	<b>36,159</b>	<b>11,647,416</b>	<b>439,413</b>	<b>585,180</b>	<b>808,017</b>	<b>1,965,168</b>	<b>2,838,647</b>	<b>502,572</b>
Lima Metropolitana	752	0	0	1,404	0	0	0	0	0	108	0
Loreto	0	0	0	0	45,996	0	0	0	0	17,892	0
Madre de Dios	0	0	0	0	932,854	0	0	0	0	0	0
Moquegua	623,303	22	0	65	0	0	0	0	0	0	0
Pasco	3,484	197	0	0	955,700	0	0	0	5,165	0	923
Piura	4,844	0	0	0	0	0	0	0	0	75,958	0
Puno	1,420,434	75,010	16,331	0	0	0	0	0	0	0	0
San Martín	0	0	0	0	2,784,798	0	0	0	0	454,435	0
Tacna	236,162	32	0	2,562	0	0	0	0	0	0	0
Tumbes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,419	0

2 <sup>1</sup>Fuente: (MIDAGRI, 2022).

3 <sup>2</sup>Alfalfa (*Medicago sativa* L.), avena forrajera (*Avena sativa* L.), Brachiaria (*Brachiaria* spp.), cebada forrajera (*Hordeum vulgare* L.), maíz chala (*Zea mays* L.), ryegrass (*Lolium* spp.), grama azul (*Festuca glauca* L.), gramalote (*Brachiaria mutica* F.), pasto elefante (*Pennisetum purpureum* S.), trébol (*Trifolium* spp.).

En la zona andina la población ganadera se alimenta mayormente de pastizales naturales y cultivados mayormente conducidos en condiciones de secano y con baja tecnología por el escaso empleo de semillas certificadas de pastos. Son pocos los campos con asociaciones de gramíneas y leguminosas. En la sierra peruana el manejo forrajero es extensivo en su gran mayoría, caracterizándose con una explotación mixta de ganadería bovina en base a pastos naturales y cultivo de granos y tubérculos para consumo humano. En las dos grandes cuencas lecheras de la sierra peruana, Arequipa y Cajamarca, existe un manejo forrajero intensivo bajo irrigación donde se produce alfalfa y la asociación de ryegrass y trébol, respectivamente (Salazar, 2012). En zonas de secano la productividad de los pastizales es estacional y depende de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones, siendo las temporadas de alta productividad dependientes de las lluvias y de la ausencia de heladas (Silva, 2006; Vallejos, 2020). Especies nativas tolerantes a sequía y bajas temperaturas son las que predominan en estas áreas. En la costa peruana, la productividad forrajera está basada en el cultivo irrigado de alfalfa y maíz chala para la alimentación exclusiva de ganado estabulado (Salazar, 2012).

La productividad forrajera en el Perú es en gran medida afectada por: la irregularidad de las lluvias, la falta de fertilización y caleado, información limitada para la selección de las especies forrajeras más adecuadas para una área determinada, la falta de uso de semilla certificada, la labranza limitada de los campos durante la siembra, el sobrepastoreo durante las épocas de poca productividad y la falta de técnicas para la preservación de forrajes durante las épocas de alta productividad cuando el forraje está en el estadio de madurez más óptimo para cubrir los requerimientos nutricionales del ganado. Adicionalmente, la producción de alimentos para el ganado vacuno se ve afectada seriamente por el cambio climático debido al impacto negativo de temperaturas extremas, sequías, lluvias torrenciales y heladas que se presentan en forma impredecible y con periodos largos. Gómez (2009) utilizando herramientas de predicción, estimaron una reducción entre el 3 a 6 por ciento de la producción ganadera peruana, por el efecto negativo del cambio climático, dependiendo del tipo de sistema productivo y siendo mayor en los sistemas pastoriles.

Es importante señalar que la producción forrajera es típicamente insuficiente para mantener en niveles adecuados la productividad ganadera en muchas regiones del país, debido a que la producción de forraje principalmente se realiza en suelos de baja fertilidad y por ser dependiente de las precipitaciones, lo cual finalmente afecta de forma negativa la

sostenibilidad de la productividad ganadera (Núñez Delgado *et al.*, 2019). Idealmente, los productores deberían ser capaces de almacenar los nutrientes producidos por los forrajes en un estadio óptimo de madurez, durante la temporada de alta productividad, para así minimizar la compra de suplementos y poder maximizar la producción animal en base de forrajes (Artica, 2020; Vallejos, 2020). Por ejemplo, en EE. UU. la producción forrajera al este del río Mississippi también es dependiente de las lluvias y es limitada por las heladas, para lo cual se preserva el forraje de alta calidad que es producido en abundancia en la primavera para así sostener los requerimientos de forraje en la época seca (verano) y el invierno (heladas) (Baron & Bélanger, 2020). Los forrajes de corte pueden ser preservados para un consumo posterior al secarlos por debajo de 15-20 por ciento de humedad (henificación), o al sellarlos en condiciones anaerobias para estimular su fermentación (70-45 por ciento de humedad, ensilado.). A continuación, esta revisión presentara brevemente los principios para el manejo óptimo de ambas estrategias.

### **3.2. Conservación de cultivos forrajeros**

El concepto de almacenar rastrojos de cosecha para su uso como alimento forrajero en las temporadas de escasez es una práctica de antigua data en el Perú. Es común que productores de cereales de diversa índole almacenen la paja para la alimentación del ganado después de la cosecha de los granos destinados para la alimentación humana. Sin embargo, la calidad nutricional de los residuos de cosecha de cereales no es suficientes para cubrir ni siquiera los requerimientos para mantenimiento del ganado (Van Soest, 2006). Por otro lado, la conservación de cultivos forrajeros es muy limitada y generalmente se realiza solo en grandes explotaciones ganaderas en las cuencas lecheras importantes de Arequipa, Cajamarca y la costa peruana. Los cultivos forrajeros como las leguminosas y las gramíneas de zonas templadas si tienen la calidad nutricional para cubrir no solo los requerimientos de mantenimiento sino también mucho de lo requerido para producción, siempre y cuando sean cosechados en estadios óptimos de madurez (Cherney & Parsons, 2020). Además, gramíneas anuales de zonas tropicales como el maíz y el sorgo llegan a producir una cantidad significativa de almidón que, si cosechados en un estadio óptimo, resultan en una fuente económica de energía para el animal (Cherney & Parsons, 2020).

En líneas generales se recomienda la conservación como heno en lugares donde es fácil secar el forraje (por lo menos 5 d sin lluvia) (Rotz *et al.*, 2020) y como ensilado cuando el clima

no permite la producción de heno, especialmente si se piensa vender forraje (Coblentz, 2020). Adicionalmente, la especie de forraje tiene un factor determinante en el tipo de conservación. Por ejemplo, el maíz y el sorgo forrajero deben ser ensilados porque sus tallos gruesos imposibilitan el secado cuando son cosechados en su estadio óptimo (30-35 por ciento de MS) (Muck *et al.*, 2020).

### **3.2.1. Ensilaje**

Es una forma de conservación de forrajes que es especialmente útil en climas húmedos con lluvias frecuentes durante las épocas de cosecha. Se basa en el almacenamiento anaerobio, a una humedad del forraje de al menos 45 por ciento en la cual se puede sostener la fermentación de nutrientes, especialmente azúcares, por bacterias del ácido láctico (**BAL**) que resultan en la producción de ácido láctico, acético, entre otros (Muck *et al.*, 2020). La anaerobiosis y la acidez detienen el crecimiento de microbios indeseables como las levaduras, mohos, clostridios, coliformes, actino bacterias y bacilos (McAllister *et al.*, 2018).

#### **3.2.1.1. Factores que afectan la producción de ensilados**

Los factores que determinan la calidad del ensilado son: el tipo de forraje y su madurez, la concentración de MS, la altura de corte, el tamaño de picado, el estadio de madurez, la concentración de humedad, la densidad del silo, la exclusión del oxígeno, y el tipo de silo a ser usado.

#### **El tipo de forraje y su madurez**

Cultivos forrajeros con una alta concentración de carbohidratos solubles en agua (azúcares), baja capacidad buffer y una concentración de humedad menor al 80 por ciento al momento del corte son ideales para ser ensilados. Por estas razones, las gramíneas son más fáciles que ensilar que las leguminosas y entre las gramíneas perennes las que son de clima templado (C<sub>3</sub>) se ensilan mejor que las tropicales (C<sub>4</sub>) debido a que las últimas tienen una concentración de azúcares más baja. Las gramíneas anuales tropicales como el maíz y el sorgo son las que son más fáciles de ensilar debido a su alta concentración de azúcares y baja capacidad buffer (Muck & Kung Jr, 2007).

Es de suma importancia cosechar el forraje en un estadio de madurez que satisfaga los requerimientos de calidad nutricional, producción de MS por hectárea, o una combinación de ambas (ej. producción de MS digestible por hectárea), dependiendo de los objetivos de la

operación ganadera (Adesogan & Newman, 2014). En ese sentido, recomendaciones para el estadio óptimo de cosecha para muchas especies forrajeras se presentan en la Tabla 2 (Romero *et al.*, 2015).

**Tabla 2. Recomendaciones para la cosecha de forrajes a ser ensilados.<sup>1</sup>**

<b>Forraje</b>	<b>Estadio de cosecha</b>	<b>MS al corte (%)</b>	<b>MS al ensilar (%)</b>
Alfalfa	Brote - 10 por ciento de floración	15 - 30	Secar a 35-50 % MS
Gramíneas perennes de clima templado (C <sub>3</sub> )	Bota o buche a espigado	15 - 30	Secar a 35-50 % MS
Bermudagrass (C <sub>4</sub> perenne)	1 <sup>er</sup> corte: Pre-espigado (Altura 30 – 38 cm); cortes adicionales: cada 4 - 5 semanas	18 - 30	Secar a 40-50 % MS
Maíz entero	1/4 - 2/3 grano en leche	30 - 35	Corte directo
Sorgo forrajero y sorgo×sudangrass	Grano pastoso suave	30 - 35	Corte directo
Cereales menores	Bota a grano en estado pastoso suave	20 - 30	Secar a 35-45 % MS

<sup>1</sup> Fuente: Adaptado de Romero *et al.* (2015).

### **Materia seca al ensilar**

Un aspecto esencial para la producción de ensilados es el porcentaje de MS del forraje al almacenamiento. Recomendaciones para diversos tipos de forrajes se encuentran en la Tabla 2. Es contraproducente ensilar forraje con una MS < 30 por ciento por las pérdidas por efluentes y porque la alta humedad favorece la proliferación de bacterias indeseables como los clostridios y coliformes que pueden generar serias enfermedades en el ganado (Borreani *et al.*, 2018). En la Tabla 2 se puede apreciar que la mayoría de las especies forrajeras tienen que ser parcialmente secadas en el campo después del corte a una MS > 35 por ciento porque son demasiado húmedas en un inicio. Esto puede tomar una cuestión de horas a un día en un clima soleado libre de lluvias. Es importante considerar el clima antes de iniciar una cosecha

ya que una lluvia inesperada durante este periodo de secado resulta en pérdidas catastróficas de nutrientes solubles (Scarborough *et al.*, 2004). Sin embargo, muchos de los forrajes anuales C<sub>4</sub> como el maíz y el sorgo pueden ser picados y almacenados directamente después del corte porque en su estadio más óptimo tienen una MS > 30 por ciento de MS (Allen *et al.*, 2003).

Es pertinente mencionar que a medida que el forraje se seca en mayor medida antes del almacenamiento menos acidez es necesaria para inhibir a las bacterias coliformes y clostridios ya que estas son más sensitivas a la falta de agua comparadas con las bacterias del ácido láctico (McAllister *et al.*, 2018). Esto explica en parte porque los henolajes (45-55 por ciento de MS) (Coblentz & Akins, 2018) son una excelente alternativa de almacenamiento para ensilados de leguminosas y gramíneas perennes (Crook *et al.*, 2020).

### **Altura de corte**

Este factor es importante para una cosecha óptima sin afectar la permanencia de la pastura, si se están cosechando especies forrajeras del tipo perenne (Coblentz, 2020). Para alfalfa y cereales menores se recomienda de 5–10 cm, gramíneas C<sub>3</sub> perennes 7-10 cm, bermudagrass 5-8 cm, y para maíz 15-20 cm (Romero *et al.*, 2013). Aumentar la altura de corte aumenta la digestibilidad, pero disminuye la producción por hectárea (Cherney & Cherney, 2005). En el caso de gramíneas anuales C<sub>4</sub>, elevar la altura de corte también ayuda a reducir la toxicidad por nitratos cuando hay sequía o heladas (Hancock, 2010).

### **Tamaño de picado**

A medida que el tamaño de picado se reduce, la compactación del silo es más fácil (Addah *et al.*, 2014). Sin embargo, es igualmente importante el requerimiento de fibra efectiva para la rumia del ganado rumiante y así evitar problemas como la acidosis, la cojera, el desplazamiento de abomaso, y una baja concentración de grasa en leche (McAllister *et al.*, 2020). Las cosechadoras de forraje deben ser calibradas para alcanzar los tamaños de corte requeridos por el ganadero siguiendo el concepto de la longitud teórica de corte. Este es definido como el recorrido (en cm) de los rodillos alimentadores por cada corte realizado por el cabezal de corte (contacto de una cuchilla con la barra de corte). La longitud teórica de corte puede ser ajustada regulando el número de revoluciones de los rodillos alimentadores y el número de cuchillas en el cabezal de corte (Shinners, 2003). Se recomienda calibrar la picadora para una longitud teórica de corte de 1-1.3 cm para

gramíneas perennes, cereales menores, leguminosas, y maíz sin granos. Cuando la cosechadora tiene un procesador de granos, la longitud teórica de corte para maíz deberá ser de 1.9 cm, siempre y cuando el maíz a cosechar tenga menos de 70 por ciento de humedad (Muck *et al.*, 2020). Se recomienda un afilado frecuente de las cuchillas y un mantenimiento adecuado del ángulo recto de la barra de corte para un picado óptimo, entre otros factores de índole mecánico. Como el concepto de longitud teórica de corte es dependiente de un adecuado mantenimiento y entendimiento de la mecánica de la picadora, siempre se deberá verificar que el tamaño de picado real es adecuado para la rumia utilizando, por ejemplo, el separador de partículas de Pennsylvania State University (Heinrichs & Kononoff, 2013).

### **La densidad del silo**

Este factor depende de la intensidad de compactación, la MS del forraje y el tamaño del picado. A mayor densidad, el silo será menos poroso, y por lo tanto, habrá una menor presencia de oxígeno (Savoie & Jofriet, 2003). Por consiguiente, una mayor densidad favorece no solo una mayor fermentación y menor respiración residual por parte de la planta y microorganismos indeseables, pero también asegura que la fermentación comience en menos de un día desde el sellado del silo, que es lo ideal para evitar pérdidas de nutrientes (Borreani *et al.*, 2018). Silos que exceden los niveles de MS sugeridos en la Tabla 2, serán difíciles de compactar y por lo tanto más porosos. Sin embargo, silos que son compactados a una MS < 30 por ciento tendrán muchas pérdidas por efluentes a medida que la densidad de compactación aumente (Savoie & Jofriet, 2003). Para silos tipo pila, bunker, y bolsa se recomienda densidades de por lo menos 224 kg de MS por metro cúbico, siendo lo más ideal llegar a 320 (Muck *et al.*, 2020). La Tabla 3 muestra las pérdidas de MS durante almacenamiento que se pueden esperar en función a la densidad del ensilado (Holmes & Muck, 2008). Adicionalmente, plantillas de cálculo han sido desarrolladas por el USDA y la Universidad de Wisconsin-Madison (Holmes & Muck, 2007) para estimar la densidad de un silo (tipo pila y bunker) en base a las dimensiones del silo, la tasa de llenado, la MS del forraje, y el grosor de las capas esparcidas a medida que se llena el silo.



**Tabla 3. Pérdidas de materia seca durante el almacenamiento en relación con la densidad del silo.<sup>1</sup>**

Densidad de Materia Seca (kg de MS/ m <sup>3</sup> )	Perdida de Materia Seca, 180 días (por ciento)
160	20.2
224	16.8
240	15.9
256	15.1
288	13.4
352	10.0

<sup>1</sup> Fuente: Adaptado de Holmes and Muck (2008)

### **La exclusión de oxígeno**

Un sellado adecuado es esencial para mantener las condiciones anaeróbicas del silo. En el caso de silos tipo pila y bunker se recomienda usar un plástico resistente a la radiación ultravioleta con un grosor de al menos 5 mm, con una cara de color blanco que estará expuesto a la intemperie y una cara oscura que estará en contacto con el silo (Savoie & Jofriet, 2003). Es esencial que el plástico este fijado muy bien a la superficie del silo con pesos, para que así el aire no ingrese fácilmente entre el espacio existente entre el plástico y el forraje (Grant & Ferraretto, 2018). Los pesos generalmente son llantas cortadas o bolsas de arena, en el caso de la primera se recomienda que las llantas se toquen unas a otras. Plásticos impermeables al oxígeno también son usados como una capa adicional que va por debajo de la tradicional o que ya vienen incorporados como una sola capa con opciones resistentes a los rayos UV. Esta tecnología es especialmente útil para reducir pérdidas en la superficie de los silos (Borreani *et al.*, 2014). Si por alguna razón llueve durante el llenado del silo, se recomienda tapar el forraje con plástico para evitar un lavaje de los nutrientes antes de resumir el proceso de llenado y sellado.

### **Temperatura**

Si el ensilado ha sido rápidamente compactado y sellado, la temperatura no debería aumentar > 5 – 8 °C sobre la temperatura ambiente. Sin embargo, si la parte superior del silo no fue sellada inmediatamente, las capas superiores pueden alcanzar temperaturas entre 45

- 60°C, que, si persisten, aumentarán significativamente el N insoluble en detergente ácido (**NIDA**) y no permitirán el establecimiento de las bacterias del ácido láctico, lo cual será muy negativo para la preservación de nutrientes (Brüning *et al.*, 2018; Gerlach *et al.*, 2013).

A medida que la fase fermentativa culmina, la temperatura del interior del silo debería decrecer lentamente a 25-30°C, siendo este proceso más lento con silos más grandes. La temperatura del silo no debería exceder los 35°C, especialmente después de varios meses de almacenamiento (Borreani *et al.*, 2018). Silos que fueron parcialmente secados a > 40 por ciento de MS son especialmente susceptibles al calentamiento porque son mucho más difíciles de compactar (y por consiguiente más porosos) y pueden fácilmente superar los 35°C incluso después de 4 - 6 semanas de almacenamiento (Romero *et al.*, 2018). Un silo que sufre crónicamente de temperaturas altas durante el almacenamiento será mucho más susceptible de pérdidas durante la fase de alimentación, debido a la exposición constante de la cara del silo al aire que penetra su superficie (Wilkinson & Davies, 2013). En casos extremos, las temperaturas en la cara del silo pueden registrar temperaturas por encima de los 50°C (Wilkinson & Davies, 2013). Por eso, se recomienda un picado más fino para silos que tienden a ser altos en MS (Savoie & Jofriet, 2003). Un monitoreo de las temperaturas del silo se deberá hacer insertando sondas 10-20 cm en la cara del silo (Holmes, 2006), si las temperaturas exceden los 40°C, el silo se considera aeróbicamente inestable (Borreani *et al.*, 2018). Un silo caliente elevará la temperatura de la ración total y generalmente está acompañado de la presencia de mohos y olores rancios (Ashbell *et al.*, 2002; Muck & Dickerson, 1988).

### **3.2.1.2. Fases en la producción de ensilados**

#### **Fase aeróbica**

Es la primera fase del proceso de ensilado, idealmente con una duración de menos de 24 h (Muck *et al.*, 2020). La actividad residual de los tejidos vegetales y de la filósfera continúa consumiendo los nutrientes de la planta después del corte en el campo, siendo la única forma de ralentizar este proceso el sellado del silo (McAllister *et al.*, 2018). El sellado restringe la disponibilidad de oxígeno y estimula la fermentación (y por consecuencia la acidificación), siendo ambos procesos críticos para detener la actividad enzimática residual del tejido vegetal y la filósfera, que en su mayoría consiste en microorganismos aerobios (Pahlow *et al.*, 2003).

Si esta fase es extendida innecesariamente, los tejidos vegetales y los microorganismos aerobios metabolizarán los azúcares y elevarán la temperatura del silo por encima de los 30-35°C (Borreani *et al.*, 2018). Si no hay suficientes azúcares para una fermentación adecuada, será mucho más probable que microbios indeseables como los clostridios se establezcan (Kung *et al.*, 2018). Estos tipos de microbios degradarán rápidamente la calidad proteica del forraje, resultando en un incremento del N no proteico, y si las temperaturas del silo superan los 55°C (Kung *et al.*, 2018), los niveles de NIDA se incrementarán, reduciendo la proteína disponible para el animal (Schwab & Broderick, 2017). Por eso es crítico compactar el silo a una densidad adecuada y sellarlo en menos de 24 h y para eso el picado y la MS del forraje deberán ser adecuados para facilitar este proceso (Coblentz *et al.*, 2016; Crook *et al.*, 2020).

### **Fase de fermentación**

Empieza solamente cuando se alcanza condiciones anaeróbicas y dura entre 1 a 6 semanas o más en el caso de ensilaje de maíz, sorgo, y de maíz grano de alta humedad (Der Bedrosian *et al.*, 2012). En esta segunda fase, los azúcares del forraje son fermentados por las BAL y otras bacterias, lo cual conlleva a una caída del pH de 6.0-5.5 (pH fisiológico del tejido vegetal) a 3.8-5, siendo la tasa y la extensión de la caída dependiente de muchos factores incluidos el porcentaje de MS, la capacidad buffer, los niveles de azúcares iniciales, la población inicial de BAL, entre otros (Kung *et al.*, 2018). Idealmente se busca una caída súbita del pH (horas) para inactivar las enzimas de las plantas y microbios indeseables, especialmente en las leguminosas debido a su alta capacidad buffer y sus bajos niveles de azúcares (Albrecht & Beauchemin, 2003).

La rápida disminución del pH evita que las proteínas verdaderas de la planta sean degradadas por la acción de proteasas de origen vegetal y por la actividad de microorganismos indeseables como los clostridios y coliformes (Hao *et al.*, 2019). La generación de amoníaco, aminoácidos, péptidos, y aminos biogénicas elevan los niveles de proteína degradable en rumen, que ya de por sí es excesiva en forrajes (> 70 por ciento del N total), contribuyendo a una reducción de la eficiencia de utilización de N en rumiantes (Schwab & Broderick, 2017). Se sabe también que los microorganismos ruminales son menos eficientes al utilizar amoníaco y aminoácidos para la síntesis de proteína microbiana comparado a la proteína verdadera (Huhtanen *et al.*, 2005).

Los tipos de fermentación observados durante el proceso de ensilaje se pueden clasificar como primaria (deseable) o secundaria (no deseable) (Pahlow *et al.*, 2003). La fermentación primaria la llevan a cabo las BAL y se clasifica en tres grandes grupos. El primero son los homofermentativos obligatorios que fermentan hexosas a ácido láctico, pero no pueden fermentar pentosas (ej. *Lactobacillus acidophilus* y *Lactobacillus delbrueckii*) (Idler *et al.*, 2015). El segundo son los heterofermentativos facultativos que fermentan hexosas produciendo casi exclusivamente ácido láctico, pero también pueden fermentar pentosas produciendo tanto ácido láctico como acético. Este grupo es al que en el pasado la literatura de ensilados se refería como BAL homofermentativas e incluye *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Enterococcus faecium*, y *Pediococcus* spp. (Muck *et al.*, 2018). El tercer grupo son los heterofermentativos obligatorios que fermentan hexosas a otros productos en adición al ácido láctico. Este grupo incluye a *Lactobacillus buchneri* y *Lactobacillus hilgardii* (Arriola *et al.*, 2021).

La fermentación secundaria es realizada principalmente por microorganismos indeseables e incluyen a las enterobacterias (entre las cuales se encuentran los coliformes, y que producen ácidos láctico, acético, succínico y fórmico y etanol), los clostridios (producen ácido butírico) y las levaduras (producen etanol) (Romero *et al.*, 2021). Las enterobacterias y los clostridios incluyen muchas especies patogénicas para animales, y son muy activas degradando la calidad de la proteína hacia productos indeseables como las aminas biogénicas (Ávila & Carvalho, 2020). Adicionalmente, el ácido butírico producido por los clostridios reduce en sobremanera la palatabilidad de los ensilados por su olor pútrido (Grant & Ferraretto, 2018). En el caso de *Clostridium botulinum*, esta bacteria produce la toxina botulínica que ha sido involucrada en la muerte de muchos animales alimentados con silos de mala calidad (Queiroz *et al.*, 2018). La presencia de clostridios en los silos explica la razón por la cual no es recomendable alimentar ensilados al ganado que será usado para la producción de quesos añejos ya que sus endosporas pueden sobrevivir el proceso de pasteurización y causar daño económico a las factorías de este tipo de productos lácteos (Pahlow *et al.*, 2003).

Para ensilados de leguminosas y de gramíneas de alto valor proteico, se recomienda la maximización de la tasa de acidificación y por lo tanto la mayor producción de ácido láctico lo más rápido posible, por encima de cualquier otro producto de fermentación y por las razones ya explicadas anteriormente (Coblentz *et al.*, 2016). Esto es porque el ácido láctico tiene una constante de disociación acida ( $pK_a = 3.8$ ) más baja que el ácido propiónico (4.87)

y acético (4.76), y por la tanto acidifica más y además porque la producción de ácido acético no conlleva a la producción adicional de CO<sub>2</sub>, como si es el caso del ácido acético, propiónico, butírico, y el etanol (Kung *et al.*, 2018). Estas pérdidas por CO<sub>2</sub> explican en gran medida las pérdidas de MS durante la fase de almacenamiento cuando el silo se encuentra adecuadamente sellado y pueden llegar a ser hasta 48.9 por ciento (Borreani *et al.*, 2018) (Tabla 4). Una buena fermentación debe resultar en pérdidas de MS de menos del 10 por ciento (Borreani *et al.*, 2018). Sin embargo, para ensilados de maíz, sorgo y maíz grano húmedo, el alto valor de almidón y azúcares tienden a exponerlos a problemas de pudrición cuando los silos son abiertos y usados para alimentar animales (Wilkinson & Davies, 2013). Para estos casos, y para forrajes que tienden a calentarse durante la fase de alimentación se recomienda la producción de cierto nivel de ácido acético sacrificando los niveles de ácido láctico para así asegurar una adecuada estabilidad aerobia en la fase de alimentación (Romero *et al.*, 2017).

**Tabla 4. Pérdidas de MS y energía bruta en algunas vías de fermentación del ensilaje<sup>1,2</sup>**

Organismo	Vía	Sustrato	Producto	Pérdida (% del sustrato)	
				MS	Energía bruta
BAL	Ho	Glucosa	2 lactato	0	0.7
BAL	He	Glucosa	1 lactato, 1 etanol, 1 CO <sub>2</sub>	24	1.7
BAL	He	3 Fructosa	1 lactato, 1 acetato, 2 manitol, 1 CO <sub>2</sub>	4.8	1.0
BAL	Ho/He	2 Citrato	1 lactato, 3 acetato, 3 CO <sub>2</sub>	29.7	-1.5
BAL	Ho/He	Malato	1 lactato, 1 CO <sub>2</sub>	32.8	-1.8
Enterobacteria		2 Glucosa	2 lactato, 1 acetato, 1 etanol, 2 CO <sub>2</sub>	17	11.1
Clostridios		2 Lactato	1 butirato, 2 CO <sub>2</sub> , 2 H <sub>2</sub>	51.1	18.4
Levaduras		Glucosa	2 etanol, 2 CO <sub>2</sub>	48.9	0.2

<sup>1</sup>BAL = Bacterias del ácido láctico, Ho = Homofermentativo; He= Heterofermentativo.

<sup>2</sup>Fuente: Adaptado de Borreani *et al.* (2018)

## **Fase estable**

El ensilado puede estar estable durante meses e inclusive años mientras se mantengan las condiciones anaeróbicas. Normalmente el ensilado se debe usar dentro del año de su producción ya que puede haber entradas de aire por zonas en las cuales no ha habido un sellado correcto. El aire que ingresa deteriora lentamente el material ensilado así que cualquier perforación o punto de entrada de aire que sea identificado debe ser sellado inmediatamente con material que sea resistente a los rayos ultravioleta (Muck *et al.*, 2020).

## **Fase de alimentación o de extracción del ensilado**

En teoría, el silo puede ser abierto una vez que termina la fase de fermentación, la cual puede durar entre tres a seis semanas, dependiendo del tipo de forraje (Adesogan & Newman, 2014). No obstante, es aconsejable esperar 2 a 3 meses para una adecuada producción de ácido acético, que será muy importante para la estabilidad aerobia durante esta fase (Arriola *et al.*, 2021). Un nivel mayor a 0.8 por ciento (base fresca) de ácido acético es necesario para extender significativamente la estabilidad aerobia, la cual es definida como el tiempo que toma un silo tener una temperatura mayor a 2°C por encima de la temperatura ambiente cuando el silo es totalmente expuesto al aire (Wilkinson & Davies, 2013). El proceso de producción de ácido acético a partir de láctico por *L. buchneri* toma de dos a 3 meses y requiere de una previa acidificación del silo para comenzar (Killerby, Almeida, *et al.*, 2022). En el caso del ensilado de maíz se deberá esperar también por lo menos cuatro meses para maximizar la digestibilidad del almidón (Kung *et al.*, 2018). Un largo proceso de fermentación para maíz, sorgo, y maíz grano de alta humedad permite mejorar la digestibilidad del almidón, porque la actividad proteolítica microbiana degrada la zeína ligada a los gránulos de almidón, lo cual incluso puede ser medida por un ligero incremento en el N amoniacal del silo (Saylor *et al.*, 2021).

El ancho del silo debe ser calculado considerando la facilidad de la extracción de la cantidad diaria requerida. Se recomienda remover 15 cm de profundidad de la cara del silo diariamente en condiciones donde las temperaturas están por debajo de los 10°C (promedio estacional) y 30 cm diarios cuando las temperaturas se incrementan por encima de los 15°C (promedio estacional) para evitar el rápido deterioro de nutrientes de la cara del silo, lo cual será crítico en el verano. La superficie de la cara del silo deberá ser la más pequeña posible

y plana, para reducir el material expuesto al aire. El aire penetra dentro del silo y si no se remueve la cara del silo a las tasas indicadas, el material no visible estará en proceso de pudrición aerobia, mucho antes de que sea removido para preparar la ración (Mahanna & Chase, 2003; Vissers *et al.*, 2007). Cuando el oxígeno está en contacto con el ensilado, las levaduras utilizadoras del ácido láctico se activan y el pH comienza a elevarse a medida que el ácido láctico es metabolizado. Eventualmente el pH se eleva lo suficiente para que los mohos y bacterias aerobias resuman la degradación del ensilado (Borreani & Tabacco, 2010; Driehuis *et al.*, 2018).

Cabe recalcar que forrajes como el maíz, sorgo y cereales menores acidifican bien durante el proceso de fermentación debido a una alta producción de ácido láctico, alta concentración de carbohidratos solubles, y baja capacidad buffer, sin embargo, tienden a producir poco ácido acético y esto los hace susceptibles al deterioro durante la fase de alimentación y las pérdidas de MS por deterioro en esta fase pueden ser > 15 por ciento (Wilkinson & Davies, 2013). Para estos silos se recomienda la inoculación con *L. buchneri* solo o en combinación, como se discutirá más en secciones posteriores (Arriola *et al.*, 2021). Los ensilados de leguminosas o sus mezclas, tienden a tener una buena estabilidad aerobia por que debido a su alta concentración de proteínas, resultan tener niveles de N-amoniacal lo suficientemente altos para inhibir las levaduras y mohos causantes del calentamiento del silo durante la fase de alimentación (Wambacq *et al.*, 2013), por eso en ese tipo de forrajes se deben utilizar inoculantes del tipo heterofermentativo facultativo (anteriormente clasificados como homofermentativo; ej. *L. plantarum*).

En el caso de ensilados, se ha reportado la presencia de aflatoxinas, deoxinivalenol, T-2, fumonisinas, zearalenona, ocratoxinas, entre otras micotoxinas de menor importancia. Los rumiantes tienen una gran capacidad para inactivar la mayoría de las micotoxinas, pero derivados de la aflatoxina B<sub>1</sub>, como la M<sub>1</sub>, si pueden llegar a contaminar la leche y por lo tanto existen niveles máximos en piensos e insumos lácteos que han sido determinados tanto por el US FDA y la comisión europea. La producción de aflatoxina es prevalente en condiciones tropicales y subtropicales, especialmente en silos mal manejados (Ogunade *et al.*, 2018). En el caso de deoxinivalenol y fumonisinas existen también niveles máximos fijados por ambas instituciones para piensos animales, pero solo la comisión europea tiene niveles máximos en piensos para zearalenona (Ogunade *et al.*, 2018).



### **3.2.1.3. Características organolépticas de ensilados de alta y baja calidad**

Un buen ensilado no debe tener un olor fuerte o particular, ya que el ácido láctico no tiene olor. Si hay presencia de ácido acético en concentraciones importantes, se sentirá un olor suave a vinagre. Olores dulces y afrutados son indicativos de la presencia de altos niveles de etanol debido a que este reacciona con los ácidos volátiles formando ésteres que tiene un olor afrutado. Si el silo tiene un olor a tierra, es indicativo de la presencia de *Bacillus* spp., que generalmente aparece después de las levaduras cuando hay problemas de estabilidad aerobia (Kung *et al.*, 2018).

La presencia de mohos dará un olor rancio al silo, y en condiciones extremas los micelios de estos serán visibles. Igualmente, es catastrófica la presencia de olores a vómito que son debido a la presencia de los clostridios y su producción de ácido butírico que esta correlacionado con altos niveles de N-amoniaco que darán al silo un olor pútrido, como de pescado (Kung *et al.*, 2018). El color de este tipo de silos es típicamente un olivo oscuro y tiene una apariencia legamosa. Silos que llegaron a tener temperaturas por encima de los 55°C tendrán colores amarronados y con olores a tabaco, especialmente en el caso de henolajes (Kung *et al.*, 2018).

### **3.2.2. Henificación**

El heno es el forraje conservado en condiciones aeróbicas con una MS de 80-85 por ciento (Pezo, 2012; Silveira & Franco, 2006), lo cual impide el metabolismo de los microorganismos aerobios y la respiración residual del tejido vegetal (Rotz *et al.*, 2020). El proceso de secado, que comienza desde el corte en el campo (MS inicial 10-20 por ciento) hasta el enfardado deberá tomar idealmente no más de 3 a 5 d para evitar pérdidas excesivas en el campo debido al deterioro aerobio que ocurre durante el proceso de secado (Coblentz, 2020). En USA, la henificación sigue siendo una técnica muy común para conservar forraje debido a la facilidad para su transporte y por lo tanto para su comercialización a nivel nacional e internacional (Collins & Moore, 2017; Shinnors, 2010). La producción de heno en USA para el año 2021 se estimó en 120,2 millones de Mg producidos en aproximadamente 20,5 millones de ha y con un rendimiento promedio de 5,86 Mg por ha (NASS, 2022)

### 3.2.2.1 Fases de la henificación

#### Corte o siega del forraje

El campo debe cortarse una vez que la especie forrajera alcance su madurez óptima y las condiciones climatológicas sean propicias. Es necesario revisar los pronósticos meteorológicos (5-7 días de antelación) antes de cortar el campo para asegurar una radiación solar suficiente, baja humedad relativa, y una alta temperatura ambiental para un buen y rápido secado. Cada especie forrajera tiene una edad óptima para su cosecha (Fan *et al.*, 2004; Yolcu *et al.*, 2006). En algunas especies se realiza en la etapa de inicio de la floración o en el caso de los grases se realiza entre la fase final de bota o buche a inicio de la fase de espigado y en leguminosas de yema tardía a floración temprana (Tabla 2). En campos mixtos de gramíneas y leguminosas el primer corte debe basarse en la fase fenológica de las gramíneas ya que estas maduran generalmente más temprano que las leguminosas (Collins, 1985). Si el secado es fácil en la zona se puede segar el campo en la tarde cuando los azúcares están en altas concentraciones (Brito *et al.*, 2016), pero si la zona es húmeda lo más recomendable es segar en la mañana después que el rocío se ha evaporado para así minimizar el tiempo de secado (Rotz, 1995). En condiciones extremadamente secas y áridas, se recomienda segar en las mañanas con la presencia del rocío para evitar las pérdidas de hojas en el campo (Shinners & Schlessler, 2014). Las alturas de corte recomendadas son las mismas que fueron descritas en la sección de ensilados. El corte se puede realizar en forma manual (machete, guadaña), o con segadoras tipo disco, barra, tambor, mayal, las cuales pueden incluir o no acondicionadores. El tipo de segadora no tiene influencia en las pérdidas de MS durante la cosecha. Sin embargo, las segadoras tipo disco son rápidas y mucho más confiables comparada con los otros tipos de segadoras (Rotz *et al.*, 2020).

Actualmente se combinan mecanismos de corte y acondicionamiento en una sola máquina. El acondicionamiento físico es muy recomendable para zonas de lluvias frecuentes durante la temporada de cosecha ya que puede acortar el periodo de secado en 1-2 d al causar daño físico a la cutícula del forraje y doblar o romper tallos (Rotz *et al.*, 2020). Por ejemplo, en el caso de alfalfa se recomienda doblar los tallos cada 10 cm, con por lo menos el 90 por ciento de los tallos doblados y menos de 5 por ciento de las hojas con roturas (Rotz, 1995). Se recomiendan los acondicionadores tipo mayal solo para gramíneas porque estos tienen las tasas máximas de secado con una pérdida de MS por rompimiento de hojas tolerable, pero

no para leguminosas porque este tipo de acondicionador ocasiona gran pérdida de hojas debido a la anatomía foliar de las leguminosas. Para este tipo de forrajes solo se debe usar los acondicionadores tipo rodillo que tienen mucho menos pérdidas de hojas (Rotz & Shinnars, 2007).

### **Curado o secado**

Una vez el forraje es cortado y la picadora deposita la andana sobre el suelo comienza el proceso de secado. El forraje cortado deberá incrementar la MS desde 10-25 por ciento de MS hasta un 80-85 por ciento en un plazo no mayor de 3-5 d (Rotz, 1995). En la producción de henos, la andana deberá cubrir por lo menos 70-80 por ciento de la superficie originalmente cortada y esto dependerá del modelo de podadora. Esto es para evitar andanas gruesas y densas que restrinjan el proceso de secado inicial. En esta fase inicial de secado los tejidos vegetales siguen respirando y solo se detendrá cuando la MS se eleve por encima de 60 por ciento (Collins & Moore, 2017). La humedad se pierde en gran medida a través de las estomas, los cuales solo se abren durante el día (Zhao *et al.*, 2021). Bajo ciertas condiciones y especies forrajeras, el secado en el sol puede provocar la decoloración de los forrajes y la pérdida de hojas. El caroteno se encuentra en todas las partes verdes de las plantas, pero se reduce en el proceso de secado por efecto del sol (Silveira & Franco, 2006). En esta fase las pérdidas de nutrientes por lluvias son catastróficas y deberán evitarse a toda costa (Tao *et al.*, 2017).

### **Esparcido de la andana**

Este es una fase opcional que es muy comúnmente usada en sistemas dependiente de las precipitaciones, pero no es necesaria en sistemas irrigados donde la andana puede ser fácilmente secada en 2-3 d. Cuando es implementada, la andana es esparcida en todo el campo para maximizar la interceptación de radiación solar y exponer el material más húmedo que estaba en la parte baja de la andana al sol. Esto reduce el tiempo de secado en 0.5 d al incrementar un 30 por ciento la tasa de secado (Savoie & Beauregard, 1990).

El esparcido se realiza cuando la andana tiene menos de 60 por ciento de MS para evitar una pérdida excesiva de hojas. Idealmente, en el caso de gramíneas se deberá tener menos de 3 por ciento de pérdidas de MS y en el de leguminosas menos de 6 por ciento. Por esto este paso deberá realizarse con sumo cuidado en campos de leguminosas, por ejemplo, se puede

aprovechar el rocío de la mañana para reducir la pérdida de hojas (Moore *et al.*, 2020). Es pertinente recordar que las hojas son los órganos de las plantas que tienen la mayor concentración de proteínas y son las más digeribles (Collins & Owens, 2003). Los esparcidores rotativos tienen una tasa mayor de secado comparados a los fluffers porque esparcen la andana en todo el campo maximizando el área expuesta al sol.

### **Hilerado o Rastrillado**

El rastrillado tiene dos funciones, la de consolidar la andana esparcida (o no) en una sola hilera que es lo suficientemente grande para ser recogida por la empacadora y de mover la andana para que cualquier material todavía húmedo cercano al suelo sea expuesto una última vez a la radiación solar y a la circulación del aire (Collins & Moore, 2017). El rastrillado se deberá realizar cuando la andana tiene entre 60-70 por ciento de MS para reducir las pérdidas de hojas (Neu *et al.*, 2017). Estas pérdidas serán más altas en leguminosas (Moore *et al.*, 2020). Se estima que el rastrillado aumenta la tasa de secado en un 10-20 por ciento (Rotz, 1995) pero si es mal implementada puede ocasionar pérdidas de MS de hasta 20 por ciento en el campo (Rotz & Muck, 1994).

En líneas generales, los rastrillos de rueda, barra paralela y rotativos son los más comunes, pero los rotativos generan una hilera más aireada que los otros dos modelos lo cual favorece el secado. Las fusionadoras, que son una tecnología más reciente que las rastrilladoras, se adaptan mejor a las hileras anchas y su recogido amplio les permite combinar hileras de diferentes anchos en una sola hilera y de este modo hay una menor pérdida de hojas y una menor inclusión de rocas y partículas del suelo en la hilera en comparación a los rastrillos que entran en contacto con el suelo para unir las hileras (Neu *et al.*, 2017; Schuler, 2003).

### **Enfardado o empacado**

Consiste en recolectar heno en paquetes o pacas para disminuir su volumen, facilitar su manipulación, transporte y almacenamiento bajo techo una vez que el forraje cortado esté seco en forma adecuada (Moore *et al.*, 2020). Las pacas pueden ser redondas, rectangulares o cuadradas pequeñas de diferentes pesos para facilitar su manejo y estas diferencias de formas y pesos influyen en la humedad recomendada para el almacenamiento de cada tipo (Collins & Moore, 2017; Rotz *et al.*, 2020). Las pacas son generalmente atadas por cordeles o mallas. Las pacas pequeñas rectangulares deberán empacarse con por lo menos 80 por

ciento de MS, las grandes rectangulares con por lo menos 84 por ciento, y las grandes redondas con por lo menos 82 por ciento (Coblentz *et al.*, 2021). Si los valores de MS son menores a los recomendados, los mohos comenzaran a metabolizar los nutrientes del heno en cuestión de días, reduciendo el valor nutricional del forraje y causando pérdidas de MS durante el almacenamiento de hasta un 30 por ciento de lo empacado (Reyes *et al.*, 2020) (Fig. 1). La actividad aerobia elevara la temperatura del heno y si es que llega a ser mayor a 55°C, los niveles de NIDA se incrementaran notablemente, reduciendo la calidad proteica del forraje (Leon-Tinoco *et al.*, 2022).



Figura 1. Proceso y consecuencias de la pudrición de henos embalados a una humedad mayor a 20-25 por ciento.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fuente: Elaboración por D.C. Reyes y J.J. Romero

En ninguna circunstancia se deberá embalar por encima de los 85 por ciento de MS por la gran pérdida de hojas que eso representa debido a la gran fragilidad de estas cuando están bien secas (Rotz *et al.*, 2020). En general, la paca más empleada en USA son las redondas porque reducen los costos de mano de obra, infraestructura y equipo comparadas con las pacas pequeñas rectangulares (Huhnke, 2017). En zonas áridas, normalmente se recomienda empacar el heno durante la noche y al amanecer debido a la alta humedad relativa y la presencia de rocío en la hilera (Brown, 2015).

### Almacenamiento del heno

El almacenamiento se hace en el granero o henil en forma de pacas o al granel. Otra modalidad, especialmente en agricultura de pequeña escala es el almacenamiento en el campo cubiertos de una lona o plástico que cubre hasta la mitad de la pila de heno para

favorecer la aireación y sobre una plataforma o piso elevado para protegerlos de las lluvias o de la humedad del suelo (Pezo, 2012). Bajo todas condiciones las pacas tienen que estar protegidas de la lluvia y de cualquier humedad proveniente del suelo. Si el heno es rehumedecido, el proceso de pudrición ocurrirá. Las pérdidas de MS durante el almacenamiento en pacas, que inicialmente estuvieran secas pero que se humedecieron por falta de protección durante el almacenamiento, pueden llegar a ser hasta un 45 por ciento del peso inicial (Collins & Moore, 2017; Shinnars *et al.*, 2009). Se señalan pérdidas de ~ 45 por ciento y ~ 37 por ciento de MS; respectivamente en pacas almacenadas al aire libre en suelos mal drenados y en condiciones de lluvias; pérdidas de ~ 30 por ciento y ~ 27 por ciento de MS en pacas envueltas en cordeles y red, respectivamente en suelos bien drenados, pero bajo condiciones de lluvia y de ~ 3.5 por ciento en pacas envueltas en cordeles y redes almacenadas bajo techo en suelos bien drenados Collins and Moore (2017).

Una vez que las pacas de heno se almacenan dentro o fuera de un refugio, establo o henil, la dinámica de concentración de humedad en las pacas de heno se verá influenciada por el tipo de paca, la densidad de la paca, el envoltorio de la paca, el tipo de forraje y las condiciones ambientales (Collins & Moore, 2017). Los mismos autores sugieren que las pacas de alta densidad deben tener una mayor concentración de MS para reducir de manera segura las pérdidas de MS durante el almacenamiento. Además, estos recomiendan que las pacas rectangulares grandes de alta densidad (224 -256 kg /m<sup>3</sup>) se almacenen a 84 - 88 por ciento de MS, mientras que las pacas redondas con una densidad de 160 – 208 kg/m<sup>3</sup> se almacenen a 82 por ciento MS y las pacas pequeñas pacas rectangulares de baja densidad (128 – 176 kg/m<sup>3</sup>) con 80 por ciento MS o más Collins and Moore (2017).

Si las pacas tienen menores niveles de MS que los sugeridos, la pudrición aerobia ocurrirá ocasionando grandes pérdidas de nutrientes y muy probablemente resultando en la producción de micotoxinas (Rotz *et al.*, 2020). Como la actividad de los mohos genera mucho calor, si las temperaturas superan los 70°C, puede ocurrir una combustión lo cual puede causar grandes pérdidas económicas al productor (Coblentz *et al.*, 2020). Los patrones típicos de calentamiento del heno empacado a 80 por ciento de MS muestran un pico de 54 a 60°C después de 4 a 6 días de almacenamiento que eventualmente disminuye a 16°C después de 2 a 3 semanas (Collins & Moore, 2017). El calor generado en las etapas iniciales de almacenamiento se debe a la actividad microbiana en su mayoría, pero si el heno fue

embalado por debajo de 60 por ciento de MS, habrá también una contribución significativa de la respiración residual del tejido vegetal (Jaster, 1995).

Por otro lado, se ha sugerido que el heno de leguminosas es más susceptible al deterioro y a las pérdidas de MS durante el almacenamiento que el heno de gramíneas, muy probablemente debido a los niveles más altos de solubles detergentes neutros (Collins, 1995; Collins *et al.*, 1997). Verma and Nelson (1983) indicaron que los fardos de heno mixtos de leguminosas y gramíneas son más susceptibles que los fardos de gramíneas puras cuando se almacenan al aire libre). Coblenz *et al.* (2004) también observaron que con la misma acumulación de grados-día de calor (HDD) de la paca (es decir, 600 °C-d), las pacas de heno de alfalfa convencionales pequeñas tenían una recuperación de MS más baja (92 por ciento) que las de bermudagrass (98).

### **Alternativas al secado natural**

**Secado semi-artificial.** Este secado incluye dos fases, la primera un secado en campo hasta lograr un determinado contenido de humedad, aproximadamente entre 40-50 por ciento y otra segunda fase en el establo o henil donde el forraje recibe una corriente de aire a temperatura normal o caliente, esto dependiendo de la especie. El aire al pasar a través del forraje arrastra la humedad originando un secado más rápido. Se puede reducir el costo de secado disminuyendo el paso del aire por el ventilador (Silveira & Franco, 2006).

**Secado artificial.** Este tipo de secado es recomendado en zonas muy húmedas y de lluvias impredecibles. Es la deshidratación artificial del forraje empleando hornos desecadores y cámaras de deshidratación. El forraje puede ser secado con una MS inicial de 25 a 30 por ciento e idealmente deberá ser previamente picado para un secado más homogéneo. Evita las pérdidas de MS durante la cosecha previamente discutidas. Se conservan en una mayor medida las proteínas,  $\beta$ -carotenos y otros nutrientes (Silveira & Franco, 2006)

### **Alimentación del heno**

Se recomienda colocar el heno en los comederos y de esta manera minimizar las pérdidas en esta fase por pisoteo o contaminación con heces y orina (Pezo, 2012). Se debe mantener el heno protegido de las lluvias y la humedad. Se ha reportado la presencia de aflatoxina, zearalenona (Taffarel *et al.*, 2013), deoxinivalenol (Raymond *et al.*, 2000), y T-2 (Durham, 2022) en henos de alrededor del mundo.

### 3.2.2.2 Factores que influyen en el proceso de secado del heno

#### Los efectos del cultivo forrajero

La cutícula del forraje está hecha de ceras impermeables que dificultan el proceso de secado (Coblentz, 2020), pero que puede ser agrietada por acondicionamiento físico y químico, aunque el último es solo efectivo con leguminosas (McCartney, 2005). Las especies con tallos delgados y una tasa alta de hoja a tallo son más adecuados para la producción de heno, ya que se secan más rápido que los que tienen tallos gruesos con medula y hojas pequeñas (Rotz, 1995). Por eso las leguminosas secan más lentamente que las gramíneas. Entre las leguminosas, el trébol rojo (*Trifolium repens* L.) seca más lentamente que la alfalfa y el *Lotus corniculatus* L. Entre las gramíneas, los ryegrasses y el bermudagrass secan más lentamente que la *Festuca arundinacea* S. (Rotz *et al.*, 2020). Es sabido que la tasa de secado de las leguminosas puede ser incrementada al ser mezclados con gramíneas debido a que las andanas tienen una mejor aeración (Collins, 1985). Es importante considerar el grosor del tallo ya que el secado es mucho más lento en especies forrajeras con tallos gruesos y sólidos, debido a la mayor distancia radial, desde el centro del tallo hasta la epidermis, que el agua debe viajar para salir de la planta. Por lo expuesto, es más difícil secar plantas erectas de tallo grueso, como el maíz y el sorgo, que las plantas con tallos más delgados, como la festuca, el pasto ovillo - dactilo o el pasto bermuda.

Miranda Choque and Terrones Hernández (2002) recomiendan a agricultores del altiplano peruano henificar la avena forrajera, cebada forrajera, triticale, trigo invernal, centeno forrajero; para forrajes perennes la alfalfa, trébol, *Phalaris*, *Dactylis*, los ryegrasses y pastos asociados. Especies similares han sido recomendadas por Nestares (2014) para condiciones del Valle del Mantaro, Junín – Perú. En condiciones tropicales costarricenses, se recomienda henificar, dentro de las gramíneas: *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Cynodon dactylon*, *Cynodon nlemfuensis*, *Dichantium aristatum*, *Digitaria decumbens* var. *Transvala*, y *Digitaria swazilandensis*; y en leguminosas: *Arachis pintoi*, *Clitoria leucocephala*, y *Stylosanthes guyanensis* (Pezo, 2012). El estadio fenológico óptimo para la cosecha de diversas especies forrajeras fue compartido en la Tabla 2.



## **Medio ambiente**

El clima es la variable más impredecible y altamente correlacionada con la calidad y el rendimiento del heno y que hay que tener muy en cuenta durante el proceso de henificación. Las condiciones favorables para la producción de heno incluyen alta temperatura, alta radiación solar y velocidad moderada del viento, junto con baja humedad relativa del aire y baja humedad del suelo (Rotz, 1995). Rotz and Chen (1985) analizaron las diferentes variables ambientales que afectan el secado del cultivo de alfalfa y determinaron los coeficientes de correlación con la tasa de secado y encontraron que la radiación solar ( $r=0.61$ ) era el factor más correlacionado, seguido de la temperatura superficial de la hilera ( $r=0.45$ ), temperatura ambiente ( $r=0.35$ ), déficit de presión de vapor ( $r=0.34$ ), humedad del cultivo ( $r=0.22$ ), humedad relativa ( $r=-0.21$ ), densidad de la hilera ( $r=-0.18$ ), presión de vapor ( $r=0.15$ ), humedad del suelo ( $r=-0.15$ ) y velocidad del viento ( $r=0.11$ ). Sin embargo, la multicolinealidad entre las variables independientes son un factor que puede afectar la interpretación de los coeficientes en este estudio.

En realidad, se puede hacer muy poco para mejorar las tasas de secado de la andana si las condiciones ambientales no facilitan la pérdida de humedad, como en regiones húmedas y lluviosas. La alta humedad relativa y la presencia de rocío no son deseables durante el proceso de secado/curado del forraje (Collins & Moore, 2017). Por otro lado, en regiones áridas una HR baja (<60 por ciento) facilita la pérdida de humedad de la andana, a veces en exceso ( $\geq 85$  por ciento de MS), lo que conduce a pérdidas significativas de MS en el campo ( $> 8$  por ciento) debido a la rotura de las hojas cuando la hilera es rastrillada y embalada (Rees, 1982). La humedad y la temperatura del suelo son también factores que influyen en el proceso de secado de forrajes. Se señala que un aumento del 15 por ciento en la humedad del suelo reduce la tasa de secado de la hilera de alfalfa en un 20 por ciento, por la presencia de una superficie húmeda debajo del forraje cortado, humedad que pasa al forraje y reduce la velocidad de secado (Rotz & Chen, 1985).

### **3.2.2.3. Características organolépticas de henos de alta y baja calidad**

De acuerdo al USDA (2020), henos de calidad suprema son aquellos provenientes de leguminosas que fueron cosechados en estado vegetativo, con tallos muy delgados y una abundancia hojas. Deberán ser color verdoso y no tener ningún tipo de daño. La siguiente calidad es premium, los cuales también deberán ser cosechados en estado vegetativo, pero

pueden provenir tanto de leguminosas como de gramíneas. Deben tener tallos delgados, muchas hojas, un color verdoso, y sin ningún daño. Los henos clasificados como buenos deberán ser cosechados con una floración inicial a media, en el caso de leguminosas, y en el estadio de espigado inicial en el caso de gramíneas. Deberán tener un tallo de fino a mediano grosor, con una proporción adecuada de hojas, y ser libres de cualquier daño excepto una ligera decoloración. Para los henos de una calidad aceptable, la floración será de mediana a tardía en el caso de leguminosas, y de espigado en gramíneas. Deberán tener una cantidad moderada de hojas, y generalmente tallos gruesos. Comúnmente presentan un daño ligero (enmohecimiento). Finalmente, los henos de calidad baja son de una madurez reproductiva muy avanzada, con daño apreciable por mohos, y una gran cantidad de malezas.

## **IV. DESARROLLO DEL TRABAJO**

### **4.1. Experiencia profesional**

Para presentar mis aportes profesionales, es necesario cubrir brevemente mi experiencia profesional luego de haber obtenido el grado de bachiller en Zootecnia de la UNALM (primer puesto en Zootecnia). Del 2008 al 2009 realice mi maestría en mi rol de investigador asistente en el tema de tratamiento enzimático y alcalino de henos de bermudagrass para alimentación de ganado cárnico, recibiendo mi grado de M.Sc. de la Universidad de la Florida (EE. UU.) el 2009. Posteriormente, en mi rol de investigador asistente, conduje investigaciones en el área de tratamiento enzimático de ensilados de bermudagrass para ganado lechero como parte de mi disertación doctoral por la cual obtuve mi grado de Ph.D. de la Universidad de la Florida el 2013. Desde el 2014 hasta el 2016 trabajé como investigador asociado en la Universidad Estatal de Carolina del Norte (EE. UU.) realizando estudios sobre los efectos de inoculación en el microbioma de ensilados de maíz y cereales menores. A partir del 2016, me desempeñé primero como profesor asistente y luego como profesor asociado de nutrición de vacunos de leche y forrajes en la Universidad de Maine (EE. UU.). Mis responsabilidades son de 50 por ciento enseñanza y 50 por ciento investigación, además de ser el coordinador del área de graduados del programa de Zootecnia. Enseñé nutrición animal, ciencias forrajeras, nutrición de rumiantes, y en el pasado introducción a la zootecnia. Como asesor, he dirigido tres estudiantes de maestría graduados y he estado en el comité de cuatro estudiantes más. Actualmente, tengo dos estudiantes de maestría, uno de doctorado, y un investigador postdoctoral. He investigado tratamientos para minimizar la pérdida de nutrientes en el ensilado de forrajes y subproductos bajo condiciones de alta humedad, en la producción de henos de alfalfa de alta humedad, y la reducción de patógenos causantes de mastitis en las camas del ganado lechero.

### **4.2. Trabajos sobre ensilaje**

Mis investigaciones con ensilado de maíz (Romero *et al.*, 2018; Romero *et al.*, 2021) demostraron que la familia de *Enterobacteriaceae* (que incluye a los coliformes) es la más abundante en la filósfera y que la gran mayoría de hongos que habitan los forrajes en el campo siguen sin ser identificados, como ha sido reportado en otros estudios desde entonces

(Drouin *et al.*, 2019). También se observó en ambos experimentos que los híbridos con la mutación de nervadura marrón (BMR), los cuales tienen una digestibilidad de la fibra mayor que los híbridos convencionales, tienen una comunidad bacteriana y de hongos distinta a los híbridos de maíz convencionales en términos de perfil taxonómico y diversidad alfa. Esto podría ser explicado por la menor lignificación y mayor degradabilidad de la fibra en esta clase de híbridos (Mustafa *et al.*, 2005). A su vez, esto explicaría porque los híbridos BMR evaluados fueron más susceptibles a pérdidas de MS durante las fases de fermentación y estabilización, como se observó en ambos proyectos que usaron las mismas líneas de híbridos.

En mis investigaciones (Romero *et al.*, 2018; Romero *et al.*, 2021) también se demostró que la adición de un inoculante BAL que contenía una combinación de *Pediococcus pentosaceus* y *Lactobacillus buchneri* consiguió proteger el silo de maíz de pérdidas durante la fase de alimentación con el mecanismo antes descrito en 2 híbridos convencionales y 2 BMR, relativo al control, en términos de una estabilidad aerobia más prolongada. (Romero *et al.*, 2018), bajo condiciones de alta MS (38-42 por ciento) observamos que la estabilidad aerobia de uno de los híbridos BMR no fue prolongada, comparado con su control, debido a la falta de conversión del ácido láctico a ácido acético por ese híbrido bajo esas condiciones. Nosotros especulamos que esto se debió a que algún miembro de la familia *Leuconostocaceae* previno que *L. buchneri* convierta la mayor parte del ácido láctico a acético debido a la producción de bacteriocinas (Mataragas *et al.*, 2002). Bajo condiciones de baja MS (27-31 por ciento) y con el mismo inoculante, se prolongó la estabilidad aerobia de todos los híbridos debido a una alta conversión a ácido acético y una abundancia mayor al 99 por ciento de la comunidad bacteriana de la familia *Lactobacillaceae* (Romero *et al.*, 2021). Se deberá explorar en el futuro la competitividad de *L. buchneri* contra otras bacterias del ácido láctico bajo un gradiente de concentraciones de MS para entender mejor cuando es más capaz de convertir ácido láctico a acético en cantidades necesarias, para proteger el ensilado de maíz durante la fase de alimentación (Borreani *et al.*, 2018).

### **4.3. Trabajos sobre henificación**

Al asegurar financiación para realizar un meta-análisis sobre la eficacia de preservantes de heno, encargue a dos de mis estudiantes de maestría la realización de este proyecto, bajo mi supervisión, en el cual soy el autor de correspondencia (Killerby, Reyes, *et al.*, 2022). En

nuestra investigación se demostró que el ácido propiónico es un aditivo efectivo para prevenir pérdidas de MS, calentamiento, y enmohecimiento de henos forrajeros. En el caso de las sales de ácidos orgánicos, se observó que tuvieron una eficacia comparable a ácido propiónico en términos de prevención de pérdidas de MS e incluso llegaron a prevenir más el calentamiento de las pacas de heno, pero fueron menos efectivas en controlar enmohecimiento. Con respecto a mezclas complejas de ácidos orgánicos y otros agentes antimicrobianos, se observó que fueron menos efectivos que el ácido propiónico en términos de prevención de pérdidas de MS, calentamiento, pero fueron comparables en controlar el crecimiento de mohos. Los inoculantes no fueron efectivos para preservar los nutrientes en henos de alta humedad (Killerby, Reyes, *et al.*, 2022). También se observó que los henos de leguminosas son más susceptibles a pérdidas por pudrición y que respondían menos a la aplicación de preservantes respecto a los henos de gramíneas. Especulamos que esto está relacionado con el hecho de que la capacidad buffer es más alta en leguminosas con respecto a las gramíneas (Coblentz, 2015) ya que el pH es muy importante en determinar la efectividad de cualquier preservante basado en ácidos orgánicos, debido al pKa que afecta la capacidad de estos compuestos para atravesar las membranas microbianas y ejercer su actividad antimicrobiana (Davidson *et al.*, 2013).

El problema con el ácido propiónico es su alto costo (US\$ ~3,500/tonelada métrica), el daño por corrosión que ocasiona en maquinaria agrícola, y su alta peligrosidad durante su aplicación para el operario. Otro aspecto negativo es que al término de seis meses la volatilización y su degradación por microorganismos aerobios causa su desaparición y consecuente reinicio de los procesos de pudrición (Rotz & Shinnars, 2007). Para poder desarrollar una alternativa viable y bajo mi liderazgo se aislaron varias cepas de mohos y levaduras de heno de alfalfa de alta humedad en estado de pudrición para probar la actividad antimicrobiana de nuevos compuestos con actividad antimicrobiana. Como el estado de Maine es el segundo mayor productor de papel de EE. UU. se evaluó la actividad antimicrobiana de las ligninas técnicas, que son un subproducto de la manufactura de papel y cartón. La literatura indicaba actividad contra hongos (Núñez-Flores *et al.*, 2012), bacterias (Kim *et al.*, 2013), y virus (Suzuki *et al.*, 1989) con baja toxicidad contra animales, incluyendo rumiantes (EFSA, 2015). Nuestro trabajo evaluó la actividad antimicrobiana de 9 tipos de ligninas técnicas y sus fracciones químicas y se identificó a los lignosulfonatos de sodio como candidatos para ser evaluados en más detalle con heno de alfalfa de alta humedad (Reyes *et*

*al.*, 2020). En la siguiente fase del proyecto, se comparó lignosulfonato de sodio con ácido propiónico y se observó que este compuesto previno pérdidas nutricionales de heno de alfalfa de alta humedad (70 por ciento MS) a una concentración del 2 por ciento (base fresca), pero el ácido propiónico hizo lo mismo al 0.5 por ciento (Reyes *et al.*, 2020). Sin embargo, el coste de los lignosulfonatos es de US\$ 500/Mg comparado a los 3,500 del ácido propiónico.

En un estudio subsecuente, se evaluó el rango de actividad antimicótica de varios lignosulfonatos de sodio provenientes de cuatro compañías y se identificó que el proceso de manufactura de una de ellas resultaba en una actividad antimicótica muy superior a las demás compañías (Leon-Tinoco *et al.*, 2022). Este tipo de lignosulfonato de sodio proveniente de Sappi Ltd. (Westbrook, EE. UU.) fue optimizado por un proceso en vías de ser patentado por mi persona y University of Maine. Cuando este lignosulfonato de sodio optimizado fue evaluado con heno de alfalfa de alta humedad (70 por ciento MS) se observó una actividad comparable al ácido propiónico aplicado al 0.25 por ciento (base fresca) (Leon-Tinoco *et al.*, 2022). Estos resultados serán usados para evaluar en campo este candidato a preservante comercial.

#### **4.4. Trabajos adicionales con preservantes**

Para contrastar la efectividad de los lignosulfonatos evaluados en henos en condiciones anaeróbicas, se midió su eficacia como preservantes de ensilados. Lignosulfonatos de sodio y de magnesio fueron comparados contra un inoculante BAL (*L. plantarum* y *P. pentosaceus*) en su efectividad para prevenir la degradación de la fracción proteica en un ensilado de alta humedad (21.9 por ciento) de alfalfa debido a información preliminar indicando que los lignosulfonatos reducían la degradación microbiana de la proteína vegetal. En este estudio el control ensilo muy bien y no hubo beneficios de la aplicación de ningún tratamiento, incluso del inoculante, con respecto a la preservación de nutrientes (Leon-Tinoco *et al.*, 2022). También se comparó el lignosulfonato de sodio contra un inoculante de *L. buchneri* y *L. plantarum*, y ácido propiónico, con respecto a sus capacidades para preservar nutrientes en la fase de almacenamiento y alimentación de ensilado de orujo de cervecería (Killerby, Almeida, *et al.*, 2022). En ese estudio se identificó al ácido propiónico como la mejor opción para preservar este subproducto, el cual es alto en azúcares y almidón cuando es colectado fresco. Además, se cuantifico las grandes pérdidas que ocurren en este subproducto desde

que es colectado en la cervecería, mientras que es ensilado, y hasta que es abierto para alimentar a los animales.

## V. METODOLOGÍA

Para obtener la información necesaria para la redacción de este documento, se revisaron artículos de investigación relevantes, mediante una búsqueda bibliográfica utilizando la base de datos ISI Web of Science. Para la búsqueda sobre inoculantes para ensilados se utilizaron los términos “ensilado” e “inoculantes” (n= 328), “silo” e “inoculantes” (n= 154), “ensilado” y “preservación” (n= 70), “silo” y “preservación” (n= 47), “ensilado” y “podrición” (n= 16), y “silo” y “podrición” (n= 11). Con respecto a preservantes para henos se utilizaron los términos “heno” y “preservantes” (n= 47), “heno” y “preservación” (n= 94), “heno” y “podrición” (n= 10), y “heno” y “humedad” (n= 222).



## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. La utilización de inoculantes para mitigar la pérdida de nutrientes en la producción de ensilados

En la producción de ensilados es bastante frecuente adicionar un refuerzo de BAL con el objeto de reducir las pérdidas de nutrientes durante las fases de fermentación, estabilización, y alimentación del silo (Kung *et al.*, 2003), especialmente en ganaderías mecanizadas de mediano a gran tamaño. La efectividad de los inoculantes variara de acuerdo con la aplicación del tipo adecuado de BAL para un determinado forraje a ser preservado. Para forrajes con alta concentración de carbohidratos no estructurales, como el maíz y el sorgo, que son susceptibles a pudrición durante la fase de alimentación se requerirán especies de BAL diferentes a las que son más ideales para forrajes con alta proteína y pectina, como las leguminosas, que son susceptibles a fermentaciones lentas e incompletas que resultan en pérdidas de nutrientes durante la fase de fermentación (Schwab & Broderick, 2017; Wilkinson & Davies, 2013). A veces una combinación de ambas especies puede ser muy beneficiosa, dependiendo de los factores que se discutirán más adelante (Romero *et al.*, 2018). Se recomienda siempre aplicar la dosis de BAL recomendada y seguir el protocolo de aplicación descrito para alcanzar la máxima eficacia del inoculante.

La siguiente sección describirá como las capacidades metabólicas de los diferentes tipos de BAL son muy importantes para determinar su eficacia en diversos tipos de forrajes y a través de las diferentes fases de producción de ensilados. Esta sección tendrá como objetivo guiar a los ganaderos en la selección de inoculantes BAL con respecto a los cultivos forrajeros que producen y las pérdidas nutricionales que típicamente observan durante el almacenamiento y/o alimentación de sus ensilados.

#### 6.1.1. Inoculantes basados solamente en bacterias de ácido láctico homofermentadoras obligatorias y heterofermentadoras facultativas

Estos dos grupos de BAL son los que tradicionalmente eran y son referidos todavía en publicaciones no académicas como homofermentadores. Como fue mencionado anteriormente en la sección de fermentación de ensilados, la diferencia radica en que los

BAL heterofermentadores facultativos pueden usar pentosas además de hexosas, pero al hacer esto se produce ácido acético, en cantidades traza, además del láctico que representa la mayoría de los productos de fermentación ya que estos microorganismos producen casi exclusivamente ácido láctico a partir de hexosas. Considerando que la sucrosa es el tipo de azúcar más abundante en plantas, que está conformada por dos hexosas (Hatfield & Kalscheur, 2020), no es de sorprender que este tipo de BAL sean los usados para producir mucho ácido láctico a tasas muy rápidas (Saarisalo *et al.*, 2007). La mayoría de las preparaciones comerciales de inoculantes de BAL para ensilados que son promocionadas como “inoculantes homofermentativos” llevan *L. plantarum* y/o alguna especie del género *Pediococcus*, ambas clasificadas actualmente como heterofermentadores facultativos, desde un punto de vista académico (Muck *et al.*, 2018). La especie de BAL homofermentadora obligatoria más comúnmente usada en inoculantes es *L. acidophilus* (Muck *et al.*, 2018).

Los efectos de este tipo de inoculantes LAB en el ensilado, y consecuentemente en el animal, pueden ser clasificados como prosigue:

#### **6.1.1.1. Efecto en el pH del ensilado**

Este tipo de BAL son efectivos para reducir el pH en ensilados de leguminosas y gramíneas, excepto en maíz, sorgo, y caña de azúcar (Oliveira *et al.*, 2017). Por lo que no es recomendable aplicar este tipo de inoculantes en un silo de maíz. Estos inoculantes son efectivos en acelerar la tasa de acidificación del silo, que es muy necesaria para detener la actividad residual del tejido vegetal y de microorganismos aerobios que deterioran muy rápidamente la calidad de la proteína del forraje (Saarisalo *et al.*, 2007), liberando excesivos niveles de N no proteico, incluido el N amoniacal (Kung *et al.*, 2018). Por eso son altamente recomendados en silos de leguminosas y de gramíneas con alto valor proteico (Muck *et al.*, 2018). Al ser efectivos, se mejorará la eficiencia de la utilización de la proteína del silo, requiriendo el animal menos suplementación de este nutriente (Schwab & Broderick, 2017).

#### **6.1.1.2. Efecto en la concentración de productos de fermentación, las pérdidas de materia seca, y los conteos de hongos**

El uso de este tipo de inoculantes resultara en una menor concentración de ácido acético, ácido butírico, N-amoniacal, por la alta producción de ácido láctico (Oliveira *et al.*, 2017). Esto se traduce en una menor pérdida de MS durante el almacenamiento (2.8 por ciento

menos, relativo a silos sin tratar) en leguminosas y gramíneas (excluyendo el maíz, sorgo, y la caña de azúcar) por la menor producción de CO<sub>2</sub> en silos con alta producción de ácido láctico. La reducción de ácido acético afecta la estabilidad aerobia de forrajes tratados con este tipo de BAL, ya que el ácido acético es un excelente antimicótico y por lo tanto su reducción da lugar a un incremento en la población de levaduras, y en algunos casos incremento en mohos (Oliveira *et al.*, 2017). Esto es un serio problema para silos de maíz y sorgo que son muy susceptibles a pérdidas de MS durante la fase de alimentación, pero no lo es para los silos de leguminosas que de por sí son muy estables cuando son expuestos a condiciones aerobias debido a los altos niveles de amoníaco, otro compuesto antimicótico.

### **6.1.1.3. Efecto en la producción animal**

Con el uso de este tipo de inoculantes, se ha reportado mejora en la producción de leche, ganancia diaria promedio, y la eficiencia alimenticia (Oliveira *et al.*, 2017; Weinberg & Muck, 1996). Estos beneficios han sido atribuidos a varios factores entre ellos:

- a. La inhibición de microbios dañinos y reducción de sus toxinas (Ellis *et al.*, 2016). Por ejemplo, se reporta que la cepa MiLAB 393 de *L. plantarum* tiene la capacidad de inhibir el desarrollo de algunas levaduras y hongos (Ström *et al.*, 2002). Amado *et al.* (2012) reportan la desaparición del ADN de *Listeria* en la presencia de una cepa del *Pediococcus acidilactici* en ensilajes de maíz y ryegrass y señalan también que una combinación con *L. plantarum* fue efectiva en eliminar el ADN de *Listeria* en ensilados de ryegrass.
- b. Los efectos probióticos de este tipo de BAL, en el microbioma ruminal, son muy reconocidos, incluso cuando sus efectos preservantes fallan (Weinberg *et al.*, 2003). En un meta-análisis, se demostró que este tipo de BAL incrementa la producción de leche en 0.37 kg/d, independientemente del tipo de forraje y el estadio de producción lechera (Arriola *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2017). Jalč *et al.* (2009) inoculo ensilado de gramíneas con una cepa de *E. faecium* o *L. plantarum* y reportaron una reducción significativa de la producción de CH<sub>4</sub> (mol de CH<sub>4</sub>/kg de MS digerida) para todos los ensilados inoculados. Adicionalmente, Contreras-Govea *et al.* (2011) reportaron que ensilados de alfalfa y maíz inoculados con cepas de *L. plantarum* o *Lactococcus lactis* estimularon la síntesis de más proteína microbiana ruminal que el control.

### **6.1.2. Inoculantes basados solamente en bacterias de ácido láctico heterofermentadoras obligatorias**

Este grupo de BAL ha sido tradicionalmente denominado como BAL heterofermentativos, y todavía lo son en la mayoría de los artículos no académicos (Arriola *et al.*, 2021). Este tipo de BAL fermentan hexosas produciendo ácido láctico y otros productos de fermentación (Pahlow *et al.*, 2003). Especies que están incluidas en este grupo incluyen *L. buchneri*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus hilgardii*, entre otros (Hammes, 2009). De estos solo *L. buchneri* se encuentra comercialmente disponible como inoculante, ya que *L. hilgardii* no duro mucho tiempo como inoculante comercial. Por consecuencia, nuestra discusión con respecto a este grupo de BAL se limitará en gran medida a esta especie.

#### **6.1.2.1 Lactobacillus buchneri y su empleo en ensilados**

La producción de ácido acético por *L. buchneri* se debe a la metabolización bajo condiciones anaeróbicas de una fracción del ácido láctico en cantidades equimolares de ácido acético y 1,2-propanediol, con una producción adicional de etanol en cantidades traza (Oude Elferink *et al.*, 2001). Debido a las propiedades antimicóticas del ácido acético, siempre y cuando los niveles superen el 0.8 por ciento (base fresca), los silos tratados con *L. buchneri* tendrán una mayor estabilidad bajo estrés aeróbico, y no se calentaran durante la fase de alimentación, comparado a silos sin tratar (Wilkinson & Davies, 2013). El 1,2-propanediol de por si no tiene ninguna propiedad antimicrobiana, pero hay situaciones donde puede ser transformado a ácido propiónico si hay suficiente cobalamina y glucosa en el silo, para el caso específico de la cepa KKP 2047p de *L. buchneri* (Zielińska *et al.*, 2017).

#### **Efecto en la estabilidad aeróbica**

Mucho de los estudios que han evaluado los efectos preservantes de *L. buchneri* simulan la fase de alimentación del silo exponiendo silaje al aire en contenedores de entre 10-20 L que no son compactados y que contienen sensores de temperatura (Arriola *et al.*, 2021). La medida que se usa más para discernir los efectos preservantes de *L. buchneri* durante la fase de alimentación es la estabilidad aerobia, la cual mide el número de horas que le toma al silaje calentarse por encima de 2°C relativo a la temperatura ambiental, la cual es medida al mismo tiempo (Schmidt & Kung Jr, 2010). Si el silaje en estas pruebas es aeróbicamente estable por 7 d se considera que en el campo también será estable (Wilkinson & Davies,

2013). Además, es muy importante que se aplique por lo menos 5 log unidades formadoras de colonias (UFC) de *L. buchneri* por gramo fresco de forraje, para que pueda surgir cualquier efecto protector durante la fase de alimentación ya que incluso existe una gran diferencia en la efectividad del tratamiento cuando se aplica 4 log UFC/g o menos (Arriola *et al.*, 2021). El mismo estudio también estima que no habría necesidad de exceder los 5.6 log UFC/g de aplicación para obtener los beneficios. En el caso de que el inoculante tenga más de una especie BAL, es importante usar el conteo específico para cada especie y no usar el global para todos los BAL incluido en el producto.

Uno de los factores que limita una mayor adopción de *L. buchneri* es el tiempo que lleva a esta bacteria metabolizar cantidades suficientes de ácido láctico que generan un efecto protector con las levaduras y mohos. En el meta-análisis de Arriola *et al.* (2021) se demostró que toma entre 61-90 d para que los niveles de ácido acético producidos por *L. buchneri* alcancen los niveles necesarios para que haya una extensión notoria de la estabilidad aerobia por encima de la de un silo sin tratar (+ 88 h), con tiempos de almacenamiento mayores a 90 d alcanzado promedios de +100 h por encima de los del control. Esto puede ser problemático para operaciones con un número limitado de silos, lo que es generalmente el caso de las pequeñas ganaderías, y que se ven forzadas a abrir y alimentar el silo antes que se cumplan los 60 d requeridos de incubación. Como los silajes de maíz, sorgo y maíz grano de alta humedad requieren > 4 meses para maximizar la digestibilidad del almidón y adicionalmente son los silos más susceptibles a calentamiento durante la fase de alimentación, es razonable recomendar al ganadero diseñar los silos de estas especies de tal manera que no se tenga que abrir y alimentar antes de los 60-90 d y así obtener los beneficios de la estabilidad aerobia y máxima digestibilidad del almidón juntos. Para las zonas tropicales de Perú, es necesario resaltar el efecto protector de *L. buchneri*, *L. kefirii* y *L. hilgardii* en la estabilidad aerobia de silos de caña de azúcar, al reducir el conteo de levaduras por el incremento de los niveles de ácido acético (Rabelo *et al.*, 2016).

### **Efecto en otros productos de la fermentación y la productividad animal**

La metabolización del ácido láctico a ácido acético por parte de *L. buchneri* reduce la acidez del silo, lo cual se manifiesta en más de un estudio en un ligero incremento de las pérdidas de MS y del N-amoniaco, que en líneas generales es más que compensado por los beneficios en estabilidad aerobia durante la fase de alimentación (Blajman *et al.*, 2018; Romero *et al.*,

2021; Romero *et al.*, 2017). En estudios que aplicaron *L. buchneri* solamente, se reportó un aumento muy leve en pérdidas de MS en una magnitud del +0.69 por ciento, relativa a las observadas en control. En parte esto puede ser mitigado al combinar *L. buchneri* con BAL del tipo homofermentador obligatorio y heterofermentador facultativo, como se discutirá más adelante (Romero *et al.*, 2021).

Relativo a lo observado con los inoculantes BAL de tipo homofermentador obligatorio y heterofermentador facultativo, *L. buchneri* no ha demostrado tener efectos sobre la ingesta de MS, la productividad lechera, y medidas reproductivas en ganado lechero a través de varios estudios (Arriola *et al.*, 2021). En Nsereko *et al.* (2008) se reportaron que algunas cepas de *L. buchneri* son capaces de producir ácido ferúlico esterasa en ensilados con potencial de mejorar la digestibilidad de la fibra, aunque este hallazgo no ha sido totalmente confirmado y se considera que puede haber otros factores involucrados (Jin *et al.*, 2015; Muck *et al.*, 2018).

### **6.1.3. Combinaciones de *L. buchneri* con BAL del tipo homofermentador obligatorio y heterofermentador facultativo**

Muchos de los inoculantes comerciales que incluyen *L. buchneri* lo combinan con los otros tipos de BAL. La idea es que la combinación resulta tanto en una extensión de la estabilidad aerobia pero con una menor pérdida de nutrientes (especialmente la fracción proteica) durante la fase inicial de la fermentación, al asegurar una rápida acidificación inicial del silo que inhiba desde un principio el crecimiento de coliformes y clostridios (Romero *et al.*, 2021). Esto permite mitigar las ligeras pérdidas de MS y la producción de N-amoniaco típicamente observado cuando *L. buchneri* es inoculado solo, y además obtener los beneficios en productividad animal observado en los BAL del tipo homofermentador obligatorio y heterofermentador facultativo (Muck *et al.*, 2018).

Varias combinaciones de *L. buchneri* con otros BAL han sido evaluados en estudios, pero en el meta-análisis de (Arriola *et al.*, 2021), se demostró que la combinación de *L. buchneri* con *L. plantarum* y *Pediococcus pentosaceus* obtuvo una estabilidad aerobia +234 h mayor que la observada en el control, siendo incluso superior a las +91 h (relativas al control) conseguidas cuando el inoculante consistió solo de *L. buchneri*. No se observó aumento en la pérdida de MS durante la fase almacenamiento para ninguna de las combinaciones evaluadas en ese estudio, la cual incluso fue reducida con relación al control (-2.43 por ciento)

cuando se combinó *L. buchneri* con *P. pentosaceus*. Schmidt *et al.* (2009) evaluaron la fermentación de ensilado de alfalfa control (sin tratar) y ensilado inoculado con *L. buchneri* o *L. buchneri* más *P. pentosaceus* y encontraron que el pH fue mayor en el tratamiento de solo *L. buchneri* comparado con el control a los cinco días, mientras que los tratamientos inoculados con la combinación mostraron un descenso más rápido de pH que el control. En el caso de maíz ensilado a una baja MS (26-32 por ciento), Romero *et al.* (2021) reportó que un inoculante que combinó *L. buchneri* y *P. pentosaceus* extendió la estabilidad aerobia de 111 h en el control a 582 h en 4 híbridos de maíz, incluyendo dos mutantes de nervadura marrón. Esto debido a un incremento de la concentración de ácido acético de 1.32 a 3.44 por ciento (MS) y la consecuente reducción del conteo de levaduras desde 4.6 a 3.1 log UFC/g y de mohos de 3.0 a 1.5 log UFC/g. Sin embargo, bajo las condiciones de alta humedad del forraje, el combinado BAL, aumentó ligeramente las pérdidas de MS durante el almacenamiento de 2.6 a 4.4 por ciento, debido al consumo de ácido láctico para la síntesis de acético por parte de *L. buchneri*. Cuando se evaluaron las comunidades bacterianas y micóticas usando técnicas de secuenciación, se demostró que el inoculante BAL incrementó al 99.2 por ciento la abundancia relativa de la familia *Lactobacillaceae*, relativo al 75.7 por ciento en control, que tuvo muchos miembros de la familia *Enterobacteriaceae* (incl. coliformes) los cuales son indeseables. A pesar de que en términos de conteo de colonias (medida absoluta) el inoculante redujo estas cifras tanto levaduras y mohos, la diversidad micótica, medida en el número de unidades taxonómicas operacionales, aumentó por la reducción de la familia *Monascaceae*, que era muy predominante en el control. Cuando el mismo inoculante se evaluó con los mismos híbridos de maíz bajo una concentración de MS por encima de lo recomendado (38-42 por ciento) (Romero *et al.*, 2018), se extendió la estabilidad aerobia en todos los híbridos inoculados relativos al control (~217 vs. 34.7 h), menos en uno de los BMR (~49 h), esto a pesar de que se redujo los conteos de levaduras en todos los híbridos (3.78 vs. 5.13 log UFC/g), pero no el de los mohos (~0.42 log UFC/g), debido al incremento de ácido acético (1.69 vs. 0.51 por ciento, MS) en todos los híbridos tratados, comparados a sus controles. Sin embargo, la inoculación no afectó las pérdidas de MS comparada con la observada en los controles en este estudio (~94.3 por ciento). La razón por la cual el inoculante falló con el mismo híbrido en Romero *et al.* (2018) pero no en Romero *et al.* (2021) fue porque la familia *Leuonostocaceae* fue dominante en el control de ese híbrido y pudieron haber restringido la capacidad de *L. buchneri* (miembro de *Lactobacillaceae*) en el silo tratado para convertir más ácido láctico a acético, considerando

que ese híbrido fue el que menos concentración de MS tenía con respecto a los otros tres (38.1 vs. 42.3 por ciento) y que por lo tanto pudo haber necesitado tener más ácido acético para poder ser estable bajo condiciones aerobias.

## **6.2. Preservantes para una producción óptima de heno**

El heno es una de las formas de conservación de forrajes más importantes, por ejemplo en USA se produce tanto heno como ensilados (NASS, 2022). Solo el heno puede ser transportado y comercializado fácilmente en largas distancias, ya que los ensilados son muy húmedos y necesitan estar sellados todo el tiempo. El embalado de heno por debajo de los niveles de MS recomendados (80-85 por ciento) es un problema común en áreas húmedas que no necesitan irrigación para producir forrajes, lo cual resulta en muchos problemas de enmohecimiento de heno y consecuentemente problemas productivos en el ganado vacuno, equino, ovino, y caprino. Bajo estas situaciones, solo la aplicación de preservantes puede permitir al productor salvar su cosecha de heno del enmohecimiento. Sin embargo, nunca se ha publicado una revisión indexada sobre los preservantes de heno en ningún idioma, incluido el inglés. Por eso, mi programa de investigación se embarcó en la preparación de un meta-análisis en este tema que fue escrito por mi estudiante M. Killerby como parte de su tesis de maestría en la Universidad de Maine y publicado en el *Journal of Animal Science*, siendo incorporado en la selección especial de la edición en la cual se publicó (Killerby, Reyes, *et al.*, 2022). Por mi rol en el diseño y planteamiento, obtención de fondos, preparación, y edición mi persona es el autor de correspondencia de ese artículo. Debido al uso de moderadores de tipo continuo, la evaluación interacciones, y del uso de las diferencias promedio estandarizadas, este meta-análisis está escrito para una audiencia de tipo científica, y no es conceptualmente accesible para aquellos sin la suficiente preparación estadística para su interpretación. Para hacer la información accesible para los productores, se presentarán los resultados desde una perspectiva aplicada con un énfasis en la propuesta de recomendaciones para el campo, lo cual no es posible de hacer en una revista indexada como *Journal of Animal Science*.

En este trabajo que conceptualice y guíe (Killerby, Reyes, *et al.*, 2022), se analizaron 50 artículos para los preservantes tipo químicos y 21 para los de tipo biológico, los cuales tuvieron que ser analizados separadamente porque las unidades de las dosis de los preservantes químicos fueron normalizadas a porcentaje, pero eso no es posible para los de



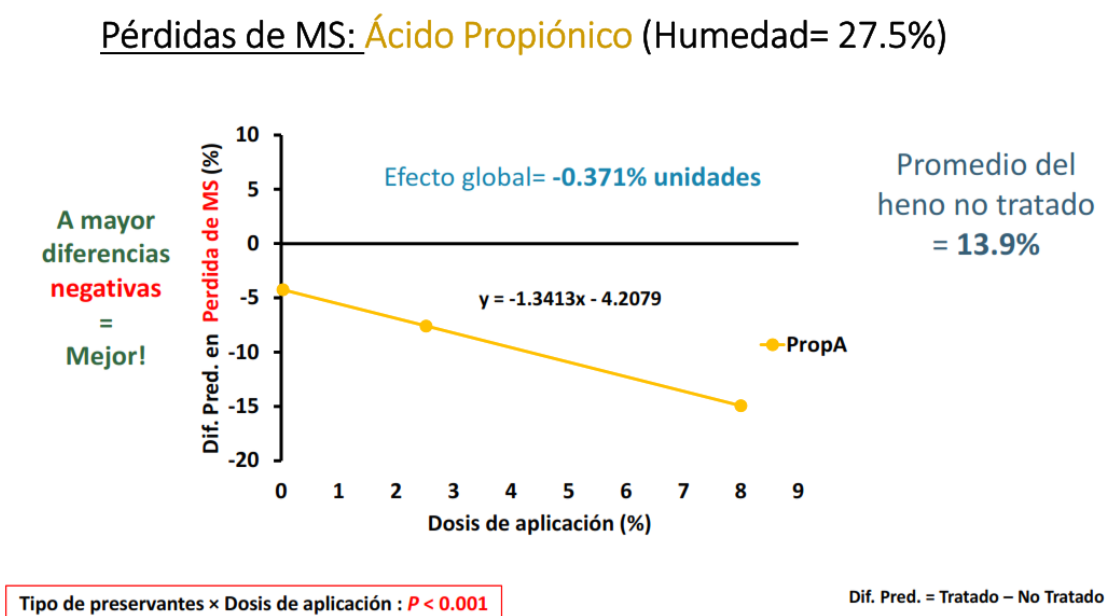
tipo biológico, debido a que la unidad usada para este tipo de preservantes es log UFC/g. Los moderadores del meta-análisis para los preservantes químicos fueron el tipo de preservante (TP), el tipo de forraje, la dosis de aplicación (DA), y la concentración de la humedad (CH). Es importante recalcar que las dosis de aplicación usadas en este estudio son del producto comercial y se encuentran expresadas en base fresca. En el caso de los moderadores para los preservantes biológicos, solo se pudo utilizar el tipo de forraje y la concentración de la humedad por la falta de estudios para poder evaluar los otros factores que sí pudieron ser incorporados para los preservantes químicos. Las variables respuesta consideradas fueron: pérdidas de MS en el almacenamiento (porcentaje), concentración de azúcares (base seca), enmohecimiento visual relativo (MV), temperatura máxima del heno (MaxT), digestibilidad de la MS *in vitro* (DMSIV; base seca), entre otras de menor importancia que se encuentran en Killerby, Reyes, *et al.* (2022).

Los preservativos químicos fueron clasificados en cinco grupos generales en función a su composición: (1) Ácido propiónico (PropA); (2) Sales buffer de ácidos orgánicos (AOB) que incluyeron sales buffer de ácido propiónico, ácido acético, ácido isobutírico, ácido sórbico y otros. (3); Otros Ácidos Orgánicos (OAO) que incluyeron una variedad de mezclas de productos comerciales con o sin ácido propiónico, ácido acético, ácido fórmico, ácido láctico y otros; (4) Úrea; (5) Amoníaco Anhidro (AA). Los inoculantes microbianos incluyeron bacterias del ácido láctico vivas, *Lactobacillus* sp. muertas, cultivos de bacterias más enzimas, bacterias productoras de ácido propiónico, y levaduras, pero el análisis no hizo distinción entre estas clases porque no hay suficientes estudios para cada una para poder analizar el tipo de inoculante bacteriano como un moderador en el modelo.

Los forrajes evaluados en el estudio incluyen leguminosas, gramíneas y mezclas de ambas. Todos los experimentos que evaluaron heno de leguminosas consistieron al 100 por ciento de alfalfa. Los que incluyeron solo heno de gramíneas pueden ser subdivididos en estudios que evaluaron ryegrass inglés (34 por ciento del total de estudios de gramíneas); gramíneas sin identificar en los estudios (25 por ciento); bermugrass (23 por ciento); fleo (*Phleum pratense* L.; 5.5 por ciento), entre otros. Para los estudios que evaluaron mezclas de leguminosas y gramíneas, un 59 por ciento de estudios evaluó los efectos sobre mezclas de alfalfa con pasto ovilla, fleo, bromo, y otras gramíneas. Un 31 por ciento restante evaluó mezclas de trébol rojo con ryegrass y fleo.

### 6.2.1. Efectos de los preservantes químicos

La pérdida de MS promedio de los henos no tratados con preservantes durante la fase de almacenamiento fue igual a 13.9 por ciento. Existieron suficientes estudios para modelar el efecto de dosis en aumento sobre este tipo de pérdidas solo para el ácido propiónico. Para todos los tipos de henos tratados con este tipo de ácido se observó una reducción de las pérdidas de MS que abarcaron de -4.25 a -14.9 por ciento (diferencia relativa al heno no tratado) cuando la dosis aumento de 0.03 a 8.00 por ciento; respectivamente (Fig. 2). Esta respuesta es importante para reconocer que en líneas generales existe una gran capacidad para incrementar las reducciones de las pérdidas de MS con dosis en aumento de ácido propiónico.



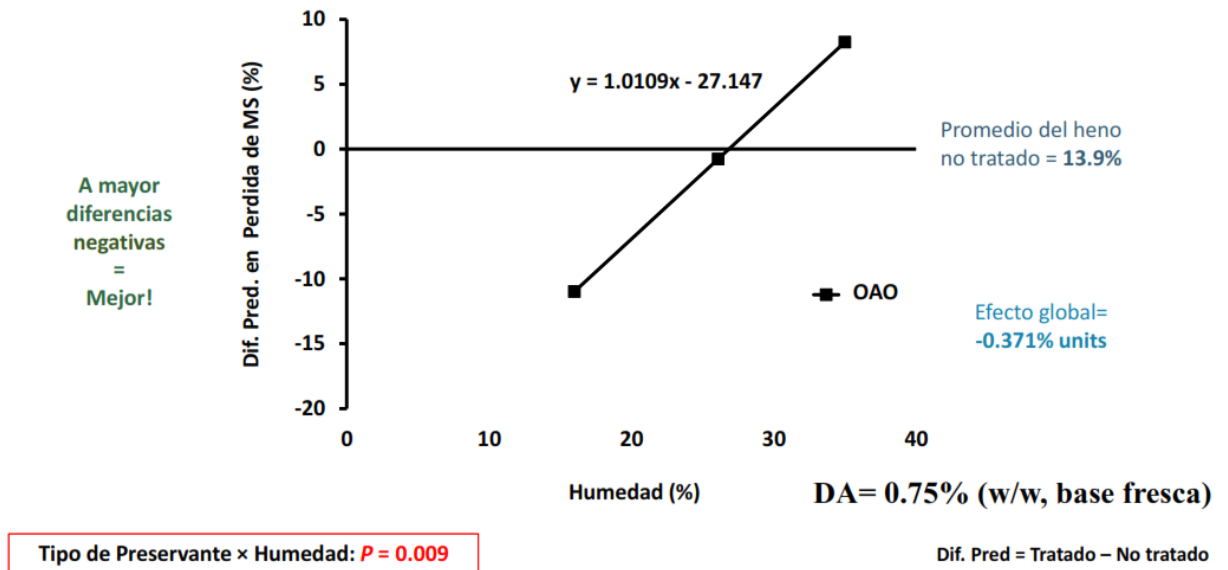
**Figura 2. Efecto de la dosis de aplicación del ácido propiónico en las pérdidas de MS.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Fuente: Adaptado de Killerby, Reyes, et al. (2022).

También existieron suficientes estudios para poder modelar el efecto de incrementar la concentración de la humedad del forraje sobre la pérdida de MS solo para el caso de los OAO. Se observó que a medida que se incrementó la humedad de 16 a 35 por ciento, la diferencia relativa al heno no tratado cambio de un excelente valor de -11 por ciento a un indeseable +8.2 por ciento, que sugiere que a humedades cercanas al 35 por ciento los preservantes del tipo OAO pueden aumentar las pérdidas de MS durante el almacenamiento

en 8.2 puntos porcentuales (Fig. 3). Por eso se sugiere no tratar henos con preservantes basados en ácidos orgánicos cuando la humedad de estos supera el 30 por ciento. En esos casos, es mejor sellar las pacas con varias capas de plástico tipo film como se hace con los henolajes (Coblentz *et al.*, 2021).

### Pérdida de MS: Otros Ácidos Orgánicos (OAO)

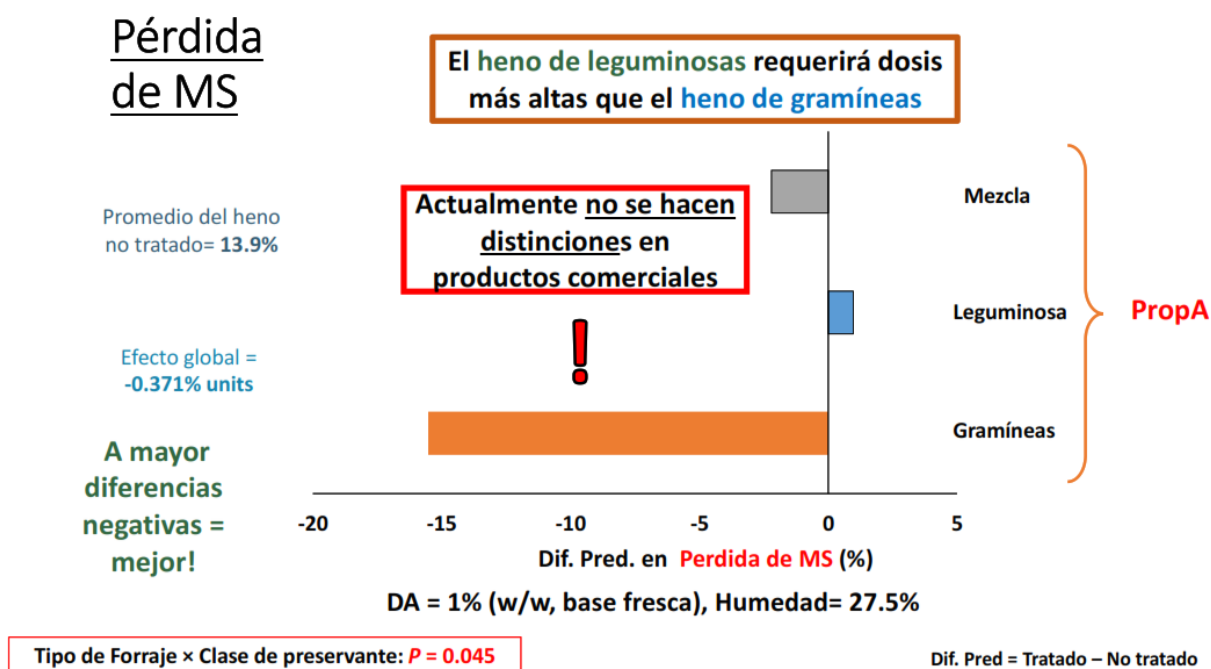


**Figura 3. Efecto de la humedad en las pérdidas de MS de henos tratados con otros ácidos orgánicos.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Fuente: Adaptado de Killerby, Reyes, *et al.* (2022).

Uno de los descubrimientos más importantes de Killerby, Reyes, *et al.* (2022) fue identificar que la reducción de las pérdidas de MS debido a la aplicación de PropA fueron mayores en el heno de gramíneas (-16.2 por ciento, relativo al valor al heno de gramíneas no tratado) comparado a la mezcla con leguminosas que solo redujo sus pérdidas de MS en -4.25 puntos porcentuales (relativo al heno mezcla no tratado) y especialmente al heno de leguminosas que sufrió de un incremento en las pérdidas de MS en +2.2 puntos porcentuales por encima del valor observado para el heno de leguminosas no tratado (Fig. 4). Es importante tener en cuenta que para obtener estos valores se tuvo que fijar la humedad a 27.5 por ciento, que es la humedad promedio en el conjunto de datos analizados, y la dosis de aplicación a 1 por ciento al ser la dosis promedio en el conjunto de datos para pérdidas de MS. Bajo estas

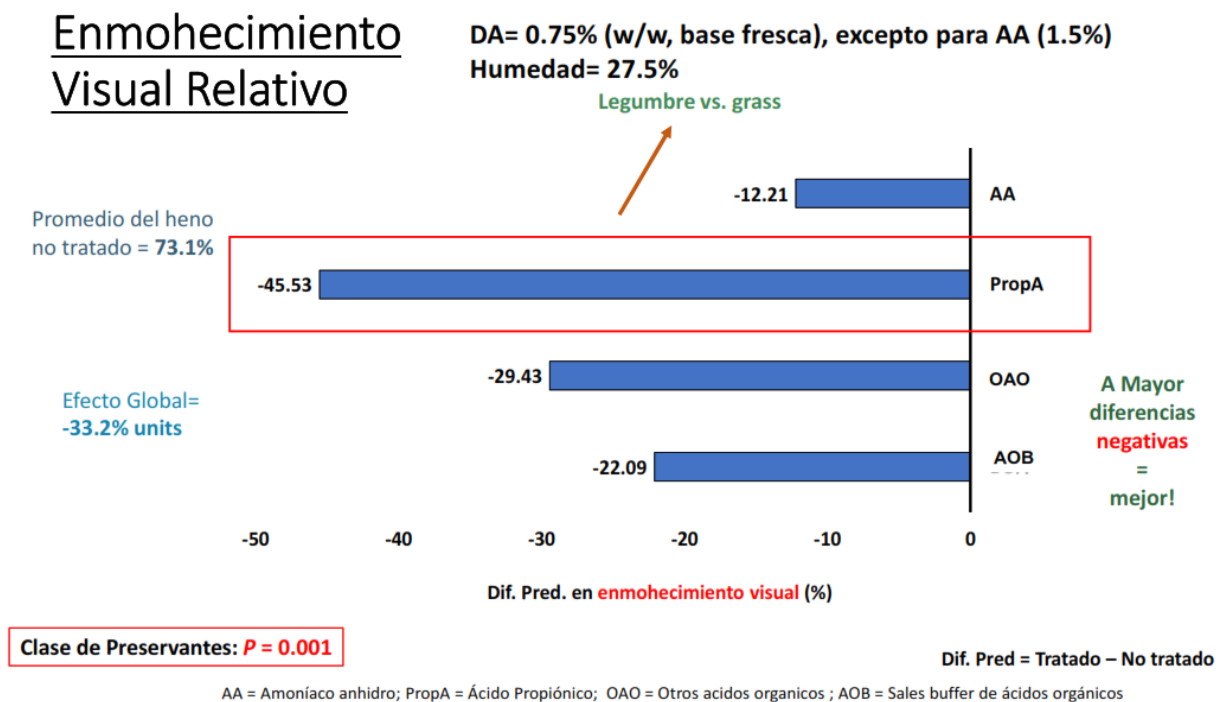
condiciones altas de humedad, aplicar un 1 por ciento de ácido propiónico no es suficiente para las leguminosas, pero si lo es en gran medida para las gramíneas. Esto indica que para las leguminosas las dosis deben ser más altas, relativo a las gramíneas. Lamentablemente no hubo los suficientes estudios para poder modelar una interacción de tres vías ente TF × TP × DA y brindar sugerencias de DA concretas relativas al tipo de forraje para más de un tipo de preservante. Al respecto, especulamos que el efecto reducido de preservantes basados en ácidos orgánicos en las leguminosas con respecto a las gramíneas se debe a la alta capacidad buffer de las primeras (Coblentz, 2015). Esto se debe a que las leguminosas tienen más proteína, pectina, y cenizas que las gramíneas, en promedio, todas con alta capacidad buffer (Jasaitis *et al.*, 1987; Mennah-Govela *et al.*, 2020). Debido a que los ácidos orgánicos pierden actividad antimicrobiana a medida que sube su pH porque se vuelven más polares y les es más difícil cruzar las membrana de los microorganismos (Reyes *et al.*, 2020), la dificultad de los ácidos orgánicos de disminuir el pH, en las leguminosas, reduce su actividad antimicótica, lo cual implica una aplicación mayor de producto o de acidificadores más potentes como el ácido fórmico en combinación con el ácido propiónico.



**Figura 4. Efecto del tipo de forraje sobre la eficacia del ácido propiónico en prevenir las pérdidas de MS.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Fuente: Adaptado de Killerby, Reyes, *et al.* (2022).

Para evaluar el efecto de TP sobre la variable MV, (Killerby, Reyes, *et al.*, 2022) fijo una humedad de 27.5 por ciento en el modelo y una DA de 0.75 por ciento para todos los preservantes excepto amoniaco anhidro, que típicamente es aplicado a mayores niveles y que por lo tanto fue fijado en 1.5 por ciento de DA. Bajo estas condiciones normalizadas, observaron una disminución de MV en una magnitud de -22.1, -29.4, -45.5 y -12.2 puntos porcentuales para la aplicación de AOB, OAO y PropA con respecto al heno sin tratar, el cual tuvo un valor promedio de MC de 73.1 por ciento de la superficie de la paca cubierta con mohos debido a la alta humedad (27.5 por ciento) considerada en el modelo (Fig. 5). Las diferencias entre los TP en (Killerby, Reyes, *et al.*, 2022) tienen que ser interpretadas con cuidado porque para el caso de AOB y OAO se tuvieron que agrupar más de un tipo de preservante para cada clase, a comparación de PropA, que fue analizado en solitario debido a que hay muchos estudios publicados usando ácido propiónico. Teniendo esto en consideración, la diferencia radica que PropA es mucho más ácido que los otros TP y por lo tanto llega a tener una actividad antimicótica más potente que sus sales buffer por las razones ya explicadas. Sin embargo, el tipo de álcali usado para la preparación de las sales buffer de PropA tiene un efecto muy importante, ya que cuando se usa hidróxido de amonio para la manufactura de propionato de amonio, el grupo amonio de por si es antimicótico y potencia los efectos del anión propionato. En cambio, cuando se usa hidróxido de calcio o de sodio, estos cationes no tienen ninguna propiedad antimicótica y reducen la actividad antimicótica total del producto. Los AOB fueron desarrollados más que nada para evitar la corrosión de la maquinaria agrícola, que ocurre cuando se aplica ácido propiónico en equipos que no cuentan con una adecuada protección anticorrosiva (Collins & Moore, 2017), además de las pérdidas por volatilización que ocurren en PropA comparado con sus sales buffer (Baah *et al.*, 2005).



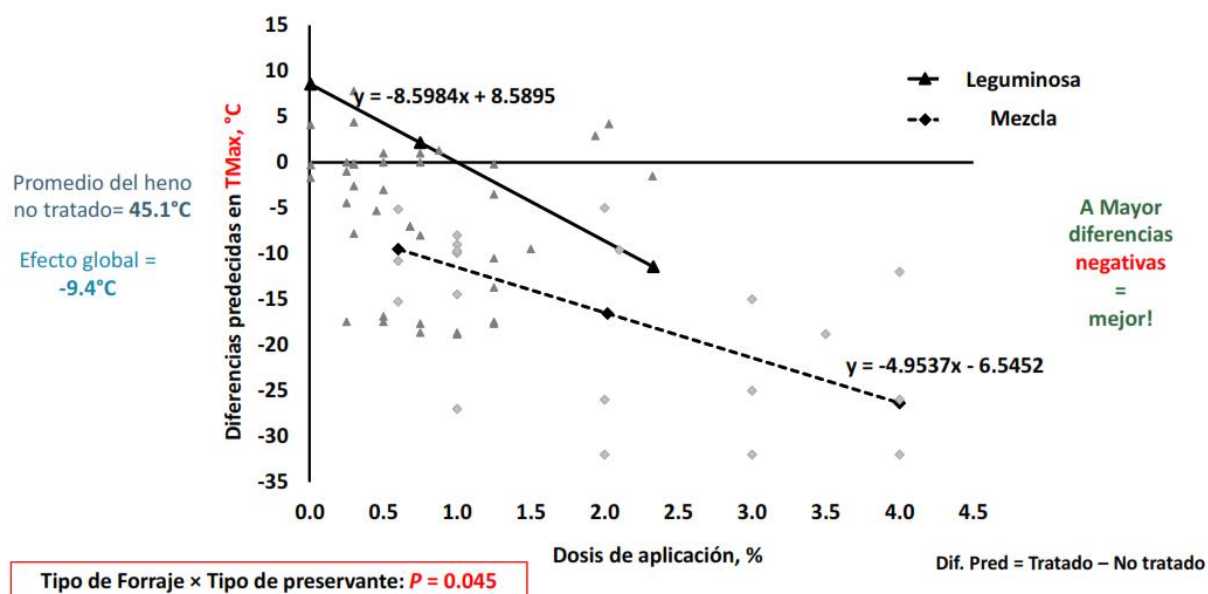
**Figura 5. Efecto del tipo de preservante sobre el enmohecimiento visual relativo.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Fuente: Adaptado de Killerby, Reyes, *et al.* (2022).

En el conjunto de datos de henos sin tratar, (Killerby, Reyes, *et al.*, 2022) encontró una MaxT en las pacas de 45.1°C y se reportó que los preservantes redujeron que la MaxT en las pacas en una magnitud de -9.4 °C, en promedio, comparado con los henos en tratar. Este análisis es solo aplicable para PropA, AOB, y OAO ya que los demás preservativos no contaron con la suficiente cantidad de estudios que midieron esta variable respuesta. (Killerby, Reyes, *et al.*, 2022) observaron que la MaxT a una humedad de 27.5 por ciento (fijada en el modelo) paso de +8.5°C a una DA de 0.006 por ciento de preservante a -11.4°C a una DA de 2.33 por ciento en el caso de heno de leguminosas, relativo a su par sin tratar (Fig. 6). En el caso de heno mezclado de gramíneas y leguminosas, la MaxT paso de -9.5 a -26.4°C al incrementarse la DA de 0.6 a 4 por ciento para los preservantes en su conjunto. Esta es otra variable en la cual se puede apreciar que cuando el heno consiste solo de leguminosas, los preservantes tienen un efecto mucho más reducido comparado con mezclas que contienen gramíneas. Incluso, a una DA por debajo de 1 por ciento, los preservantes incrementaron la MaxT en henos de solo leguminosa, mientras que los henos tipo mezcla se beneficiaron de la aplicación de preservante en una mayor medida.

## Temperatura máxima en la paca

Humedad= 27.5%



**Figura 6. Efecto de la dosis de aplicación de preservantes en la temperatura máxima de pacas de leguminosas y mezclas de gramíneas y leguminosas.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Fuente: Adaptado de Killerby, Reyes, et al. (2022).

La aplicación de los preservantes, en promedio, dio lugar a una mayor DIVMS (+1.9 por ciento de MS) comparada con los controles no tratados de heno ( $x=58.3$  por ciento) (Killerby, Reyes, et al., 2022). Los autores reportaron que a medida que la DA de los preservantes se incrementó de 0.02 a 4 por ciento la DIVMS aumento de +0.1 por ciento a +6.6 puntos porcentuales (base seca) por encima del heno sin tratar. Los preservantes aumentaron la DIVMS del heno de gramíneas en una magnitud de +4.8 puntos porcentuales (base seca) pero el efecto solo fue de +1.6 en heno de leguminosas, relativo al heno no tratado. La acción antimicótica de los preservantes asegura que la fracción más nutritiva del heno no sea degradada y por consecuencia la DIVMS fue incrementada cuando los henos de alta humedad fueron tratados.

### 6.2.2. Efectos de los inoculantes microbianos

La aplicación de inoculantes microbianos en henos no tuvo ningún efecto en la pérdida de MS durante la fase de almacenamiento (Killerby, Reyes, et al., 2022). Se observó que los inoculantes pueden reducir ligeramente (-9.71 por ciento), relativo al heno no tratado (46.8 por ciento), los valores de MV a humedades de la paca por debajo del 20 por ciento, pero

cuando los valores superan el 27.5 por ciento este efecto desaparece. Sorprendentemente, se observó que, a una humedad del 35 por ciento, los inoculantes elevaron los valores de MV (+8.10 por ciento) por encima del control (Killerby, Reyes, *et al.*, 2022). Este efecto fue más marcado en leguminosas que en gramíneas. A pesar de que el enmohecimiento visual es una variable relativa que mide solo el grado de enmohecimiento de la superficie de la paca, es una variable muy comúnmente medida en la literatura y en este caso nos indica que los efectos de los inoculantes varían de ligeramente beneficiosos en henos adecuadamente secados a perjudiciales en henos de alta humedad. Sin embargo, es muy poco justificable aplicar preservantes a henos adecuadamente secos y la necesidad más apremiante es el tratamiento de los henos con valores de humedad más altos que los recomendados.

En cuanto a temperaturas máximas en las pacas, se observó en el caso de leguminosas, que los inoculantes redujeron las temperaturas máximas (-10°C) con respecto a las pacas no tratadas (44.3°C) pero solo a humedades del 15 por ciento, desapareciendo cualquier ventaja a una humedad del 25 por ciento. Como en el caso de MV, los inoculantes incrementaron las temperaturas cuando fueron aplicados en henos con una humedad del 35 por ciento. Las gramíneas no se beneficiaron de la aplicación de inoculantes en el rango de humedad evaluado en la base de datos de gramíneas (15-25 por ciento). Cuando se evaluó el efecto de inoculación sobre la concentración de azúcares, se observó que las gramíneas se beneficiaron en mayor medida (+1.47 por ciento), comparado a las leguminosas (+0.33 por ciento), relativo al heno no tratado (4.63 por ciento).

En general los inoculantes microbianos que han sido evaluados en estudios para henos no son recomendables ya que tienen beneficios muy limitados en la preservación de nutrientes. Esta falla es probablemente explicada por el hecho de que muchos de los inoculantes para henos son BAL que, para tener un efecto positivo, tendrían que producir una cantidad alta de ácido acético y propiónico para poder tener un efecto antimicótico en el heno. El hecho que los BAL requieran de condiciones anaeróbicas para poder fermentar y de una humedad por encima del 35-40 por ciento (Duchaine *et al.*, 1995), limitan su multiplicación en el heno como si ocurre en el caso de los ensilados.



## VII. CONCLUSIONES

1. El uso de inoculantes BAL es muy útil en ensilados, siempre y cuando se aplique el tipo correcto dependiendo de la especie de forraje a tratar; se aplique el conteo mínimo de BAL en el inoculante a ser utilizado que sea efectivo para las especies; y se mantenga los tiempos de almacenamiento recomendados para la especie forrajera siendo ensilada y el tipo de BAL a ser aplicado. Es muy importante seguir, además, e incluso con más cautela, las guías de altura de corte, madurez del forraje a ser cosechado, tamaño de picado, la humedad del forraje a ser ensilado, la densidad del silo, el nivel de sellado, y del manejo de un silo abierto para así minimizar las pérdidas de nutrientes en todas las fases de la producción de ensilados. Esto maximizará la productividad de los animales y reducirá los costos de alimentación, incrementado las ganancias de los productores.
2. En el caso de la producción de henos, cuando el clima y la logística no permiten el embalado del heno a una MS menor a 16-20 por ciento (pero no menor a 15), la aplicación de preservantes se vuelve una herramienta importante para prevenir la pudrición del alimento durante el almacenamiento debido a la acción de mohos y levaduras. Eso sí, siempre y cuando la humedad del material embalado no supere el 30 por ciento de humedad. Los preservantes más eficaces son los basados en ácidos orgánicos, especialmente el ácido propiónico, siempre y cuando la embaladora está protegida contra los efectos corrosivos del ácido propiónico. Si este no es el caso, las sales buffer del ácido propiónico son una buena opción, especialmente el propionato de amonio. Se debe aplicar los ácidos orgánicos en el rango alto de las recomendaciones de los fabricantes cuando el forraje a tratar sea una leguminosa y el rango bajo cuando una gramínea sean el forraje objetivo, debido a que las leguminosas tienen una capacidad buffer más alta que neutraliza los ácidos orgánicos llegando a reducir su potencia. Los inoculantes BAL no son efectivos para el tratamiento de heno de alta humedad debido a que necesitan más de 35-40 por ciento de humedad para poder multiplicarse.

## VIII. RECOMENDACIONES

La implementación de las sugerencias descritas en este manuscrito para la producción óptima de ensilados y henos mejorará la captura de los nutrientes forrajeros a lo largo del país y permitirá un manejo más eficiente de la logística de los alimentos para el ganado en el Perú. Las grandes y medianas ganaderías lecheras del país requieren una calidad de forraje uniforme y adecuada a lo largo del año, lo cual puede ser alcanzado con forraje cosechado en su estadio de madurez óptimo y almacenado en condiciones que minimicen cualquier pérdida nutricional antes de que sea consumido por el animal. En el caso de las ganaderías que producen forrajes en condiciones de secano, la producción de henos y ensilados permite la captura óptima de los nutrientes forrajeros en la estación de alta productividad para que así los excedentes puedan ser almacenados y eventualmente alimentados en la época seca y de heladas.

Una producción abundante de heno en el Perú permitiría que las zonas con más campañas agrícolas, como la costa y la selva, puedan producir forraje que pueda ser transportado y vendido en las zonas con una sola campaña agrícola, como la zona altoandina, que es limitada por el clima. Solo el heno puede ser transportado a grandes distancias, especialmente si es embalado en densidades altas para que ocupe así un menor volumen. Entre los forrajes más cultivados de la sierra, destaca la avena forrajera, la cual puede ser henificada y servir como fuente de forraje en la época de escasez por lo que sería recomendable hacer estudios de viabilidad económica especialmente para pequeños productores. En la costa se produce henos fácilmente, porque la producción forrajera es irrigada y se utilizan especies de alto valor nutricional como la alfalfa. Sin embargo, la escasez de agua es un grave problema y especies como la alfalfa son grandes consumidoras de agua. La selva, en cambio, tiene un mayor potencial a futuro por su disponibilidad de agua y buen clima para una producción de forrajes en grandes cantidades, que sin embargo son de calidad más baja al ser plantas C<sub>4</sub>. El clima húmedo de esta región representa una gran barrera para la producción de henos, pero esto podría ser resuelto con la utilización de preservantes que permitan un embalado a una humedad más alta que la sugerida. Estudios de viabilidad económica para estos escenarios se recomiendan para trabajos futuros. Una oferta más diversa de henos permitiría la reducción de los costos de alimentación en la zona

altoandina y ayudaría a reducir la pérdida de ganado que ocurre durante la época de heladas en las zonas más altas del Perú.

Al ser el maíz la especie forrajera más comúnmente ensilada en el Perú, especialmente entre los ganaderos lecheros, se puede inferir que el problema más apremiante que afecta el manejo de ensilados de maíz en Estados Unidos también ocurre en gran medida en el territorio nacional. Como fue discutido en el manuscrito, el maíz es la especie más fácil de ensilar porque su abundancia en azúcares y baja capacidad buffer asegura una rápida y alta productividad de ácido láctico durante la fermentación. Sin embargo, una vez que el silo es abierto para ser alimentado, la baja productividad de ácido acético que típicamente se observa en ensilados de maíz altos en ácido láctico resulta en silos con temperaturas inestables que sobrepasan los 40°C en la cara y en la ración ofrecida al animal. En un país tropical como el Perú esto resulta muy inconveniente, y hace a sus silos más proclives al deterioro aerobio relativo a climas más fríos. Por eso es crucial que los productores de silos en el Perú se aseguren de alcanzar las densidades de MS mencionadas en este manuscrito, de seguir las recomendaciones de MS al ensilar, de realizar un sellado óptimo, y finalmente de manejar la cara del silo adecuadamente. Una vez este nivel de manejo es logrado, un inoculante adecuado, en el caso de maíz uno que contenga *L. buchneri* solo o en combinación, permitirá la mitigación de las pérdidas nutricionales en la fase de alimentación (la más sensible en el caso de maíz). Cuando inoculantes sean aplicados será muy importante hacer un seguimiento de la dosis de aplicación como sugerido en este manuscrito. Controlar las pérdidas durante la fase de alimentación, que pueden llegar hasta el 30 por ciento de la MS, será muy importante para mejorar las ganancias de las operaciones lecheras peruanas, la salud de nuestro hato lechero, y la calidad de la leche producida en el país.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addah, W., Baah, J., Okine, E., Owens, F., & McAllister, T. (2014). Effects of chop-length and a ferulic acid esterase-producing inoculant on fermentation and aerobic stability of barley silage, and growth performance of finishing feedlot steers. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 34-46.
- Adesogan, A. T. (2014). Avoiding the two greatest silage problems. Proceedings 50<sup>th</sup> Florida Dairy Production Conference, Gainesville, FL.
- Adesogan, A. T., & Newman, Y. C. (2014). Silage Harvesting , Storing , and Feeding 1.
- Albrecht, K. A., & Beauchemin, K. A. (2003). Alfalfa and Other Perennial Legume Silage. In D. Buxton, R. E. Muck, & J. Harrison (Eds.), *Silage science and technology*. ASAS CSSA SSSA.
- Allen, M. S., Coors, J. G., & Roth, G. W. (2003). Corn silage. In *Silage science and technology* (pp. 547-608). American Society of Agronomy, Crop Science Society.
- Amado, I. R., Fuciños, C., Fajardo, P., Guerra, N. P., & Pastrana, L. (2012). Evaluation of two bacteriocin-producing probiotic lactic acid bacteria as inoculants for controlling *Listeria monocytogenes* in grass and maize silages. *Animal Feed Science and Technology*, 175(3-4), 137-149.
- Arrige, R. D., C.; Dulphy, J.P. (1982). *Forage Conservation*. Commonwealth Agricultural Bureau.
- Arriola, K., Queiroz, O., Romero, J., Casper, D., Muniz, E., Hamie, J., & Adesogan, A. (2015). Effect of microbial inoculants on the quality and aerobic stability of bermudagrass round-bale haylage. *Journal of Dairy Science*, 98(1), 478-485.
- Arriola, K. G., Oliveira, A. S., Jiang, Y., Kim, D., Silva, H. M., Kim, S. C., . . . Adesogan, A. T. (2021). Meta-analysis of effects of inoculation with *Lactobacillus buchneri*, with or without other bacteria, on silage fermentation, aerobic stability, and

- performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 104(7), 7653-7670.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2020-19647>
- Artica, L. F. (2020). Guía de Formación virtual: Producción agroecológica de pastos y forrajes altoandinos. In IDMA (Ed.), *Proyecto FORMAGRO- Programa de Formación Agraria y de Apoyo al Emprendimiento Juvenil en el Perú* (pp. 109). Perú: Asociación SUCO, ALLPA e Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente
- Ashbell, G., Weinberg, Z., Hen, Y., & Filya, I. (2002). The effects of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silages. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 28(5), 261-263.
- Ávila, C. L. S., & Carvalho, B. F. (2020). Silage fermentation—updates focusing on the performance of micro-organisms. *Journal of Applied Microbiology*, 128(4), 966-984.  
<https://doi.org/10.1111/jam.14450>
- Baah, J., McAllister, T. A., Bos, L., Herk, F., & Charley, R. C. (2005). Effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 and buffered propionic acid on preservation and nutritive value of alfalfa and timothy high-moisture hay. *Asian-Australas J Anim Sci*, 18. <https://doi.org/10.5713/ajas.2005.649>
- Ball, D., Bade, D., Lacefield, G., Martin, N., & Pinkerton, B. (1998). *Minimizing losses in hay storage and feeding* (National Forage Information Circular, Issue. G. Center.
- Baron, V. S., & Bélanger, G. (2020). Climate, Climate-Change and Forage Adaptation. In *Forages* (pp. 151-186). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch8>
- BCR. (2020). *Memoria 2019*. Lima, Perú: Banco Central de Reserva del Perú
- Blajman, J. E., Páez, R. B., Vinderola, C. G., Lingua, M. S., & Signorini, M. L. (2018). A meta-analysis on the effectiveness of homofermentative and heterofermentative lactic acid bacteria for corn silage. *Journal of Applied Microbiology*, 125(6), 1655-1669. <https://doi.org/10.1111/jam.14084>
- Bolsen, K. (2014). Is your silage plastic contributing to silage losses? *DairyBusiness*, 2. <https://www.asi.k-state.edu/research-and-extension/beef/research-and-extension/silageplastic.pdf>

- Borreani, G., Piano, S., & Tabacco, E. (2014). Aerobic stability of maize silage stored under plastic films with different oxygen permeability. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(13), 2684-2690. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.6609>
- Borreani, G., & Tabacco, E. (2010). The relationship of silage temperature with the microbiological status of the face of corn silage bunkers. *Journal of Dairy Science*, 93(6), 2620-2629.
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3952-3979. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
- Brito, A. F., Tremblay, G. F., Bertrand, A., Castonguay, Y., Bélanger, G., Michaud, R., . . . Berthiaume, R. (2016). Performance and nitrogen use efficiency in mid-lactation dairy cows fed timothy cut in the afternoon or morning. *Journal of Dairy Science*, 99(7), 5445-5460. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2015-10597>
- Brown, P. (2013). Humidity, Hay Moisture & Harvest Management. *Arizona College of Agricultural and Life Sciences-Cooperative Extension*.
- Brown, P. W. (2015). *Humidity, hay moisture and harvest management*. In: *Western States Alfalfa and Forage Symposium*, Reno - Nevada. <https://hayandforage.com/print-article-126-permanent.html>
- Brüning, D., Gerlach, K., Weiß, K., & Südekum, K. H. (2018). Effect of compaction, delayed sealing and aerobic exposure on maize silage quality and on formation of volatile organic compounds. *Grass and Forage Science*, 73(1), 53-66.
- Castillo, M. (2021). La agricultura Peruana, situación post covid-19 y perspectivas. *Friedrich Eberto Stiftung*.
- Catchpoole, V., & Henzell, E. (1971). Silage and silage-making from tropical herbage species. *Herbage abstracts*,
- Cherney, D. J., & Parsons, D. (2020). Predicting Forage Quality. In *Forages* (pp. 687-699). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch38>

- Cherney, D. J. R., & Cherney, J. H. (2005). Forage Yield and Quality of Temperate Perennial Grasses as Influenced by Stubble Height. *Forage & Grazinglands*, 3(1), 1-8.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1094/FG-2005-0215-01-RS>
- Coblentz, W., Coffey, K., & Chow, E. (2016). Storage characteristics, nutritive value, and fermentation characteristics of alfalfa packaged in large-round bales and wrapped in stretch film after extended time delays. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3497-3511.
- Coblentz, W. K. (2015). *Managing fermentation with baled silage* World Dairy Expo 2015, Marshfield, WI.
- Coblentz, W. K. (2020). Post-harvest physiology. In *Forages* (pp. 721-747).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch40>
- Coblentz, W. K., & Akins, M. S. (2018). Silage review: Recent advances and future technologies for baled silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4075-4092.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2017-13708>
- Coblentz, W. K., Akins, M. S., & Kieke, B. A. (2020). Storage characteristics and nutritive value of moist large-round bales of alfalfa or alfalfa–grass hay treated with a propionic acid–based preservative. *Applied Animal Science*, 36(4), 455-470.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.15232/aas.2020-02024>
- Coblentz, W. K., Akins, M. S., & Kieke, B. A. (2021). Storage characteristics of baled alfalfa-grass forages treated with a propionic-acid-based preservative or wrapped in stretch plastic film. *Applied Animal Science*, 37(5), 505-518.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.15232/aas.2021-02193>
- Coblentz, W. K., Jennings, J. A., & Coffey, K. P. (2004). Biology and effects of spontaneous heating in hay. *Progressive Hay Grower*, 9(4), 12-15.
- Collins, M. (1985). Wetting Effects on the Yield and Quality of Legume and Legume-Grass Hays<sup>1</sup>. *Agronomy Journal*, 77(6), 936-941.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.2134/agronj1985.00021962007700060024x>
- Collins, M. (1995). Hay preservation effects on yield and quality. *Post - harvest physiology and preservation of forages*, 22, 67-89.

- Collins, M., Ditsch, D., Henning, J., Turner, L., Isaacs, S., & Lacefield, G. (1997). Round bale hay storage in Kentucky. *University of Kentucky College of Agriculture, Lexington, and Kentucky State University, Frankfort. Copyright.*
- Collins, M., & Moore, K. J. (2017). *Preservation of forage as hay and silage. In: M. Collins, C. J. Nelson, K. J. Moore and R. F. Barnes, editors, Forages, Volume 1 : An Introduction to Grassland Agriculture* (C. J. N. M. Collins, K. J. Moore and R. F. Barnes., Ed. Vol. 1). John Wiley & Sons, Incorporated, Somerset.
- Collins, M., & Owens, V. (2003). Preservation of forage as hay and silage. *Forages: An introduction to grassland agriculture, 1*, 443-471.
- Contreras-Govea, F. E., Muck, R. E., Mertens, D. R., & Weimer, P. J. (2011). Microbial inoculant effects on silage and in vitro ruminal fermentation, and microbial biomass estimation for alfalfa, bmr corn, and corn silages. *Animal Feed Science and Technology, 163*(1), 2-10.
- Crook, T., Stewart, B., Sims, M., Weiss, C., Coffey, K., Coblenz, W., & Beck, P. (2020). The effects of moisture at baling and wrapping delay on storage characteristics of annual ryegrass round bale silage. *Crop, Forage & Turfgrass Management, 6*(1), e20015.
- Davidson, P. M., Taylor, T. M., & Schmidt, S. E. (2013). Chemical Preservatives and Natural Antimicrobial Compounds. In *Food Microbiology*. American Society of Microbiology. <https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1128/9781555818463.ch30>
- Der Bedrosian, M. C., Nestor Jr, K. E., & Kung Jr, L. (2012). The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. *Journal of Dairy Science, 95*(9), 5115-5126. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3168/jds.2011-4833>
- Driehuis, F., Wilkinson, J., Jiang, Y., Ogunade, I., & Adesogan, A. (2018). Silage review: Animal and human health risks from silage. *Journal of Dairy Science, 101*(5), 4093-4110.



- Drouin, P., Tremblay, J., & Chaucheyras-Durand, F. (2019). Dynamic succession of microbiota during ensiling of whole plant corn following inoculation with *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus hilgardii* alone or in combination. *Microorganisms*, 7(12), 595.
- Duchaine, C., Lavoie, M. C., & Cormier, Y. (1995). Effects of a Bacterial Hay Preservative (*Pediococcus pentosaceus*) on Hay under Experimental Storage Conditions. *Applied and environmental microbiology*, 61(12), 4240-4243.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16535180>  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1388645/>  
<https://aem.asm.org/content/aem/61/12/4240.full.pdf>
- Durham, A. E. (2022). Association between forage mycotoxins and liver disease in horses. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 36(4), 1502-1507.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jvim.16486>
- EFSA. (2015). Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed. Scientific Opinion on the safety and efficacy of lignosulphonate as a feed additive for all animal species. *EFSA Journal*, 13(7), 17.
- Ellis, J., Bannink, A., Hindrichsen, I., Kinley, R., Pellikaan, W., Milora, N., & Dijkstra, J. (2016). The effect of lactic acid bacteria included as a probiotic or silage inoculant on in vitro rumen digestibility, total gas and methane production. *Animal Feed Science and Technology*, 211, 61-74.
- Fan, J., Zhong, H., & Harris, W. (2004). Effects of cutting at different reproductive development stages on aftermath growth of red clover (*Trifolium pratense*) in a subtropical montane environment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 47(2), 209-217.
- Gerlach, K., Roß, F., Weiß, K., Büscher, W., & Südekum, K.-H. (2013). Changes in maize silage fermentation products during aerobic deterioration and effects on dry matter intake by goats. *Agricultural and Food Science*, 22(1), 168-181.

- Gómez, C. F., M. (2009). *Análisis comparativo de las emisiones de metano y efecto del cambio climático sobre la ganadería en el Perú*  
[https://www.researchgate.net/publication/318958853 Analisis comparativo de las emisiones de metano y efecto del cambio climatico sobre la ganaderia en e l Peru/citation/download](https://www.researchgate.net/publication/318958853_Analisis_comparativo_de_las_emisiones_de_metano_y_efecto_del_cambio_climatico_sobre_la_ganaderia_en_e_l_Peru/citation/download)
- Grant, R. J., & Ferraretto, L. F. (2018). Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4111-4121. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2017-13729>
- Hammes, W. P., Hertel, C. (2009). *Genus Lactobacillus beijerinck 1901, 212AL. The Firmicutes* (G. M. G. De Vos, D. Jones, N. R. Krieg, W. Ludwig, F. A. Rainey, K. Schleifer, and W. B. Whitman, Ed. 2nd Ed. ed., Vol. 3). Springer.
- Hancock, D. W. (2010). *Nitrate toxicity*.
- Hao, W., Tian, P., Zheng, M., Wang, H., & Xu, C. (2019). Characteristics of proteolytic microorganisms and their effects on proteolysis in total mixed ration silages of soybean curd residue. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(1), 100-110. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0933>
- Hatfield, R. D., & Kalscheur, K. F. (2020). Carbohydrate and Protein Nutritional Chemistry of Forages. In *Forages* (pp. 595-607). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch33>
- Heinrichs, J., & Kononoff, P. (2013). The Penn state particle separator. *Penn State Extension, University Park, PA. DSE, 186*, 1-8.
- Holmes, B., & Muck, R. (2007). *Spreadsheet to calculate average silage density in a bunker silo*. USDA and University of Wisconsin-Madison. <https://fyi.extension.wisc.edu/forage/files/2020/05/2020-BunkDensCalc-English-Spanish-Russian-French-Welsh-Hungarian-Protected.xlsx>
- Holmes, B. J. (2006). Density in silage storage. . *Silage for Dairy Farms: Growing, Harvesting, Storing and Feeding*. Conference Proceedings (NRAES-181) Ithaca, New York.

- Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2008). Packing bunker and pile silos to minimize porosity. *Focus on Forage*, 10(1), 1-2.
- Huhnke, R. L. (2017). Round Bale Hay Storage. In O. S. University (Ed.), *Oklahoma Cooperative Extension Service BAE-1716*. Oklahoma, USA: Oklahoma State University.
- Huhtanen, P., Shingfield, K., & Park, R. (2005). Grass silage: Factors affecting efficiency of N utilization in milk production. Proc. XIVth Internat. Silage Conf., Belfast, Northern Ireland,
- Idler, C., Venus, J., & Kamm, B. (2015). Microorganisms for the Production of Lactic Acid and Organic Lactates. In B. Kamm (Ed.), *Microorganisms in Biorefineries* (pp. 225-273). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-45209-7\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45209-7_9)
- Jalč, D., Váradyová, Z., Lauková, A., Homolka, P., & Jančík, F. (2009). Effect of inoculated corn silage on rumen fermentation and lipid metabolism in an artificial rumen (RUSITEC). *Animal Feed Science and Technology*, 152(3-4), 256-266.
- Jasaitis, D. K., Wohlt, J. E., & Evans, J. L. (1987). Influence of Feed Ion Content on Buffering Capacity of Ruminant Feedstuffs In Vitro<sup>1</sup>. *Journal of Dairy Science*, 70(7), 1391-1403. [https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80161-3](https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80161-3)
- Jaster, E. H. (1995). *Legume and Grass Silage Preservation* (M. A. P. Kenneth J. Moore, Ed. Vol. 22). <https://doi.org/10.2135/cssaspecpub22.c5>
- Jin, L., Duniere, L., Lynch, J., McAllister, T., Baah, J., & Wang, Y. (2015). Impact of ferulic acid esterase producing lactobacilli and fibrolytic enzymes on conservation characteristics, aerobic stability and fiber degradability of barley silage. *Animal Feed Science and Technology*, 207, 62-74.
- Killerby, M. A., Almeida, S. T. R., Hollandsworth, R., Guimaraes, B. C., Leon-Tinoco, A., Perkins, L. B., . . . Romero, J. J. (2022). Effect of chemical and biological preservatives and ensiling stage on the dry matter loss, nutritional value, microbial

- counts, and ruminal in vitro gas production kinetics of wet brewer's grain silage. *Journal of Animal Science*, 100(5). <https://doi.org/10.1093/jas/skac095>
- Killerby, M. A., Reyes, D. C., White, R., & Romero, J. J. (2022). Meta-analysis of the effects of chemical and microbial preservatives on hay spoilage during storage. *Journal of Animal Science*, 100(3). <https://doi.org/10.1093/jas/skac023>
- Kim, S., Fernandes, M. M., Matamá, T., Loureiro, A., Gomes, A. C., & Cavaco-Paulo, A. (2013). Chitosan–lignosulfonates sono-chemically prepared nanoparticles: Characterisation and potential applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 103, 1-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2012.10.033>
- Kung, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4020-4033. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- Kung, L., Stokes, M. R., & Lin, C. (2003). Silage additives. In D. Buxton, R. E. Muck, & J. Harrison (Eds.), *Silage science and technology* (pp. 305-360). ASAS CSSA SSSA.
- Leon-Tinoco, A. Y., Annis, S. L., Almeida, S. T., Guimarães, B. C., Killerby, M., Zhang, J., . . . Romero, J. J. (2022). Evaluating the potential of lignosulfonates and chitosans as alfalfa hay preservatives using in vitro techniques. *Journal of Animal Science*, 100(6). <https://doi.org/10.1093/jas/skac154>
- Mahanna, B., & Chase, L. E. (2003). Practical applications and solutions to silage problems. *Silage science and technology*, 42, 855-895.
- Maletta, H. (2017). *La pequeña agricultura familiar en el Perú*.
- Malkina, I. L., Kumar, A., Green, P. G., & Mitloehner, F. M. (2011). Identification and Quantitation of Volatile Organic Compounds Emitted from Dairy Silages and Other Feedstuffs. *Journal of Environmental Quality*, 40(1), 28-36. <https://doi.org/https://doi.org/10.2134/jeq2010.0302>
- Mataragas, M., Metaxopoulos, J., & Drosinos, E. H. (2002). Characterization of two bacteriocins produced by *Leuconostoc mesenteroides* L124 and *Lactobacillus curvatus* L442, isolated from dry fermented sausages. *World Journal of*

- Microbiology and Biotechnology*, 18(9), 847-856.  
<https://doi.org/10.1023/A:1021239008582>
- McAllister, T. A., Dunière, L., Drouin, P., Xu, S., Wang, Y., Munns, K., & Zaheer, R. (2018). Silage review: Using molecular approaches to define the microbial ecology of silage. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4060-4074.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2017-13704>
- McAllister, T. A., Ribeiro, G., Stanford, K., & Wang, Y. (2020). Forage-Induced Animal Disorders. In *Forages* (pp. 839-860).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch47>
- McCartney, D. (2005). Prospects for haying systems. In S. G. Reynolds & J. Frame (Eds.), *Grasslands: Developments opportunities perspectives around the world* (pp. 133-157). Science Publishers, INC.
- Mennah-Govela, Y. A., Cai, H., Chu, J., Kim, K., Maborang, M. K., Sun, W., & Bornhorst, G. M. (2020). Buffering capacity of commercially available foods is influenced by composition and initial properties in the context of gastric digestion. *Food Funct*, 11(3), 2255-2267. <https://doi.org/10.1039/c9fo03033f>
- MIDAGRI. (2022). SIEA Retrieved from  
<https://siea.midagri.gob.pe/portal/informativos/superficie-agricola-peruana>
- MINAGRI. (2013). *Resultados Definitivos: IV Censo Nacional Agropecuario-2012*. Instituto Nacional de Estadística e Informática Retrieved from  
<https://www.agrorural.gob.pe/dmdocuments/resultados.pdf>
- Miranda Choque, F., & Terrones Hernández, J. N. (2002). Conservación de pastos y forrajes cultivados en el Altiplano.
- Molina, A. M. G., Roa, L. B., Alzate, S. R., León, J. G. S. D., & Arango, A. F. B. (2004). Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Revista lasallista de investigación*, 1(1), 66-71.
- Moore, K. J., Lenssen, A. W., & Fales, S. L. (2020). Factors Affecting Forage Quality. In *Forages* (pp. 701-717). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch39>

- Muck, R., & Dickerson, J. (1988). Storage temperature effects on proteolysis in alfalfa silage. *Transactions of the ASAE*, 31(4), 1005-1009.
- Muck, R., & Kung Jr, L. (2007). Silage production. In *Forages: The Science of Grassland Agriculture* (Vol. 2, pp. 617-633). Blackwell Publishing.
- Muck, R. E., Kung Jr., L., & Collins, M. (2020). Silage Production. In *Forages* (pp. 767-787). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119436669.ch42>
- Muck, R. E., Nadeau, E. M. G., McAllister, T. A., Contreras-Govea, F. E., Santos, M. C., & Kung, L. (2018). Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3980-4000. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>
- Mustafa, A. F., Seguin, P., Marois-Mainguy, O., & Ouellet, D. R. (2005). Ensiling characteristics, nutrient composition, and in situ ruminal and whole tract degradability of brown midrib and leafy corn silage. *Archives of Animal Nutrition*, 59(5), 353-363. <https://doi.org/10.1080/17450390500247931>
- NASS. (2022). *Crop production 2021 summary*. USDA, Washington, DC. [https://www.nass.usda.gov/Quick\\_Stats/Lite/result.php?F4E504A1-795F-3516-A298-DD023FEE7A7A](https://www.nass.usda.gov/Quick_Stats/Lite/result.php?F4E504A1-795F-3516-A298-DD023FEE7A7A)
- Nestares, A. (2014). Técnicas de conservación de forrajes para la alimentación animal.
- Neu, A. E., Sheaffer, C. C., Undersander, D. J., Hall, M. H., Kniffen, D. M., Wells, M. S., . . . Martinson, K. L. (2017). Hay rake - type effect on ash and forage nutritive values of alfalfa hay. *Agronomy Journal*, 109(5), 2163-2171.
- Nsereko, V. L., Smiley, B. K., Rutherford, W. M., Spielbauer, A., Forrester, K. J., Hettinger, G. H., . . . Harman, B. R. (2008). Influence of inoculating forage with lactic acid bacterial strains that produce ferulate esterase on ensilage and ruminal degradation of fiber. *Animal Feed Science and Technology*, 145(1-4), 122-135.
- Núñez-Flores, R., Giménez, B., Fernández-Martín, F., López-Caballero, M. E., Montero, M. P., & Gómez-Guillén, M. C. (2012). Role of lignosulphonate in properties of fish

gelatin films. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 60-71.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.08.015>

Núñez Delgado, J., Ñaupari Vásquez, J., & Flores Mariazza, E. (2019). Comportamiento nutricional y perfil alimentario de la producción lechera en pastos cultivados (*Panicum maximum* Jacq). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(1), 178-192.

Ogunade, I. M., Kim, D. H., Jiang, Y., Weinberg, Z. G., Jeong, K. C., & Adesogan, A. T. (2016). Control of *Escherichia coli* O157:H7 in contaminated alfalfa silage: Effects of silage additives. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4427-4436.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2015-10766>

Ogunade, I. M., Martinez-Tupia, C., Queiroz, O. C. M., Jiang, Y., Drouin, P., Wu, F., . . . Adesogan, A. T. (2018). Silage review: Mycotoxins in silage: Occurrence, effects, prevention, and mitigation. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4034-4059.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2017-13788>

Oliveira, A. S., Weinberg, Z. G., Ogunade, I. M., Cervantes, A. A. P., Arriola, K. G., Jiang, Y., . . . Adesogan, A. T. (2017). Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(6), 4587-4603. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2016-11815>

Oude Elferink, S. J. W. H., Krooneman, J., Gottschal, J. C., Spoelstra, S. F., Faber, F., & Driehuis, F. (2001). Anaerobic Conversion of Lactic Acid to Acetic Acid and 1,2-Propanediol by *Lactobacillus buchneri*. *Applied and environmental microbiology*, 67(1), 125-132. <https://doi.org/10.1128/aem.67.1.125-132.2001>

Pahlow, G., Muck, R. E., Driehuis, F., Oude Elferink, S. J. W. H., & Spoelstra, S. F. (2003). Microbiology of Ensiling. In D. R. Buxton, Muck, R.E. and Harrison, J.H. (Ed.), *Silage science and technology*. Madison, WI: Agron. Monogr. ASA, CSSA and SSSA.

- Paytan, L., Sáez, M., Cordero, A. G., Paco, J. C., Curasma, J., Tunque, M., & Rojas, Y. (2017). Efecto de aditivos químicos en la composición del ensilado de avena ("Avena sativa" L). *Revista complutense de ciencias veterinarias*, 11(1), 69-75.
- Pezo, D., Villeda, R., Nájera, K. . (2012). Como preparar heno de buena calidad en forma artesanal. In C. A. T. d. I. y. Enseñanza (Ed.), *Serie Técnica. Manual técnico /CATIEV*. Turrialba, Costa Rica: I ed.- Turrialba, CR: CATIE. (Reprinted from: 1 ed.).
- Queiroz, O. C. M., Ogunade, I. M., Weinberg, Z., & Adesogan, A. T. (2018). Silage review: Foodborne pathogens in silage and their mitigation by silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4132-4142. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2017-13901>
- Rabelo, C., Härter, C., & Reis, R. (2016). A meta-analysis: effect of heterofermentative inoculants applied at different dry matter contents on the fermentation patterns and aerobic stability of sugarcane silages [Conference poster]. 17th International Conference, Forage Conservation, 27-29 September, 2016, Horný Smokovec, Slovak Republic,
- Raymond, S. L., Heiskanen, M., Smith, T. K., Reiman, M., Laitinen, S., & Clarke, A. F. (2000). An investigation of the concentrations of selected Fusarium mycotoxins and the degree of mold contamination of field-dried hay. *Journal of Equine Veterinary Science*, 20(10), 616-621. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0737-0806\(00\)80403-7](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0737-0806(00)80403-7)
- Rees, D. V. H. (1982). A discussion of sources of dry matter loss during the process of haymaking. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 27(6), 469-479. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0021-8634\(82\)90085-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0021-8634(82)90085-3)
- Reyes, D. C., Annis, S. L., Rivera, S. A., Leon-Tinoco, A. Y., Wu, C., Perkins, L. B., . . . Romero, J. J. (2020). In vitro screening of technical lignins to determine their potential as hay preservatives. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 6114-6134. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2019-17764>



- Romero, J., Miguel, C., & Burns, J. (2015). Forage conservation techniques: silage and haylage production. *NC Cooperative Extension Resources AG-812. North Carolina State University, Raleigh, NC, USA. bit.ly/34ARpmV.*
- Romero, J., Zarate, M., Queiroz, O., Han, J., Shin, J., Staples, C., . . . Adesogan, A. (2013). Fibrolytic enzyme and ammonia application effects on the nutritive value, intake, and digestion kinetics of bermudagrass hay in beef cattle. *Journal of Animal Science*, *91*(9), 4345-4356.
- Romero, J. J., Joo, Y., Park, J., Tiezzi, F., Gutierrez-Rodriguez, E., & Castillo, M. S. (2018). Bacterial and fungal communities, fermentation, and aerobic stability of conventional hybrids and brown midrib hybrids ensiled at low moisture with or without a homo- and heterofermentative inoculant. *Journal of Dairy Science*, *101*(4), 3057-3076. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2017-13754>
- Romero, J. J., Park, J., Joo, Y., Zhao, Y., Killerby, M., Reyes, D. C., . . . Castillo, M. S. (2021). A combination of *Lactobacillus buchneri* and *Pediococcus pentosaceus* extended the aerobic stability of conventional and brown midrib mutants–corn hybrids ensiled at low dry matter concentrations by causing a major shift in their bacterial and fungal community. *Journal of Animal Science*, *99*(8). <https://doi.org/10.1093/jas/skab141>
- Romero, J. J., Zhao, Y., Balseca-Paredes, M. A., Tiezzi, F., Gutierrez-Rodriguez, E., & Castillo, M. S. (2017). Laboratory silo type and inoculation effects on nutritional composition, fermentation, and bacterial and fungal communities of oat silage. *Journal of Dairy Science*, *100*(3), 1812-1828. <https://doi.org/http://doi.org/10.3168/jds.2016-11642>
- Rotz, C. A. (1995). Field curing of forages. *Post - Harvest Physiology and Preservation of Forages*, *22*, 39-66.
- Rotz, C. A., & Chen, Y. (1985). Alfalfa drying model for the field environment. *Transactions of the Asae*, *28*(5), 1686-1691. <https://doi.org/10.13031/2013.32500>
- Rotz, C. A., & Muck, R. E. (1994). Changes in forage quality during harvest and storage. In *Forage quality, evaluation, and utilization* (pp. 828-868).

- Rotz, C. A., & Shinnars, K. J. (2007). Hay Harvest and Storage. In R. F. Barnes, K. J. Moore, C. J. Nelson, & M. Collins (Eds.), *The Science of Grassland Agriculture* (Sixth ed., pp. 601-616). Ames, Iowa: Blackwell Publishing.
- Rotz, C. A., Shinnars, K. J., & Digman, M. (2020). Hay Harvest and Storage. *Forages: The Science of Grassland Agriculture*, 2, 749-765.
- Saarisalo, E., Skyttä, E., Haikara, A., Jalava, T., & Jaakkola, S. (2007). Screening and selection of lactic acid bacteria strains suitable for ensiling grass. *Journal of Applied Microbiology*, 102(2), 327-336. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.03103.x>
- Salazar, A. (2012). *Modelo Douhard para la gestión de sistemas de producción lechera en pequeños productores del valle del Mantaro*.
- Santos Pereira, C., C. Cunha, S., & Fernandes, J. O. (2019). Prevalent mycotoxins in animal feed: Occurrence and analytical methods. *Toxins*, 11(5), 290.
- Savoie, P., & Beauregard, S. (1990). Hay windrow inversion. *Applied Engineering in Agriculture*, 6(2), 138-142.
- Savoie, P., & Jofriet, J. C. (2003). Silage storage. In *Silage science and technology* (pp. 405-467). ASAS CSSA SSSA.
- Saylor, B. A., Diepersloot, E. C., Heinzen, C., McCary, C. L., & Ferraretto, L. F. (2021). Effect of kernel breakage on the fermentation profile, nitrogen fractions, and in vitro starch digestibility of whole-plant corn silage and ensiled corn grain. *JDS Communications*, 2(4), 191-195. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jdsc.2021-0093>
- Scarborough, D. A., Coblenz, W. K., Humphry, J. B., Coffey, K. P., Sauer, T. J., Jennings, J. A., . . . Kellogg, D. W. (2004). Estimating Losses of Dry Matter from Simulated Rainfall on Bermudagrass and Orchardgrass Forages Using Cell Wall Components as Markers. *Agronomy Journal*, 96(6), 1680-1687. <https://doi.org/https://doi.org/10.2134/agronj2004.1680>

- Schmidt, R., Hu, W., Mills, J., & Kung Jr, L. (2009). The development of lactic acid bacteria and *Lactobacillus buchneri* and their effects on the fermentation of alfalfa silage. *Journal of Dairy Science*, 92(10), 5005-5010.
- Schmidt, R. J., & Kung Jr, L. (2010). The effects of *Lactobacillus buchneri* with or without a homolactic bacterium on the fermentation and aerobic stability of corn silages made at different locations. *Journal of Dairy Science*, 93(4), 1616-1624. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2555>
- Schuler, R. T. (2003). *Rakers and mergers*. University of Wisconsin-Extension. <https://fyi.extension.wisc.edu/forage/rakers-and-mergers/>
- Schwab, C. G., & Broderick, G. A. (2017). A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10094-10112. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2017-13320>
- Shinners, K. (2010). Baleage-The Dry Hay Alternative. *Forage Focus, Equipment*.
- Shinners, K., Huenink, B., Muck, R., & Albrecht, K. J. T. o. t. A. (2009). Storage characteristics of large round alfalfa bales: Dry hay. 52(2), 409-418.
- Shinners, K. J. (2003). Engineering Principles of Silage Harvesting Equipment. In *Silage science and technology* (pp. 361-403). <https://doi.org/https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c8>
- Shinners, K. J., & Schlessler, W. M. (2014). Reducing baler losses in arid climates by steam re-hydration. *Applied Engineering in Agriculture*, 30(1), 11-16.
- Silva, D. (2006). Sistemas de producción lechera: características físicas y financieras parte 1. *Agro Enfoque*, (150), 58 - 62.
- Silva, V., Pereira, O., Leandro, E., Da Silva, T., Ribeiro, K., Mantovani, H., & Santos, S. (2016). Effects of lactic acid bacteria with bacteriocinogenic potential on the fermentation profile and chemical composition of alfalfa silage in tropical conditions. *Journal of Dairy Science*, 99(3), 1895-1902.

- Silveira, E., & Franco, R. (2006). Conservación de forrajes: primera parte (Conservation of forages: first part). *REDVET*, VII.
- Ström, K., Sjögren, J. r., Broberg, A., & Schnürer, J. (2002). Lactobacillus plantarum MiLAB 393 produces the antifungal cyclic dipeptides cyclo (L-Phe-L-Pro) and cyclo (L-Phe-trans-4-OH-L-Pro) and 3-phenyllactic acid. *Applied and environmental microbiology*, 68(9), 4322-4327.
- Suzuki, H., Tochikura, T. S., Iiyama, K., Yamazaki, S., Yamamoto, N., & Toda, S. (1989). Lignosulfonate, a Water-solubilized Lignin from the Waste Liquor of the Pulping Process, Inhibits the Infectivity and Cytopathic Effects of Human Immunodeficiency Virus <i>in Vitro</i>. *Agricultural and Biological Chemistry*, 53(12), 3369-3372. <https://doi.org/10.1271/bbb1961.53.3369>
- Taffarel, L. E., Mesquita, E. E., Castagnara, D. D., Costa, P. B., Neres, M. A., Horn, M. B., . . . Meinerz, C. C. (2013). Dehydration curve, fungi and mycotoxins in Tifton 85 hay dehydrated in the field and in shed. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(6), 395-403. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000600003>
- Tao, L., Zhou, H., Zhang, N., Si, B., Tu, Y., Ma, T., & Diao, Q. (2017). Effects of different source additives and wilt conditions on the pH value, aerobic stability, and carbohydrate and protein fractions of alfalfa silage. *Animal Science Journal*, 88(1), 99-106. <https://doi.org/10.1111/asj.12599>
- USDA. (2020). *Hay Quality Guidelines*. Washington, DC: USDA Market News Retrieved from [https://www.ams.usda.gov/mnreports/nw\\_gr312.txt](https://www.ams.usda.gov/mnreports/nw_gr312.txt)
- Vallejos, L., lvarez , J. (2020). Propuesta de Manejo mejorado de pasturas en la economía de ganaderos de la sierra norte de Perú. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 4(2). <http://dx.doi.org/10.25127/aps.20202.547>
- Van Soest, P. J. (2006). Rice straw, the role of silica and treatments to improve quality. *Animal Feed Science and Technology*, 130(3), 137-171. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.01.023>

- Verma, L. R., & Nelson, B. D. (1983). Changes in round bales during storage. *Transactions of the Asae*, 26(2), 328-0332. <https://doi.org/https://doi.org/10.13031/2013.33930>
- Vissers, M., Driehuis, F., Te Giffel, M., De Jong, P., & Lankveld, J. (2007). Concentrations of butyric acid bacteria spores in silage and relationships with aerobic deterioration. *Journal of Dairy Science*, 90(2), 928-936.
- Vissers, M. M. M., and F. Driehuis. (2009). On-farm Hygienic Milk Production. In A. Y. Tamime (Ed.), *Milk Processing and Quality Management* (pp. 1-22). Blackwell Publishing, Ltd.
- Wambacq, E., Latré, J. P., & Haesaert, G. (2013). The effect of *Lactobacillus buchneri* inoculation on the aerobic stability and fermentation characteristics of alfalfa-ryegrass, red clover and maize silage. *Agricultural and Food Science*(1), 127-136% V 122. <https://journal.fi/afs/article/view/6711>
- Weinberg, Z., Muck, R., & Weimer, P. (2003). The survival of silage inoculant lactic acid bacteria in rumen fluid. *Journal of Applied Microbiology*, 94(6), 1066-1071.
- Weinberg, Z. G., & Muck, R. (1996). New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiology Reviews*, 19(1), 53-68.
- Whitlock, L., Wistuba, T., Siefers, M., Pope, R., Brent, B., & Bolsen, K. (2000). Effect of level of surface-spoiled silage on the nutritive value of corn silage-based rations. *Kansas Agric. Exp. Sta. Rpt. of Prog*, 850, 22-24.
- Wilkinson, J. M., & Davies, D. R. (2013). The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass and Forage Science*, 68(1), 1-19. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00891.x>
- Yolcu, H., Tan, M., & Serin, Y. (2006). Effects of early cutting time and stubble height on yield and quality in lucerne. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 49(2), 201-206.
- Zegarra, E. (2020). *De la pandemia a la crisis de alimentos en Perú* <https://ojo-publico.com/1830/de-la-pandemia-la-crisis-de-alimentos-en-peru>

- Zhao, G. Q., Wei, S. N., Liu, C., Kim, H. J., & Kim, J. G. (2021). Effect of harvest dates on  $\beta$ -carotene content and forage quality of rye (*Secale cereale* L.) silage and hay. *Journal of Animal Science and Technology*, 63(2), 354.
- Zielińska, K., Fabiszewska, A., Świątek, M., & Szymanowska-Powałowska, D. (2017). Evaluation of the ability to metabolize 1, 2-propanediol by heterofermentative bacteria of the genus *Lactobacillus*. *Electronic Journal of Biotechnology*, 26, 60-63.