

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



“Evaluación de la inclusión de ensilado de pasto napier (*Pennisetum purpureum*) o ensilado de maíz (*Zea mays*) en la dieta sobre el uso de nutrientes, el balance de nitrógeno, la síntesis de proteínas microbianas y el rendimiento en vacas lecheras en ordeño”

Por:

Gabriela Alejandra Flores Leiva

Sergio Daniel Molina Quintanilla

Ulises Osmin Puro López

Requisito para optar al título de:
Ingeniero Agrónomo

San Salvador, Ciudad Universitaria, noviembre 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

Dr. FRANCISCO LARA ASCENCIO

SECRETARIO:

Ing. Agr. BALMORE MARTÍNEZ SIERRA

JEFA DEL DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

Ing. Agr. M Sc. BLANCA EUGENIA TORRES DE ORTÍZ

DOCENTES DIRECTORES

Ing. Agr. MANUEL VICENTE MENDOZA

Ing. Agr. M Sc. ELMER EDGARDO COREA GUILLÉN

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

Ing. Agr. CARLOS ENRIQUE RUANO IRAHETA

RESUMEN

Este estudio se desarrolló en la Hacienda Velesa ubicada en el municipio de Caluco, Sonsonate, al oeste de El Salvador. El objetivo fue evaluar el consumo, digestibilidad, uso de nutrientes y rendimiento de leche en vacas lactantes en respuesta a dos tipos de forraje ensilado. Para esto, se usaron 18 vacas Holstein multíparas, con peso de (media \pm desviación estándar) 544.6 ± 64.3 kg, una producción de 23.9 ± 3.4 kg de leche/día, 90.8 ± 41.6 días en lactancia (DL), con condición corporal entre 3.5 y 3.75 e historiales de salud normales. Las vacas fueron asignadas en dos grupos de 9 cada uno repartiendo los efectos de peso, producción y DL homogéneamente entre ellos. Se utilizaron dos dietas (36% MS, 2.62 Mcal EM y 16.0 %PC en la MS) para formar dos tratamientos en los que se sustituyó ensilado de maíz (*Zea mays*) (EMa) por ensilado de napier (*Pennisetum purpureum*) (ENa) como sigue T0= 40% EMa de la MS y T1= 30 % ENa + 10 % EMa de la MS (contenía 10% de harina de maíz de la MS). Las dietas fueron isonitrogenadas e isoenergéticas y fueron alimentadas como ración total mezclada (RTM). Las vacas recibieron alimento y agua limpia ad libitum y fueron ordeñadas mecánicamente dos veces al día. El ensayo se desarrolló como un crossover, dividido en dos periodos de 21 días, con 15 días de adaptación y 6 días de recolección de datos y muestras. En ellos, se pesó el alimento ofrecido y rechazado por corral y la producción individual, además, se muestreo individualmente orina, heces y leche (3:00 am y 3:00 pm).

Se analizaron muestras de alimento, rechazo y heces en laboratorio para determinar materia seca (MS), ceniza insoluble en ácido (CIA), proteína cruda (PC), fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD). En leche se determinó grasa, PC, lactosa, sólidos totales (ST) y nitrógeno ureico en leche (NUL). Los datos se analizaron por medio del programa R-Studio usando un modelo general lineal. Se considero las diferencias como significativas a una probabilidad menor de 5% ($P < 0.05$) y una tendencia con una probabilidad entre 5 y 10% ($0.05 < P > 0.1$).

Los principales resultados fueron que la inclusión de ENa incremento el consumo de MS (18.6 vs 19.5 kg, $P < 0.01$), MO (16.7 vs 17.4 kg, $P = < 0.01$), PC (3255 vs 3405 g, $P < 0.01$). Se observó un incremento en la digestibilidad de la MS (66 vs 68.6 %, $P = 0.01$) y MO (69.7 vs 72.3 %, $P = 0.01$) con la inclusión de ENa. La producción láctea (23.4 EMa y 24.0 ENa Kg/d) y de nutrientes, no se vio afectada con este cambio en la dieta, al igual que la composición láctea de PC, grasa y ST. Pero si se pudo apreciar un mayor contenido de lactosa (4.61 vs 4.66 %, $P = 0.03$) en vacas comiendo ENa y de NUL (14.0 vs 14.9 mg/dL) en vacas comiendo EMa. El costo por kg de MS de la RTM ofrecida fue de \$0.36 ENa y \$0.37 EMa. El incremento del consumo de MS en vacas que consumieron ENa dio lugar a un mayor costo de alimentación/día USD (\$7.03 vs \$6.86, $P = 0.03$), no obstante, se pudo apreciar un ingreso ligeramente mayor de leche/día USD (\$17.31 vs \$16.88) en las vacas que consumieron ENa, el cual resultó en similares ingresos sobre el costo de alimentación.

Se concluyó que la sustitución de EMa por ENa en la dieta de vacas lecheras mejora el consumo y la digestibilidad de nutrientes, sin alterar la producción láctea, y la composición de la mayoría de nutrientes. Además, puede dar lugar a ingresos de leche y márgenes económicos equivalentes a EMa, con la ventaja que el napier es un pasto de corte, con un gran potencial forrajero y sus actividades agronómicas son más sencillas y baratas en comparación al maíz. Por lo tanto, es factible la utilización de ENa como el elaborado para este estudio en ganaderías lecheras en el trópico.

Palabras claves: Ensilado, napier, maíz, vacas lecheras, producción láctea.

ABSTRACT

This study was developed at the Veleza dairy farm located at the municipality of Caluco, Sonsonate in western El Salvador. The objective was to evaluate the intake, digestibility, use of nutrients and milk yield in lactating cows in response to two types of silage. For this, 18 multiparous Holstein cows were used, with a weight of (mean \pm standard deviation) 544.6 \pm 64.3 kg, 23.9 \pm 3.4 kg of milk yield (MY), 90.8 \pm 41.6 days in milk (DM), with body condition between 3.5 and 3.75 and normal health histories. The cows were assigned in two groups of 9 each, distributing the effects of weight, MY and DM homogeneously among them. Two diets (36% DM, 2.62 Mcal ME and 16.0% CP in the DM) were used to set two treatments in which corn (*Zea mays*) silage (EMa) was replaced by napier (*Pennisetum purpureum*) silage (ENa), as follows T0 = 40% EMa of the DM and T1 = 30% ENa + 10% EMa of the DM (this also contained 10% cornmeal of the DM). Diets were iso nitrogenous and iso energetic and were fed as total mixed ration (TMR). Cows received feed and clean water ad libitum and were mechanically milked twice a day. The trial was developed as a crossover, divided into two periods of 21 days, with 15 days of adaptation and 6 days of data and sample collection. The offered and refused feed by pen and individual production were weighed; in addition, urine, feces and milk (3 :00 am and 3 :00 pm) were individually sampled.

Food, refusals and feces samples were analyzed in the laboratory to determine dry matter (DM), acid insoluble ash (AIA), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF). Allantoin, creatinine and nitrogen (N) were analyzed in urine. Fat, CP, lactose, total solids (TS) and milk urea nitrogen (MUN) were determined in milk. The data were analyzed by means of the R-Studio program using a general linear model. Differences were considered significant at a probability of less than 5% ($P < 0.05$) and trend between 5 and 10% ($0.05 < P < 0.1$).

ENa inclusion increased the DM intake (DMI, 18.6 vs 19.5 kg, $P < 0.01$), OM (16.7 vs 17.4 kg, $P < 0.01$), CP (3255 vs 3405 g, $P < 0.01$) compared to EMa; however, ADF and NDF had not significant differences due to the change in diet. An increase in the digestibility of DM (66 vs 68.6%, $P = 0.01$) and OM (69.7 vs 72.3%, $P = 0.01$) was observed with the inclusion of ENa. MY (EMa = 23.4 and ENa = 24.0 kg/d) and nutrient concentration were not affected by this change in diet. Similarly, there were no changes in the milk composition of CP, fat and TS, however, a higher lactose content (4.61 vs 4.66%, $P = 0.03$) in cows eating ENa and MUN (14.0 vs 14.9 mg/dL) in cows eating EMa was observed. The cost per kg of DM of TMR offered were \$0.36 with ENa and \$0.37 with EMa. The increase in DM consumption in cows that consumed ENa lead to a higher feed cost/day USD (\$7.03 vs \$6.86, $P = 0.03$), however, a slightly higher income (\$17.31 vs \$16.88) in cows that consumed ENa, resulted in a similar income over feed cost.

It was concluded that the substitution of EMa for ENa in the diet of dairy cows improves the intake and digestibility of nutrients, without altering milk production, and the composition of most nutrients. In addition, it can lead economic margins equivalent to EMa, with the advantage that napier is a cut grass, with great yielding potential and its agronomic activities are simpler cheaper compared to corn. Therefore, it is feasible to use ENa as the one elaborated for this study to feed dairy cows in the tropics.

Keywords: Silage, napier, corn, dairy cows, dairy production.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la sabiduría y fuerza a cada uno para culminar esta etapa en nuestra formación académica que hoy nos da la bendición de finalizar y, de emprender con valor y dignidad nuestro futuro como profesionales.

A nuestras familias por el apoyo incondicional y confianza que nos brindaron para poder culminar nuestra formación.

Al proyecto CIC UES 15.37 por el financiamiento que hizo posible la obtención de materiales, reactivos, transporte y demás logística para esta investigación.

A nuestros asesores Ing. MSc. Elmer Edgardo Corea (coordinador del proyecto) e Ing. Manuel Vicente Mendoza gracias, por tomarnos en cuenta para poder formar parte de este proyecto de investigación y por ser las personas que nos guiaron y apoyaron durante la planeación y desarrollo del mismo. Además, de la paciencia y consejos que nos brindaron y hacer de esta investigación un trabajo ameno y lleno de gratas experiencias.

A la Hacienda Velesa le estamos profundamente agradecidos, primeramente, al Dr. Mauricio Velado por brindarnos su confianza y abrirnos sus puertas para poder desarrollar la investigación en el lugar; a la Lic. Jessica Santos y al Ing. Marco Zetino por estar siempre pendientes de todo el proceso, por el apoyo y consejos que nos brindaban y, de igual forma agradecer a todos los trabajadores del lugar que formaron parte del equipo de trabajo.

A la Cooperativa Ganadera de Sonsonate por su apoyo con el análisis de muestras de leche en laboratorio.

Al departamento de Química Agrícola y al departamento de Zootecnia por su paciencia, apoyo y colaboración en el proceso de muestras y análisis de laboratorio.

Al Ing. MSc. Milton Flores, Ing. MSc. Flor Hernández y Dr. Joaquín Castro por su ayuda y consejos que nos aportaron para el buen desarrollo de la investigación.

DEDICATORIA

A Dios, por estar conmigo durante todo este trayecto. Por siempre poner en mi camino a excelentes personas entre ellas familiares, profesores, amigos y compañeros con quienes compartí buenas experiencias.

También agradezco grandemente a mi familia. Principalmente a mi mamá Mirna Leiva, que a pesar de los altos y bajos que se presentaron siempre se mantuvo firme y con mucho amor, esfuerzo y trabajo me educó, me brindó su apoyo, su ayuda y fuerzas para seguir adelante.

Igualmente agradezco a mis hermanos Fernando y Andrea, a mi abuelo Victor, mi sobrina Eimy y Reinaldo que siempre han estado pendientes de mí y me dieron su apoyo, fuerza y calidez cuando más lo necesitaba. Además, también dedico este logro a mi papá Fernando Flores, a mi bisabuela Francisca, a mi tío David y a mis pequeños familiares (QEPD) quienes también formaron parte de mi crecimiento.

A Carolina Hernández y Denis Hernández que siempre estuvieron pendientes de mí y me apoyaron durante todo este trayecto.

A todos mis tíos/as y primos/as que siempre me alentaban y daban ánimo.

A mis asesores Ing. MSc. Elmer Edgardo Corea e Ing. Manuel Vicente Mendoza por permitirme ser parte de este proyecto de tesis y además por todo el apoyo y la orientación que nos brindaron desde la fase de campo hasta la presentación de este proyecto, con el fin de que la investigación se desarrollara de la mejor manera, les agradezco mucho.

Deseo extender mis agradecimientos al Dr. Mauricio Velado por darnos la confianza y permitirnos realizar la investigación en la Hacienda Velesa, a la Lic. Jessica Santos y al Ing. Marco Zetino por el cuidado, la amabilidad, seguimiento y apoyo que nos brindaron.

A mis profesores Ing. MSc. Elmer Corea, Ing. MSc. Francisco Panameño, Ing. MSc. Leopoldo, Ing. MSc. Flor Hernández, Ing. MSc. Milton Flores, Dr. Joaquín Castro e Ing. MSc. Fidel Parada, por sus enseñanzas, su amistad, consejos que realmente valoro mucho y ayuda que me dieron durante o en algún momento de mi carrera, por el apoyo que me brindaron en este proceso de forma directa o indirecta; les estoy muy agradecida.

Además, agradezco a aquellos que nos brindaron su ayuda en nuestras actividades Sara, Gabriela, Ruth, Roxana, Erick, Iliana, Vanesa, Johel, Wilfredo, Alfredo y Wilber y también a aquellos que estaban siempre pendientes de nuestro proceso.

A mis compañeros de tesis Sergio y Puro con quienes he realizado este proyecto gracias por todo su apoyo y cariño.

Gabriela Alejandra Flores Leiva

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por ser mi guía en todo camino y por permitirme culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres por el apoyo incondicional que me brindaron en todo momento para poder alcanzar mis estudios superiores.

Agradezco a mi hermana por el apoyo en los días de desvelo y estudio. También a cada uno de los miembros de mi familia por motivarme a salir adelante.

A mi novia, por convertirse en uno de mis motores principales en la carrera y hasta la fecha, por siempre creer en mí, por impulsarme a siempre dar más.

Así mismo, agradecer con cariño a mis compañeros de trabajo por su comprensión y arduo trabajo durante toda la investigación;

Finalmente, agradezco a cada uno de los docentes que estuvieron en este proceso de formación.

Sergio Daniel Molina Quintanilla

DEDICATORIA

A DIOS todo poderoso por permitirme lograr esta meta y darme la fortaleza, salud y fuerzas necesarias que necesite a lo largo de la carrera y que por su misma bendición me concede finalizar.

A MI MADRE: Maria Lopez por creer en mí, animarme a cumplir mis sueños y nunca rendirme, gracias por enseñarme a afrontar las dificultades y guiarme en mi camino, te amo.

A MI PADRE: Ulises Puro por ser quien me compartió su amor por el sector agropecuario, gracias por siempre apoyarme; sus sacrificios y su apoyo constante, han sido la clave de este logro, te amo.

A MI FAMILIA: tíos, abuelos, primos y hermanos, quienes con motivación, apoyo, consejos y atenciones hicieron de toda mi formación académica una experiencia única y satisfactoria.

A MIS COMPAÑEROS: Sergio Molina y Gabriela Flores, por juntos desarrollar y compartir este trabajo de tesis y que de una u otra manera contribuyeron en mis estudios, y promovieron en mí deseos de superación.

A LOS DOCENTES: Ing. Elmer Corea, Ing. Manuel Mendoza por su apoyo y acompañamiento durante el experimento y preparación de defensa.

A LA HACIENDA VELESA: Ing. Mario Zetino y Lic. Jesica Cruz por su paciencia y total disponibilidad para el desarrollo del experimento en campo, por compartir conocimiento y experiencia que sumaron al resultado de este proyecto.

Ulises Osmin Puro López

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA	vii
INDICE DE CUADROS.....	xii
INDICE DE FIGURAS.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1. Situación actual de la ganadería en El Salvador	2
2.2. Sistemas de producción en El Salvador.....	2
2.3. Ganado destinado a la producción de leche en ganaderías intensivas.	3
2.3.1. Manejo.....	3
2.3.2. Alimentación.....	4
2.3.2.1. Requerimientos nutricionales en ganado lechero	4
2.4. Forrajes en alimentación del ganado.....	5
2.6.1. Maíz (<i>Zea mays</i>).....	6
2.6.2. Pasto napier (<i>Pennisetum purpureum</i>)	7
2.7. Conservación de forrajes	8
2.7.1. Ensilaje.....	8
2.7.1.1. Ensilado de maíz	9
2.7.1.2. Ensilado de pasto napier	10
2.8. Métodos para determinar el valor nutricional de los forrajes.....	12
2.9. Análisis de Van Soest	13
2.10. Pruebas Biológicas	13
3. METODOLOGIA	15
3.1. Ubicación de la zona.....	15
3.2. Descripción del estudio	15
3.3. Muestreo y recolección de datos.....	18
3.4. Análisis y cálculos de laboratorio	19
3.5. Análisis estadístico.....	24
3.6. Comparación económica.....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1. Composición de forrajes.....	25
4.2. Consumo de nutrientes.....	26

4.3.	Digestibilidad.....	27
4.4.	Producción, composición de leche y producción de nutrientes.....	28
4.5.	Balance de Nitrógeno.....	29
4.6.	Síntesis de proteína microbiana	30
4.7.	Comparación económica.....	32
5.	CONCLUSIONES	33
6.	RECOMENDACIONES	34
7.	BIBLIOGRAFÍA	35
8.	ANEXOS.....	45

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimiento para raciones de vacas en lactancia. _____	5
Cuadro 2. Análisis bromatológico planta completa de dos cultivares de maíz antes de ensilado. _____	6
Cuadro 3. Composición de nutrientes del pasto napier. _____	7
Cuadro 4. Composición química del ensilado de maíz. _____	10
Cuadro 5. Valor nutritivo del pasto napier después de 30 y 60 días de ensilado. _____	11
Cuadro 6. Ingredientes y composición química de las dietas para las vacas lecheras. _____	20
Cuadro 7. Composición nutricional de ingredientes utilizados en la alimentación de las vacas del estudio. _____	25
Cuadro 8. Consumo de nutrientes en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz (<i>Zea mays</i>) o ensilado de napier (<i>Pennisetum purpureum</i>). _____	26
Cuadro 9. Digestibilidad de nutrientes en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz (<i>Zea mays</i>) o ensilado de napier (<i>Pennisetum purpureum</i>). _____	27
Cuadro 10. Composición de leche y producción de nutrientes en vacas alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz (<i>Zea mays</i>) o ensilado de napier (<i>Pennisetum purpureum</i>). _____	28
Cuadro 11. Balance de nitrógeno (N) en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz (<i>Zea mays</i>) o ensilado de napier (<i>Pennisetum purpureum</i>). _____	30
Cuadro 12. Síntesis de proteína microbiana en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz (<i>Zea mays</i>) o ensilado de napier (<i>Pennisetum purpureum</i>). _____	31
Cuadro 13. Comparación económica de la alimentación con dietas basadas en ensilado de maíz (<i>Zea mays</i>) o ensilado de napier (<i>Pennisetum purpureum</i>) en vacas lecheras. _____	32
<i>Cuadro A- 1. Costos de producción cultivo napier en US\$/Mz y US\$/ha. _____</i>	<i>45</i>
<i>Cuadro A- 2. Costos de producción cultivo en maíz \$/Mz y US\$/ha. _____</i>	<i>46</i>
<i>Cuadro A- 3. Costo de materia seca y materia verde de napier. _____</i>	<i>47</i>
<i>Cuadro A- 4. Costo de materia seca y materia verde de maíz. _____</i>	<i>47</i>
<i>Cuadro A- 5. Descripción y costos de dietas. _____</i>	<i>48</i>
<i>Cuadro A- 6. Análisis estadísticos de consumo de nutrientes en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz o ensilado de napier. _____</i>	<i>49</i>
<i>Cuadro A- 7. Análisis estadísticos de digestibilidad de nutrientes en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz o ensilado de napier. _____</i>	<i>50</i>
<i>Cuadro A- 8. Análisis estadísticos de producción, composición de leche y producción de nutrientes en vacas alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz o ensilado de napier. _____</i>	<i>51</i>
<i>Cuadro A- 9. Análisis estadísticos de balance de N en vacas alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz o ensilado de napier. _____</i>	<i>53</i>
<i>Cuadro A- 10. Análisis estadísticos de síntesis de proteína microbiana en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz o ensilado de napier. _____</i>	<i>54</i>
<i>Cuadro A- 11. Análisis estadísticos de la comparación económica de la alimentación con dietas basadas en ensilado de maíz o ensilado de napier en vacas lecheras. _____</i>	<i>55</i>

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vacas en producción donde se seleccionaron los grupos de cada tratamiento.	15
Figura 2. Agua a libre voluntad, sala de ordeño mecanizado y sistema de ventilación con aspersión de agua. _____	16
Figura 3. Cosecha de maíz y estimación de rendimiento. _____	16
Figura 4. Picado de maíz y compactación de ensilado. _____	17
Figura 5. Estimación de rendimiento y picado de pasto napier. _____	17
Figura 6. Adición de harina de maíz a pasto napier y elaboración de ensilado tipo montón. _____	17
Figura 7. Adición de ingredientes de las dietas al carro mezclador y reparto de las raciones. _____	18
Figura 8. Recolección de muestras de rechazo, RTM, producción de leche y pesaje de cada vaca. _____	18
Figura 9. Extracción de orina, acidificación de submuestra y filtrado de muestra. _____	19
Figura 10. Extracción de heces, agrupar muestras por tratamiento y almacenamiento en congelador. _____	19
Figura 11. Toma de muestra de ordeñadora y posterior mezclado de muestras am y pm. _____	19
Figura 12. Muestras de orina descongeladas, homogeneización y muestra final. _____	20
Figura 13. Mezclado de muestras de heces, secado en estufa ventilada y molido de muestras secas. _____	21
Figura 14. Digestión, destilación y titulación de muestras por procedimiento Kjeldahl. _____	21
Figura 15. Pesaje, identificación de muestras y aplicación de amilasa termoestable para determinación de FND y FAD. _____	21
Figura 16. Pesaje, calcinación de muestras en horno mufla y determinación de CIA. _____	22
Figura 17. Preparación de solución, diferentes concentraciones de solución y uso de espectrofotómetro para determinar alantoína. _____	22
Figura 18. Recuento de células somáticas en BacSomatic™ y determinación proteína, grasas, sólidos totales (ST), lactosa y N ureico en leche en Foss MilkoScan F1.22	

1. INTRODUCCIÓN

La alimentación del ganado bovino en las regiones tropicales se basa en gran medida de pastos y forrajes, debido que esta fuente de alimento tiende a ser más abundante y económica para los productores; sin embargo, pueden presentar variaciones en la disponibilidad y calidad a través del año (Minson 1990; Ku *et al.*, 2013; Iraola 2017). En condiciones del trópico sub-húmedo existen dos periodos bien marcados, habiendo una mayor producción de pastos y forrajes durante el período lluvioso, presentando una alta disponibilidad y calidad; mientras que, en el período seco ocurre lo opuesto (escasez y baja calidad), resultando en una reducción drástica en los niveles de producción del ganado lechero (Reyes *et al.*, 2009).

Los bovinos deben ser alimentados de acuerdo a sus requerimientos nutritivos los cuales pueden variar según el peso vivo, nivel de producción, momento de lactancia del hato y la composición de la leche. Todos estos aspectos deben ser tomados en cuenta para formular una ración óptima, en lo que se considera una proporción de forraje y concentrado (Hazard 2009). El uso de forrajes conservados en la dieta de bovinos no sólo es importante para suplir las necesidades alimentarias del ganado en épocas críticas, además permite complementar la ración y llenar los requerimientos de los animales en producción sin tener que realizar cambios en la carga animal que soporta una finca regularmente (Villalobos 2017). El ensilaje es una técnica que consiste en la conservación de forrajes frescos para la alimentación animal, con elevado contenido de humedad, basado en la fermentación de azúcares de la planta y acidificación; cuyo objetivo esencial es que las pérdidas de MS y de nutrientes sean mínimas y que sea apetecible para el ganado. Es una técnica de bajo costo que permite aprovechar los pastos que crecen en época lluviosa y almacenarlos para alimentar su ganado durante épocas de escasez como las sequías (SENAR 2011; Villalobos 2017; Callejo 2018).

En países tropicales y subtropicales, el ensilado de cultivos forrajeros como la caña de azúcar o especies del género *Pennisetum*, así como subproductos agroindustriales, podría ser una contribución importante para optimizar el funcionamiento de los sistemas de producción animal en zonas tropicales y subtropicales. Sin embargo, su empleo es todavía muy escaso debido principalmente a los bajos precios de los productos ganaderos, al poco uso de la mecanización y al alto costo de los combustibles, aunque también se debe a la falta de información y la poca experiencia práctica en el empleo de la técnica de ensilar (Rodríguez *et al.* 2017).

Los forrajes más utilizados entre las gramíneas tropicales para ensilar son cultivos como maíz y sorgo, sin embargo, existen otras especies como el pasto napier (*Pennisetum purpureum*) que destaca por su alto potencial, valor nutritivo (Monção *et al.*, 2019a), bajo costo y buen rendimiento que da lugar a excesos durante la época lluviosa. Sin embargo, no existe abundante información o experiencia de ensilaje de zacate napier como para que sea una práctica común en nuestro medio. El objetivo del presente estudio es evaluar el efecto la inclusión de ensilado de maíz o ensilado de pasto napier como fuente de forraje sobre el consumo de alimento, la digestibilidad de nutrientes, el balance de nitrógeno, la síntesis de proteína microbiana y la producción de leche en las dietas de vacas lecheras en ordeño.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Situación actual de la ganadería en El Salvador

La ganadería en El Salvador es una actividad productiva que se encuentra dispersa en todos los departamentos del país; el último Censo Agropecuario (IV) se realizó en los años 2007-2008 y para ese tiempo según datos que proporciono el Ministerio de Economía y MAG (2009) registró un total de 395,588 productores por explotaciones agropecuarias de los cuales 59,462 era el total de productores que conforman el rubro de ganadería bovina. El inventario de las actividades pecuarias registró en el IV Censo 999,682 cabezas de bovinos de las cuales 271,963 era el total de número de vacas en producción; registrándose para ese tiempo una producción de leche de 448,585,106.14 litros (593,131,173 botellas).

Para el año 2011 el rubro ganadería aportó un 17.7% al PIB agropecuario, equivalente a un 2.15% del aporte al PIB nacional. Si al rubro ganadería se añadían la agroindustria de carne y lácteos, este sumaba un 3.25% en aporte total al PIB nacional de ese año respectivamente (IICA *et al.*, 2012).

La Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA) citada por Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España (2021), el hato bovino para el año 2014 era de 1,286,611 cabezas y la producción anual de leche fue de 655 millones de botellas (equivalente a 495,376,500 litros de leche).

Según los datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria de Propósitos Múltiples 2017-2018 (ENAPM) reportados por el MAG (2018) para el año 2017 registro un total de 885,564 cabezas de ganado bovino, observándose claramente una gran disminución de estas a lo largo de todo el país; no obstante, el número de litros de leche por año se ha mantenido a lo largo de este trayecto. Para el año 2021 según datos de ENAPM el total de cabezas de ganado fue de 790,983, y la producción anual de leche registrada fue de 407,328 litros (MAG 2022).

2.2. Sistemas de producción en El Salvador.

Los sistemas de producción en El Salvador están diferenciados por su grado de adopción tecnológico, tamaño del hato y el área de terreno propiedad del ganadero (MAG 2003).

Con información generada por la Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA), la actividad ganadera en el país se divide en tres grupos:

2.2.1. Ganadería de subsistencia

Aquí se agrupan productores que poseen menos de 20 cabezas y sus producciones oscilan entre 3 a 4 Bot/va/día, el manejo empleado es tradicional con poca o ninguna adopción de tecnología, ordeño manual manteniendo el ternero junto a la vaca la mayor parte del día. La leche producida es utilizada para autoconsumo y los excedentes comercializados localmente para ayudarse con la economía familia. Para el 2011 se estimaba que estos ganaderos representaban el 24% del rebaño nacional (IICA *et al.*, 2012).

2.2.2. Ganadería de doble propósito

Los ganaderos que se ubican en este grupo son aquellos que han adoptado algún grado de tecnología apropiada, mantienen rebaños con rendimientos promedios de producción de leche de 10 Bot/vaca/día y el sistema de reproducción utilizado es monta natural, utilizan parcialmente los sistemas de registros, poseen establos y comederos techados. En este sistema la base de la dieta lo constituye el forraje proveniente de los potreros, forraje de corte y/o conservado (ensilaje de maíz o sorgo). Para el año 2011 se estimaba que estos

ganaderos representaban el 73% del rebaño nacional; la mayor parte de estas ganaderías se encuentran ubicadas en la región nor-oriental del país, que es donde está la mayor parte de la población bovina del país. (MAG 2003; IICA *et al.*, 2012; Araujo 2013).

2.2.3. Ganadería especializada en producción de leche

La ganadería lechera se encuentra ubicada en la parte medía y baja del país, estas áreas han sido identificadas como zonas de cuencas lecheras; la mayor cantidad de ganaderías de este tipo están ubicadas en los departamentos de Sonsonate, La Libertad, La Paz y Usulután (MAG 2003).

Se caracteriza por aplicar un manejo técnico bajo el sistema de estabulación completa o semi-estabulación, alimentación a base de pastos mejorados, utilizan eficientemente la inseminación artificial y sus rebaños tienen alto potencial genético para producción lechera; la producción diaria de leche oscila entre 20 y 25 Bot/vaca/día (IICA *et al.*, 2012).

2.3. Ganado destinado a la producción de leche en ganaderías intensivas.

2.3.1. Manejo

El manejo es uno de los factores de gran importancia que consiste en el uso de tecnologías y conocimientos con el fin de lograr el bienestar general de los animales en beneficio de una mayor producción de leche y por ende mejorar la productividad del ganado (Pando y Peruano 2010).

Es bien sabido que los rendimientos de producción de leche de una vaca dependen de cuatro factores principalmente: programa de alimentación, capacidad genética, manejo del hato y salud del hato. Además, una adecuada alimentación animal, requiere de la conjugación de conocimientos sobre buenas prácticas de producción, buenas prácticas de higiene y seguridad, la composición y la conservación de los alimentos, así como el conocimiento de la fisiología animal y su bienestar (SENASICA 2019).

Las ganaderías lecheras que están sometida a un sistema de producción de crianza intensiva tienden a agrupar a los animales en diferentes categorías según su edad y/o estado fisiológico con la finalidad de facilitar y optimizar la aplicación de los programas de alimentación, manejo y sanidad, siendo conformados estos grupos de acuerdo a las siguientes denominaciones: ternera lactante (desde el nacimiento al destete), ternera destetada (desde el destete hasta los 4 meses de edad), ternera en crecimiento (5 – 12 meses de edad), vaquilla o novilla (13 meses – hasta que es servida y queda preñada) y vaquillona (hembra bovina joven preñada de 17 meses en promedio hasta la fecha de su primer parto la cual es a los 24 meses). Dentro del grupo de vacas que se encuentran en lactación estas también suelen subclasificarse según el nivel de producción en: vacas de alta producción, vacas de mediana producción y vacas de baja producción (Pando y Peruano 2010; Almeyda 2011; Gutiérrez s.f).

La producción del animal lechero está influida por una gran cantidad de factores y para lograr un buen desempeño tanto en el desarrollo como en la producción deben de cumplirse con requerimientos mínimos para un manejo eficiente de la ganadería, entre los cuales están: garantizar suficiente agua fresca y limpia, proveer comederos limpios y una alimentación balanceada; suplementación de sales minerales y vitaminas (Pando y Peruano 2010; Almeyda 2011; Pérez 2017; SENASICA 2019); asegurar tranquilidad y comodidad al ganado (INTA e INATEC 2010); contar con instalaciones adecuadas que permitan mantener un buen microclima (temperatura, humedad, ventilación, iluminación y sombra) que contribuya al confort de las vacas; proporcionar lugares de descanso como echaderos limpios, secos y en número suficiente (Gutiérrez s.f; Sant'Anna *et al.*, 2020); garantizar un adecuado programa de vacunación, desparasitación y exámenes sanitarios; contar con

registros y contar con un buen programa de prácticas antes, durante y después del ordeño (Figueredo *et al.* 2016).

En El Salvador, las ganaderías intensivas se caracterizan por aplicar manejo técnico bajo el sistema de estabulación completa o semi-estabulación; hacen uso de sistemas para control de estrés calórico, además de ordeño mecanizado, realizan prácticas de ordeño higiénico como lavado y secado de ubres, despunte y sellado de pezones (IICA *et al.*, 2012).

2.3.2. Alimentación

Se entiende por alimentación del ganado lechero a la administración correcta de nutrientes ingeridos por las vacas para cubrir las necesidades de mantenimiento, la producción de leche, crecimiento, gestación y actividad física (Copa 2010; Cerdas 2013; Pérez 2017).

La alimentación del ganado bovino se basa en la combinación de forrajes y concentrados para proveer de nutrientes necesarios para cubrir los requerimientos de mantenimiento y producción (Ramírez 2016); además, puede incluir subproductos alimenticios de la agroindustria debidamente balanceados, como ración única (consume 3 – 4 % de su peso vivo en materia seca (Pando y Peruano 2010).

Los rumiantes consumen alimentos fibrosos y subproductos de desecho y los convierten en alimentos nutritivos como leche. Los nutrientes más importantes a considerar en vacas lecheras para optimizar la producción de leche y la fertilidad del hato son el agua, las proteínas, las fuentes de energía (principalmente carbohidratos de plantas, como el almidón, la celulosa, las hemicelulosas), la fibra, los minerales y vitaminas (Meléndez y Bartolomé 2017). En las vacas en producción se usan concentrados que contienen carbohidratos más simples (granos como fuentes de almidón y melaza como fuente de azúcares) y el agua de bebida (Pérez 2017; Meléndez y Bartolomé 2017).

La calidad del forraje tiende a ser más variable que la calidad del grano. Existen diferencias entre los genotipos de las plantas, las estaciones del año y la etapa de madurez. Debido a esta variabilidad, es necesario conocer la calidad del forraje que se consume para poder tomar decisiones objetivas de alimentación y manejo (Moore 1980).

Dentro de los principales forrajes utilizados en las ganaderías bovinas son las gramíneas, plantas forrajeras como las leguminosas y arbustivas no leguminosas, forrajes como heno, cultivos para ensilado de maíz y sorgo (Pérez 2017). Los forrajes de buena calidad favorecen a los microorganismos que se encuentra dentro del rumen, los cuales son capaces de digerir carbohidratos, proteínas y fibras; produciendo a través de este proceso de digestión energía o ácidos grasos volátiles (AGV) y proteína microbiana que puede ser utilizada por el animal (Ishler *et al.*, 2016; SENASICA 2019).

2.3.2.1. Requerimientos nutricionales en ganado lechero

La creación de raciones alimenticias tiende a ser específicas para los animales, por lo que para proporcionar una ración nutritiva balanceada se debe de considerar aspectos como: características de animal (genotipo, nivel de producción de leche, IMC, edad); y el valor nutricional de los insumos alimenticios (Almeyda 2011).

La dieta de una vaca lechera generalmente se compone de varios ingredientes alimenticios que pueden ayudar a satisfacer sus necesidades de nutrientes. Sin embargo, ningún nutriente es más importante que otro, y un exceso o deficiencia de uno o más nutrientes puede limitar el rendimiento. Saber qué nutrientes aportan los ingredientes del alimento a una ración ayudará a optimizar la utilización del alimento. Las principales categorías de nutrientes de importancia en las raciones del ganado lechero son los carbohidratos, las grasas, las proteínas, los minerales, las vitaminas y el agua; si bien la fibra no es un

nutriente por definición estricta, juega un papel fundamental en la digestión y debe tenerse en cuenta al formular las raciones (cuadro 1) (Ishler *et al.*, 2016).

Cuadro 1. Requerimiento para raciones de vacas en lactancia.

	Lactancia		
	Inicio < 10 sem	Medía 10-20 sem	Final >20 sem
Consumo estimado, %PV	>4,0	3,5-4,0	3,0-3,5
PC, %MS	17-18	16-17	14-16
DIP, %PC	60-65	60-65	60-65
UIP, %PC	35-40	35-40	35-40
ENL, Meal.kg ^1 MS	1,65-1,76	1,60-1,65	1,50-1,60
FAD, %MS	18-20	21-23	22-24
FND, %MS	26-30	32-34	34-36
FND forraje, %MS	20-22	23-25	25-27
CNE, %MS	35-40	35-40	35-40
Grasa máxima, %MS	6-8	4-6	4-5
Ca, %MS	0,70-0,90	0,65-0,75	0,60-0,70
P, %ms	0,45-0,50	0,40-0,45	0,35-0,40

Fuente: Pond y Church 1995.

MS (Materia seca), PC (Proteína cruda), DIP (proteína degradable ingerida), UIP (proteína no degradable ingerida), ENL (Energía neta de lactancia), FAD (Fibra ácido detergente), FND (Fibra neutro detergente), Ca (Calcio), P (Fósforo)

La referencia para las necesidades nutricionales de ganado es tomada de las normas del NRC (2001), el cual es un documento que proporciona valores precisos sobre las necesidades nutritivas del ganado lechero para los distintos estados de su ciclo productivo.

2.4. Forrajes en alimentación del ganado

Los forrajes son la base de la alimentación del ganado lechero y puede consistir en hierba verde, pastos henificados, ensilados y /o pajas de cereales, entre otros (SENASICA 2019). Estos constituyen la principal fuente de nutrientes para la alimentación del ganado bovino en las regiones tropicales; el principal atributo de los forrajes tropicales es su gran capacidad para producir materia seca. La gran capacidad que tienen los forrajes tropicales para producir biomasa se debe a que son C4; o sea que sus procesos fotosintéticos son muy eficientes; a que su selección estuvo orientada hacia la producción de materia seca y a que se desarrollan en forma más o menos continua durante todo el año, siempre y cuando dispongan de suficiente humedad (Minson 1990).

En relación con el valor nutricional de los pastos y forrajes debe considerarse que cuando éstos maduran sus contenidos de proteína cruda y de carbohidratos no fibrosos se reducen y que el contenido de pared celular y su grado de lignificación se incrementa, por lo que su valor nutricional y el consumo se deprimen (Van Soest, 1994).

El contenido de fibra de los forrajes es un buen indicador de su calidad. Los forrajes con cantidades menores de fibra por lo general son más digestibles y se consumen en cantidades mayores que los forrajes con cantidades mayores de esta fracción nutricional (Van Soest, 1994). Sin embargo, las raciones del ganado lechero requieren de una cantidad mínima de fibra de composición química y características físicas apropiadas para mantener un consumo de materia seca y energía adecuados, mantener la fermentación ruminal normal, el porcentaje de grasa láctea y contribuir a la prevención de desbalances metabólicos durante el parto (Ishler *et al.*, 1996).

2.6.1. Maíz (*Zea mays*)

El maíz es uno de los forrajes más utilizados en la nutrición animal, principalmente para la suplementación de vacas lecheras de alta producción. Se usa ampliamente debido que es un sistema de producción ya definido, con un adecuado contenido de MS, facilidad fermentativa, alto contenido de azúcares, elevado valor energético y alta palatabilidad (SENAR 2011).

El Consejo Norteamericano de Investigación (NRC) (1982) clasifica como forrajes a los alimentos de baja digestibilidad que contienen más de 18 % de fibra cruda. El maíz es una especie forrajera destacada porque presenta un alto volumen de forraje, un contenido de fibra cruda igual o superior a 18 %, y sobre todo porque presenta un contenido de nutrientes digestibles totales superior a 70 % en base seca (Fassio *et al.*, 2018).

Se cultiva con frecuencia para producir forraje verde, ya que es de gran valor nutritivo. Suele cosecharse cuando el grano se encuentra en estado lechoso-pastoso y las hojas están todavía verdes, obteniéndose únicamente una cosecha en cada siembra (Skerman y Riveros 1992).

Todas las variedades pueden cultivarse para forraje, pero las de mayor rendimiento son aquellas variedades regionales de porte alto. Los híbridos por su porte pequeño generalmente producen menos cantidad de forraje por unidad de área. Los rendimientos que se puedan obtener varían según la variedad, la fertilidad del suelo, la edad de corte y la densidad de siembra entre otros factores (Bernal 1991; Skerman y Riveros 1992).

El maíz forrajero se utiliza principalmente como fuente de energía en la alimentación animal. Como alimento es insuficiente para cubrir los requerimientos proteicos del ganado altamente productivo; y a la vez es deficiente en algunos minerales y vitaminas. Por este motivo en la dieta, los bajos contenidos de proteína y minerales en los maíces forrajeros son compensados mediante la suplementación con forrajes y concentrados ricos en proteínas y minerales. Estas prácticas se realizan principalmente en sistemas de alimentación intensivos y permiten que la digestibilidad, el contenido de materia seca y el consumo sean los principales objetivos para mejorar la calidad del maíz forrajero (Deinum y Struik 1986).

2.6.1.1. Valor nutricional

La calidad del forraje que puede ofrecernos un maíz para ensilaje varía en función del híbrido, del estado de madurez a la cosecha, y del año y sitio de siembra. El efecto del ambiente es muy importante, la variabilidad debido a este factor es igual o mayor que la debida al híbrido (cuadro 2) (Carrete 1997)

Cuadro 2. Análisis bromatológico planta completa de dos cultivares de maíz antes de ensilado.

Cultivar	MS%	PC%	MO%	ADF%	NDF%	DIVMS%
N29-F1	41.3	7.67	97.2	21.3	39.6	77.8
NX3018	36.9	9.57	94.6	25.2	41.6	79.9

Fuente: Thomas E.D *et. al* 2001

MS (Materia seca), PC (Proteína cruda), MO (materia orgánica), FAD (Fibra ácido detergente), FND (Fibra neutro detergente), DIVMS (digestibilidad in vitro de la materia seca).

Thomas *et. al.* (2001) realizaron un estudio para comparar dos híbridos, Novartis N29-F1 y Novartis NX3018, variedades para ensilado de maíz con madurez de 90 días, se analizó rendimiento de materia seca (MS), digestibilidad in vitro, composición de nutrientes. Los

dos híbridos de maíz presentaron rendimiento de MS similares. Novartis NX3018 tenía un mayor contenido de proteína bruta, una mayor proporción de hojas y tallos y una menor proporción de grano en comparación con Novartis N29-F1. La mazorca, el grano y las hojas de Novartis NX3018 tuvieron mayores desapariciones in vitro de MS verdadera y fibra detergente neutra en comparación con los componentes vegetales respectivos de Novartis N29-F1.

2.6.2. Pasto napier (*Pennisetum purpureum*)

El napier también conocido como napiergrass, pasto elefante, king grass o linya mungu, es una gramínea perenne originaria de África tropical y húmeda, particularmente de Uganda y naturalizada en América tropical y subtropical. Es una planta C4, que presenta alta tasa fotosintética y consecuentemente alta producción de materia seca; las altas temperaturas se vuelven una limitante para la producción de forraje, y prefiere suelos profundos, bien drenados y en general no resiste la sequía prolongada (Bemhana 2002).

La especie (*Pennisetum purpureum*) presenta genotipos con gran variabilidad genética, diferenciándose por características morfológicas, reproductivas, agronómicas y bioquímicas (Araújo *et al.*, 2011). La importancia agronómica de la especie está dada por su gran potencial forrajero en cantidad y calidad cuando es manejado para utilización directa, pastoreo o como reserva, silo y eventualmente heno (Bemhana 2002).

El napier es un pasto esencialmente para corte y ensilaje. Aunque también puede utilizarse bajo pastoreo y en asociaciones con leguminosas. Su periodo de establecimiento es entre 90 y 120 días después de la siembra para garantizar un buen desarrollo radicular, lo cual se traducirá en que este pasto tenga una larga vida productiva. La edad de corte apropiada para obtener un forraje tierno y de buena calidad es de 7 a 9 semanas (FUNDESYRAM 2019).

En Brasil, el napier es ampliamente utilizado en la alimentación de hatos lecheros, siendo suministrado al animal en verde después de picado. Las ventajas de este zacate son el mayor aprovechamiento del forraje producido y la reducción de pérdidas en campo; sin embargo, la pérdida de valor nutricional con la edad se convierte en una desventaja, lo que limita su potencial para la producción animal. Siendo así, el desempeño de los animales dependerá del valor nutricional del forraje cortado y el uso de suplementos con concentrados (Cóser *et al.*, 2000).

2.6.2.1. Valor nutricional

La calidad nutricional del *P. purpureum* se ve afectada significativamente por la edad de corte, ya que al aumentar ésta su calidad tiende a disminuir (cuadro 3). El origen del material también influye sobre el valor nutricional del forraje, siendo el material proveniente de las hojas de mejor calidad que el obtenido de los tallos; por la época del año en que el forraje es cosechado, de manera que se genera una disminución de la calidad del mismo conforme varía la duración de horas luz; y por ciertas interacciones específicas entre estos tres factores, lo cual puede generar grandes variaciones en los contenidos nutricionales del forraje (Chacón y Vargas 2009).

Monção *et al.*, (2019a) en Brasil, estudiaron el valor nutricional del pasto napier manejado en cuatro edades de rebrote, sometido a cuatro intervalos de corte (30, 60, 90 y 120 días); donde la producción promedio de materia seca fue de 17.27%, y presentó una reducción en el contenido de cenizas, proteína cruda y contenido de nutrientes digestibles totales con el aumento en la edad del corte.

Cuadro 3. Composición de nutrientes del pasto napier.

Componente	Edad de corte			
	30 días	60 días	90 días	120 días
MS (%)	13.02	16.81	17.99	21.25
PC (%)	15.07	11.31	8.18	8.74
Cenizas (%)	14.87	11.51	10.46	7.88
FND (%)	55.33	63.18	66.43	75.02
FAD (%)	34.01	38.86	44.99	52.94
CT (%)	68.89	76.01	80.19	82.32
NDT (%)	46.23	44.81	43.44	39.65

Fuente: Monção *et al.*, 2019

MS (materia seca), PC (proteína cruda), FND (fibra neutro detergente), FAD (fibra ácido detergente), CT (carbohidratos totales) y NDT (nutrientes digestibles totales).

Además, otro estudio realizado por Martins *et al.*, (2020) en Brasil, determinaron que el corte de la planta entera de napier para utilización como forraje verde debe ser realizado a los 56 días de rebrote, ya que a esta edad la planta posee un elevado potencial de degradabilidad y mayor valor nutricional (17.08% MS, 10.91% PC, 66.76% FND y 37.19% FAD).

2.7. Conservación de forrajes

Los forrajes representan una alternativa económica y en la mayoría de los sistemas de producción aportan el 40% y el 50% de los requerimientos nutricionales de las vacas, por lo que almacenar alimento y reducir los costos de alimentación en la época seca es un reto para los ganaderos, pero más aun mantener el contenido de nutrientes y materia seca adecuados para optimizar la producción (Filya 2003).

El proceso de conservación de los forrajes inevitablemente presenta pérdidas de masa vegetal y, consecuentemente, un deterioro del valor nutritivo. Por consiguiente, los objetivos primordiales de la conservación, comunes a todos los métodos implementados para ello, deberán ser fundamentalmente dos, minimizar las pérdidas de materia seca, y minimizar el empobrecimiento del valor nutritivo del forraje (Elizalde *et al.*, 1996).

Una alternativa de solución a los problemas de alimentación ocasionados por una marcada estacionalidad es la puesta en práctica de métodos de conservación de forrajes como: el ensilaje, henificación y el henolaje. Estos métodos de conservación permiten brindar alimento al ganado en épocas de escasez de alimento, ya que estas en algunas épocas del año se traducen en baja producción de leche y carne, bajos índices productivos y reproductivos, retardo en el crecimiento y susceptibilidad a enfermedades (Aragón 1998).

2.7.1. Ensilaje

El ensilaje es un método de conservación del forraje húmedo basado en convertir carbohidratos solubles en ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico, bajo condiciones anaeróbicas por medio de la acción de bacterias (Filya 2003).

Este proceso sirve para almacenar alimento en tiempos de cosecha y suministrarlo en tiempo de escasez, conservando calidad y palatabilidad a bajo costo, permitiendo aumentar el número de animales por hectárea o la sustitución o complementación de los concentrados. Este tipo de alimento se emplea para manejar ganado en forma intensiva, semi-intensiva o estabulada. El oxígeno es perjudicial para el proceso porque habilita la acción de microorganismos aerobios que degradan el forraje ensilado hasta CO₂ y H₂O (Garcés *et al.*, 2004).

El ácido láctico es producido por la fermentación de carbohidratos solubles, permitiendo la conservación del material vegetativo y evitar el desarrollo de microorganismo aeróbicos que causan descomposición del ensilaje. Esta inhibición de los microorganismos aeróbicos es debido a que el pH producido por el ácido láctico no permite su desarrollo (Garcés *et al.*, 2004).

La calidad fermentativa de un ensilado depende de la naturaleza del forraje original y en el desarrollo de la técnica empleada, además del clima, la estación, el estado de madurez, la composición química y botánica, etc. Sin embargo, existen otros aspectos inherentes al propio forraje que limitan su aptitud para ser ensilado (Muck y Bolsen, 1991).

El tamaño de partícula influye en la calidad del ensilaje, ya que a mayor tamaño de partícula se dificulta la compactación del ensilaje, por lo tanto, hay mayor incidencia de pérdida de material vegetativo por el elevado contenido de oxígeno el cual no permite una buena producción de ácido láctico, sino que facilita la producción de ácido acético, alcohol y dióxido de carbono (Fernández 1999).

Si el tamaño de partícula es muy pequeño no hay un proceso de rumia adecuado por lo que la producción de saliva se disminuye causando una alteración del pH en el rumen provocando acidosis en el bovino (Hutjens 2003).

Jones (1995) reportó que para la optimización de este proceso es recomendable la utilización de ciertos tipos de aditivos, buscando mejorar el valor nutritivo del maíz. Dentro de los aditivos destacan los inoculantes bacterianos, los cuales contienen bacterias productoras de ácido láctico que se agregan a la población bacteriana natural para ayudar a garantizar una fermentación rápida y eficiente en el silo (Muck y Kung 1997).

Aunque el marchitamiento es una estrategia factible para disminuir el contenido de humedad en cultivos de tallos cortos y delgados, varias especies de pastos que se usan para ensilaje son altos y tienen tallos gruesos (p. ej., *Panicum maximum*, *Pennisetum purpureum*) y, en consecuencia, son difíciles de marchitar. Ensilar pastos tropicales con aditivos puede producir ensilajes con mayor potencial de consumo y mejor digestibilidad de materia seca dependiendo del aditivo seleccionado. Por lo tanto, en la producción de ensilaje a pequeña escala, los subproductos secos (p. ej., cáscaras de soja, pulpa de cítricos, pulpa de mandioca, salvado de trigo, salvado de arroz), harinas energéticas (p. ej., harina de maíz, harina de sorgo, harina de mijo perla), o incluso harinas proteicas (p. ej., harina de semilla de algodón, harina de maní, harina de girasol) se han utilizado como aditivo que generan una absorción de humedad durante el ensilado de pastos tropicales. También se han examinado cascarilla de café, cascarilla de arroz y cascarilla de algodón, pero la baja digestibilidad y la presencia de factores antinutricionales en estos aditivos a menudo produce ensilaje de baja calidad incluso con niveles óptimos de humedad (Bernardes *et al.*, 2018).

2.7.1.1. Ensilado de maíz

El ensilaje de maíz (*Zea mays*) es el más utilizado en el mundo en dietas de ganado lechero por sus rendimientos de biomasa, palatabilidad, calidad homogénea a la cosecha y facilidad de ensilar por su alto contenido de azúcar soluble (García-Chávez *et al.*, 2022). Es una mezcla única de grano y fibra digestible, que constituye una de las principales fuentes energéticas para la alimentación de rumiantes (Filya 2003).

Para lograr altos rendimientos de materia seca por hectárea (MS/ha), asegurar una buena fermentación del ensilaje, obtener una alta proporción de grano y maximizar el consumo de materia seca, es fundamental que la cosecha para ensilaje se realice en un estado

adecuado de madurez (27 a 32% MS), el contenido de materia seca del ensilaje de maíz es, sin duda, el factor clave que determina el consumo de MS y energía y, por lo tanto, la producción potencial de leche a partir del forraje (Klein 1994).

El inicio del periodo de cosecha está marcado por el contenido de materia seca de la planta entera. El inicio de la cosecha no debe ser antes de que las plantas presenten como mínimo un 30% de materia seca, que coincide con la presencia de un 50% de línea de leche en el grano. Sin embargo, el momento óptimo es cuando la planta completa presenta entre un 33 y 35% de materia seca y el grano esta endurecido en sus tres cuartas partes (Demagnet y Canales 2020).

Según Weiss (2004) las cantidades de materia seca por hectárea que produce este cultivo son entre 8 a 10 ton (MS/ha) cuando se le cosecha a los 75 a 90 días, su contenido de carbohidratos fácilmente fermentables es alto, especialmente en la forma de carbohidratos solubles en agua, contiene de 30 a 38 % de materia seca cuando está en el estado de leche y además tiene baja capacidad buffer, estas características le permiten producir ensilajes de muy buena calidad.

2.7.1.1.1. Valor nutricional

Es importante considerar la composición nutricional del forraje, ya que a medida que una planta incrementa su madurez, hay un aumento en el contenido de fibra ácido detergente (FAD) y fibra neutro detergente (FND) que son los componentes que determinan digestibilidad y consumo respectivamente. Sin embargo, en la planta de maíz a medida que incrementa el estadio de madurez, la proporción de grano incrementa lo que provoca una disminución relativa de las FND y FAD (cuadro 4) (Bal *et al.*, 1997).

Cuadro 4. Composición química del ensilado de maíz.

Componente	MS %	MO %	PC %	pH	FND %	FAD %	DIVMS %	DIVMO %
Silo de maíz	25.7	94.9	7.5	3.53	60.6	36.8	69.4	69.6

Fuente: Ruiz *et al.*, 2009

MS= Materia seca; MO= Materia orgánica; PC= Proteína cruda; EE= Extracto etéreo; FND= fibra neutro detergente; FAD= fibra ácido detergente; DIVMS= digestibilidad *in vitro* de la materia seca; DIVMO= digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica

2.7.1.2. Ensilado de pasto napier

La baja disponibilidad de alimentos durante la estación seca es una dificultad que enfrentan anualmente muchos ganaderos, no obstante, este escenario ha cambiado con la adopción de formas para poder ensilar gramíneas sin grano -como el napier-, con el propósito de producir y conservar alimentos durante este periodo (de Oliveria 2018; de Figueiredo *et al.*, 2019).

Actualmente el napier (*Pennisetum purpureum*) se ha destacado entre las gramíneas forrajeras tropicales y su uso se ha convertido en una práctica cada vez más común; justificada por el menor costo de producción en la fase de cultivo y por su elevada producción de forraje por unidad de área y por su equilibrio nutritivo (Ferreira *et al.*, 2010).

El alto contenido de humedad del pasto napier al momento del corte constituye un problema durante la confección de un silo, por lo que es necesario prácticas como el secado, antes de ensilar. El secado ayuda a incrementar el contenido de materia seca, aunque este valor no siempre alcanza los niveles adecuados. Además, el valor nutritivo también puede verse afectado por descomposición aeróbica del material causada por hongos y levaduras (Lavezzo 1994).

Según Pinho *et al.*, (2008), un ensilaje de napier sin aditivos está sujeta a pérdidas significativas por efluentes, que contienen grandes cantidades de compuestos orgánicos, tales como: azúcares, ácidos orgánicos y proteínas. Para contrarrestar estas pérdidas por efluentes, puede utilizarse técnicas como el marchitamiento y la aplicación de aditivos absorbentes de la humedad.

La adición de productos externos al proceso de ensilaje surgió como una forma de mejorar el resultado final de la fermentación, modificando la materia seca, carbohidratos solubles y disminuyendo el pH del material ensilado (Morais 1999).

Un estudio realizado por Ferrari y Lavezzo (2001) donde evaluaron las cualidades del ensilado de napier, verificaron que el marchitamiento previo al ensilado es una alternativa viable para disminuir la humedad e incrementar el contenido de materia seca.

Silva (2007) menciona que los aditivos más utilizados en el ensilaje de napier son los materiales secos, que elevan el contenido de materia seca del ensilado y aumenta las posibilidades de una buena preservación. Entre esos materiales cita las fuentes de carbohidratos como harina de maíz, salvado de trigo, pulpa cítrica y residuos de la agroindustria regional.

La harina de maíz ha sido el producto más probado tradicionalmente en el ensilado de pastos tropicales; los resultados son positivos cuando se adiciona en cantidades considerables, influyendo en el contenido de materia seca y aumentando el valor energético del material ensilado. Sin embargo, uno de los impedimentos en algunas regiones es el alto costo del maíz (Morais 1999).

Actualmente autores como Ruiz *et al.*, (1995); Cabral *et al.*, (2006); Cabral *et al.*, (2008); Jobim *et al.*, (2008) han realizado estudios utilizando ensilaje de napier como fuente de alimentación en el hato bovino lechero, haciendo comparaciones contra ensilaje de maíz con la finalidad de ver como esta incide en el consumo, digestibilidad, producción y calidad de leche.

Siendo, por lo tanto, el ensilaje una forma de conservar pastos de calidad para corregir los efectos de las fluctuaciones climáticas en la producción de nutrientes para alimentación de los animales en un sistema de producción, haciendo así el uso de pasto napier para ensilaje, una herramienta de gestión sumamente interesante, que puede ser económicamente más viable que el uso de ensilajes de cultivos anuales, que generan mayores costos de producción (de Oliveira 2018).

2.7.1.2.1. Valor nutricional del napier

Danso y Nartney (2018) mencionan que la calidad nutricional del pasto napier ensilado a los 30 y 60 días, no tiene mucha variación en porcentajes de FND Y FAD (cuadro 5); el contenido de proteína promedio de 6.39% y encontraron además que el porcentaje de MS disminuye con mayores días de ensilado.

Cuadro 5. Valor nutritivo del pasto napier después de 30 y 60 días de ensilado.

Silo de pasto Napier	MS (%)	PC (%)	Ceniza (%)	FND (%)	FAD (%)	pH
30 días de ensilado	39.65	6.21	8.83	69.4	49.15	4.71
60 días de ensilado	27.99	6.57	6.99	69.93	45.83	4.53

Fuente: Adaptado de Danso y Nartney (2018)

MS (materia seca), PC (proteína cruda), FND (fibra neutro detergente), FAD (fibra ácido detergente).

2.8. Métodos para determinar el valor nutricional de los forrajes

2.8.1. Análisis bromatológico proximal

Este análisis ha sido utilizado comúnmente para la investigación nutricional de todos los alimentos. Este método fracciona los alimentos en seis análisis, cada uno de ellos agrupa varios nutrientes que tienen propiedades comunes. Estos análisis son: Humedad, Proteína Cruda, Extracto Etéreo, Fibra Cruda, Extracto Libre de Nitrógeno y Cenizas (AOAC 1990).

2.8.1.1. Humedad (H)

Se basa en la determinación de la pérdida de peso que sufre una muestra cuando se calienta a una temperatura entre 60 y 70°C por un periodo de 24 horas en una estufa de aire reforzado o ventilación forzada, luego se coloca la muestra a un desecador y se pesa cuando se enfría. Por medio de la fórmula: % H= (pérdida de peso / peso muestra) x 100 (AOAC 1990).

2.8.1.2. Proteína (PC)

El método consiste en determinar el nitrógeno en la muestra mediante 4 pasos.

Digestión: Consiste en quemar o destruir toda la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado y caliente (actúa sobre la materia orgánica deshidratándola y carbonizándola) en presencia de catalizadores (Na₂SO₄ + CuSO₄ · 5H₂O) que aceleran el proceso (aumentando el punto de ebullición del ácido), oxidando en grupo carbonilo reduciendo el nitrógeno a amoníaco que queda fijado en el ácido sulfúrico en forma de sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄), estable en las condiciones de trabajo (AOAC 1990).

Destilación: Consiste en el desprendimiento del amoníaco por efecto de un álcali fuerte (NaOH al 40%) en corriente de vapor de agua.

Fijación: El amoníaco que se desprende se fija en un volumen conocido de una solución de ácido bórico al 4% e indicador (rojo de metilo y verde de bromocresol), formándose borato de amonio (cambio de color de rojo a verde).

Titulación: El borato de amonio se titula con ácido clorhídrico 0.1 N. Hasta cambio de color de verde a rojo (AOAC 1990).

2.8.1.3. Extracto Etéreo (EE)

El método de Soxhlet se basa en un principio gravimétrico; Desde el punto de vista nutricional, la determinación de extracto etéreo sirve no solo para identificar la grasa presente sino también a partir de esta, estimar el contenido calórico del material. (AOAC 1990). El fundamento es el siguiente: el éter se evapora y se condensa continuamente y al pasar a la muestra, extrae materiales solubles. El extracto se recoge en un beaker y cuando el proceso se completa, el éter se destila y se recolecta en otro recipiente y la grasa cruda que queda en el beaker, se seca y se pesa (Flores *et al.*, 2010).

2.8.1.4. Fibra Cruda (FC)

Para determinar fibra cruda se utiliza el residuo desengrasado que queda en el dedal de extracción posterior a la determinación de Extracto Etéreo. A este residuo se le hacen dos digestiones, la primera con ácido sulfúrico 1.25% (digestión ácida) y la segunda con hidróxido de sodio 1.25% (digestión básica), Posteriormente de cada digestión se lava con agua destilada hervida y por último la muestra se lava con alcohol, se seca, se pesa y calcina, calculándose el porcentaje de fibra cruda obtenido después de la calcinación. (AOAC 1990)

2.8.1.5. Extracto Libre de Nitrógeno (ELN)

Llamado también extracto no nitrogenado o carbohidratos. Dentro de este concepto se agrupan todos los nutrientes no evaluados con los métodos señalados anteriormente dentro del análisis bromatológico proximal. Esta constituido principalmente por carbohidratos digeribles (como almidones y azúcares principalmente, sin embargo, también incluye cierta proporción de celulosa, hemicelulosa, lignina, sílice y pectina) así como también vitaminas y demás compuestos orgánicos solubles no nitrogenados. Se determina después que se han completado los análisis para proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y cenizas. Se calcula por medio de la fórmula:

$$\% \text{ ELN} = 100 - (\% \text{ CZ} + \% \text{ PC} + \% \text{ EE} + \% \text{ FC}) \text{ (AOAC 1990).}$$

2.8.1.6. Cenizas (CZ)

La muestra se incinera o calcina a 550°C en un horno de mufla por un periodo de 2 horas para quemar todo el material orgánico, quedando solo el material inorgánico (ceniza) que no se destruye a esta temperatura. Se calcula por medio de la fórmula:

$$\% \text{ Ceniza} = (\text{peso de ceniza} / \text{peso de muestra}) \times 100 \text{ (AOAC 1990).}$$

2.8.2. Análisis de cenizas insolubles en ácido

Las cenizas insolubles (CIA), se hallan formadas por minerales no digestibles como la sílice, o bien por minerales que se encuentran formando compuestos muy estables (quelatos), que no pueden ser liberados por el medio predominante en el aparato digestivo. Por la razón anterior para determinar la digestibilidad de ciertos alimentos "In vivo", se mide el contenido de CIA que existe en el alimento, así como las heces de los animales del experimento que consume ese alimento (McCarthy 1974).

$$\% \text{ de CIA} = \frac{\text{Peso del crisol con cenizas} - \text{peso del crisol}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

2.9. Análisis de Van Soest

2.9.1. Fibra en Detergente Neutro (FDN)

Es el material insoluble en una solución detergente neutra, y se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina. Además, existen otras componentes minoritarias como residuos de almidón, cenizas y nitrógeno (Calsamiglia 1997).

2.9.2. Fibra en Detergente Ácido (FDA)

Es el material insoluble en una solución detergente ácida, y está constituida fundamentalmente por celulosa y lignina, aunque suelen existir otros componentes minoritarios como nitrógeno y/o minerales (Calsamiglia 1997).

FDA incluye la celulosa y la lignina de las paredes celulares y cantidades variables de xilanos y otros componentes. Este método de análisis está aprobado por la AOAC. Una variación común del método FDA es usar FDN como pretratamiento (Van Soest y Robertson 1980).

2.10. Pruebas Biológicas

2.10.1. Digestibilidad total del tracto

El método convencional de determinación de la digestibilidad *in vivo* por recolección de heces es el comúnmente utilizado para rumiantes y no rumiantes. Es importante tener en cuenta que las técnicas de digestibilidad *in vivo* por recolección total de heces no miden la absorción como tal, sino la desaparición o bien una retención de las fracciones del alimento que ocurre en el tracto gastrointestinal (TGI) del animal. También debe considerarse que

esta retención es bruta, en el sentido de que no se discrimina el segmento del TGI donde realmente ocurre tal desaparición (Navaratne *et al.*, 1990)

2.10.2. Método In Vitro

La digestibilidad es la medida biológica más importante de un forraje. Se puede medir in vivo, pero este método es laborioso, consume grandes cantidades de forraje y requiere un número relativamente grande de animales. Por lo tanto, se han propuesto varios métodos de laboratorio para esta estimación. Los métodos in vitro intentan simular los procesos digestivos naturales de los rumiantes (Borba y Ramalho 1996).

La técnica de digestibilidad in vitro (DIVMS) simula la digestibilidad del tracto digestivo del rumiante y requiere de la preparación de un inóculo que contenga microorganismos ruminales viables (Tilley y Terry 1963). El inconveniente de esta técnica reside en la variabilidad de sus resultados, debido a que la microflora ruminal está influenciada por el tipo y cantidad de dieta proporcionada al animal. El método de Tilley y Terry (1963) modificado por Alexander y McGowan (1966) puede considerarse el más habitual, presentando, sin embargo, una desventaja, en que requiere fresco inóculos de animales permanentemente fistulados.

2.10.3. Método ruminal o in situ

La técnica de digestibilidad in situ (DISMS) utiliza bolsas sintéticas para medir la digestión de los forrajes a nivel ruminal. Este método ha ganado gran aceptación cuando se requiere medir la digestibilidad aparente de la materia seca, fibra, y nitrógeno, debido principalmente a la rapidez con que se puede obtener resultados y porque no demanda de equipos y materiales que requieren las otras técnicas (Mehrez y Orskov 1977). Sin embargo, la utilidad y confiabilidad de esta técnica depende de factores tales como la cantidad de la muestra, y del tamaño de la bolsa y de la partícula de la muestra (Torres *et al.*, 2009)

2.10.4. Otros Métodos

Se han propuesto otras técnicas de laboratorio. La técnica modificada de dos etapas se basa en el procedimiento clásico (Tilley y Terry 1963), pero empleando fluido ruminal bovino de un matadero (Nikolid *et al.*, 1987), y el método propuesto por Shaer *et al.*, (1987) basado en el uso de microorganismos fecales contenidos en una suspensión filtrada de heces de oveja. Los métodos microbianos tienen claras ventajas sobre los enzimáticos en la predicción de la digestibilidad in vivo (Omed *et al.*, 1989).

3. METODOLOGIA

3.1. Ubicación de la zona

Esta investigación se realizó en la hacienda Velesa ubicada en el departamento de Sonsonate, municipio de Caluco en ubicación geográfica 13°43'07.3" latitud norte y 89°40'12.5" latitud este. Las instalaciones se encuentran a una elevación de 381 metros sobre el nivel del mar. La región donde se ubica se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como Sabana Tropical Caliente ó Tierra Caliente, con una precipitación anual entre 1800 a 1950 mm y temperatura promedio anual de 28° C (MARN, 2021).

3.1.1. Animales

Dieciocho vacas Holstein en ordeño con un promedio de, media (\pm desviación estándar) 544.6 (\pm 64.3) kg de peso vivo, 91 (\pm 41.6) días de lactancia, producción láctea de 23.9. (\pm 3.4) kg, calificación de condición corporal entre 3.5 y 4.0 y sin historial de problemas de salud (figura 1), se asignaron en dos grupos de 9 vacas cada uno repartiendo los efectos de peso, producción y días en lactancia homogéneamente entre ellos para recibir uno de dos tratamientos que consistieron en dietas que incluyeron ensilaje de maíz (*Zea mays*) o ensilaje de pasto napier (*Pennisetum purpureum*) como principal fuente de forraje.



Figura 1. Vacas en producción (a) Grupos de cada tratamiento (b) Condición corporal (c).

3.2. Descripción del estudio

El experimento tuvo una duración de 42 días divididos en 2 períodos de 21 días con 15 días de adaptación y 6 días de muestreo cada uno. Después de los primeros 21 días, las vacas se intercambiaron de tratamiento. Las vacas se alojaron de forma colectiva en 2 corrales contiguos techados con lámina de zinc y piso de concreto, equipados con echaderos individuales con arena y tuvieron acceso a un metro de comedero lineal, recibiendo alimentación y agua fresca a libre voluntad. Las vacas fueron ordeñadas mecánicamente a las 3:00 am y 3:00 pm, fueron alimentadas dos veces (7:00 am y 2:00 pm) recibieron tratamiento para estrés de calor con aspersión de agua (por 60 segundos cada 5 minutos) y ventilación continua desde las 8:00 am hasta las 5:00 pm con ventiladores de 70 cm de diámetro (figura 2).

3.2.1. Cultivo cosecha y conservación de forrajes

3.2.1.1. Maíz

Para el ensayo se estableció 2.5 Ha de maíz variedad (Pioneer P4039) en el mes de diciembre durante la época seca. Se preparó el suelo con un paso de rastra y dos de arado, se sembró manualmente con 0.75 m de distancia entre surco y 10 plantas por metro lineal, obteniendo una densidad de siembra de 133,333 plantas/Ha. Se fertilizó a la siembra, 8 y 35 días de germinación con un total de 212 Kg de N/Ha y se aplicó riego por gravedad una vez por semana. Se controló químicamente las malezas y las plagas. Se cosechó a los 85

días cuando el grano estaba en estado masoso-duro (estado fenológico dentado o R5, Abendroth *et al.* 2011), cortando las plantas a 5 cm del suelo y luego con una cosechadora de forraje (Pecos 9004, Nogueira Máquinas Agrícolas, São Paulo, Brazil) y se picó a un tamaño de partícula de 2.5 cm. Se estimó el rendimiento de biomasa contando todo el material verde en 3 metros lineales de un surco y pesándolo con una báscula electrónica (Figura 3). El área se estimó multiplicando la distancia de corte por el ancho de surco y la cantidad de material en esta área se extrapoló a una Ha. Este procedimiento se realizó 8 veces en la parcela de maíz. El material se almacenó en un silo de montón y se compactó con un tractor por cada capa de 20 cm (figura 4), se tapó con un plástico negro y se fermentó por 21 días antes de su uso.



Figura 2. Agua a libre voluntad (a) Sala de ordeño mecanizado (b) Sistema de ventilación con aspersión de agua (c).



Figura 3. Cosecha de maíz (a) Estimación de rendimiento (b).

3.2.1.2. Napier

Se estableció 2.5 Ha de pasto napier en diciembre durante la época seca para lo cual se preparó el suelo con dos pasos de rastra y uno de surcador, se sembró manualmente utilizando estacas con 4 a 5 entrenudos a una distancia de 75 cm entre surco, colocando 2 estacas lado a lado en forma continua a unos 20 cm de profundidad y se tapó con el suelo. Para fertilizarlo se utilizó 179 kg/ha de N en forma de urea y sulfato de amonio. Se controló químicamente las malezas y las plagas y se aplicó riego por gravedad una vez cada semana. Se midió el rendimiento de biomasa por un procedimiento similar al descrito anteriormente para el maíz. Para el corte se utilizó motoguadaña manuales y la cosecha se realizó a los 60 días postsiembra, el material se dejó al sol en el suelo por 3 días para que perdiera humedad. Se picó a un tamaño de partícula de 2.5 cm con una cosechadora (Pecos 9004, Nogueira Máquinas Agrícolas, São Paulo, Brasil) que se alimentó

manualmente (figura 5). Durante el picado se agregó harina de maíz para un estimado de 10 % en la materia seca resultante (136 kg o 3 qq de Harina de maíz por 5 toneladas de pasto napier). El material se almacenó en un silo de montón (figura 6) y se compactó con un tractor por cada capa de 20 cm, se tapó con un plástico negro y se fermentó por 21 días antes de su uso.



Figura 4. Picado de maíz (a) Compactación de ensilado (b).



Figura 5. Estimación de rendimiento (a) Picado de pasto napier (b).



Figura 6. Adición de harina de maíz a pasto napier (a) Llenado de silo tipo montón (b).

3.2.2. Dietas

Se formularon dietas para satisfacer los requerimientos de nutrientes de vacas lecheras de 550 kg PV que rindan 25 kg de leche según NRC (2001), las cuales fueron balanceadas para ser isoenergéticas e isonitrogenadas con una relación forraje: concentrado de 50:50 en la materia seca y fueron mezcladas en un carro mezclador (Enorossi Henomixer, Agricultural Machinery, Italia) equipada con balanza (Figura 7). Las dietas fueron ofrecidas como ración total mezclada (RTM), ajustando la oferta para un rechazo esperado de 5% de alimento húmedo.



Figura 7. Adición de ingredientes de las dietas al carro mezclador (a) RTM (b) Reparto de las raciones (c).

Aparte de los ensilajes de maíz y napier, se adicionó en ambas dietas napier fresco por ser el alimento al que estaban acostumbradas las vacas y una pequeña cantidad de zacate suazi (*Digitaria swazilandensis*) para incluir fibra larga y ayudar con la rumia (cuadro 6).

3.3. Muestreo y recolección de datos.

Las cantidades diarias de alimento ofrecido y rechazado en un corral y la producción de leche de cada vaca en cada ordeño se registraron durante los 6 días del período de muestreo. Además, se tomaron diariamente muestras de 400 g de ingredientes: ensilado de maíz, ensilaje de napier, RTM y alimento rechazado por cada tratamiento. Se pesaron los animales en una báscula digital (Sipel, BH 60, Rosario, Argentina) en dos días consecutivos al inicio del experimento y al final de cada período (figura 8).



Figura 8. Recolección de muestras de rechazo (a) Ordeño de leche (b) Pesaje de cada vaca (c).

Las vacas fueron muestreadas individualmente para orina y heces en los seis días consecutivos a las 7:00, 9:00, 11:00, 13:00, 15:00 y 17:00 horas respectivamente: Se aplicó masaje perineal para estimular la micción extrayendo muestras de 1 L, se acidificó una submuestra de 100 ml de orina con ácido sulfúrico (20% v / v) para reducir el pH por debajo de 3, luego se filtró utilizando papel Whatman # 42, se tomó una muestra de 10 ml, luego se tomó otros 10 ml de orina para diluirlos en proporción de 1:5 con agua destilada y de esta dilución, se tomaron muestras de 10 ml por triplicado (figura 9). Se obtuvieron muestras

fecales (200 g húmedos) directamente del recto de cada vaca (figura 10). Las orinas y heces congelaron a -20°C hasta su análisis.



Figura 9. Extracción de orina (a) Acidificación de submuestra (b) Filtrado de muestra (c).



Figura 10. Extracción de heces (a) Agrupación de muestras por tratamiento (b) Almacenamiento de muestras en congelador (c).

Durante los periodos de muestreo, se tomaron muestras de leche de 50 ml por vaca de la máquina ordeñadora a las 3:00 am y 3:00 pm las que se almacenaron a 4°C en dos grupos de muestras de tres días cada uno para ser mezcladas (seis muestras por mezcla) y enviadas para su análisis en el laboratorio de la planta de la cooperativa la Salud (figura 11).



Figura 11. Toma de muestra de leche de ordeñadora (a) Muestras de leche am y pm (b) Mezclado de muestras am y pm (c).

3.4. Análisis y cálculos de laboratorio

Para el análisis de laboratorio, las muestras de heces y orina fueron descongeladas y se mezclaron y homogenizaron las 6 muestras por vaca en cada periodo para obtener una muestra representativa por vaca (figuras 12 y 13).



Figura 12. Muestras de orina descongeladas (a) Homogeneización de muestra (b) Muestras de orina homogeneizadas (c).

Cuadro 6. Ingredientes y composición química de las dietas para las vacas lecheras.

Ingredientes, g/kg materia seca	Ensilaje de maíz	Ensilaje de pasto napier
Harina de soya	156	147
Afrecho de trigo	114	104
Melaza	55.5	55.5
Harina de maíz	136	155
Sal mineral	5.35	5.35
Sal común	1.78	1.78
Grasa sobrepasante	13.4	13.4
Carbonato de calcio	6.64	6.64
Bicarbonato de sodio	8.92	8.92
Diamond (Cultivo de levadura)	2.00	2.00
Oxido de magnesio	0.89	0.89
TOTAL CONCENTRADO	500	500
Ensilaje de maíz	400	100
Ensilaje de pasto napier		300
Napier fresco	80.0	80.0
Heno suazi	20.0	20.0
TOTAL FORRAJE	500	500
DIETA TOTAL	1000	1000
Composición Nutricional*		
Materia Seca, g/kg FM	368	338
Proteína Cruda g/kg DM	175	175
Energía Metabolizable, MJ/kg DM**	10.2	10.0
FND, g/kg DM	383	353
FAD g/kg DM	193	185

Según análisis de Laboratorio.

** Según balanceo en programa CPM Dairy V3.

Los alimentos y rechazos (200 g) se secaron en una estufa ventilada (100-800, Memmert GmbH and Co. KG, Schwabach, Alemania) a 60 °C durante 48 horas, mientras que las muestras de heces de 6 días se mezclaron manualmente para obtener una muestra por vaca, que se secó por 72 horas. Luego se molieron en un molino Wiley (Arthur H. Thomas Company, Filadelfia, PA) para pasar una malla de 1 mm (figura 13).



Figura 13. Mezclado de muestras de heces (a) Secado de muestras en estufa ventilada (b) Molido de muestras secas de heces (c).

El nitrógeno (N) se analizó en alimentos y rechazos secos, heces húmedas recién descongeladas y orina, utilizando un equipo Velp (VELP Scientifica, Italia) para estimar la proteína cruda (en alimentos, rechazos y heces) mediante el procedimiento Kjeldahl donde $PC = \text{concentración de N multiplicada por } 6,25$ (AOAC, 2005) (figura 14).



Figura 14. Digestión (a) Destilación (b) Titulación de muestras (c) por procedimiento Kjeldahl.

En alimentos, rechazos y heces se analizó Fibra Neutro Detergente (FND) y Fibra Acido Detergente (FAD) usando amilasa termoestable, ambas incluyendo la ceniza, utilizando un analizador de fibra Ankom 200 (tecnología ANKOM, NY, EEUU) (figura 15).



Figura 15. Pesaje (a) Identificación de muestras (b) Aplicación de amilasa termoestable (c) para determinación de FND y FAD.

Se determinó cenizas por combustión en un horno de mufla (L24 / 12 / P320, Nabertherm, Bremen, Alemania) a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 2h (AOAC, 2005) para estimar la materia orgánica (MO). Se determino cenizas insolubles en ácido en alimentos y heces para utilizarlas como marcador interno en la estimación de excreción de heces (Van Keulen y Young 1977) (figura 16).



Figura 16. Pesaje (a) Calcinación de muestras en horno mufla (b) Determinación de CIA (c).

En muestras de orina se analizó alantoína y ácido úrico mediante procedimientos espectrofotométricos (figura 17) y a partir de allí, se calculó la síntesis de proteína microbiana se determinó a partir de éstos según el procedimiento descrito por Chen y Gómez (1992).



Figura 17. Preparación de solución (a) Diferentes concentraciones de solución (b) Uso de espectrofotómetro (c) para determinación de alantoína.

Las muestras de leche se analizaron en un aparato Foss MilkoScan F1 (Foss Electric, Hillerød, Dinamarca) para determinar la concentración de proteína, grasas, sólidos totales (ST), lactosa y N ureico en leche (NUL) (figura 18).



Figura 18. Recuento de células somáticas en BacSomatic™ (a) Aparato Foss MilkoScan F1 (b) Determinación proteína, grasas, sólidos totales (ST), lactosa y N ureico en leche en Foss MilkoScan F1 (c).

3.4.1. Parámetros evaluados.

3.4.1.1. Composición de forrajes: MS, MO, PC, FND y FAD (%)

3.4.1.2. Consumo de alimento (Kg/d). Fue calculado restando el alimento rechazado al alimento ofrecido, los valores húmedos fueron después transformados a materia seca con los resultados de laboratorio.

$$\text{Consumo de alimento} = \text{Alimento ofrecido} - \text{Alimento rechazado}$$

- 3.4.1.3. Consumo de nutrientes: MS, MO, N, PC, FND y FAD (Kg/d).** Se calcularon restando la cantidad de nutrientes en el alimento rechazado de la cantidad de nutrientes contenidos en el alimento ofrecido que se consumió.

$$\text{Ingesta} = \text{Nutrientes en alimento ofrecido} - \text{Nutrientes en alimento rechazado}$$

- 3.4.1.4. Excreción de heces (kg/d).** se estimó mediante la determinación de cenizas insolubles en ácido (CIA) en el alimento y en las heces (Van Keulen y Young 1977).

- 3.4.1.5. Digestibilidad total aparente: MS, MO, FND, FAD (%).** Fue estimada usando la ecuación:

$$\% \text{ Digestibilidad} = \frac{\text{g nutriente consumido} - \text{g nutriente excretado}}{\text{g nutriente consumido}} * 100$$

- 3.4.1.6. Excreción de orina (L/animal/día).** Se estimó a partir de las concentraciones de creatinina en la orina asumiendo una excreción constante de creatinina de 29 mg kg de peso vivo para vacas Holstein (Valadares et al. 1999).

$$\text{Excreción de orina (L/animal/día)} = \text{Peso vivo} * \frac{29}{\text{Concentración de creatina} * 10}$$

- 3.4.1.7. Excreción de N en orina, heces y leche (g/d).** Se estimó multiplicado el total de las heces húmedas, orina o leche por su concentración de N.

$$\text{Excreción de N} = \text{Heces húmedas (kg), orina(lt) o leche (kg)} * \text{su concentración de N.}$$

- 3.4.1.8. Derivados purínicos de la orina (mmol/animal día).** Las excreciones se obtuvieron a partir de la multiplicación del volumen de orina y por las concentraciones de alantoína y ácido úrico.

- 3.4.1.9. Síntesis de proteína microbiana g/d.** Se estimó en función de las purinas microbianas absorbidas según las ecuaciones propuestas por Chen and Gomes (1992).

- 3.4.1.10. Producción de leche (kg),** Se registró la producción individualmente durante seis días de muestreo por medio por medio de la maquina ordeñadora y se obtuvo los promedios por vaca.

- 3.4.1.11. Producción de nutrientes: proteína, grasa, lactosa, sólidos totales (kg/d),** se calcularon a partir de las concentraciones de nutrientes multiplicados por la producción láctea (kg).

- 3.4.1.12. Consumo de MO digestible (kg/d).** Se obtuvo de multiplicar el consumo de MO por la digestibilidad de la MO.

$$\text{Consumo de MO digestible} = \text{Consumo de MO} * \text{Digestibilidad de MO}$$

- 3.4.1.13. Ingreso sobre el costo de alimentación (\$)**

3.5. Análisis estadístico

Las diferencias entre tratamientos se analizaron con un diseño completo al azar con dos tratamientos y dos periodos. Los datos se analizaron por medio del programa R-Studio usando un modelo general lineal. Se considero las diferencias como significativas a una probabilidad menor de 5% ($P < 0.05$) y una tendencia con una probabilidad entre 5 y 10% ($0.05 < P > 0.1$).

El modelo estadístico fue el siguiente:

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

Donde:

Y_{ij} = Variable aleatoria que representa la J-ésima observación del i-ésimo tratamiento.

μ = media global.

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento.

E_{ij} = error experimental.

3.6. Comparación económica

Para el análisis económico se tomó en cuenta todos los costos inmersos en la producción y preparación de los ensilajes. Se calculo el costo (\$/Kg de MS) de la dieta tomando en cuenta el precio de cada materia prima para la elaboración de la dieta y se tomó en cuenta el precio del mercado, el costo de alimentación por vaca se calculó multiplicando el valor del kg de MS y multiplicándolo por el consumo. El ingreso se obtuvo de multiplicar la producción por el precio de la leche (\$/Kg). Con los valores antes mencionados se estimó el ingreso sobre el costo de alimentación para establecer diferencias económicas entre tratamientos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Composición de forrajes

La concentración de nutrientes en los forrajes utilizados en el estudio incluyendo la harina de maíz que se adicionó para la elaboración del ensilado de napier (ENa) se presenta en el Cuadro 7. En las condiciones de este estudio, observó una mejor composición del ensilado de napier en comparación con el ensilado de maíz (EMa), lo que se nota como una menor concentración de fibra neutro detergente (FND, 56.45 vs 62.72 %) y fibra ácido detergente (FAD, 26.36 vs 31.5 %) y un leve incremento de proteína cruda (PC) en el primero.

Cuadro 7. Composición nutricional de ingredientes utilizados en la alimentación de las vacas del estudio.

Nutriente	EMa	ENa	Napier fresco	Harina de maíz	Swazi
Materia seca %	26.54±1.39	23.29±3.47	17.31 ± 1.64	89.20±0.58	29.30±11.21
Materia orgánica %	91.11±0.83	87.89±1.16	86.04±1.66	98.72±0.18	83.61±0.73
Proteína cruda %	10.57±0.65	11.24±0.48	10.99±2.51	8.24±0.34	10.82±3.02
Fibra neutro detergente %	56.45±2.03	45.22±8.16	62.72±3.82	11.62±1.35	62.38±3.46
Fibra ácido detergente %	31.50±0.90	26.36±5.04	36.96±3.25	2.53±0.38	33.63±2.37

EMa= ensilado de Maíz, ENa= ensilado de napier, EEM=Error estándar de la medía.

La mejor composición nutricional del ensilado de napier comparado con ensilado de maíz contrasta con los reportes de otros autores, Townsend *et al.* (2013) reportaron una disminución de la PC y un incremento en la FND al adicionar pasto napier al forraje de maíz para ensilar mientras que, Cabral *et al.* (2006) reportaron los mismos cambios en estos nutrientes al comparar dietas a base de silo de maíz con dietas a base de silo de napier. Debe resaltarse que en ambos estudios se cosechó el napier en estado avanzado de madurez a 120 días, mientras que el napier usado en el estudio actual tenía 60 días y se le adicionó de harina de maíz en un estimado de 20% de la materia seca resultante.

La calidad del ensilado de maíz se ha clasificado en 5 categorías según su contenido de FND (Mertens 2002), desde muy bajo en fibra (FND=36%) hasta muy alto en fibra (FND=54%), siendo el EMa usado en el estudio actual de la calidad más baja de esta escala (FND=56.45%, Cuadro 7). Las variaciones en la calidad del ensilado de maíz se relacionan con edad de corte, variedad, condiciones de cultivo y picado (Amador y Boschini 2000; Corea *et al.* 2022; Martínez 2017).

Se ha mostrado que el valor nutricional del ensilado de maíz es superior al de napier para el ganado. Ferreira *et al.* (1995) reportaron mejores ganancias en novillas lecheras consumiendo ensilado de maíz que ensilado de napier o una mezcla de los dos, Ruiz *et al.* (1992) encontraron disminuciones en la producción de leche al aumentar la sustitución de ensilado de maíz por ensilado de napier, lo cual sugiere que la falta de almidón- principal nutriente contenido en el grano de maíz - es una limitante importante en el ensilado de napier, ya que en el caso del ensilados de maíz, se ha reportado que el grano de maíz representa alrededor del 50% y el almidón cerca del 35 % en base seca (Thomas *et al.* 2001)

Por otra parte, el ensilaje de napier tuvo mayores contenidos de MS (23.29 vs 16.77 %) y menores contenidos de FND (45.22 vs 62.75 %) y FAD (26.36 vs 36.96 %) en comparación al napier fresco, esta mejora de calidad se puede atribuir a la adición de harina de maíz al ensilaje de napier, sin embargo, el material verde fue expuesto al sol en forma de rollos lo cual no permitió una mayor pérdida de humedad. La adición de materiales absorbentes de humedad como la harina de maíz y otros subproductos agroindustriales se ha sugerido como estrategia para mejorar el secado en pasto napier para ensilar, aumentando su contenido de MS, potencial de consumo y digestibilidad de la MS (Bernardes *et al.* 2018; Bilal *et al.* 2009).

4.2. Consumo de nutrientes.

La sustitución de ensilado de maíz por ensilado de napier en la dieta de las vacas, dio lugar a mayores consumos de materia seca (MS) 18.6 vs 19.5 kg/día y también de materia orgánica (MO), MO digestible y PC ($P > 0.05$). Sin embargo, el consumo FND fue mayor con la dieta basada en EMa y el de FAD fue similar en ambos grupos de vacas (Cuadro 8).

La mayoría de reportes señalan mayores consumos de nutrientes con el uso de ensilado de maíz en comparación con ensilado de napier en vacas lecheras. Ruiz *et al.* (1992) realizaron una investigación con cuatro dietas donde se sustituyó hasta el total de ensilado de maíz, 38% de la MS total mostrando que al aumentar el napier en la dieta, el consumo de MS, MO y PC disminuyó. Cabral *et al.* (2006) reportaron mayor consumo de MS, MO y PC en vacas consumiendo una dieta con ensilado de maíz en comparación con otra que contenía ensilado de napier. Mientras que Jobim *et al.* (2006) encontró similares consumos de MS con ambos forrajes.

Cuadro 8. Consumo de nutrientes en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz (*Zea mays*) o ensilado de napier (*Pennisetum purpureum*).

Nutriente	Ema	ENa	EEM	P
Materia seca (kg)	18.6	19.5	0.55	<0.01
Materia orgánica (kg)	16.7	17.4	0.49	<0.01
Materia orgánica digestible (kg)	11.6	12.6	0.32	<0.01
Proteína cruda (g)	3255	3405	96.1	<0.01
Fibra neutro detergente (g)	6989	6814	144	0.02
Fibra ácido detergente (g)	3521	3532	112	0.30

Ema = Ensilado de maíz, ENa= Ensilado de Napier, EEM= Error estándar de la media

El consumo de materia seca y de nutrientes es regulado por la concentración de FND en la dieta en una relación inversa (Ruiz *et al.* 1995). Los mayores consumos de MS, MO, MO digestible y PC en el grupo de animales alimentados con dietas a base de ENa podrían deberse a que su contenido de FND fue menor al de la dieta a base de EMa (35.25 vs 38.26 %, Cuadro 6).

Normalmente se acepta que el consumo de FND es una constante del peso vivo (PV). Mertens (1994) observó que el consumo de MS se maximizó cuando la ingesta de FND fue de 12,5 g/kg de PV y que, por encima de este valor, la reposición ruminal limitaría el consumo. Sin embargo, en este estudio se obtuvo un mayor consumo de FND en vacas que consumieron EMa en comparación con ENa. Esta observación coincide con la hecha por Ruiz *et al.* (1995), quienes estudiaron el rendimiento de vacas lecheras a diferentes

niveles de FND en 4 forrajes, mostrando que a mayor concentración de FND en la dieta, mayor es su consumo. Nichols *et al.* (1998) también reportaron mayores consumos de FND en relación al peso vivo cuando el contenido de FND en la dieta aumento en vacas lecheras. Este es también el caso en el estudio actual en que la dieta basada en EMa tuvo mayor concentración de FND que el ENa.

4.3. Digestibilidad.

Se encontró una mayor digestibilidad de la MS y MO en las vacas cuando se sustituyó 75% de EMa por ENa en la dieta (Cuadro 6), pero no se observó diferencias en la digestibilidad de la PC, FND y FAD por este efecto (Cuadro 9).

Cuadro 9. Digestibilidad de nutrientes en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz (*Zea mays*) o ensilado de napier (*Pennisetum purpureum*).

Nutriente	EMa	ENa	EEM	P
Materia seca (%)	66.0	68.6	0.82	0.01
Materia orgánica (%)	69.7	72.3	0.84	0.01
Proteína cruda (%)	71.3	70.4	0.81	0.21
Fibra Neutro Detergente (%)	49.0	51.5	1.20	0.13
Fibra Ácido Detergente (%)	47.3	50.5	1.46	0.12

EMa= ensilado de Maíz, ENa= ensilado de napier, EEM=Error estándar de la media.

La digestibilidad de nutrientes como MS, MO o FND de un forraje, esta influenciada por la proporción de carbohidratos estructurales o fibrosos (FND, FAD) y no fibrosos (CNF) que son principalmente almidón y azúcares. En dos estudios llevados a cabo en Viçosa, Brasil, se comparó la composición de EMa con ENa, encontrándose respectivamente 52.08 y 31.56 vs 69.03 y 14.13% de FND y CNF (Cabral *et al.* 2006) y luego 56.58 y 31.27 vs 75.42 y 11.90% de FND y CNF (Cabral *et al.* 2008). En ambos estudios, las mayores digestibilidades ruminal, post ruminal y total reportadas para dietas basadas en EMa, se atribuyeron a la mayor proporción de CNF.

El rol de la adición de harina de maíz y la edad de corte debió ser importante en nuestros resultados. Ortiz *et al.* (2017) determinaron el efecto de la edad de corte y el nivel de inclusión de grano de maíz molido sobre la calidad nutricional de maralfalfa (*Pennisetum sp*) se evaluó el corte a los 48 y 60 días y cinco niveles de maíz (0, 5, 10, 15, 20%), encontrándose que en ambas edades la adición de maíz incremento el contenido de MS y disminuyo el de celulosa, mientras que la digestibilidad in vitro de la MS aumento significativamente. En nuestro caso, el almidón de la harina de maíz adicionado al ENa no fue tanto como para explicar la mejor digestibilidad de la dieta basada en éste, por lo que debió haber un mayor contenido de azúcares en el napier verde cosechado a 60 días que permitan igualar o mejora los CNF del EMa. Monção *et al.* (2019a) compararon la calidad nutricional de pasto napier a 30, 60, 90 y 120 días de edad en la época seca, mostrando disminuciones lineales en la concentración de PC y nutrientes digestibles totales (NDT), mientras que FND, FAD y lignina incrementaron, de manera que la degradabilidad ruminal efectiva de la MS y FND disminuyeron con el aumento de la edad. Monção *et al.* (2019b) evaluaron el pasto napier en cinco edades (30, 60, 90, 120 y 150) en época lluviosa. Los cambios en la concentración de nutrientes fueron los mismos del estudio anterior. En este caso se reportó disminución en la digestibilidad in vitro de la MS, PC y de la FND. En esta misma vía, Chacón-Hernández y Vargas-Rodríguez (2009) reportaron que la digestibilidad

in vitro de la MS de napier disminuyó de 58.65 a 51.99 % cuando la edad aumentó de 60 a 90 días. Por todo lo anterior, se puede afirmar que los efectos negativos de la sustitución de EMa por ENa en el consumo, la digestibilidad y desempeño reportados en la mayoría de estudios, se relacionan con la mayor edad de corte del napier en comparación con el estudio actual (60 días), cabe resaltar que, en ganaderías intensivas de El Salvador, se cosecha el pasto napier a 45 días, lo cual implicaría que su aporte nutricional es bueno.

4.4. Producción, composición de leche y producción de nutrientes.

La producción de leche no disminuyó por el uso de ENa en lugar de EMa, inclusive, el valor numérico fue mayor para ENa (24.0 vs 23.4 kg/d), aunque no se encontró diferencia estadística ($P = 0.18$).

Respecto a los nutrientes de la leche, la sustitución de EMa por ENa, no cambió el contenido (%) de grasa, proteína, ni sólidos totales, pero sí aumentó la concentración de lactosa, y disminuyó el nitrógeno ureico en leche. Similarmente a la concentración, la producción de nutrientes, grasa, proteína y sólidos totales (kg/día) no se vio afectada por este cambio en la dieta, pero sí se observó una tendencia a incrementar la producción de lactosa (Cuadro 10).

Cuadro 10. Composición de leche y producción de nutrientes en vacas alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz (*Zea mays*) o ensilado de napier (*Pennisetum purpureum*).

Nutriente	EMa	ENa	EEM	P
Leche kg/día	23.4	24.0	0.68	0.18
Eficiencia Leche kg /consumo MS	1.27	1.24	0.03	0.19
Grasa (%)	3.91	3.79	0.07	0.20
Grasa kg/día	0.91	0.91	0.02	0.85
Proteína (%)	3.12	3.12	0.06	0.98
Proteína kg/día	0.73	0.75	0.02	0.18
Lactosa (%)	4.61	4.66	0.05	0.03
Lactosa kg/día	1.08	1.12	0.03	0.08
Sólidos totales (%)	12.5	12.4	0.11	0.31
Sólidos totales kg/día	2.93	2.99	0.08	0.33
Nitrógeno ureico en leche mg/dL	14.9	14.0	0.37	0.01

EMa= ensilado de maíz, ENa= ensilado de napier, EEM=Error estándar de la media.

La producción láctea obtenida con ENa es comparable con la de EMa, probablemente el contenido ligeramente menor de FND (Cuadro 10) y consecuentemente mayor de energía en la dieta basada en ENa se relaciona con este resultado. Ruiz *et al.* (1992) sustituyeron progresivamente EMa por ENa hasta la totalidad (0 a 38 %de la MS), utilizando un ensilado de napier de 81% de humedad y 71.8 de FND lo cual aumentó progresivamente el contenido de FND en las dietas, mostrando disminuciones lineales en la producción láctea (de 23.5 a 22.0 kg/día).

Jobim *et al.* (2006) compararon ENa con inoculantes contra EMa en dietas de vacas lecheras, sus resultados evidenciaron que las dietas con ensilaje de napier dieron lugar producciones de leche (14.34 y 14.82 kg/día) equivalentes a la del ensilado de maíz (15.47 kg/día). En otro estudio, Ruiz *et al.* (1995) investigaron el efecto de tres concentraciones de FND en la dieta de vacas lactantes (31, 35 y 39%) y usando 4 fuentes de forrajes que

incluyeron a EMa y ENa, las variaciones en FND se hicieron cambiando la relación forraje:concentrado y harina de maíz para tener dietas isoenergéticas; como resultado se obtuvo que al aumentar el porcentaje de FND disminuyó linealmente la producción de la leche y además el porcentaje de proteína y grasa, pero cuando se comparó las dietas de EMa con ENa a los mismos niveles de FND la producción no presentó diferencias estadísticas.

Ruiz *et al.* (1992), compararon EMa a ENa con diferentes concentraciones de FND que no se corrigieron, mientras que Jobim *et al.* (2006) y Ruiz *et al.* (1995), compararon EMa con ENa a niveles similares de FND desarrollando dietas isoenergéticas e isoproteicas, como se hizo en el presente estudio y también dio lugar a similares producciones.

La concentración de nutrientes de la leche no ha cambiado en reportes que han comparado EMa con ENa en vacas lecheras (Ruiz *et al.* 1992; Jobim *et al.* 2006; Ruiz *et al.* 1995), vacas cebú (Bilal *et al.* 2008) ni en cabras (da Silva *et al.* 2014), lo cual también es el caso en el actual estudio. Sin embargo, nosotros encontramos un incremento en la concentración (4.61 vs 4.66 %, $P=0.03$) y una tendencia a mayor producción de lactosa en vacas consumiendo ENa. Esto podría deberse a que estas vacas tuvieron un mayor consumo de energía (203.2 vs 191.0 MJ) por el mayor consumo de MS y mayor concentración de energía (Cuadros 6 y 8). Se ha reportado que la concentración de lactosa puede aumentar por un mayor aporte energético de la dieta (Costa *et al.* 2019; Zhou *et al.* 2015). Vacas con menor densidad energética en la dieta tuvieron balance energético más negativo y 15% menor concentración de lactosa en la leche (Ouweltjens *et al.* 2007).

Las vacas que consumieron ENa tuvieron niveles más bajos de NUL, lo cual estaría reflejando una mejor disponibilidad de energía para el uso de la proteína en el rumen en este grupo. Niveles altos de NUL indican desequilibrio entre los carbohidratos solubles y los niveles de proteína degradable en el rumen para la síntesis microbiana, específicamente un exceso de proteína soluble o una deficiencia de carbohidratos solubles (Biswajit 2011). Broderick (2003) reportó aumento en las producciones lácteas y disminución en los niveles de NUL al disminuir la FND de 36, 32 hasta 28 %. En nuestro estudio, la dieta basada en ENa tuvo un menor nivel de FND (Cuadro 6) y presumiblemente un mayor aporte de carbohidratos solubles.

4.5. Balance de Nitrógeno.

Se observó un incremento significativo en el consumo de N con la inclusión de ensilaje de napier (522 vs 544 g/d, $P<0.01$); no obstante, las cantidades de N en heces, N en orina, N en leche, en cantidad por día o en porcentaje no presentaron diferencias por el cambio en la dieta (Cuadro 11).

No existen muchos estudios que reporten excreciones de nitrógeno comparando ENa con EMa, sin embargo, los ensayos que incluyen la partición del N como respuesta, suelen mostrar efectos de la energía de carbohidratos (FDN, almidón) y la proteína.

Benchaar *et al.* (2014) compararon la excreción de N en vacas lecheras consumiendo dietas que variaron en proporciones de ensilado de maíz o de cebada en la MS (0:54, 27:27 y 54:0), mostrando que el aumento de EMa dio lugar a mayor contenido de almidón y menor contenido de FND en la dieta y de allí, mayor cantidad de nitrógeno en la leche y menos N excretado en orina. Similarmente, Hassanat *et al.* (2013) compararon la partición de N en vacas lecheras reemplazando EMa por ensilado de alfalfa en proporciones similares de la

MS (56:0, 28:28 y 0:56), evidenciando que existe una mejor eficiencia en el uso de N en la leche y menor excreción de N en orina con 100% de EMa posiblemente también debido a que as dietas con EMa contienen un mayor contenido de almidón y menor contenido de FND. Por otra parte, Colombini *et al.* (2012) no observaron diferencias significativas en la excreción de N en leche y orina, al comparar dietas basadas en EMa, planta completa de sorgo y ensilado de sorgo, sin embargo, en este experimento, los niveles de almidón y FND fueron balanceados con mayor adición de grano de maíz en las dietas con sorgo.

Cuadro 11. Balance de nitrógeno (N) en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz (*Zea mays*) o ensilado de napier (*Pennisetum purpureum*).

Variable	EMa	ENa	EEM	P
Consumo de N (g)	522	544	15.4	<0.01
N en heces (g)	159	160	7.81	0.76
N en orina (g)	269	272	8.50	0.91
N en leche (g)	117	120	3.29	0.18
N en heces/ 100 g consumo	30.2	29.3	0.80	0.35
N en orina/ 100 g consumo	52.0	50.4	1.55	0.16
N en leche/ 100 g consumo (eficiencia de N en leche)	22.5	22.2	0.67	0.27

EMa= ensilado de Maíz, ENa= ensilado de napier, EEM=Error estándar de la media.

Olmos y Broderick (2006) analizaron el efecto de la concentración de PC en la dieta, incrementando concentración de PC 13.5 a 19.4%, observando que a mayor contenido de PC en la dieta la eficiencia del N en la leche disminuye de forma lineal (36.5 a 25.4 %) y en consecuencia aumenta su excreción en orina y heces. Wattiaux y Karg (2004) estudiaron dos niveles de PC (recomendación del NRC, 16.5 o exceso 17.3-18% PC) en dos forrajes: ensilado alfalfa y EMa a vacas lecheras, mostrando que con el exceso de PC dieta disminuye la eficiencia de N en leche y aumenta su excreción en la orina en ambos forrajes.

Cabral *et al.* (2008) observaron que la excreción de N en heces fue superior para vacas consumiendo dietas basadas en EMa en comparación con ENa (34.1 vs 22.84 g/d), lo cual se puede atribuir a que hubo una mayor ingesta de N en el grupo de EMa (122.04 vs 85.08 g/d).

La ausencia de diferencias en la partición de N excretado en el presente estudio, podría deberse a que las diferencias en FND, PC y -presumiblemente almidón- en las dietas y en los consumos no fueron tan marcadas como las de otros estudios, de hecho, al inicio se balanceó las dietas para ser isoprotéicas, isoenergéticas y con similar concentración de FND (Cuadro 6).

4.6. Síntesis de proteína microbiana

Se observó un incremento en la síntesis de proteína microbiana (Pmic) y una tendencia a mayor en la excreción de derivados purínicos en las vacas que recibieron ENa. Pero no se encontró diferencias en las eficiencias de N microbiano en relación al consumo de N ni de MO digestible (Cuadro 12).

La síntesis de Pmic y su eficiencia en relación con nutrientes digestibles, principalmente la MO son indicadores de un buen uso de N de una dieta (Hoover *et al.* 1990). Cabral *et al.* (2008) estudiaron la eficiencia microbiana y los parámetros ruminales en bovinos

alimentados con EMa y ENa; observando que la dieta de ENa dio lugar a menor N total ingerido debido a que el consumo de MS en esta dieta fue menor, además mostraron que, si bien la síntesis Pmic fue similar con EMa y ENa, la eficiencia (Pmic g/kg NDT) fue mayor con la dieta base de ENa.

Cuadro 12. Síntesis de proteína microbiana en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz (*Zea mays*) o ensilado de napier (*Pennisetum purpureum*).

Variable	EMa	ENa	EEM	P de Energía
Excreción de derivados purínicos (mmol/d)	366	415	19.6	0.06
Síntesis de proteína microbiana (g/d)	1577	1822	96.1	0.05
N microbiano (g) / Consumo N (g)	0.49	0.54	0.03	0.11
N microbiano (g) / MO digestible (kg)	21.8	23.6	1.19	0.30

EMa= ensilado de Maíz, ENa= ensilado de napier, EEM=Error estándar de la media.

Hristov *et al.* (2005) Observaron que vacas que recibieron 20% de almidón tuvieron una mayor síntesis de Pmic que vacas que recibieron 20% FND sobre una misma dieta basal, concluyendo que un mayor suministro de carbohidratos fermentables puede aumentar la captura microbiana del amonio liberado en el rumen y aumenta la eficiencia de utilización de N para la leche. Owens *et al.* (2018) evaluaron el efecto de la alimentación con EMa en comparación con el ensilaje de ryegrass en novillos y observaron un efecto de la fuente de forraje sobre la producción de Nmic, que fue significativamente mayor en la dieta a base a EMa, aunque la eficiencia microbiana fue similar. En este caso, debe considerarse que el EMa contenía 30% de almidón -una importante fuente de energía en el rumen-, mientras que el ryegrass no reporto almidón y no se balanceo almidón en las dietas.

La fermentación ruminal y el flujo de Pmic al intestino son afectados por el consumo de alimento y, la cantidad y fuente de energía y proteína. Alimentar carbohidratos y proteína que no se degradan en el rumen, aumenta la cantidad de proteína que sobrepasa en rumen y puede disminuir la síntesis de Pmic (Clark *et al.* 1992)

Zhu *et al.* (2013) observaron mayor Pmic en las vacas alimentadas con una dieta (RTM) basada en heno de alfalfa comparado con otra basada en rastrojo de maíz (1,876 vs 1,601 g Pmic/d), pero además hubo mayor conversión de N en leche, menor NUL, mayor eficiencia de conversión y mayor degradabilidad ruminal de la MO con alfalfa. Las dietas utilizadas fueron isoprotéicas e isoenergéticas, incluso balancearon el contenido de almidón, pero la FND fue 3% menor en la dieta de alfalfa. Hristov y Ropp (2003) concluyeron que una dieta alta en fibra disminuyo el consumo de PC, el amonio ruminal y NUL, aunque no observaron diferencias en síntesis de Pmic.

Se ha reportado que la síntesis de Pmic es mayor en novillas (Corea *et al.* 2020) y en vacas (Santos *et al.* 1998) consumiendo mayores concentraciones de proteína degradable en el rumen (PDR). Sin embargo, como es conocido, deben evitarse excesos de proteína, y particularmente de PDR. Brito *et al.* (2007) mostraron similares flujos de Nmic, pero la eficiencia microbiana (NAN/OMTDR microbiana) fue un 11 % menor con dieta con urea -fuente de PDR- comparado con harina de soya, harina de canola y semilla de algodón como fuente de proteína, lo cual se asoció con un menor uso de N en la producción de leche ya que los excesos de amoníaco que no son capturado por los microbios ruminales, se absorben y se excretan en la orina. Similarmente, Boucher *et al.* (2007) encontraron una

respuesta cuadrática en la producción de Nmic y disminución en la eficiencia de síntesis de Pmic al aumentar urea de 0, 0.3, 0.6 a 0.9 % en la dieta.

En el presente estudio, las vacas comiendo ENa tenían menos FND en la dieta, consumieron más MS, energía y PC que las que consumieron EMa (Cuadro 8), pero, aunque nosotros observamos mayor síntesis de Pmic, la eficiencia de la Pmic (Nmic g/ MO digestible kg) fue similar en ambos grupos de vacas (Cuadro 12).

4.7. Comparación económica.

Los costos de producción de forrajes se presentan en los Cuadros A-1 y A-2 donde aparecen el valor de los insumos y las labores agrícolas para los cultivos de maíz y napier y del proceso de ensilado con precios de mayo de 2022. El costo de producción por hectárea (ha) de material verde es mucho menor en napier (\$805) comparado con maíz (\$1,644), pero esta diferencia se disminuye con el ensilado por la adición de harina de maíz de al napier (\$ 1,745 vs 2,045) respectivamente.

En los Cuadros A-3 y A-4, se muestra los rendimientos y los costos asociados por unidad de peso verde y ensilado, en materia húmeda y seca. El rendimiento de materia verde para napier y maíz fue de 68.6 y 54.3 TM/ha, mientras que su contenido de humedad fue 17.3 vs 21.1% en verde y 23.3 vs 26.5% en material ensilado respectivamente. Con lo anterior los valores estimados de materia seca ensilada son \$0.15/kg para napier y \$0.19/kg para maíz.

En el Cuadro A-5, se muestra la composición de las dietas, los precios de materias primas y el costo por kg de MS de la ración total mezclada ofrecida (\$0.36 y \$0.37) para las dietas ENa y EMa respectivamente.

El costo de alimentación se calculó para cada vaca por medio del costo de la materia seca consumida y su valor. En el Cuadro 13 se puede apreciar que, aunque hubo diferencias significativas de costo de alimentación \$/día (6.86 vs 7.03), no las hubo en el ingreso de leche \$/día ni en el ingreso sobre el costo de alimentación (ISCA) de ambas dietas.

Cuadro 13. Comparación económica de la alimentación con dietas basadas en ensilado de maíz (*Zea mays*) o ensilado de napier (*Pennisetum purpureum*) en vacas lecheras.

Variable	EMa	ENa	EEM	P
Costo de alimentación/día US (\$)	6.86	7.03	0.20	0.03
Ingreso de leche/día US (\$) *	16.88	17.31	0.49	0.18
ISCA/vaca/día US (\$)	10.01	10.28	0.39	0.38
ISCA/kg leche US (\$)	0.43	0.43	0.01	0.92

*Estimado a partir de la producción diaria y un precio de \$0.72 por litro de leche.

EMa= ensilado de Maíz, ENa= ensilado de napier, EEM=Error estándar de la media.

Jobim *et al.* (2006) en Brasil, evidenciaron que los ensilajes a base de (ENa) dieron lugar a producciones de leche equivalentes a las de EMa en vacas lecheras; obteniendo un margen líquido mayor en US\$0.01 por litro de leche con ENa.

En el experimento de Jobim *et al.* (2006), la dieta con maíz y napier tenían una diferencia promedio de menos de 3 % de NDT.

5. CONCLUSIONES

En condiciones similares a las del presente estudio, particularmente con el secado al sol y la adición de harina de maíz, es posible, elaborar ensilaje de napier con composición nutricional semejante a la del ensilado de maíz a pesar de las diferencias marcadas en el material verde.

La alimentación con ENa permitió un mayor consumo de MS, MO, MOD, PC y menos FND en comparación con EMa en vacas lecheras, lo cual se relaciona con el contenido de FND 3% menor en la dieta de ENa.

La sustitución del 75% de EMa por ENa en la MS de la dieta de vacas lecheras da lugar a una mayor digestibilidad total aparente del tracto de MS y MO e igual digestibilidad de PC, FND y FAD.

Los ensilajes a base de napier tienen potencial para la producción y composición nutricional de leche equivalente a la del EMa.

Existe una ventaja en el uso de ENa en comparación con EMa respecto al aprovechamiento de la energía para el uso de N de la dieta a través de su fijación en la masa microbiana como lo evidencian un menor nivel de NUL y una mayor síntesis de proteína microbiana.

La inclusión con ENa da lugar a una eficiencia en el uso de N en leche, excreción de N en orina y heces similar a la obtenida con el uso de EMa en la dieta.

A pesar de que el napier carece de almidón, éste puede ser compensado al momento de ensilarlo con la adición de harina de maíz, lo cual mejora sus propiedades nutricionales, pero eleva su costo. Sin embargo, el valor por kg de MS sigue siendo menor que el de EMa y puede dar lugar a ingresos en leche y márgenes económicos equivalente al EMa, con la ventaja de que la producción de napier es menos complicada que la de maíz en términos de manejo agronómico.

6. RECOMENDACIONES

Utilizar ensilaje de napier como alternativa al ensilaje de maíz en la alimentación de vacas lecheras, tomando en consideración las practicas utilizadas en este ensayo, principalmente la adición de harina de maíz y el secado del material verde.

Para obtener un buen valor nutricional y un adecuado rendimiento por unidad de área del pasto napier para ensilar se debe cosechar aproximadamente a los 60 días.

Para incrementar el contenido de materia seca del ensilaje de napier por arriba de 23%, se debe cortar el material verde, esparcirlo y se debe dejar secando al sol por al menos tres días.

Se debe hacer estimaciones para un contenido de 15 a 25% de harina de maíz en la materia seca resultante a fin de propiciar una mejor fermentación y valor nutricional del ensilado, al momento del picado del material durante el ensilado de napier.

De acuerdo a esta experiencia, es posible alimentar vacas lecheras utilizando ensilado de napier con una inclusión del 30% de la materia seca para obtener una producción y rentabilidad equivalentes a las de las obtenidas con ensilado de maíz.

Sustituir el cultivo de maíz por cultivo de napier para preparar ensilado con el fin de alimentar vacas lecheras calculando el precio por unidad de materia seca ensilada, se debe considerar las variables incluidas este estudio como el rendimiento, contenido de materia seca, el precio de la harina de maíz a utilizar, la cantidad de labor requerida y los precios de los insumos; con el fin de obtener una fuente forrajera de menor costo.

7. BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis of AOAC international. 15th Ed. Arlington, VA.
- A.O.A.C. 2005. Official Methods of Analysis of AOAC international. 18th Ed. Maryland.
- Abendroth, L. J; Elmore, R. W; Boyer, M. J; Marlay, S. K. 2011. Corn Growth and Development. PMR 1009. Iowa State University Extension Store. 50 p.
- Alexander, R. H; McGowan, M. 1966. THE ROUTINE DETERMINATION OF IN VITRO DIGESTIBILITY OF ORGANIC MATTER IN FORAGES-AN INVESTIGATION OF THE PROBLEMS ASSOCIATED WITH CONTINUOUS LARGE-SCALE OPERATION. 21(2): 140 – 147. DOI:10.1111/j.1365-2494.1966.tb00462.x
- Almeyda Matías, J. S.f. Manual técnico: Producción de ganado vacuno lechero en Sierra (en línea). Lima, Perú. 44 p. Consultado 14 abr. 2023. Disponible en: https://www.agrobanco.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/018-d-ganado_PRODUCCI%C3%93N_GANADOS.pdf
- Amador, A. L; Boschini, C. 2000. Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje (en línea). Costa Rica. Agronomía Mesoamericana 11(1): 171 – 177. Consultado 31 dic. 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/437/43711126.pdf>
- Aragón, R. 1998. Conservación de forrajes para la alimentación de bovinos. Ensilaje y henificación (en línea). Ed. Fierro, L. H. Bogotá, Colombia. 16 p. Consultado 21 abr. 2023. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/16064/40063_24640.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Araujo, G. A. 2013. Manejo y alimentación de la vaca lechera bajo el sistema de doble propósito. El Salvador. 23 p.
- Araújo, S. A. C; Vasquez, H. M; Silva, J. F. V; Lima, E. S; Lista, F. N; Deminicis, B. B; Campos, P. R. S. S. 2011. Produção de matéria seca e composição bromatológica de genótipos de capim-elefante anão. Arch. Zootec. 60(229):83-91.
- Bal, M. A; Coors, J. G; Shaver, R. D. 1997. Impact of the Maturity of Corn for Use as Silage in the Diets of Dairy Cows on Intake, Digestion, and Milk Production (on line). J. Dairy Sci. 80(10):2497–2503. Consulted 4 jun. 2022. doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)76202-7.
- Bemhaja, M. 2000. Pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) INIA LAMBARÉ (en línea). Montevideo, Uruguay. ISBN: 9974-38-112-6. Boletín n°72. 19 p. Consultado 21 abr. 2023. Disponible en: <http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807160841.pdf>
- Benchaar, C; Hassanat, F; Gervais, R; Chouinard, P. Y; Petit, H. V; Massé, D. I. 2014. Methane production, digestion, ruminal fermentation, nitrogen balance, and milk production of cows fed corn silage- or barley silage-based diets (on line). J. Dairy Sci. 97(2):961-974. Consulted 14 feb. 2023. Available : doi.org/10.3168/jds.2013-7122
- Bernal, J. 1991. Pastos y forrajes tropicales: Producción y manejo. 2da edición. Bogotá, Colombia, Banco Ganadero. p 544.
- Bernardes, T. F; Daniel, J. L. P; Adesogan, A. T; McAllister, T. A; Drouin, P; Nussio, L. G; Huhtanen, P; Tremblay, G. F; Bélanger, G; Cai, Y. 2018. *Silage review*: Unique challenges of silages

- made in hot and cold regions (on line). *J. Dairy Sci.* 101:4001–4019. Consulted 4 jun. 2022. Available: doi.org/10.3168/jds.2017-13703
- Bilal, M. Q. 2008. Feeding value of matt grass and its silage in lactating sahiwal cows (on line). *Pak. J. Agri. Sci.*, 45(2). Consulted 18 may 2022. Available: <https://pakjas.com.pk/papers/189.pdf>
- Bilal, M. Q. 2009. Effect of molasses and corn as silage additives on the characteristics of mott dwarf elephant grass silage at different fermentation periods (on line). *Pakistan Vet. J.* 29(1): 19-23. Consulted 18 may 2022. Available: http://pvj.com.pk/pdf-files/29_1/19-23.pdf
- Biswajit, R; Brahma, B; Ghosh, S; Pankaj, P. K; Mandal, G. 2011. Evaluation of Milk Urea Concentration as Useful Indicator for Dairy Herd Management: A review (on line). *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 6:1-19. 4 feb. 2022. Available: [doi:10.3923/ajava.2011.1.19](https://doi.org/10.3923/ajava.2011.1.19)
- Borba, A. E. S; Ramalho Ribeiro, J. M. C. 1996. A comparison of alternative sources of inocula in an in vitro digestibility technique. Portugal. *Ann Zootech*, 45: 89 – 95.
- Boucher, S. E.; Ordway, R. S.; Whitehouse, N. L.; Lundy, F. P.; Kononoff, P. J.; Schwab, C. G. 2007. Effect of Incremental Urea Supplementation of a Conventional Corn Silage-Based Diet on Ruminal Ammonia Concentration and Synthesis of Microbial Protein (on line). *J Dairy Sci*, 90: 5619 – 5633. Consulted 11 mar. 2023. [doi:10.3168/jds.2007-0012](https://doi.org/10.3168/jds.2007-0012)
- Brito, A. F.; Broderick, G. A.; Reynal, S. M. 2007. Effects of different protein supplements on omasal nutrient flow and microbial protein synthesis in lactating dairy cows (on line). *J. Dairy Sci.* 90:1828-1841. Consulted 07 mar. 2023. [doi:10.3168/jds.2006-559](https://doi.org/10.3168/jds.2006-559)
- Broderick, G. A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows (on line). *J. Dairy Sci.* 86: 1370–1381. Consulted 11 mar. 2022. [doi:10.3168/jds.s0022-0302\(03\)73721-7](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(03)73721-7)
- Cabral, L da S.; Filho, S de C. V.; Detmann, E.; Malafaia, P. A. M.; Zervoudakis, J. T.; de Souza, A. L.; Veloso, R. G.; Nunes, P. M. M. 2006. Consumo e digestibilidade dos nutrientes em bovinos alimentados com dietas à base de volumosos tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(6):2406-2412.
- Cabral, L da S.; Filho, S de C. V.; Detmann, E.; Zervoudakis, J. T.; de Souza, A. L.; Veloso, R. G. 2008. Eficiência microbiana e parâmetros ruminais em bovinos alimentados com dietas à base de volumosos tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(5):919-925.
- Callejo Ramos, A. 2018. Conservación de forrajes (V): Fundamentos del ensilado (en línea). Consultado 7 jul. 2023. Disponible en: https://oa.upm.es/53336/1/INVE_MEM_2018_286059.pdf
- Calsamiglia, S. (1997). “Nuevas Bases para Utilización de la Fibra en Dietas de Rumiantes” (en línea). XIII Concurso de Especialización FEDNA. Universidad Autónoma de Barcelona, Madrid. España. Consultado 25 abr. 2023. Disponible en: http://portal.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Uso_de_Fibra_en_Rumiantes.pdf
- Cerdas Ramírez, R. 2013. Formulación de raciones para carne y leche, desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales* 14(29):128 – 153. Consultado 21 dic. 2021. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/is/v14n29/a09v14n29.pdf>

- Chacón-Hernández, P. A.; Vargas-Rodríguez, C. F. 2009. Digestibilidad y calidad del *Pennisetum purpureum* CV. King grass a tres edades de rebrote. *Agronomía Mesoamericana* 20(2): 399-408. Consultado 15 mar. 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/437/43713059020.pdf>
- Chen, X.B; Gomes, M.J. 1992. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives- an overview of technical details (on line). International Feed Resource Unit. Rowett Research Institute. Consulted 27 nov. 2021. Available: https://www.researchgate.net/publication/265323654_Estimation_of_Microbial_Protein_Supply_to_Sheep_and_Cattle_Based_on_Urinary_Excretion_of_Purine_Derivatives_-_An_Overview_of_Technical_Details
- Clark, J.H.; Klusmeyer, T. H.; Cameron, M. R. 1992. Microbial protein synthesis and flow of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. *J. Dairy Sci* 75:2304–2323. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77992-2
- Colombini, S.; Galassi, G.; Crovetto, G. M.; y Rapetti, L. 2012. Milk production, nitrogen balance, and fiber digestibility prediction of corn, whole plant grain sorghum, and forage sorghum silages in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 95:4457 – 4467. doi.org/10.3168/jds.2011-4444
- Copa, A. 2010. Nutrición y alimentación del ganado lechero. Cossío, M. La Paz, Bolivia. Punto de encuentro. 48 p. Consultado 12 dic. 2021. Disponible: <http://www.funsepa.net/soluciones/pubs/NjY5.pdf>
- Corea, E. E.; Mendoza, M.V.; Pérez, E. A.; Angeles, J. C.; y Castro-Montoya, J. M. 2022. Yield and nutritional value of of five sorghum and five corn varieties for cattle feeding in El Salvador. *J. Dairy Sci.* Vol. 105, Suppl. 1
- Corea, E.E.; Castro-Montoya, J.; Mendoza, M.; López, F.M.; Martínez, A.; Alvarado, M. E.; Moreno, C.; Broderick, G. A.; Dickhoefer, U. 2020. Effect of forage source and dietary rumen-undegradable protein on nutrient use and growth in dairy heifers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 269: 114658. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114658
- Cóser, A. C.; Martins, C. E.; Deresz. F. 2000. Capim-elefante: Formas de uso na alimentação animal. Embrapa Gado de Leite (em linha). ISSN 1517-4816. Circular técnica n° 57. 30 p. Consultado 27 nov. 2023. Disponível: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65223/1/CT-57-Capim-elefante-formas-de-uso.pdf>
- Costa, A.; López-Villalobos, N.; Sneddon, N. W.; Shalloo, L.; Franzoi, M.; De Marchi, M.; Penasa, M. 2019. Invited review: Milk lactose Current status and future challenges in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 102:5883–5898. doi:10.3168/jds.2018-15955
- da Silva, J. K.; de Oliveira, J. S.; de Medeiros, A. N.; Santos, E. M.; Magalhães, T. S.; Ramos, A. O.; Bezerra, H. F. C. 2014. Elephant grass ensiled with wheat bran compared with corn silage in diets for lactating goats. *R. Bras. Zootec.*, 43(11) :618-626.
- Danso Ofori, A.; Nartey, M. A. 2018. Nutritive Value of Napier Grass Ensiled Using Molasses as an Additive (on line). Zhenjiang, China. *The International Journal of Engineering and Science*, 7: 45 – 50. Consulted 7 feb. 2022. Available: https://www.researchgate.net/publication/327764462_Nutritive_Value_of_Napier_Grass_Ensiled_Using_Molasses_as_an_Additive

- de Figueiredo, M. R. P., Teixeira, A. C. B., e de Souza, J. B. 2019. Silagem de capim-elefante na alimentação animal (em linha). Ed. Incaper. 6 p. Consultado 2 nov. 2021. Disponível: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/3428/1/BRT-Folder-Capim-Elefante-Incaper.pdf>
- De Oliveira, V. C. 2018?. Silagem de capim-elefante (em linha). 21 p. Consultado 2 nov. 2021. Disponível: <https://www.pesquisa.agraer.ms.gov.br/wp-content/uploads/2018/08/Silagem-de-Capim-Elefante.pdf>
- Deinum, B; Struik, P.C. 1986. Improving the nutritive value of forage maize. Breeding of silage maize. Ed. Dolstra, O; and Miedema, P. In Congress of the maize and sorghum section of EUCARPIA (on line). Wageningen, Netherlands. ISBN 90-220-0895-9. 77 – 90 p. Consulted 13 mar. 2022. Available: <https://edepot.wur.nl/318529>
- Demagnet Filippi, R; Canales Cartes, C. 2020. Manual cultivo del maíz para ensilaje (en línea). UFRO, Chile ISBN 978-956-09253-1-2. 56 p. Consultado 14 nov. 2021. Disponible en: <https://www.watts.cl/docs/default-source/default-document-library/manual-cultivo-del-ma%C3%ADz-para-ensilaje-2020-versi%C3%B3n-digital.pdf?status=Temp&sfvrsn=0.26297860107998994>
- Elizalde, F.; Hargreaves, A.; Wernli, C. 1996. Capítulo 22: Conservación de forrajes (en línea). Santiago: 2ª ed. Consultado 4 feb. 2022. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/40199>
- Fassio, A.; Ibañez, W.; Fernández, E.; Cozzolino, D.; Pérez, O.; Restaino, E.; Pascal, A.; Rabaza, C.; Vergara, G. 2018. El cultivo de maíz para la producción de forraje y grano y la influencia del agua (en línea). Montevideo, Uruguay. ISBN 978-9974-38-390-6. Consultado 12 ene. 2023. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8897/1/st-239-2018.pdf>
- Fernández Mayer, A. 1999. El ensilaje de maíz y los procesos fermentativos: Capitulo I silaje de planta entera. INTA. p. 4-11.
- Ferrari Jr, E; Lavezzo, W. 2001. Qualidade da silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Shum) emuchecido ou acrescido de farelo da mandioca (em linha). Rev. Bras. Zootec. 30:1424-1431. Consultado 27 dic. 2021. Disponível: doi.org/10.1590/S1516-35982001000600006
- Ferreira, A. C. H.; Neiva, J. N. M.; Rodriguez, N. M.; Lopes, F. C. F.; Lôbo, R. N. B. 2010. Consumo e digestibilidade de silagem de capim-elefante com diferentes níveis de subproduto da agroindústria da acerola (em linha). Rev. Cienc. Agron., 41:693 – 701. Consultado 27 nov. 2021. Disponível: doi.org/10.1590/S1806-66902010000400025
- Ferreira, J. J.; Zuñiga, M. C. P.; Viana, M. C. M. 1995. Silagem mista de capim-elefante e milho versus mistura de silagens de capim-elefante e de milho no desempenho de novilhas confinadas (em linha). R. Soc. Bras. Zootec, 24(6): 1032. Consultado 2 nov. 2021. Disponível: <https://www.sbz.org.br/revista/artigos/412.pdf>
- Figueredo Candia, F. F.; Federico Idoyaga, H.; Mendoza, L.; Echeverria, P. 2016. Guía de buenas prácticas pecuarias en producción lechera (en línea). Consultado 7 jul. 2023. Disponible en: https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/upload_editores/u294/guia-produccion-lechera.pdf
- Filya, I. 2003. The effect of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of low dry matter corn and sorghum silages (on

line). *J.Dairy Sci.*, 86: 3575-3581. Consulted 18 may 2022. Available: [doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73963-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73963-0)

Flores Tensos, J.M; Carranza Estrada, F; Bonilla de Torres, B.L. 2010. Manual de laboratorio de análisis bromatológicos. Facultad de Ciencias Agronómicas, UES. San Salvador, El Salvador. 32 p.

FUNDESYRAM (Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental). 2019. La ganadería ecológica en El Salvador, una apuesta por la vida (en línea). Chalatenango, El Salvador. 70 p. Consultado 21 abr. 2023. Disponible en: <https://fundesyram.info/wp-content/uploads/2020/04/GANADERIA-ECOLO%CC%81GICA.pdf>

Garcés Molina, A. M.; Berrio Roa, L.; Ruiz Álzate, S.; Serna de León, J. G.; Builes Arango, A. F. 2004. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado (en línea). Antioquía, Colombia. *Revista Lasallista de investigación*. 1(1):66–69 p. Consultado 24 oct. 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/695/69511010.pdf>

García-Chávez, I.; Meraz-Romero, E.; Castelán-Ortega, O.; Zaragoza-Esparza, J.; Osorio-Avalos, J.; Robles-Jiménez, L. E.; González-Ronquillo, M. 2022. Corn silage, a systematic review of the quality and yield in different regions around the world (in line). *Cienc. Tecnol. Agropecuaria*. 23(3):0122-8706. Consulted 24 oct. 2023. Available: <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/2547/978>

Gutiérrez Martínez, P. S.f. Manual práctico de manejo de una explotación de vacuno lechero (en línea). Ed. Servicio de Formación Agraria e Iniciativas y Junta de Castilla y León. Consultado 27 ene. 2022. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/produccion_bovina_leche/288-VACUNO_LECHE.pdf

Hassanat, F.; Gervais, R.; Massé, D. I.; Lettat, A.; Chouinard, P. Y.; and Benchaar, C. 2013. Replacing alfalfa silage with corn silage in dairy cow diets: Effects on enteric methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. *J. Dairy Sci.* 96:4553 – 4567.

Hazard, S. 2009. Alimentación de Vacas Lecheras (en línea). Instituto de Investigaciones Agropecuarias Carillanca, Chile. 52 – 60 p. Consultado 14 abr. 2022. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7003/NR31866.pdf?sequence=11&isAllowed=y>

Hoover, W. H.; and Stokes, R. S. 1990. Balancing Carbohydrates and Proteins for Optimum Rumen Microbial Yield. *J Dairy Science*, 74: 3630–3644.

Hristov, A. N.; Ropp, J. K. 2003. Effect of dietary carbohydrate composition and availability on utilization of ruminal ammonia nitrogen for milk protein synthesis in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86:2416-2427

Hristov, A. N.; Ropp, J. K.; Grandeen, K. L.; Abedi, S.; Etter, R. P.; Melgar, A.; and Foley, A. E. 2005. Effect of carbohydrate source on ammonia utilization in lactating dairy cows. *J. Anim. Sci.* 83 :408–421.

Hutjens, M. 2003. Guía de Alimentación (en línea). 2 ed. Mireles, V (trad.). Illinois, Estados Unidos. 84 p. Consultado 13 ene. 2022. Disponible en: https://books.google.com/sv/books?id=ljMc9zztMfUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura), CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal), y MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2012. Caracterización de la cadena productiva de lácteos en El Salvador (en línea). Consultado 12 mar. 2022. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/B4160e/B4160e.pdf>
- INTA (Instituto Nicaragüense de tecnología agropecuaria) e INATEC (Instituto Nacional Tecnológico). 2010. Manejo sanitario eficiente del ganado bovino: Principales enfermedades (en línea). 48 p. Consultado 12 mar. 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/3/as497s/as497s.pdf>
- Iraola, J. 2007. Ensilajes de calidad con forrajes tropicales: Alternativas para el ganadero en Cuba (en línea). Consultado 7 jul. 2023. Disponible en: doi:10.13140/RG.2.2.21193.80480
- Ishler, V.A.; Heinrichs, J.; Varga, G.A. 1996. From Feed to Milk: Understanding Rumen Function. Extension Circular N° 422. College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension. The Pennsylvania State University. University Park, Pa., USA. 32 p.
- Jobim, C. C.; Sarti, L. L.; dos Santos, G. T.; Branco, A. F.; Cecato, U. 2006. Desempenho animal e viabilidade económica do uso da silagem de capim-elefante em substituição a silagem de milho para vacas em lactação. *Acta Sci. Anim. Sci*, Maringá, 28(2):137-144.
- Klein, F. 1994. Utilización de ensilaje de maíz en producción de leche (en línea). Osorno, Chile. Boletín n°213. Consultado 16 feb. 2022. Disponible en: <https://sistemalechero.cl/wp-content/uploads/2018/08/utilizacion-de-ensilaje-de-maiz-en-produccion-de-leche.pdf>
- Ku Vera, J. C.; Briceño, E. G.; Ruiz, A.; Mayo, R.; Ayala, A. J.; Aguilar, C. F.; Solorio, F. J.; Ramírez, L. 2013. Manipulación del metabolismo energético de los rumiantes en los trópicos: Opciones para mejorar la producción y calidad de la carne y leche (en línea). La Habana, Cuba. XXIII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal IV Congreso de Producción Animal Tropical: Manejo, reproducción y alimentación del ganado bovino. Consultado 7 jul. 2023. Disponible en: https://ojs.alpa.uy/index.php/ojs_files/article/download/2683/1114/
- Lavezzo, W. 1994. Ensilaje de pasto elefante: Simposio sobre manejo de pastos. Anais... 12, Piracicaba: FEALQ. 169-275 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) y DGEA (Dirección General de Economía Agropecuaria, El Salvador). 2018. Anuario de Estadísticas Agropecuarias El Salvador 2017-2018 (en línea). Consultado 24 abr. 2022. Disponible en: <https://www.mag.gob.sv/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería) y DGEA (Dirección General de Economía Agropecuaria, El Salvador). 2022. Anuario de Estadísticas Agropecuarias El Salvador 2021-2022. Consultado 24 abr. 2022. Disponible en: <https://www.mag.gob.sv/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2003. Diagnóstico de los recursos zoogenéticos de El Salvador. Consultado 24 abr. 2022. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a1250e/annexes/CountryReports/ElSalvador.pdf>
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2022. Resumen climatológico anual 2021 (en línea). El Salvador. <https://www.snet.gob.sv/UserFiles/meteorologia/climatologico/ResumenClimatologicoAnuaI2021.pdf>

- Martínez Turcios, D. A. 2017. Evaluación nutricional del ensilaje de maíz cosechado en cuatro etapas fenológicas elaborado con tres calibres de picado (en línea). Tesis Ing. Agr. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Consultado 22 jun. 2022. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c472a1b0-00ba-4794-912a-6cdd31fab284/content>
- Martins, L. F.; Prado, D. M. B.; Gomes, G. R.; Teixeira, A. M.; Oliveira, L. N.; Gonçalves, L. C.; Oliveira, F. S. 2020. Valor nutricional do capim-elefante verde colhido em diferentes idades de rebrota. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec, 72(5):1881-1890 p.
- McCarthy, J.F., Aherne, F.X., Okai, D.B., 1974. Use of HCl insoluble ash as an index material 237 for determining apparent digestibility with pigs. Can. J. Anim. Sci. 54: 106-107.
- Mehrez, A. Z., Orskov, E. R. 1977. A study of the artificial fiber bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. J Agric Sci 88: 645-650.
- Meléndez, P., y Bartolomé, J. 2017. Avances sobre nutrición y fertilidad en ganado lechero: Revisión. Rev Mex Cienc Pecu 8(4):407-417.
- Mertens, D. R. 2002. Nutritional implications of fiber and carbohydrate characteristics of corn silage and alfalfa hay. California Animal Nutrition Conf Fresno. 94 – 107 p.
- Metens, D. R. 1994. Chapter 11 : Regulation of forage intake. Ed. Fahey Jr., G. C. American Society of Agronomy. 450 – 493 p. doi.org/10.2134/1994.foragequality.c11
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, España. 2021. Sectores agroalimentario y pesquero (en línea). El Salvador. Consultado 19 ene. 2022. Disponible en: https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/ministerio-exterior/america-central-caribe/fichasectores_sv_tcm30-579873.pdf
- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). 2022. Resumen climatológico anual 2021 (en línea). El Salvador. Consultado 11 feb. 2022. Disponible en: <https://www.snet.gob.sv/UserFiles/meteorologia/climatologico/ResumenClimatologicoAnual2021.pdf>
- Ministerio de Economía y MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2009. IV CENSO AGROPECUARIO 2007 – 2008: Resultados Nacionales. Consultado 12 feb. 2022. Disponible en: https://www.mag.gob.sv/wp-content/uploads/2021/06/iv_censo_agropecuario_resultados_departamentales_y_municipales.pdf
- Minson, D.J. 1990. Forage in Ruminant Nutrition (on line). Academic Press, Inc. New York. 483 p. Consulted 15 may. 2022. Available: doi.org/10.1016/B978-0-12-498310-6.X5001-9
- Monção, F. P.; Costa, M. A. M. S.; Rigueira, J. P. S.; de Sales, E. C. J.; Leal, D. B.; da Silva, M. F. P.; Gomes, V. M.; Murta, J. E. J.; y Júnior, V. R. R. 2019a. Productivity and nutritional value of BRS capiaçu grass (*Pennisetum purpureum*) managed at four regrowth ages in a semiarid region. Tropical Animal Health and Production. 7 p.
- Monção, F. P.; Costa, M. A. M. S.; Rigueira, J. P. S.; Moura, M. M. A.; Júnior, V. R. R.; Gomes, V. M.; Leal, D. B. J.; Maranhão, C. M. A.; Albuquerque, C. J. B.; y Chamone, J. M. A. 2019b. Yield and nutritional value of BRS Capiáçu grass at different regrowth ages. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, 40(5): 2045-2056.

- Moore, J.E. 1980. Crop quality, storage, and utilization: Forage crops (on line). Ed. Hoveland, C. S. ISBN: 9780891185642. Consulted 23 mar 2022. Available in: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.2135/1980.cropquality>
- Morais 1999. JPG Ensilaje de pastos tropicales. En: simposio sobre nutrición bovina, 7., Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ. 89-95 p.
- Muck, R.E; Bolsen, K.K. 1991. Silage preservation and silage additive products. In: Field guide for hay and silage management in North America. K.K. Bolsen, J.E. Baylor y M.E. McCullough. Ed. Natl. Feed Ingrid. Assoc. West Des Moines IA. p. 105.
- Muck., R.E; L. Kung Jr. 1997. Effects of silage additives on ensiling. In: Proceedings Silage: Field to Feedbunk. Conference. Feb. 11-13, Hershey, Pennsylvania. p. 187-199.
- Navaratne H. V. R. G.; Ibrahim, M. N. M.; Schiere, J. B. 1990. Comparison of four techniques for predicting digestibility of tropical feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 29: 209-221. Consulted 4 jun 2022. Available in : [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(90\)90028-7](https://doi.org/10.1016/0377-8401(90)90028-7)
- Nichols, S.W.; Froetschel, M. A.; Amos, H. E.; and Ely, L. O. 1998. Effects of fiber from tropical corn and forage sorghum silages on intake, digestion, and performance of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:2383-2393.
- Nikolid, J. A., Jovanovid, M., Zeremski, D. 1987. Application of a modified in vitro procedure in the prediction of organic matter digestibility of feedstuffs for ruminants. *Acta Veterinaria (Beograd)* 37: 3 – 12.
- NRC, 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th ed., (in line). National Academy Press, Washington, DC. Consulted 14 jan. 2022. Available in: https://www.academia.edu/26451345/Nutrient_Requirements_of_Dairy_Cattle_Seventh_Revised_Edition_2001
- Olmos Colmenero, J.J.; Broderick, G.A. 2006. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:1704–1712.
- Omed, H. M.; Axford, R.F. E.; Chamberlain, A. G.; Givens, D. I. 1989. A comparison of three laboratory techniques for the estimation of the digestibility of feedstuffs for ruminants. *J Agric Sci (Camb)* 113: 35 – 39.
- Ortiz Robledo, F.; Reyes Estrada, O.; Carrete Carreón, F. O.; Sánchez Arroyo, J. F.; Herrera Torres, E.; Murillo Ortiz, M.; Rosales Serna, R. 2017. Calidad fermentativa y nutricional de ensilados de maralfalfa (*Pennisetum sp.*) a diferentes edades de corte y niveles de maíz molido (en línea). *Rev. FCA Uncuyo* 49(2):345-353. Consultado 02 abr. 2022. Disponible en: <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCFA/article/view/3090/2240>
- Ouweltjets, W.; Beerda, B.; Windig, J. J.; Calus, M. P. L.; Veerkamp, R. F. 2007. Effects of Management and Genetics on Udder Health and Milk Composition in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 90:229–238
- Owens, D; McGee, M; Boland, T; O’Kiely, P. 2009. Rumen fermentation, microbial protein synthesis, and nutrient flow to the omasum in cattle offered corn silage, grass silage, or whole-crop wheat. *J. Anim. Sci.* 87:658 – 668.
- Pando Cárdenas. G., y Peruano Carrión, D. 2010. Manejo y alimentación del ganado bovino de leche (en línea). Lima, Perú. Consultado 14 abr. 2022. Disponible en: https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/163/1/Alimentacion_ganado_bovino_2010.pdf

- Pérez Gutiérrez, E. 2017 Manual de manejo: Sistemas intensivos sostenibles de ganadería de leche (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 14 abr. 2022. Disponible en: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L01-10927.pdf>
- Pinho, B. D., Pires, A. J. V., Ribeiro, L. S. O., Carvalho, G. G. P. 2008. Ensilagem de capim-elefante com farelo de mandioca. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 9(4):641-645.
- Ramírez Ramírez, H. A. 2016. Aplicación de principios de nutrición de ganado lechero en la producción de leche y carne con ingredientes tradicionales y alternativos. 54(1):66-71. Consultado 19 abr. 2022. Disponible en: doi:10.5377/ceiba.v54i1.2781
- Reyes, N; Mendieta, B; Fariñas, T; Mena, M; Cardona, J; Pezo, D. 2009. Elaboración y utilización de ensilajes en la alimentación del ganado bovino (en línea). Managua, Nicaragua. Manual técnico (91). Consultado 21 dic. 2021. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/7886>
- Rodríguez, R.; Michelena, J.; Torres, M.; Elías, A.; Gutiérrez, D.; Iraola, D. 2017. Ensilajes de calidad con forrajes tropicales: Alternativas para el ganadero en Cuba (en línea). Instituto de Ciencia Animal. Cuba. Consultado 11 mar. 2022. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/330856864_Ensilajes_de_calidad_con_forrajes_tropicales_Alternativas_para_el_ganadero_en_Cuba
- Ruiz, T. M.; Bernal, E.; Staples, C. R.; Sollenberger, L. E.; Gallaher, R. N. 1995. Effect of dietary neutral detergent fiber concentration and forage source on performance of lactating cows. *J. Dairy Sci* 78:305-319305. doi:10.3168/jds.S0022-0302(95)76639-5
- Ruiz, T. M.; Sanchez, W. K.; and Staples, C. R. 1992. Comparison of 'Mott' dwarf elephantgrass silage and corn silage for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci* 75:533-543.
- Sant'Anna, A. C.; da Costa, M. J. R. P.; Madureira, A. P. 2020. Buenas prácticas de manejo: Confort vacas en lactancia (en línea). Consultado 19 abr. 2022. Disponible en: http://www.grupoetco.org.br/arquivos_br/manuais/manual_buenas_practicas_de_manejo-comfort.pdf
- Santos, F.A.P.; Santos, J.E.P.; Theurer, C.B.; Huber, J.T.; 1998. Effects of rumen-undegradable protein on dairy cows performance: A 12-year literature review. *J. Dairy Sci.* 81, 3182–3213. doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75884-9
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2019. Manual de buenas prácticas pecuarias en unidades de producción de leche bovina (en línea). México. Consultado 19 oct. 2022. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/588547/MANUAL_DE_BPP_PRODUCION_DE_LECHE_BOVINA_2019.pdf
- SENAR (Serviço Nacional de Aprendizagem Rural). 2011. Silagem de milho e sorgo: produção, ensilagem e utilização. Brasília, Brasil. 112 p. (Coleção SENAR, 154).
- Shaer, H. M.; Omed, H. M.; Chamberlain, A. G.; Axford, R. F. E. 1987. Use of faecal organisms from sheep for the in vitro determination of digestibility. *J Agric Sci (Camb)* 109: 257 – 259. <https://doi.org/10.1017/S0021859600080667>
- Silva, F. F.; Aguiar, M. S. M. A.; Veloso, C. M.; Pires, A. J. V.; Bonomo, P.; Dutra, G. S.; Almeida, V. S.; Carvalho, G. G. P.; Silva, R. R.; Días, A. M.; Ítavo, L. C. V. 2007. Bagaço de mandioca na ensilagem do capim-elefante: qualidade das silagens e digestibilidade dos nutrientes. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 59(3):719-729.

- Skerman, P.J., y Riveros, F. 1992. Gramíneas tropicales. Roma, Italia. FAO. p 849.
- Thomas E.D.; P. Mandebvu, C. S. Ballard, C. J. Sniffen, M. P. Carter, and J. Beck 2001. Comparison of Corn Silage Hybrids for Yield, Nutrient Composition, In Vitro Digestibility, and Milk Yield by Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 84:2217–2226
- Tilley, J. M. A.; Terry, R. A. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.* 18:104–111.
- Torres, G., Arbaiza, T., Carcelén, F., Lucas, O. 2009. Comparación de las técnicas *in situ*, *in vitro* y enzimática (celulasa) para estimar la digestibilidad de forrajes en ovinos. *Rev Inv Vet Perú.* 20(1): 5 – 9.
- Townsend, CR; Salman, AKD; Pereira, RGA; de Souza, JP; Santos, LO y dos Santos, MGR. 2013. Composição químico-bromatológica da silagem de milho (*Zea mays*) com níveis de incluso de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) (en línea). Consultado 13 feb. 2022. Disponible en: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1012043/composicao-quimico-bromatologica-da-silagem-de-milho-zea-mays-com-niveis-de-inclusao-de-capimelefante-pennisetum-purpureum>
- Valadares, R., Broderick, G.A., Valadares Filho, S.C., Clayton, M.K., 1999. Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives. *J. Dairy Sci.* 82, 2686–2696.
- Van Keulen, J. and Young B. A. 1977. Evaluation of acid- insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *J. Anim. Sci.* 44:282
- Van Soest, J.P. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd. Ed. Comstock Publishing Associates. Ithaca, N. York. 476 p.
- Van Soest, PJ, Robertson JB. 1980. Systems of Analysis for Evaluating Fibrous Feeds (on line). In: Pigden WJ, Balch CC, Graham M. (eds.) *Standardization of Analytical Methodology in Feeds*. Ottawa: International Research Development Center. p. 49-60. Consulted: 22 jan. 2022. Available in: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/19376/IDL-19376.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villalobos, L. 2017. Ensilado: una alternativa para la alimentación de ganado en épocas críticas. UCR, Costa Rica (en línea, sitio web). Consultado 20 feb. 2021. Disponible en: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2017/09/20/ensilado-una-alternativa-para-la-alimentacion-de-ganado-en-epocas-criticas.html>
- Wattiaux, MA y Karg, KL. 2004. Protein level for alfalfa and corn silage-based diets: Nitrogen balance and manure characteristics. *J. Dairy Sci.* 87:3492–3502.
- Weiss, W.P. 2004. Silage for dairy cattle. In *Curso de Nutrición de Ganado Lechero*. Balsa, Atenas, Costa Rica. 1-10 p.
- Zhou, XQ; Zhang, YD; Zhao, M; Zhang, T; Zhu, T; Bu, DP y Wang JQ. 2015. Effect of dietary energy source and level on nutrient digestibility, rumen microbial protein synthesis, and milk performance in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98:7209–7217
- Zhu, W; Fu, Y; Wang, B; Wang, C; Ye, JA; Wu, YM; Liu, JX. 2013. Effects of dietary forage sources on rumen microbial protein synthesis and milk performance in early lactating dairy cows (on line). *J. Dairy Sci.* 96:1727-1734. Consulted 23 oct. 2022. Available in: doi:10.3168/jds.2012-5756

8. ANEXOS

Cuadro A- 1. Costos de producción cultivo napier en US\$/Mz y US\$/ha.

INSUMO/ACTIVIDAD	CANTIDAD	VALOR/US\$	COSTO US\$/Mz	COSTO US\$/Ha
Preparación de tierra				
Paso de rastra *	2	25.00	8.33	11.90
Paso de surqueador *	1	30.00	5.00	7.14
Limpieza				
Glifosato (Lt) *	2	33.22	11.07	15.82
Mano de obra (día/h) *	2	8.00	2.67	3.81
Siembra				
Semilla napier (tarea) *	4	20.00	13.33	19.05
Mano de obra (día/h) *	16	8.00	21.33	30.48
Repaso de Limpieza				
Atrasina (kg)	1	11.19	11.19	15.99
Adonal (L)	0.6	3.00	1.80	2.57
Mano de obra (día/h)	2	8.00	16.00	22.86
Fertilización 1				
Urea qq	3	51.30	153.90	219.86
Mano de obra (día/h)	0.25	8.00	2.00	2.86
Riego por gravedad				
Mano de obra (día/h)	6	8.00	48.00	68.57
Fertilización 2				
urea qq	3	51.30	153.90	219.86
15-15-15 qq	1.5	48.24	72.36	103.37
Mano de obra (día/h)	0.25	8.00	2.00	2.86
Fertilización foliar				
ZnB (L)	1.2	10.00	12.00	17.14
urea (Lb)	24	0.51	12.31	17.59
Mano de obra (día/h)	2	8.00	16.00	22.86
Subtotal (Verde)			563.20	804.57
Corte	3	11.50	34.50	49.29
Cosecha (día/h)	5	8.00	40.00	57.14
Harina de maíz qq	18	19.00	342.00	488.57
Sal qq	3	9.21	27.63	39.47
Máquina, días	2	75.00	150.00	214.29
Plástico, rollo	0.25	102.22	25.56	36.51
Inoculante, Silo solve 200g	0.3	<u>128.68</u>	38.60	55.15
Subtotal (ensilaje)			658.29	940.41
TOTAL			1221.49	1744.99

*Los costos de establecimiento fueron divididos entre 6 para hacer una comparación con el maíz, asumiendo que hay 6 cosechas de napier en el año y solamente un gasto de establecimiento.

Cuadro A- 2. Costos de producción cultivo en maíz \$/Mz y US\$/ha.

INSUMO	CANTIDAD	VALOR/US\$	COSTO US\$/Mz	COSTO US\$/Ha
Preparación tierra				
Rastra	2	30	60	85.71
Limpieza				
Glifosato (Lt)	2	33.22	66.44	94.91
Mano de obra (día/h)	1	8	8	11.43
Siembra				
Semilla maíz bolsa 60000	1.3	166.37	216.28	308.97
Mano de obra (día/h)	5	8	40	57.14
Repaso de Limpieza				
Atrasina (kg)	1	11.19	11.19	15.99
Adonal (lt)	0.6	3	1.8	2.57
Mano de obra (día/h)	2	8	16	22.86
Control de plagas (suelo)				
Piraña (L)	0.15	15.21	2.28	3.26
Pantera (L) gr	0.06	5.97	0.36	0.51
Mano de obra (día/h)	2	8	16	22.86
Abono				
Formula 15-15-15 (qq)	4	48.24	192.96	275.66
Urea (qq)	4	51.3	205.2	293.14
Sulfato (qq)	4	24.62	98.48	140.69
Mano de obra (día/h)	6	8	48	68.57
Control de malezas				
Ilustre (L)	2	13.81	27.62	39.46
Pastura (L)	2	5.97	11.94	17.06
Mano de obra (día/h)	2	8	16	22.86
Riego por gravedad				
Mano de obra (día/h)	9	8	72	102.86
Fertilización foliar				
ZnB (L)	1.2	10	12	17.14
Urea (Lb)	24	0.513	12.31	17.59
Control de hongos				
Propifor o Difor				
Mano de obra (día/h)	2	8	16	22.86
Subtotal (verde)			1150.86	1644.09
Cosecha (día/h)	6	8	48	68.57
Maquina pecus (días)	2	75	150	214.29
Plástico (rollo)	0.25	102.22	25.555	36.51
Sal (qq)	2	9.1	18.2	26.00
Inoculante (Silo solve 200g)	0.3	128.68	38.604	55.15
Subtotal (ensilaje)			280.359	400.51
TOTAL			1431.22	2044.60

Cuadro A- 3. Costo de materia seca y materia verde de napier.

Manzana verde		Hectárea verde	
Costo \$/Mz	563.20	Costo \$/Ha	805
Rend Ton Húmedo/Mz	48	Rend Ton Húmedo/Mz	68.6
Costo \$/Ton	11.73	Costo \$/TM	11.73
Costo \$/qq	0.53	Costo S/kg	0.012
Materia Seca % verde	16.77	Materia Seca % verde	16.77
Lb MS/ Mz	17709	Kg MS/Ha	11499
\$ / lb MS	0.032	\$ / Kg MS	0.070
Manzana ensilada		Hectárea ensilada	
Costo S/Mz	1221	Costo \$/Ha	1745
lb MS/Mz	17001	Kg MS/Ha	11039
Materia Seca % ensilado	24	Materia Seca % ensilado	23.29
Rend Ton Húmedo/Mz	32.2	Rend Ton Húmedo/Ha	47.4
Costo \$/Ton	37.94	Costo \$/Ton	36.81
Costo \$/qq	1.72	Costo \$/kg	0.04
\$ / lb MS	0.072	\$ / kg MS	0.16

Cuadro A- 4. Costo de materia seca y materia verde de maíz.

Manzana verde		Hectárea verde	
Costo \$/Mz	1150.9	Costo \$/Ha	1644
Rend Ton Húmedo/Mz	38	Rend Ton Húmedo/Mz	54.3
Costo \$/Ton	30.29	Costo \$/TM	30.29
Costo \$/qq	1.38	Costo \$/kg	0.030
Materia Seca % verde	21.1	Materia Seca % verde	21.1
Lb MS/ Mz	17640	Kg MS/Ha	11454
\$ / lb MS	0.065	\$ / Kg MS	0.144
Manzana ensilada		Hectárea ensilada	
Costo S/Mz	1431	Costo \$/Ha	2045
lb MS/Mz	16934	Kg MS/Ha	10996
Materia Seca % ensilado	26.54	Materia Seca % ensilado	26.54
Rend Ton Húmedo/Mz	29.0	Rend Ton Hum/Ha	41.4
Costo \$/Ton	49.35	Costo \$/Ton	49.35
Costo \$/qq	2.24	Costo \$/kg	0.05
\$ / lb MS	0.085	\$ / kg MS	0.19

Cuadro A- 5. Descripción y costos de dietas.

	%DM	Precio US\$/qq	ENSILAJE DE MAÍZ			ENSILAJE DE NAPIER		
			<i>As feed lb/d</i>	<i>DM kg/d</i>	<i>US\$</i>	<i>As feed lb/d</i>	<i>DM kg/d</i>	<i>US\$</i>
<i>Soya</i>	90	28.02	<i>8.56</i>	3.50	2.40	<i>8.07</i>	3.30	2.26
<i>Afrecho de trigo</i>	90	18.19	<i>6.23</i>	2.55	1.13	<i>5.74</i>	2.35	1.04
<i>Melaza</i>	65	7.8	<i>4.23</i>	1.25	0.33	<i>4.23</i>	1.25	0.33
<i>Harina de maíz</i>	90	20.05	<i>7.33</i>	3.00	1.47	<i>8.56</i>	3.50	1.72
<i>Sal mineral</i>	99	117.2	<i>0.27</i>	0.12	0.31	<i>0.27</i>	0.12	0.31
<i>Sal</i>	99	9.21	<i>0.09</i>	0.04	0.01	<i>0.09</i>	0.04	0.01
<i>Grasa sobrepasante</i>	99	80.65	<i>0.67</i>	0.30	0.54	<i>0.67</i>	0.30	0.54
<i>Carbonato de calcio</i>	99	2.37	<i>0.33</i>	0.15	0.01	<i>0.33</i>	0.15	0.01
<i>Bicarbonato de sodio</i>	99	35.67	<i>0.44</i>	0.20	0.16	<i>0.44</i>	0.20	0.16
<i>Díamond</i>	99	71.37	<i>0.10</i>	0.05	0.07	<i>0.10</i>	0.05	0.07
<i>Oxido de magnesio</i>	99	53.45	<i>0.04</i>	0.02	0.02	<i>0.04</i>	0.02	0.02
TOTAL CONCETRADO	90		<i>28.30</i>	11.17	6.45	<i>28.54</i>	11.28	6.47
<i>Ensilaje de maíz</i>	26.54	2.24	<i>74.60</i>	9.00	1.67	<i>18.65</i>	2.25	0.42
<i>Napier fresco</i>	16.8	0.53	<i>23.57</i>	1.80	0.12	<i>23.57</i>	1.80	0.12
<i>Heno suazi</i>	18	1	<i>5.50</i>	0.45	0.06	<i>5.50</i>	0.45	0.06
<i>Ensilaje pasto napier</i>	23.29	1.62			0.00	<i>63.76</i>	6.75	1.03
TOTAL FORRAJE			103.68	11.25	1.85	111.48	11.25	1.63
TOTAL DIETA			131.97	22.42	8.30	140.03	22.53	8.10
				US\$/kg MS	\$0.37			\$0.36

Cuadro A- 6. Análisis estadísticos de consumo de nutrientes en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz o ensilado de napier.

COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DEL CONSUMO DE EMa Y ENa					
		numDF	denDF	F-valor	p-valor
Consumo MS	Intercepto	1	16	1190.6265	<.0001
	Tratamiento	1	14	27.7848	0.0001
	Periodo	1	14	40.7333	<.0001
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.0618	0.8073
Consumo MO	Intercepto	1	16	1190.7118	<.0001
	Tratamiento	1	14	20.008	0.0005
	Periodo	1	14	39.888	<.0001
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.0463	0.8327
Consumo MO Digestible	Intercepto	1	16	1766.9263	<.0001
	Tratamiento	1	14	23.0818	0.0003
	Periodo	1	14	8.2522	0.0123
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.743	0.4032
Consumo PC	Intercepto	1	16	1190.3928	<.0001
	Tratamiento	1	14	21.668	0.0004
	Periodo	1	14	41.0743	<.0001
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.0037	0.9526
Consumo FND	Intercepto	1	16	1190.7121	<.0001
	Tratamiento	1	14	6.3905	0.0241
	Periodo	1	14	113.3691	<.0001
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.5014	0.4905
Consumo FAD	Intercepto	1	16	1190.3242	<.0001
	Tratamiento	1	14	1.1641	0.2988
	Periodo	1	14	90.9843	<.0001
	Tratamiento:Periodo	1	14	2.6396	0.1265

Cuadro A- 7. Análisis estadísticos de digestibilidad de nutrientes en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz o ensilado de napier.

COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE DIGESTIBILIDAD DE EMa Y ENa					
		numDF	denDF	F-valor	p-valor
Digestibilidad MS	Intercepto	1	16	11201.563	<.0001
	Tratamiento	1	14	9.777	0.0074
	Periodo	1	14	3.061	0.1021
	Tratamiento:Periodo	1	14	1.647	0.2202
Digestibilidad MO	Intercepto	1	16	12233.457	<.0001
	Tratamiento	1	14	10.504	0.0059
	Periodo	1	14	1.741	0.2082
	Tratamiento:Periodo	1	14	2.463	0.1389
Digestibilidad PC	Intercepto	1	16	11476.718	<.0001
	Tratamiento	1	14	1.701	0.2132
	Periodo	1	14	6.033	0.0277
	Tratamiento:Periodo	1	14	3.821	0.0709
Digestibilidad FND	Intercepto	1	16	3558.298	<.0001
	Tratamiento	1	14	2.575	0.1309
	Periodo	1	14	3.706	0.0748
	Tratamiento:Periodo	1	14	4.393	0.0547
Digestibilidad FAD	Intercepto	1	16	3009.4925	<.0001
	Tratamiento	1	14	2.7379	0.1202
	Periodo	1	14	5.3189	0.0369
	Tratamiento:Periodo	1	14	10.3267	0.0063

Cuadro A- 8. Análisis estadísticos de producción, composición de leche y producción de nutrientes en vacas alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz o ensilado de napier.

COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE PRODUCCIÓN, COMPOSICIÓN DE LECHE Y PRODUCCIÓN DE NUTRIENTES					
		numDF	denDF	F-valor	p-valor
Leche kg/d	Intercepto	1	16	1270.9864	<.0001
	Tratamiento	1	14	2.0141	0.1777
	Periodo	1	14	0.3692	0.5532
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.0047	0.9466
Eficiencia de leche	Intercepto	1	16	1788.858	<.0001
	Tratamiento	1	14	1.9442	0.185
	Periodo	1	14	16.7357	0.0011
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.1475	0.7067
Grasa %	Intercepto	1	16	4008.961	<.0001
	Tratamiento	1	14	1.787	0.2027
	Periodo	1	14	0.188	0.6709
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.075	0.7885
Grasa kg/d	Intercepto	1	16	1684.0111	<.0001
	Tratamiento	1	14	0.035	0.8543
	Periodo	1	14	0.0134	0.9095
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.0208	0.8873
Proteína %	Intercepto	1	16	2896.4109	<.0001
	Tratamiento	1	14	0.0008	0.9784
	Periodo	1	14	1.545	0.2343
	Tratamiento:Periodo	1	14	1.3831	2592
Proteína kg/d	Intercepto	1	16	1415.222	<.0001
	Tratamiento	1	14	1.9934	0.1798
	Periodo	1	14	1.5369	0.2355
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.6509	0.4333

Lactosa %	Intercepto	1	16	10544.882	<.0001
	Tratamiento	1	14	6.087	0.0271
	Periodo	1	14	2.197	0.1605
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.12	0.7337
Lactosa kg/d	Intercepto	1	16	1193.962	<.0001
	Tratamiento	1	14	3.5674	0.0798
	Periodo	1	14	0.1042	0.7516
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.0053	0.9431
Sólidos totales %	Intercepto	1	16	15696.758	<.0001
	Tratamiento	1	14	1.096	0.2988
	Periodo	1	14	0.202	<.0001
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.453	0.1265
Sólidos totales kg/d	Intercepto	1	16	1570.7469	<.0001
	Tratamiento	1	14	1.0137	0.3311
	Periodo	1	14	0.2274	0.6408
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.0573	0.8142
Nitrógeno ureico en leche kg/dL	Intercepto	1	16	2370.9358	<.0001
	Tratamiento	1	14	7.894	0.0139
	Periodo	1	14	12.5439	0.0033
	Tratamiento:Periodo	1	14	5.0888	0.0406

Cuadro A- 9. Análisis estadísticos de balance de N en vacas alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz o ensilado de napier.

COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DEL BALANCE DE N DE EMa Y ENa					
		numDF	denDF	F-valor	p-valor
Consumo g N	Intercepto	1	16	1190.3928	<.0001
	Tratamiento	1	14	21.668	0.0004
	Periodo	1	14	41.0743	<.0001
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.0037	0.9526
g N en Orina	Intercepto	1	16	1464.5481	<.0001
	Tratamiento	1	14	0.0124	0.9129
	Periodo	1	14	10.9286	0.0052
	Tratamiento:Periodo	1	14	3.7921	0.0718
% N en Orina	Intercepto	1	16	1621.6699	<.0001
	Tratamiento	1	14	2.1578	0.164
	Periodo	1	14	30.0311	0.0001
	Tratamiento:Periodo	1	14	3.9844	0.0658
g N Leche	Intercepto	1	16	1415.222	<.0001
	Tratamiento	1	14	1.9934	0.1798
	Periodo	1	14	1.5369	0.2355
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.6509	0.4333
% N en Leche	Intercepto	1	16	1150.3807	<.0001
	Tratamiento	1	14	1.3485	0.265
	Periodo	1	14	24.9661	0.0002
	Tratamiento:Periodo	1	14	3.9844	0.5141
g N heces	Intercepto	1	16	427.702	<.0001
	Tratamiento	1	14	0.0948	0.7627
	Periodo	1	14	7.9974	0.0134
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.0379	0.8485
% N en heces	Intercepto	1	16	1869.4805	<.0001
	Tratamiento	1	14	0.9389	0.349
	Periodo	1	14	0.7769	0.393
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.2706	0.611

Cuadro A- 10. Análisis estadísticos de síntesis de proteína microbiana en vacas lecheras alimentadas con dietas basadas en ensilado de maíz o ensilado de napier.

COMPARACIÓN ESTADÍSTICA DE SINTESIS DE PROTEÍNA MICROBIANA DE EMa Y ENa					
		numDF	denDF	F-valor	p-valor
Excreción de derivados purínicos (mmol/d)	Intercepto	1	16	580.1091	<.0001
	Tratamiento	1	14	4.2855	0.0574
	Periodo	1	14	23.3584	0.0003
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.1811	0.6769
Síntesis de proteína microbiana (g/d)	Intercepto	1	16	466.6377	<.0001
	Tratamiento	1	14	4.4388	0.0536
	Periodo	1	14	23.313	0.0003
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.1834	0.675
Nitrógeno Microbiano (g) / Consumo N (g)	Intercepto	1	16	557.9428	<.0001
	Tratamiento	1	14	2.8886	0.1113
	Periodo	1	14	38.6871	<.0001
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.2085	0.655
Nitrógeno Microbiano g/ kg MO Digestible	Intercepto	1	16	516.4493	<.0001
	Tratamiento	1	14	1.1546	0.3008
	Periodo	1	14	33.3662	<.0001
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.606	0.4493

Cuadro A- 11. Análisis estadísticos de la comparación económica de la alimentación con dietas basadas en ensilado de maíz o ensilado de napier en vacas lecheras.

Comparación económica de la alimentación con dietas de EMa y ENa					
		numDF	denDF	F-valor	p-valor
Costo de alimentación/día US (\$)	Intercepto	1	16	1190.9669	<.0001
	Tratamiento	1	14	6.1674	0.0263
	Periodo	1	14	41.6692	<.0001
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.0548	0.8184
Ingreso de leche/día US (\$) *	Intercepto	1	16	1270.9864	<.0001
	Tratamiento	1	14	2.0141	0.1777
	Periodo	1	14	0.3692	0.5532
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.0047	0.9466
ISCA/vaca/día US (\$)	Intercepto	1	16	728.9057	<.0001
	Tratamiento	1	14	0.8196	0.3806
	Periodo	1	14	4.3226	0.0565
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.0015	0.97
ISCA/kg leche US (\$)	Intercepto	1	16	3906.225	<.0001
	Tratamiento	1	14	0.010	0.9215
	Periodo	1	14	13.266	0.0027
	Tratamiento:Periodo	1	14	0.056	0.8157