

UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN
Campus Loma Bonita

LICENCIATURA EN ZOOTECNIA

**COMPOSICIÓN QUÍMICA Y RENDIMIENTO DE ENSILAJES DE
SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) CULTIVADOS EN EL
TRÓPICO HÚMEDO**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN ZOOTECNIA**

**PRESENTA:
OSCAR HUGO DE LA CRUZ BORJA**

DIRECTOR DE TESIS: D. PH. SERGIO RAMÍREZ ORDÓÑES

LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO. ENERO 2016.



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN
Campus Loma Bonita

LA PRESENTE TESIS TITULADA “COMPOSICIÓN QUÍMICA Y RENDIMIENTO DE ENSILAJES DE SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) CULTIVADOS EN EL TRÓPICO HÚMEDO” PRESENTADA POR EL PASANTE OSCAR HUGO DE LA CRUZ BORJA BAJO LA DIRECCIÓN DEL D. PH. SERGIO RAMÍREZ ORDÓÑES, HA SIDO REVISADA Y ACEPTADA POR EL JURADO EXAMINADOR PARA SER DEFENDIDA EN EL EXAMEN PROFESIONAL Y OBTENER EL TITULO DE LICENCIADO EN ZOOTECNIA.

JURADO EXAMINADOR

D. PH. SERGIO RAMÍREZ ORDÓÑES
DIRECTOR

DRA. LAURA HERNÁNDEZ CRUZ
REVISOR

DRA. CYNTHIA MAGALY ANTONIO CISNEROS
REVISOR

DR. BERTÍN MAURILIO JOAQUÍN TORRES
REVISOR

LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO. ENERO DE 2016.

DEDICATORIA

A mis padres

Carmen y Manuel, por haberme dado el apoyo en todo lo que estuvo a su alcance, en especial a mi madre porque gracias ella y a su insistencia, consejos y regaños eh conseguido obtener un logro más.

A mis hermanos

Beatriz, Guadalupe, Manuel y Carmen por ser grandes hermanos y ejemplos a seguir, y en especial a mi hermano Rafael porque nos tocó vivir una parte difícil y siempre conté contigo y me brindaste la confianza y apoyo para seguir preparándome.

A mi nueva familia

Diana, por tu paciencia, cariño y comprensión en momentos difíciles.

A mi hijo

Por ser el motor que me impulsa a seguir adelante.

A mis grandes amigos de generación

José Marín, Efraín, Nemesio, Xóchitl, por los buenos momentos que pasamos en el tiempo que convivimos.

A todos muchas gracias por ser parte de mi vida y este logro se los dedico de todo corazón.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad del Papaloapan** por ser una segunda casa donde me brindaron todas las herramientas durante el proceso de formación.

A mi director de tesis **Dr. Sergio Ramírez Ordoñez**, por la paciencia, comprensión y apoyo brindado durante el desarrollo de este proyecto, y por compartir sus conocimientos y experiencias que han sido y seguirán siendo de gran utilidad en mi vida profesional y sobre todo por permitirme ser parte de su equipo de trabajo en realización de la investigación de la cual deriva esta tesis.

A mis revisores de tesis, **Dr. Bertín Maurilio Joaquín Torres**, **Dra. Cynthia Magaly Antonio Cisneros** y **Dra. Laura Hernández Cruz**, por su apoyo, orientación y sugerencias en la revisión de este proyecto que permitieron enriquecerlo.

A todos los profesores que contribuyeron en mi formación como profesionista en especial a los profesores, Cesar Herrera, Cotera, Ubaldo y Rueda, por compartir sus conocimientos y consejos cuando se requirieron y que seguirán siendo de gran utilidad.

A todos mis compañeros de generación, muchas gracias por ser parte de un capítulo más en mi vida.

ÍNDICE

Pág.

ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. HIPÓTESIS	3
3. OBJETIVO	4
3.1. Objetivo general	4
3.2. Objetivos específicos	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. Importancia de la producción de ganado bovino para el estado de Oaxaca	5
4.2. Característica del sistema de producción de bovinos de doble propósito	5
4.3. Problemática en la alimentación en los sistemas de doble propósito en época de estiaje	6
4.4. El ensilaje de sorgo como alternativa de alimentación para la ganadería tropical de doble propósito	6
4.5. Ensilaje	8
4.5.1. Proceso de ensilaje	9
4.5.2. Proceso de fermentación en el ensilaje	9
4.6. Característica de la planta de sorgo	10
4.7. Factores involucrados en el cultivo y valor nutricional del forraje de sorgo	11
4.7.1. Medio ambiente	11
4.7.2. Fertilidad y tipo de suelo	12
4.7.3. Método y densidad de siembra	12
4.7.4. Fertilización	13
4.7.5. Cultivar o genotipo	14
4.7.6. Etapa de madurez al corte	15
4.7.7. Método de cosecha y elaboración del ensilado	16

4.8.	Estructura y composición química de la célula vegetal	17
4.8.1.	Pared celular	17
4.8.2.	Contenido celular	18
4.8.3.	Fibra	19
4.8.4.	Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido	19
4.8.5.	Proteína cruda	20
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	22
5.1.	Descripción del área de estudio	22
5.2.	Desarrollo del experimento	22
5.2.1.	Establecimiento de los cultivos	22
5.2.2.	Cosecha y elaboración de los ensilajes	23
5.3.	Análisis químicos de las muestras	24
5.4.	Variables evaluadas	24
5.4.1.	Producción de forraje	24
5.4.2.	Proteína cruda	25
5.4.3.	Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA)	25
5.4.4.	Lignina detergente ácido (LDA)	25
5.4.5.	Energía neta de lactancia (ENL) y total de nutrientes digestibles (TND)	25
5.4.6.	Variables de clima	25
5.5.	Análisis estadístico	26
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
6.1.	Variables de clima y suelo	27
6.2.	Producción de forraje	28
6.3.	Composición química y valor nutritivo en los ensilados	30
6.3.1.	pH de los ensilados	30
6.3.2.	Proteína cruda	32
6.3.3.	Fibra detergente neutro	33
6.3.4.	Fibra detergente ácido	34
6.3.5.	Lignina detergente ácido	34
6.3.6.	Energía neta de lactancia	35

6.3.7.	Total de nutrientes digestibles	37
6.3.8.	Rendimiento de nutrientes por hectárea	37
6.4.	Comparación de la composición química del forraje verde y ensilado	39
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
8.	LITERATURA CITADA	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1.	Composición química de ensilado de maíz, sorgos convencionales y sorgos BMR	8
2.	Características físicas y químicas de los suelos en los sitios donde se establecieron los cultivos	23
3.	Contenido de materia seca (MS) y producción de MS en forraje verde y ensilado de sorgos para grano y de nervadura café establecidos en condiciones de temporal en Loma Bonita, Oaxaca	29
4.	Composición química de forraje verde y ensilados de sorgos para grano y nervadura café establecidos en condiciones de temporal en Loma Bonita, Oaxaca	31
5	Contenido de ENL, TND y rendimiento de TND y PC por hectárea de ensilados de sorgos para grano y de nervadura café establecidos en condiciones de temporal en Loma Bonita, Oaxaca	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Célula vegetal y desarrollo de la pared celular	18
2	Precipitación y temperatura (T °C) ocurridos durante el periodo de desarrollo de los cultivos	28

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el comportamiento productivo y composición química de ensilados de híbridos de sorgo para grano, de nervadura café y un maíz, bajo condiciones de temporal. Los híbridos de sorgo para grano DK-67, Niquel, RB-Norteño, RB-Huasteco, uno con nervadura café Silo Miel 350 y el híbrido de maíz A7573, fueron cultivados en tres sitios localizados en la cabecera municipal de Loma Bonita, Oaxaca, bajo un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones. La cosecha de los sorgos se realizó en etapa de grano lechoso-masoso y el maíz cuando el grano alcanzó la media línea de leche. Se evaluó el rendimiento de materia seca por hectárea ($MS\ ha^{-1}$), contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina detergente ácido (LDA), energía neta de lactancia (ENL) de los ensilados y el total de nutrientes digestibles (TND) y PC por hectárea. Se encontraron diferencias en rendimiento de $MS\ ha^{-1}$ donde los mayores valores ($P<0.05$) lo obtuvieron los sorgos DK-67 y Niquel, con 11.5 y 11.3 $ton\ ha^{-1}$, respectivamente. El mayor ($P<0.05$) contenido de PC se observó en los ensilados de sorgo Niquel, RB-Huasteco, RB-Norteño y Silo Miel. El menor ($P<0.05$) porcentaje de FDN se obtuvo en el ensilado Silo Miel con 45.7 %. Los menores contenidos FDA y lignina se observaron en el ensilado de sorgo Silo Miel y maíz con 26.3, 2.2 y 28.7, 1.9 %, respectivamente. Asimismo, estos ensilados presentaron el mayor contenido de ENL y mayor rendimiento por hectárea de TND.

Palabras clave. Comportamiento productivo, Composición química, Sorgo convencional, Sorgo de nervadura café.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the yield and chemical composition of grain sorghums, brown midrib sorghum and one corn hybrid silages, growing in rainfall conditions. The grain sorghums DK-67, Niquel, RB-Norteño, RB-Huasteco, one brown midrib Silo Miel 350 and the corn hybrid A7573, were grown at three sites in Loma Bonita, Oaxaca, under a randomized complete block design with three replicates. Sorghums were harvested at milky-dough stage and corn at midline grain milk. Dry matter per hectare (DM ha^{-1}), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), acid detergent lignin (ADL), the net energy of lactation (NEL) of silages and total digestible nutrients (TND) and CP per hectare were evaluated. Differences of yield were found, and was highest ($P < 0.05$) in DK-67 and Niquel sorghums with 11.5 and 11.3 t ha^{-1} , respectively. The highest ($P < 0.05$) CP content was obtained with Niquel, RB-Huasteco, RB-Norteño and Silo Miel sorghum silages. The lowest ($P < 0.05$) NDF percent was in Silo Miel silage with 45.7 %. The lowest ADF and ADL contents were in Silo Miel and corn silages with 26.3, 2.2 and 28.7, 1.9 %, respectively. Also, these ones had higher NEL and TND per hectare.

Keywords: Yield forage, Chemical composition, Conventional sorghum, Brown midrib sorghum.

1. INTRODUCCIÓN

Las temporadas de sequías que se presentan a lo largo del año representan un problema que repercute en la estacionalidad productiva de los animales. El uso de ensilado es considerado como una alternativa para llevar a cabo una alimentación de calidad durante todo el año (Oliver *et al.*, 2005; Bolaños *et al.*, 2012). Por su alto valor nutritivo, el maíz resulta ser el recurso forrajero más utilizado en conservación de forrajes (Oliver *et al.*, 2005; Corral *et al.*, 2011); pero es un cultivo que presenta inconvenientes durante períodos de estrés hídrico, y bajo estas condiciones requiere del aporte de agua (Bolaños *et al.*, 2012).

A diferencia del maíz, el sorgo es un cultivo que tiene una mayor adaptabilidad a periodos de escases de agua y como recurso forrajero presenta cultivares que tienen variaciones en altura, producción de materia seca y composición química (Ribeiro *et al.*, 2007). En consecuencia, el sorgo es considerado un cultivo alternativo para su aprovechamiento en sustitución del maíz (Oliver *et al.*, 2004; Corral *et al.*, 2011). Sin embargo, el sorgo es menos utilizado que el maíz por su menor digestibilidad y alto contenido de lignina lo que afecta la producción animal (Marsalis *et al.*, 2009). Por otra parte, el control genético de la lignificación a través de la manipulación del gen *bmr* (Brown midrib) o de nervadura café, reduce el contenido de lignina e incrementa la digestibilidad del forraje (Marsalis *et al.*, 2009).

Considerando que la calidad de los pastos en el trópico húmedo es baja y se acentúa durante la época de sequía, es indispensable la utilización de forrajes preservados en forma de ensilado con el fin de mantener e incrementar la producción de leche en la región del Papaloapan.

La utilización del sorgo como ensilado puede ser una opción para el trópico, ya que presenta buenas características agronómicas que le proporcionan ventajas, en

comparación con el maíz, tales como, tolerancia a estrés hídrico y mejor aprovechamiento del agua, raíces densas y profundas que le permiten un mejor aprovechamiento del nitrógeno del suelo, rebrote después del corte que permiten más de una cosecha, e incluso su producción requiere una menor inversión económica (Bolaños *et al.*, 2012; Ribeiro *et al.*, 2007).

Si bien el sorgo, es una especie forrajera adaptada a muchas regiones ganaderas del sur de México, actualmente no se cuenta con información acerca de su comportamiento en cuanto a la productividad y calidad del ensilado cuando es cultivado, bajo condiciones del trópico húmedo.

La evaluación de cultivares o híbridos de sorgo puede permitir la selección de aquellos materiales genéticos que mejor se adapten a la región; considerando el rendimiento de materia seca, composición química y valor nutricional como principales herramientas de selección. Además, la conservación de forraje de sorgo mediante el proceso de ensilaje es una alternativa de alimentación suplementaria, factible de ser mejorado mediante prácticas agronómicas y manejo durante el proceso de ensilaje.

2. HIPÓTESIS

Los ensilados de sorgo para grano y de nervadura café cultivados, bajo condiciones ambientales del trópico húmedo, presentan rendimientos y calidad similares al ensilado de maíz.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento productivo y composición química de ensilados de híbridos de sorgo para grano, de nervadura café y un híbrido de maíz, producidos bajo condiciones de temporal en el trópico húmedo.

3.2. Objetivos específicos

Determinar las características productivas del rendimiento de materia seca de los ensilados de sorgo para grano, de nervadura café y un híbrido de maíz.

Determinar la composición química de los ensilados de sorgo para grano, de nervadura café y un híbrido de maíz.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Importancia de la producción de ganado bovino para el estado de Oaxaca

La ganadería en el estado de Oaxaca está orientada principalmente, a la crianza de bovinos, caprinos y ovinos. La ganadería bovina está estrechamente relacionada con la producción de forrajes (Fundación Produce Oaxaca, 2007). De acuerdo a cifras del SIAP (2014), la población ganadera del estado de Oaxaca durante el año 2013 fue de 1,649,172 y 21,054 cabezas de bovinos para carne y leche, respectivamente, aportando aproximadamente el 5.49 y 0.87 %, respectivamente, del inventario ganadero nacional.

En Oaxaca, la ganadería bovina se basa en el sistema de doble propósito. La producción de carne se desarrolla principalmente en los distritos del Istmo, Tuxtepec y Costa que en conjunto aportan cerca del 73 % de la producción estatal. En el caso de la producción de leche, los distritos de Valles Centrales, Istmo y Tuxtepec son los principales productores aportando aproximadamente el 72.5 % de la producción estatal. El distrito de Tuxtepec participó con el 23.2 y 16.3 % de la producción de carne y leche, respectivamente (SIAP, 2014).

En el año 2013, la ganadería bovina en el estado de Oaxaca generó un ingreso monetario cercana a los 3,000 millones de pesos en producción de leche y carne en canal (SIAP, 2014).

4.2. Características del sistema de producción de bovinos de doble propósito

El sistema de doble propósito es aquel del cual se obtienen leche y carne, donde parte de las vacas del hato se ordeñan parcialmente y el resto de la leche se deja para que sea consumida por la cría. En este sistema, la alimentación se basa en el pastoreo de pastos nativos o introducidos, bajo un sistema rotacional con carga animal variada y

con una mínima suplementación durante épocas de sequías, principalmente, con subproductos agroindustriales. Las vacas se ordeñan una o dos veces al día, permitiendo que la cría consuma un cuarto completo o la leche residual. El tipo de ganado utilizado son cruza de Cebú con razas Pardo Suizo, Holstein, Jersey y Simental, sin seguir un programa de cruzamiento específico. No se utilizan registros de producción, programas sanitarios y reproductivos y la asistencia técnica es escasa. El número de animales que componen el hato es variado de 30 a 100 vacas (Magaña *et al.*, 2006), con una producción de leche de 700 kg/vaca/año (Román *et al.*, 2009) y una producción promedio de 4 a 7 kg/vaca/día.

4.3. Problemática en la alimentación en los sistemas de doble propósito en época de estiaje

En el trópico, la alimentación del ganado de doble propósito se basa en el pastoreo de gramíneas nativas o introducidas con alto contenido de fibra y lignina, además, la calidad y producción de materia seca de las pasturas es estacional, con una producción mayor en época de lluvia y menor en sequía. Se ha considerado que la estacionalidad en la producción de forrajes es la principal limitante de la productividad animal, ya que la mayoría de los productores no toman las medidas necesarias para tener forraje en los periodos críticos de escasos de alimentos (Améndola *et al.*, 2005). Para hacer frente a este problema, se ha sugerido la conservación de forrajes en forma de ensilaje como una alternativa rentable, particularmente, en la lechería comercial (t`Mennetje, 2001).

4.4. El ensilaje de sorgo como una alternativa de alimentación para la ganadería tropical de doble propósito

El uso de ensilado es una alternativa viable para llevar a cabo una alimentación de calidad durante todo el año. Sin embargo el periodo de sequía es cada vez más

prolongado, y se requieren especies forrajeras más adaptadas a estas condiciones (Oliver *et al.*, 2005; Bolaños *et al.*, 2012).

Las gramíneas tropicales, cuya ruta fotosintética es C4, se caracterizan por poseer bajo contenido de carbohidratos solubles, con excepción del maíz y sorgo. Por ello, para asegurar un ensilado de buena calidad se recomienda utilizar maíz o sorgo, en lugar de pastos tropicales (Román *et al.*, 2009; t`Mannetje, 2001). El maíz (*Zea maíz* L.) es el recurso forrajero más utilizado en forma de ensilado (Oliver *et al.*, 2005); pero es un cultivo que exhibe inconvenientes durante períodos de estrés hídrico (Bolaños *et al.*, 2012). Comparado con el maíz, el sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) posee características que le ofrecen resistencia y lo hacen más tolerable a la sequía, por tanto es considerado como un cultivo alternativo para aprovecharlo en forma de ensilado en sustitución del maíz. El sorgo se puede sembrar tardíamente en diciembre-enero, ya que es más eficiente en el uso del agua, presenta un rendimiento alto en biomasa (Oliver *et al.*, 2004), incrementa la cobertura del suelo y tiene un menor requerimiento de nutrientes y pesticidas, en comparación con el maíz, además presenta buenos niveles de carbohidratos, capacidad tampón relativamente baja, contenido de materia seca superior al 20 % y una estructura física que favorece la compactación durante el llenado del silo, y representa menores costos de producción en comparación con el maíz (Ribeiro *et al.*, 2007).

En relación a la calidad, existen cultivares de sorgo que presentan el gen bmr (Brown-midrib, por sus siglas en inglés) o de nervadura café, los cuales son similares al valor nutricional del ensilado de maíz convencional, sosteniendo producciones de leche muy similares, esta característica deriva de la presencia de menor cantidad de lignina (Cuadro 1), en comparación con los sorgos que no presentan el rasgo bmr (Oliver *et al.*, 2004; Corral *et al.*, 2011).

Cuadro 1. Composición química de ensilados de maíz, sorgos convencionales y sorgos BMR.

	Sorgo convencional	BMR	MAIZ	Referencia
Rendimiento de forraje (t ha ⁻¹)	14.5	9.7	12.8	Oliver <i>et al.</i> , 2004
	16.3	13.7	---	Aydin <i>et al.</i> , 1999
	---	17.6	---	Corral <i>et al.</i> , 2011
MS %	30.6	32.9	34.4	Oliver <i>et al.</i> , 2004
	30.6	31.2	---	Aydin <i>et al.</i> , 1999
	---	24.75	---	Corral <i>et al.</i> , 2011
PC %	7.3	7.5	8.4	Oliver <i>et al.</i> , 2004
	6.8	7.3	---	Aydin <i>et al.</i> , 1999
	---	6.7	---	Corral <i>et al.</i> , 2011
FDA %	37.7	33.6	28.5	Oliver <i>et al.</i> , 2004
	34.7	36.5	---	Aydin <i>et al.</i> , 1999
	---	28.35	---	Corral <i>et al.</i> , 2011
FDN %	58.1	50.2	46.1	Oliver <i>et al.</i> , 2004
	51.7	50.4	---	Aydin <i>et al.</i> , 1999
	---	49.3	---	Corral <i>et al.</i> , 2011
LDA %	2.89	2.3	2.64	Oliver <i>et al.</i> , 2004
	9.5	7.5	---	Aydin <i>et al.</i> , 1999
	---	2.3	---	Corral <i>et al.</i> , 2011

BMR=Brown midrib, MS=materia seca, PC=proteína cruda, FDA=fibra detergente ácido, FDN=fibra detergente neutro, LDA=lignina detergente ácido.

Sin embargo, debido a la alta variabilidad de la calidad del sorgo sin el gen bmr (Lema *et al.*, 2000), pueden encontrarse plantas con calidad comparable a aquellas que contienen el gen (Bolaños *et al.*, 2012).

4.5. Ensilaje

El ensilaje es una técnica de conservación de forrajes que se logra por medio de una fermentación ácido láctica, bajo condiciones anaeróbicas. Las bacterias ácido lácticas fermentan los carbohidratos hidrosolubles produciendo ácido láctico y en menor

cantidad, ácido acético. Al generarse estos ácidos, el pH del forraje ensilado baja a un nivel que inhibe la presencia de microorganismos que inducen a la putrefacción (Oude *et al.*, 1999; Weinberg y Muck, 1996).

4.5.1. Proceso de ensilaje. El proceso de ensilaje se divide en cuatro etapas: corte o cosecha del forraje, picado, compactación y sellado hermético del silo (Ojeda, 1999).

Cosecha. Se realiza en fresco y cuando la planta ha almacenado la mayor cantidad de nutrientes y contiene una humedad de 65 a 75 % para una rápida fermentación.

Picado. Las partículas deben ser entre 2 a 5 cm para favorecer la compactación.

Compactación. El forraje picado se va acomodando en el silo en forma de capas de ~40 cm, las cuales se van apisonando. Este punto es clave en el proceso de ensilaje, puesto que con ello se logra excluir la mayor cantidad de aire presente.

Sellado hermético. Esta actividad se realiza una vez que se ha concluido con el llenado del silo y su finalidad es evitar la entrada de aire y agua que pudieran ocasionar el deterioro del ensilado (Urrutia y Meraz, 2004).

4.5.2. Procesos de fermentación en el ensilaje. Una vez que el forraje fresco ha sido picado, compactado y cubierto para excluir el aire, el proceso que sigue se divide en cuatro fases.

Fase 1. Fase aeróbica. Dura sólo pocas horas, el oxígeno atmosférico presente en la masa vegetal disminuye rápidamente debido a la respiración de las células vegetales y a los microorganismos aeróbicos y aeróbicos facultativos como las levaduras y las enterobacterias.

Fase 2. Fase de fermentación. Comienza al producirse un ambiente anaeróbico. Dura días o semanas, dependiendo de las características del material ensilado y de las condiciones en el momento del ensilaje. Si la fermentación se desarrolla con éxito, la actividad de las bacterias ácido lácticas proliferará y se convertirá en la población

predominante. A causa de la producción de ácido láctico y otros ácidos, el pH baja a valores entre 3.8 a 5.0.

Fase 3. Fase estable. Mientras se mantenga un ambiente anaeróbico, ocurren pocos cambios. La mayoría de los microorganismos producidos en la fase de fermentación lentamente reducen su presencia. Algunos microorganismos acidófilos sobreviven durante este período en estado inactivo; otros, como clostridios y bacilos, sobreviven como esporas. Sólo algunas proteasas y carbohidrasas, y microorganismos especializados, como *Lactobacillus buchneri* que toleran ambientes ácidos, continúan activos pero crecen a menor ritmo.

Fase 4. Fase de deterioro aeróbico. Comienza con la apertura del silo y la exposición del ensilado al aire y entrada de oxígeno. Esto es inevitable cuando se requiere extraer y utilizar el ensilaje, pero puede ocurrir antes de iniciar la apertura por daño de la cobertura del silo. El período de deterioro puede dividirse en dos etapas. La primera se debe al inicio de la degradación de los ácidos orgánicos que conservan el ensilado, por acción de levaduras y ocasionalmente por bacterias que producen ácido acético (CH_3COOH), Esto induce un aumento en el valor del pH, lo que permite el inicio de la segunda etapa de deterioro; la temperatura aumenta y, con ello, la actividad de microorganismos que deterioran el ensilado, como algunos bacilos, seguido de mohos y enterobacterias. El deterioro aeróbico ocurre en casi todos los ensilados al ser abiertos y expuestos al aire (Oude *et al.*, 1999; Weinberg y Muck, 1996).

4.6. Características de la planta de sorgo

El sorgo es una planta originaria de la India y uno de los principales cultivos de México. Se adapta bien en zonas áridas o semiáridas, soporta largos periodos de sequías y reanuda su crecimiento cuando vuelve a llover (Pérez *et al.*, 2010).

Pertenece a la familia de las gramíneas y su metabolismo, por ser una planta C4,

es similar al del maíz (Pérez *et al.*, 2010). Su sistema radical es denso y abundante, el cual le brinda una estructura de soporte muy desarrollada, permitiéndole ser eficiente en el aprovechamiento de nutrientes (Legarto, 2000; Bolaños *et al.*, 2012). El tallo, está formado de una serie de nudos y entrenudos, su longitud varía de 0.5 a 4 metros, su diámetro de 0.5 a 5 cm cerca de la base, volviéndose más angosto en el extremo superior; su consistencia es sólida con una corteza o tejido exterior duro y una médula suave (CENTA, 2007). Las hojas son alternas, aserradas, lanceoladas, anchas y ásperas en su margen con propiedad de formar quitina durante los períodos secos. La inflorescencia es una panoja que puede tener de 400 a 8,000 granos de color variado desde blanco traslúcido hasta un pardo rojizo muy oscuro, con gradaciones de rosado, rojo, amarillo, pardo y colores intermedios. Su semilla es esférica y oblonga, de aproximadamente 3 mm de tamaño. Una característica agronómica importante es su capacidad para rebrotar después de cortes sucesivos, con lo que se logra prolongar su vida productiva, siempre y cuando se haga un manejo adecuado y fertilización. Se cultiva desde 0 a 1500 msnm, pero la mejor altura para su cultivo está entre 0 y 800 m (Pérez *et al.*, 2010).

4.7. Factores involucrados en el cultivo y valor nutricional del forraje de sorgo

La calidad de los forrajes depende de diversos factores tales como especie forrajera, medio ambiente, estado de madurez a la cosecha y método de almacenamiento, así como otros factores como fertilidad del suelo, fertilización, temperatura durante el crecimiento del forraje y variedad (Ball *et al.*, 2001).

4.7.1. Medio ambiente. La humedad, temperatura y cantidad de horas luz, influyen en la calidad del forraje. Las lluvias pueden ser destructivas y ocasionar daño y disminución de la calidad de los forrajes al retrasar la cosecha por mal tiempo provocando la madurez. Las altas temperaturas tienen efecto importante en la

acumulación de lignina en la pared celular lo cual ocasiona un aumento en la fracción indigestible de la fibra (Cherney y Hall 2008). La lignina es indigestible para los microorganismos del rumen y sus altas concentraciones limitan la digestibilidad de los carbohidratos estructurales (Van Soest, 1994).

Los periodos largos de luz pueden aumentar la relación tallo-hoja lo que repercute también en una menor digestibilidad (Núñez y Cantú, 2000). Ball *et al.* (2001) mencionan que las plantas que crecen en climas cálidos generalmente producen forraje de menor calidad que los forrajes de clima templado.

4.7.2. Fertilidad y tipo de suelo. La fertilidad y tipo de suelo afecta más el rendimiento de forraje que a la calidad del mismo. Es posible producir forrajes de alta calidad en suelos pobres improductivos pero, generalmente, es difícil producir altos rendimientos de forraje de alta calidad en suelos improductivos (Cherney y Hall 2008).

La planta de sorgo se adapta fácilmente a suelos con baja fertilidad, moderadamente ácidos y altamente alcalinos, pero su rendimiento es mayor en suelos fértiles con pH de 6 a 6.5 y con buen drenaje (Dial, 2012). Ruiz *et al.* (1999) mencionaron que la planta de sorgo se desarrolla mejor en suelos con textura ligera, ya sea franco limoso o franco arcilloso, prefieren suelos de mediana profundidad debido a que la planta extrae el 100 % de agua de la primera capa de 1 a 2 m de profundidad.

4.7.3. Método y densidad de siembra. Para producción de forraje, el sorgo se pueden sembrar al voleo, o bien, en hileras o surcos. La siembra al voleo no requiere de equipo especializado pero la distribución y profundidad de la semilla son menos homogéneas, además se dificulta la aplicación de prácticas agroquímicos, lo que repercute en la cantidad y calidad de materia seca producida. Por el contrario, la siembra en hileras facilita el control de malezas y plagas y regula mejor la profundidad y distribución de la semilla. En siembra para ensilajes se recomienda una separación de

70 a 80 cm entre hileras. Las densidades de siembra recomendadas varían de 10 a 25 kg de semillas ha⁻¹ (Burboa y Cabanillas 2008), con un promedio de 16 kg ha⁻¹ (Palacios *et al.*, 2009).

La productividad y calidad del forraje de sorgo se puede mejorar mediante la manipulación de prácticas agronómicas como variar la distancia entre surcos y la densidad de siembra. Por ejemplo, sembrar en surcos estrechos con 20 cm de separación y densidad baja puede mejorar el rendimiento de materia seca por hectárea y el contenido de proteína, en comparación si se siembra en surcos con 75 cm de separación y densidad alta, ya que al existir mayor espaciamiento entre plantas al interior del surco, hay mayor penetración de luz y baja competencia por nutrientes, favoreciendo el desarrollo del área foliar y un aumento en la concentración de proteína presente en las hojas (Bolaños y Emile, 2013)

4.7.4. Fertilización. En las gramíneas la fertilización con nitrógeno (N) mejora substancialmente el rendimiento de forraje y también puede aumentar los niveles de proteína cruda (Ball *et al.*, 2001). Almodares *et al.* (2009) evaluaron el comportamiento productivo y composición química del forraje de sorgo para lo cual aplicaron cuatro dosis de fertilización 50,100, 150 y 200 kg de N ha⁻¹, los resultados muestran que a medida que se incrementa el aporte de N aumenta significativamente la producción de biomasa, con mayor diferencia con el aporte de 200 kg de N, en comparación con 50 kg, con valores de 64.8 y 55.5 t ha⁻¹ de forraje verde, respectivamente. Asimismo el contenido de proteína cruda se afectó con la aplicación de N, con valores de 8 y 4.3 % para la aplicación de 200 y 50 kg ha⁻¹, respectivamente. Por otro lado, se señala que conforme se incrementa la dosis de N los niveles de carbohidratos solubles disminuyen significativamente. La reducción de los niveles de carbohidratos solubles se debe a la síntesis o metabolismo de las proteínas para lo cual se utiliza principalmente la glucosa,

en consecuencia, se reduce la presencia de dicha sustancia (Van Soest, 1994).

Almodares *et al.* (2008) mencionan que la interacción nitrógeno-potasio aumenta el rendimiento de forraje de sorgo. Sin embargo, la fertilización con fósforo, potasio u otro nutriente que incremente el rendimiento pueden incluso reducir la calidad del forraje cuando el crecimiento es rápido. El exceso de algunos elementos, por ejemplo el potasio puede, en algunos casos, disminuir la disponibilidad de otros elementos como el magnesio en la dieta (Ball *et al.*, 2001).

4.7.5. Cultivar o genotipo. La calidad del forraje varía significativamente entre cultivares, lo cual se atribuye a diferencias en la anatomía, morfología y composición química (Reddy *et al.*, 2003). El sorgo como recurso forrajero es clasificado en tres diferentes grupos: los graníferos, los forrajeros y doble propósito. Estos cultivares varían en altura, producción de materia seca, y composición bromatológica, produciendo ensilados con valores nutritivos diferentes (Ribeiro *et al.*, 2007). El principal problema que presenta la utilización del sorgo como forraje es su menor digestibilidad, en comparación con el maíz, debido a su alto contenido de lignina, lo que afecta la producción animal (Marsalis *et al.*, 2009). Para resolver este problema se ha propuesto el uso de cultivares que presentan el gen bmr o de nervadura café, con el cual se reduce el contenido de lignina y se incrementa la digestibilidad del forraje (Marsalis *et al.*, 2009). Incluso se ha observado que estos cultivares pueden igualar el valor nutricional del ensilado de maíz convencional (Oliver *et al.*, 2004; Corral *et al.*, 2011).

Oliver *et al.* (2004) evaluaron dos cultivares de sorgo bmr, uno convencional y un cultivar de maíz. Reportaron que los sorgos bmr presentaron valores de digestibilidad de la materia seca de 62.9 y 69.1 %, superior al 52.5 % del ensilado de sorgo convencional y al 60.9 % del ensilado de maíz. En el Cuadro 1 se muestran los datos de rendimiento de forraje y composición química reportados en dicho estudio. Cabe

resaltar que los porcentajes de lignina reportados en los sorgos bmr y maíz son similares y menores al valor reportado para el sorgo convencional, lo cual explica las diferencias existentes en cuanto a los valores de digestibilidad.

Aydin *et al.* (1999) también reportan diferencias en composición química entre los ensilados de sorgo con y sin el gen de nervadura café y una menor concentración en el contenido de lignina (Cuadro 1).

4.7.6. Etapa de madurez al corte. La madurez a la cosecha es un factor fundamental que afecta la calidad del forraje, debido a que tiene implicación directa sobre el contenido de fibra y energía del cultivo al momento del corte. Conforme el cultivo forrajero se desarrolla, la composición química se modifica variando la calidad del forraje (Buxton y Fales, 1994). Con la edad del forraje, la digestibilidad y contenido de proteína disminuyen drásticamente, mientras que los contenidos de FDN y FDA se incrementan (Nelson y Moser, 1994). La madurez de la planta influye también en el consumo de forraje por parte del animal. Entre más madura es la planta, esta se vuelve más fibrosa y el consumo de forraje disminuye (Ball *et al.*, 2001).

Para obtener forraje de un valor nutritivo alto y asegurar un ensilado de sorgo de buena calidad, se recomienda cosechar el forraje cuando el grano se encuentra en estado lechoso-masoso o bien, cuando la planta tiene alrededor del 30 % de MS (Burboa y Cabanillas 2008; Ashbell y Weinberg 1999), ya que valores menores producen una gran cantidad de efluente, lo cual induce a una pérdida importante de nutrientes y facilita el desarrollo de clostridios (productores de ácido butírico), reduciendo la calidad del ensilado; mientras que en estados avanzados de madurez del grano se reduce el valor nutritivo del ensilado debido a que se aumentan las partes poco digestibles de la planta (Ashbell y Weinberg, 1999).

4.7.7. Método de cosecha y elaboración del ensilado. Durante la elaboración del ensilado se pueden producir pérdidas de algunos nutrientes. Si la cosecha y el ensilaje se realizan el mismo día, e incluso después de un periodo de premarchitamiento por 24 horas, las pérdidas no superan el 1 a 2 %. Sin embargo, si el premarchitamiento se prolongara por más días, se pueden presentar pérdidas hasta en 6 o 10 %. Una vez realizado el ensilaje, se pueden presentar pérdidas de nutrientes por los procesos bioquímicos tales como oxidación y fermentación, asimismo, se pueden perder nutrientes por lixiviación. Lo que ocasiona a una reducción en la calidad del ensilado (McDonald *et al.*, 2006).

Las pérdidas por oxidación se deben a la acción de enzimas de las plantas y microbianas sobre los azúcares, que en presencia de oxígeno dan lugar a CO₂ y H₂O. En los silos que se llenan rápidamente y se cierran, el oxígeno retenido entre los tejidos vegetales tienen poca importancia y determinan pérdidas cercanas al 1 %, mientras que la exposición constante de los forrajes al oxígeno, como ocurre en las partes laterales y parte superior de los silos, ocurre fermentación de productos incomedibles y pérdidas considerables (McDonald *et al.*, 2006).

La fermentación en el proceso de ensilaje da lugar a cambios bioquímicos notables, especialmente, en los carbohidratos solubles y proteínas. Las pérdidas totales de materia seca y energía después de la actividad de las bacterias ácido lácticas, son bajas; se consideran pérdidas de MS inferior al 5 %. En presencia de oxígeno, ocurre una fermentación aeróbica ocasionada por clostridios y enterobacterias, en esta situación las pérdidas son mayores, en comparación con la fermentación anaerobia por bacterias ácido lácticas (McDonald *et al.*, 2006).

Las pérdidas por lixiviación ocurren por el arrastre de nutrientes solubles disueltos en los líquidos. Las cantidades que se producen dependen, en mayor grado, al

contenido inicial de humedad del forraje, esta cantidad aumenta si el silo no se cubre adecuadamente y penetra el agua de lluvia. Los compuestos que se pierden por lixiviación son, principalmente, azúcares, sustancias nitrogenadas solubles, minerales y ácidos orgánicos, sustancias con un gran valor nutritivo. Las pérdidas pueden ser hasta de un 10 % en forrajes con 15 % de MS, y minimizarse en aquellos que se ensilan con un contenido de 30 % (McDonald *et al.*, 2006). No obstante, en la práctica, ocurren pérdidas de hasta un 10 % en todo el proceso de ensilaje, y puede considerarse como normal en los tipos de silo bunker, trinchera y rectangulares en plano y sin paredes.

4.8. Estructura y composición química de la célula vegetal

4.8.1. Pared celular. La célula vegetal se caracteriza por tener una pared que les da rigidez y estructura. La pared celular se divide, de afuera hacia dentro de la célula, en tres componentes: laminilla media, pared primaria y pared secundaria (Figura 1). La laminilla media es el espacio existente entre la pared de las células adjuntas (Maynard *et al.*, 1981). Los principales componentes de estas paredes son dos carbohidratos: la celulosa y la hemicelulosa (Jung y Allen, 1995). Entre ambos pueden formar un 40 a 80 % de la composición total del forraje.

La celulosa y hemicelulosa, pueden ser parcialmente digeridos por los rumiantes a través de enzimas que poseen los microorganismos que habitan en el rumen. De esta manera pueden transformar a la celulosa y hemicelulosa en fuentes de energía utilizables.

Otro componente estructural importante en plantas maduras y árboles es la lignina. Las hortalizas y cereales son bajos en este compuesto, los pastos son intermedios y las leguminosas son altas en lignina. La cantidad de lignina que está presente en las plantas afecta la biodisponibilidad de la celulosa y hemicelulosa para los microorganismos del rumen y de esta manera afecta el valor nutricional de los

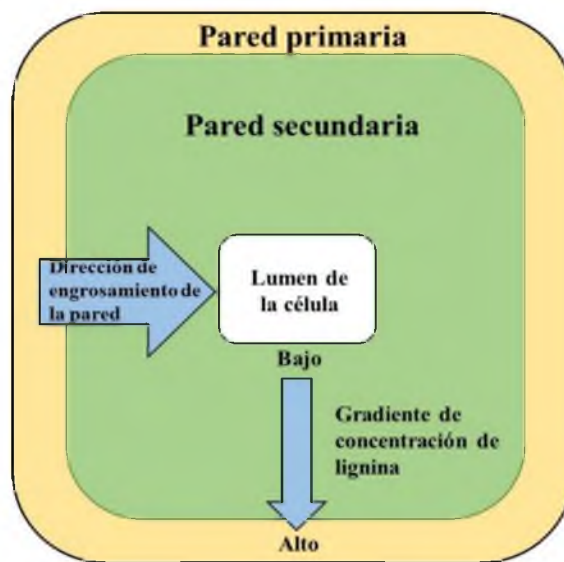


Figura 1. Célula vegetal y desarrollo de la pared celular.

forrajes destinados a los animales (Church *et al.*, 2002).

La lignina es un compuesto insoluble en detergente ácido y ácido sulfúrico al 72 % (Chamberlain y Wilkinson, 2002). Este componente es totalmente indigestible, aún para las bacterias del rumen y, a medida que la planta avanza en su madurez, comienza a depositar lignina entre ambas paredes, lo que les da resistencia y rigidez (Jung y Allen, 1995). De forma que las partes estructurales más maduras de la planta, por ejemplo los tallos, son menos digeridas, en comparación con las hojas y semillas (Chamberlain y Wilkinson, 2002). Como la lignina se entrelaza con la celulosa y hemicelulosa, un mayor contenido de la misma implica una menor digestibilidad de los otros dos componentes de la pared celular (Jung y Allen, 1995; Moore y Jung, 2001).

En resumen, los componentes de la pared celular son aprovechables como fuente de energía por las bacterias del rumen, produciendo ácidos grasos, principalmente ácido acético, el cual actúa como fuente energética para el animal y precursor de la grasa de la leche.

4.8.2. Contenido celular. El contenido de las células vegetales, el cual se localiza

en el lumen de la célula (Figura 1), consiste en azúcares, almidón, hidratos de carbono solubles, pectina, nitrógeno no proteico, proteína, lípidos y otros componentes diversos como minerales y vitaminas (Crampton y Harris, 1979). A diferencia de la digestibilidad de la pared celular, la cual es variable y, generalmente es baja, el contenido celular tiene una digestibilidad alta (98-99 %) (Maynard *et al.*, 1981).

4.8.3. Fibra. La fibra es un compuesto complejo formado principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. Estos compuestos pueden estar en diferentes proporciones según el tipo de alimento o planta y estado de madurez de ésta. Los animales rumiantes pueden utilizar la fibra con diferentes grados de eficiencia, debido a la flora bacteriana presente dentro del rumen. Un contenido alto de fibra en la dieta, disminuye la calidad nutritiva del alimento. Sin embargo, es necesario que los animales consuman un mínimo de fibra en la dieta para el correcto funcionamiento del rumen y se estimule el reflejo de rumia. La falta de fibra en la dieta causa problemas de acidosis con las consecuencias que ello implica: disminución del consumo, bajo porcentaje de grasa en la leche, problemas de patas por laminitis, etc. En cambio, exceso de fibra en la dieta, dará como resultado una baja densidad energética, bajas tasas de digestión y pasaje y menor consumo de alimento.

4.8.4. Fibra detergente neutro y fibra detergente ácido. La fibra cruda es un término descriptivo de poco valor, ya que no separa los carbohidratos en fracciones de mayor o menor digestibilidad (Maynard *et al.*, 1981). Van Soest y asociados idearon un método rápido para dividir los carbohidratos de los alimentos en fracciones, relacionadas con su disponibilidad nutricional. Por medio de este método se fraccionan los alimentos en componentes que son: a) muy disponibles, b) disponibilidad incompleta y c) frecuentemente no disponibles (Maynard *et al.*, 1981). Esta metodología permite separar claramente los componentes de la pared celular del resto y, de esta forma,

hacer una buena estimación del contenido energético real del alimento.

Dichas fracciones son llamadas fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA). La FDN abarca a todos los componentes de la pared celular, estos son: celulosa, hemicelulosa, lignina, nitrógeno lignificado, pectina. Esta fracción se obtiene al hervir la muestra con un detergente neutro (sulfato lauril sódico en un pH neutro), ya que se solubiliza el contenido de la célula y la pectina, dejando dicho residuo. Por ebullición posterior, con un detergente ácido (bromuro de cetil trimetil amonio en pH ácido), se hidroliza la hemicelulosa dejando la celulosa y lignina como fibra detergente ácido (FDA), es decir, es lo que queda después de una digestión de la FDN (Van Soest *et al.*, 1991). Posteriormente, la FDA puede ser digerida con ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 72 % para disolver la celulosa, siendo la lignina el compuesto remanente (Goering y Van Soest, 1970).

La determinación de la FDA regularmente es el paso previo para determinar el contenido de lignina y celulosa de los forrajes, ya sean secos o húmedos, ya que la diferencia entre la FDN y FDA puede considerarse como la cantidad de hemicelulosa que posee la muestra ($FDN - FDA = \text{hemicelulosa}$) y, la diferencia entre la FDA y la lignina da como resultado en el contenido de celulosa ($FDA - \text{lignina} = \text{celulosa}$).

La FDN y FDA aumentan a medida que la planta madura, y ambas tienen una correlación negativa con el consumo, la digestibilidad y contenido energético del forraje. Sin embargo, estas fracciones son necesarias en cierta cantidad en la dieta, por lo que una ración con niveles de materia seca de 19 % de FDA y 28 % de FDN proveerá el buen funcionamiento del rumen y rumia adecuada de los alimentos (NRC, 2001)

4.8.5. Proteína cruda. Las proteínas son sustancias formadas por aminoácidos y, éstos a su vez son compuestos que contienen nitrógeno. Dentro de la composición química de una proteína, aproximadamente el 16 % es nitrógeno, este porcentaje se

utiliza para estimar el contenido de proteína de un alimento. Se puede determinar primero su contenido en nitrógeno y posteriormente multiplicar la cantidad de nitrógeno obtenido por el factor 6.25 (100/16), con ello, se obtiene la cantidad de proteína cruda del producto (Maynard *et al.*, 1981).

El contenido en proteína de los alimentos se calcula a partir del contenido en nitrógeno, mediante la técnica de Kjeldahl modificada. Este es un método indirecto, realmente lo que se determina es la cantidad de nitrógeno presente en la muestra de alimento en forma de amonio (NH_4^+), sin diferenciar si proviene de proteínas o de otra fuente proteica (nitrógeno no proteico, NNP). El cálculo se basa en dos supuestos: primero, que todo el nitrógeno de los alimentos se encuentra en las proteínas, y segundo, que todas las proteínas contienen 160 g de nitrógeno por kilogramo. Por consecuencia, el contenido de nitrógeno de los alimentos se expresa en proteína cruda o proteína bruta. Aunque ambos supuestos son erróneos, el empleo de un factor de conversión medio de 6.25 para todas las proteínas de los alimentos, está justificado en la práctica, ya que las necesidades proteicas de los animales domésticos, expresadas en $\text{N} \times 6.25$, son necesidades de nitrógeno y no proteína como tal (McDonald *et al.*, 2006).

Es importante señalar que las proteínas son la materia prima para la síntesis de carne y leche y la falta de la misma puede ser una limitante de producción.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Descripción del área de estudio

El experimento se realizó en el municipio Loma Bonita, Oaxaca. México, ubicado entre las coordenadas 17° 45' y 18° 10' LN; 95° 48' y 96° 00' LO y altitud entre 0 y 200 msnm. El clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (81.7 %) y cálido subhúmedo con lluvias en verano (18.3 %) (García, 2004). El rango de temperatura es de 24 a 28 °C y la precipitación pluvial de 1500 a 2500 mm. Los suelos dominantes son de tipo luvisol (51.4 %), cambisol (23.9 %) y vertisol (12.5 %) (INEGI, 2015).

5.2. Desarrollo del experimento

5.2.1. Establecimiento de los cultivos. Del 3 al 14 de diciembre de 2012, bajo condiciones de temporal, los híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) para grano DK-67 (Dekalb®), Níquel (Asgrow®), RB-Norteño (Inifap), RB-Huasteco (Inifap), el híbrido forrajero con la característica de nervadura café Silo Miel 350 (Genex®) y un híbrido de maíz elotero A7573 (Asgrow®), se sembraron de manera aleatoria en tres sitios del municipio de Loma Bonita: Universidad del Papaloapan (UNPA, sitio 1) y El Paso de las Yeguas (sitios 2 y 3). La ubicación geográfica para cada sitio es: 18° 05' 57.7" LN, 95° 53' 48.9" LO; 18° 08' 48.4" LN, 95° 53' 43.4" LO y 18° 08' 43.4" LN, 95° 53' 57.7" LO, respectivamente, a una altura sobre el nivel de mar de 36, 13 y 12 m, respectivamente. El análisis y descripción de los suelos presentes en cada sitio se muestran en la Cuadro 2.

Después de realizar un chapeo y paso de rastra, en cada sitio se sembraron 8 surcos de cada híbrido. La longitud de los surcos fue de 20 m, con separación de 0.75 m (120 m²), a una densidad de siembra de 20 kg de semilla por hectárea, con sembradora tradicional cero labranza.

La fertilización se realizó manualmente aplicando 400 kg ha⁻¹ de una mezcla de

Cuadro 2. Características físicas y químicas de los suelos en los sitios donde se establecieron los cultivos (Elaboró: INIFAP, CE-COTAXTLA).

Sitio	NI (ppm)	Fósforo (ppm)	MO (%)	CC (%)	PMP (%)	pH H ₂ O (1:20)	Textura
UNPA (sitio 1)	8	52	1.03	28.92	15.71	3.68	Arena migajosa
"Paso yeguas" (sitio 2)	51	5.8	4.14	56.48	30.69	4.62	Migajón arcillo arenoso
"Paso yeguas" (sitio 3)	51	11	6.34	59.91	32.55	4.45	Migajón Arenoso

NI=nitrógeno inorgánico; MO=materia orgánica; CC=capacidad de campo; PMP=punto de marchitez permanente.

Profundidad de muestreo: 0-30 cm.

urea (46-00-00) (60 %) y fosfato diamonico (DAP 18-46-00) (40 %), dividida en dos aplicaciones: a los 15 y 50 días posteriores a la fecha de siembra. Se realizó deshierbe manual, dos aplicaciones de fertilizante foliar Bayfolan® e insecticida Foley rey®.

5.2.2. Cosecha y elaboración de los ensilajes. Los sorgos se cosecharon manualmente cuando el grano alcanzó el estado lechoso-masoso (86±5 días post-siembra) y el maíz, cuando el grano alcanzó la media línea de leche (90±3 días). El muestreo se hizo de los cuatro surcos centrales de cada parcela. En cada surco, se contó, se cortó y se pesó el número de plantas que había en 2.5 m lineales. Con esta información se calculó la densidad promedio de plantas, rendimiento de forraje verde y materia seca por hectárea.

El material cosechado por parcela, se picó con una picadora estacionaria a gasolina con motor de 5.5 HP (Horse Power). Del material picado se tomó una muestra de forraje verde, de ~1 kg y se congeló a -16 °C para su posterior análisis en el laboratorio químico-biológico de la Universidad del Papaloapan. Con el resto del forraje picado se llenaron manualmente tres minisilos con capacidad de ~3 kg de forraje verde, haciendo un total de nueve minisilos por híbrido, los cuales se pesaron y posteriormente se transportaron al laboratorio de la Universidad. Los minisilos se fabricaron de PVC

con medidas de 15.7" de alto por 4" de diámetro, con drenaje inferior para líquido y salida superior para gases. Después de 55 días, los minisilos se abrieron e inmediatamente se les midió el pH y se tomó una muestra de 1.0 kg de ensilado, la cual se congeló a -16 °C para su posterior análisis químico.

5.3. Análisis químico de las muestras

Las muestras de forraje, en forraje verde y ensilado, se descongelaron a temperatura ambiente y se secaron por triplicado en una estufa de aire forzado a 60 °C por 48 horas para obtener la materia seca parcial, después del secado fueron molidas a 1 mm en un molino Wiley (Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, PA). Con la muestra molida se determinó el porcentaje de materia seca absoluta a 105 °C por 12 horas, cenizas y materia orgánica a 550 °C por 2 horas en una mufla y, proteína cruda (N x 6.25) (AOAC, 1995). El contenido de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991) y lignina detergente ácido (LDA) (Goering y Van Soest, 1970), se determinaron secuencialmente en el analizador de fibras ANKOM 200 (ANKOM Tech. Corp., Fairport, NY, USA). Para ello se utilizaron bolsas filtro F57 con un tamaño de poro de 25 µm, usando los procedimientos que recomienda la compañía ANKOM Technology.

El pH de los ensilados se midió por triplicado, mezclando en un vaso de licuadora 25 gr de muestra de ensilado y 250 ml de agua destilada, la muestra fue licuada por 30 segundos a máxima velocidad. Posteriormente, la solución fue filtrada a través de dos capas de tela quesera, se dejó reposar por cinco minutos y se hizo la medición utilizando un potenciómetro marca HANNA, modelo pH 209 (Instruments Inc. USA).

5.4. Variables evaluadas

5.4.1. Producción de forraje. El rendimiento de forraje verde por hectárea (MV ha⁻¹) se calculó a partir del peso de las plantas cosechadas en 1.88 m² (2.5 x 0.75)

empleando cuatro repeticiones y extrapolado a una hectárea. El rendimiento de materia seca por hectárea (MS ha⁻¹) se obtuvo a partir de multiplicar la MV ha⁻¹ por su correspondiente porcentaje de materia seca parcial.

5.4.2. Proteína cruda. El contenido de proteína cruda (PC) se determinó mediante el método Kjeldahl, el cual es un método indirecto en el que se determina la cantidad de nitrógeno presente en la muestra. El contenido de nitrógeno presente en la muestra se multiplicó por el factor 6.25 para obtener la cantidad de proteína cruda (AOAC, 1995).

5.4.3. Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA). El contenido de FDN y FDA se determinaron con la metodología propuesta por Van Soest *et al.* (1991). La FDN se determinó utilizando sulfito de sodio (Na₂SO₃) y α -amilasa para remover el nitrógeno y el almidón de la muestra, respectivamente.

5.4.4. Lignina detergente ácido (LDA). La LDA fue determinada mediante la hidrólisis con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 72 % del residuo de FDA, empleando la metodología propuesta por Goering y Van Soest (1970).

5.4.5. Energía neta de lactancia (ENL) y total de nutrientes digestibles (TND). La ENL y el TND se calcularon mediante ecuaciones de predicción. La ENL se estimó mediante la ecuación siguiente: ENL (Mcal/lb) = 0.7936 - (0.00344 x FDA, % MS) y ajustada a Mcal/kg de MS, mientras que para el TND se utilizó la fórmula: %TND = 4.898 + (89.796 x ENL) (Undersander *et al.*, 1993).

El rendimiento de TND y PC por hectárea se calcularon en cada tratamiento, para ello, se multiplicó el rendimiento de MS ha⁻¹ por el contenido porcentual de TND o PC presente en los ensilados.

5.4.6. Variables de clima. Las variables de clima como temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial, se obtuvieron de la estación meteorológica Militar No. 29,

localizada a 18° 01' LN y 95° 51' LO a 26 msnm, y a 7 km de la cabecera municipal de Loma Bonita, Oaxaca.

5.5. Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el procedimiento MIXED del SAS con base en un diseño en bloques completos al azar, considerando al factor sitio y la interacción sitio x especie como aleatorios y al factor variedad o híbrido como fijo. La comparación de medias se efectuó por la diferencia mínima significativa (DMS, $\alpha \leq 0.05$).

El modelo estadístico empleado fue el siguiente: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$, donde Y_{ij} = efecto del híbrido i y bloque (sitio) j , μ = media general, τ_i = efecto del híbrido de sorgo o maíz i , β_j = efecto del bloque (sitio) j , ϵ_{ij} = error aleatorio atribuido a la medición.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Variables de clima y suelo

Las temperaturas media, mínima y máxima ocurridas durante el periodo de desarrollo de los cultivos, que comprendió de 01 de diciembre del 2012 al 16 de marzo del 2013, fueron 23.2 ± 2 °C, 18.4 ± 2 °C y 28.3 ± 4 °C. La precipitación pluvial acumulada fue de 103.5 mm (Figura 2), mientras que la humedad relativa promedio en el mismo periodo fue de 84.1 ± 3 %. La temperatura no mostró variación importante a través del periodo de evaluación. Se ha sugerido que 32 °C es la temperatura óptima para el buen desarrollo de la planta de sorgo, las temperaturas de 21 °C resulta ideal para la emergencia y crecimiento, mientras que 27 °C es ideal para el periodo reproductivo (Gerik *et al.*, 2003; Pérez *et al.*, 2010).

La precipitación pluvial total registrada durante el periodo de estudio fue de 103.5 mm, y fue baja en diciembre (18.4 %) y enero (14.5 %), incrementó en febrero (47.2 %) y volvió a declinar en marzo (19.8 %) (Figura 2). Se ha sugerido que con 300 mm de agua, ya sea por riego o lluvia, se pueden obtener buenos resultados en producción (Ashbell y Weinberg, 1999; Bean *et al.*, 2006). En el presente estudio ocurrió una precipitación inferior a los 300 mm, por tanto, el rendimiento de forraje puede estar afectado negativamente por la precipitación. El sorgo es una especie que no demanda alta cantidad de agua, ya que requiere 30 a 40 % menos agua que el maíz (Bean *et al.*, 2006). Sin embargo, existen dos periodos críticos en que el cultivo exige humedad en el suelo, el primero está entre los 20 a 25 días post-germinación y el segundo en la etapa de floración (Ribeiro *et al.*, 2007). En este estudio la mayor precipitación ocurrió en el mes de febrero, cuando los cultivos de sorgo entraron en la etapa de floración (62 ± 3 días post-siembra), en consecuencia, ocurrió un buen desarrollo de la panoja y llenado del grano en todos los sorgos híbridos y cultivares evaluados. En cambio, el maíz

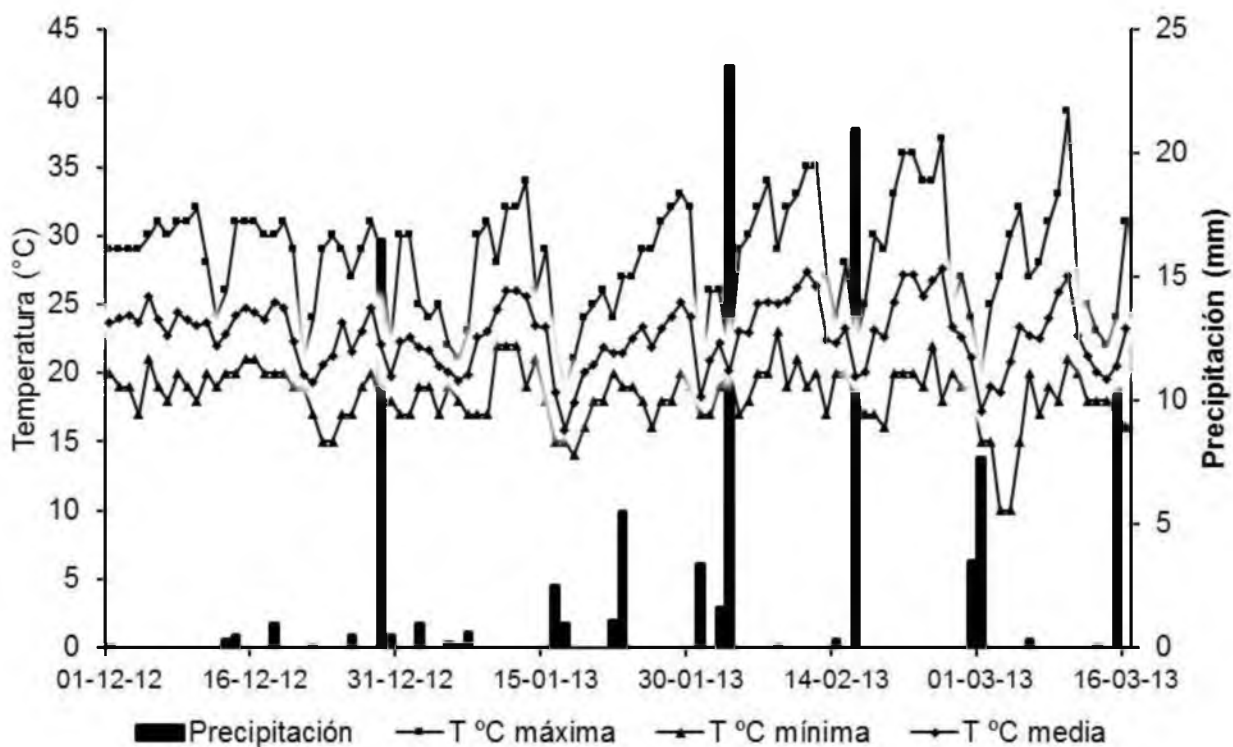


Figura 2. Precipitación y temperatura (T °C) ocurridos durante el periodo de desarrollo de los cultivos.

híbrido A7573, presentó elotes pequeños con granos pequeños, probablemente debido al déficit hídrico, ya que es una especie que demanda mayor cantidad de agua para su óptimo desarrollo

6.2. Producción de forraje

El contenido porcentual de MS fue mayor en los sorgos para grano y fueron estadísticamente iguales al maíz ($P>0.05$). El sorgo Silo Miel presentó el menor contenido de MS, similar ($P>0.05$) al obtenido con el sorgo RB-Huasteco y al maíz A7573, con promedios de 24.8, 26.7 y 26.7 %, respectivamente (Cuadro 3). En producción de materia seca por hectárea, en forraje verde y ensilado, se observaron diferencias entre los sorgos para grano, el Silo Miel y maíz ($P<0.05$). Los sorgos para grano presentaron una tendencia a una mayor producción de MS en comparación con el sorgo Silo Miel. Los sorgos DK-67 y Niquel presentaron los valores más altos de MS,

Cuadro 3. Contenido de materia seca (MS) y producción de MS en forraje verde y ensilado de sorgos para grano y de nervadura café establecidos en condiciones de temporal en Loma Bonita, Oaxaca.

Cultivar	MS al corte (%)	Producción de MS (ton ha ⁻¹)	
		Forraje verde	Ensilado
DK-67	27.7 ± 0.4 ^a	11.5 ± 2.6 ^a	10.6 ± 2.4 ^a
Níquel	27.5 ± 0.4 ^a	11.3 ± 3.5 ^a	10.5 ± 3.4 ^a
RB-Huasteco	26.7 ± 2.0 ^{ab}	7.3 ± 3.4 ^c	6.8 ± 2.8 ^b
RB-Norteño	27.7 ± 0.3 ^a	7.8 ± 2.1 ^{bc}	7.2 ± 2.1 ^b
Silo Miel	24.8 ± 2.4 ^b	7.2 ± 3.8 ^c	7.1 ± 3.9 ^b
Maíz A7573	26.7 ± 1.5 ^{ab}	10.6 ± 2.5 ^{ab}	10.0 ± 2.5 ^a

a, b, c, d. medias entre filas sin letra en común son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

mientras que el valor más bajo se obtuvo con el sorgo Silo Miel con una media de 7.2 ton MS ha⁻¹. Por su parte, el híbrido de maíz produjo 10.6 y 10.0 ton MS ha⁻¹ de forraje verde y ensilado, respectivamente (Cuadro 3).

Los resultados obtenidos en el presente estudio son similares a lo descrito por Ribeiro *et al.* (2007), quienes reportan rendimientos de 11.5 ton MS ha⁻¹ en sorgos convencionales. Por otro lado, los resultados son inferiores a los reportados por Oliver *et al.* (2004), quienes al evaluar un sorgo convencional, dos de nervadura café y un maíz híbrido obtuvieron rendimientos de 14.6, 9.7, 13.5 y 12.8 ton MS ha⁻¹, respectivamente. Cabe mencionar que en el estudio de Oliver *et al.* la cosecha de los sorgos se realizó en estado de grano masoso y el maíz a 2/3 de línea de leche, con 32.5 % y 34.4 % de MS, respectivamente, mientras que en el presente estudio la cosecha de los sorgos se realizó en estado de grano lechoso-masoso y el maíz cuando se alcanzó 1/2 línea de leche, con 24.8 a 27.7 % de MS para los sorgos y 26.7 % en maíz; esta situación pudo ser la principal causa del menor rendimiento de MS observados en el presente estudio.

Las pérdidas de MS durante el proceso de ensilaje fueron mínimas, entre 6 y 8 % (Cuadro 3). Normalmente, en un silo bien elaborado, se presentan pérdidas de 5 a 10

%, pérdidas mayores al 10 % se deben, principalmente, a un mal proceso de ensilaje y elaboración del silo.

De acuerdo con González *et al.* (2005) los rendimientos de MS de forraje de sorgo en el trópico son variables, y van desde las 9 a 20 ton MS ha⁻¹, y dichas diferencias dependen de diversos factores tales como la variedad, híbrido, humedad del suelo, nivel de fertilización y estado de madurez en la cual la planta es cosechada.

El menor rendimiento de forraje observado en el sorgo de nervadura café Silo Miel, en comparación con los sorgos para grano, puede deberse a que el primero presentó menor contenido de materia seca a la cosecha (Cuadro 3). Marsalis (2011) menciona que el rasgo bmr o nervadura café presente en los sorgos pueden ser el causante del menor rendimientos de materia seca, en comparación con los sorgos convencionales (sin el rasgo bmr).

6.3. Composición química y valor nutritivo en los ensilados

6.3.1. pH de los ensilados. El pH fue estadísticamente igual en los forrajes ensilados ($P > 0.05$) con un promedio de 3.6 (Cuadro 4). Este valor es ligeramente menor al 4.0 reportado por Oliver *et al.* (2004) y Aydin *et al.* (1999). Por su parte, Ashbell y Weinberg (1999) reportan que el pH del ensilado de sorgo cosechado entre las etapas de grano lechoso y masoso osciló entre 3.7 y 3.9, respectivamente. El pH en ensilajes debe bajar a un nivel que inhiba el desarrollo de microorganismos que inducen a la putrefacción siendo el ácido láctico el mayor responsable de este descenso de pH. Para que ocurra una fermentación adecuada, el forraje a ensilar debe presentar niveles altos de carbohidratos solubles, los cuales son el principal sustrato para la producción del ácido láctico por parte de bacterias especializadas (Oude *et al.*, 1999). Por ello, los datos reportados en el presente estudio son el resultado de una buena fermentación ocasionada por los niveles altos de carbohidratos solubles presentes al momento de la

Cuadro 4. Composición química de forraje verde y ensilados de sorgos para grano y nervadura café establecidos en condiciones de temporal en Loma Bonita, Oaxaca.

Cultivar	Forraje verde				pH	Ensilado			
	PC	FDN	FDA	LDA		PC	FDN	FDA	LDA
DK-67	8.5 ± 1.5 ^b	53.9 ± 7.1 ^{ab}	30.0 ± 4.1 ^{ab}	2.7 ± 0.3 ^{bc}	3.7	8.4 ± 0.8 ^b	56.2 ± 4.4 ^a	33.5 ± 3.1 ^a	2.9 ± 0.2 ^a
Niquel	10.3 ± 1.0 ^a	54.7 ± 4.1 ^{ab}	29.7 ± 2.6 ^{ab}	3.1 ± 0.4 ^{ab}	3.6	10.1 ± 1.1 ^a	55.5 ± 2.5 ^a	33.4 ± 2.8 ^a	3.1 ± 0.3 ^a
RB-Huasteco	11.2 ± 1.8 ^a	56.9 ± 4.1 ^a	30.5 ± 0.4 ^a	3.3 ± 0.2 ^a	3.6	10.5 ± 0.9 ^a	54.9 ± 2.7 ^a	32.3 ± 2.1 ^a	3.1 ± 0.3 ^a
RB-Norteño	10.6 ± 1.2 ^a	53.9 ± 2.1 ^{ab}	30.0 ± 0.8 ^{ab}	3.0 ± 0.1 ^{ab}	3.6	11.2 ± 1.1 ^a	54.7 ± 1.9 ^a	32.1 ± 1.7 ^a	2.9 ± 0.2 ^a
Silo Miel 350	10.5 ± 1.5 ^a	48.6 ± 1.5 ^b	27.1 ± 0.6 ^b	2.5 ± 0.3 ^{cd}	3.6	10.6 ± 1.1 ^a	45.7 ± 4.3 ^b	26.3 ± 2.2 ^b	2.2 ± 0.1 ^b
Maíz A7573	8.5 ± 2.0 ^b	53.7 ± 2.2 ^{ab}	26.9 ± 0.6 ^b	2.2 ± 0.3 ^d	3.6	8.5 ± 0.9 ^b	51.4 ± 3.0 ^a	28.7 ± 1.6 ^b	1.9 ± 0.3 ^b

a,b,c,d. Medias entre líneas sin letra en común son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

PC=proteína cruda, FDN=fibra detergente neutro, FDA=fibra detergente ácido, LDA=lignina detergente ácido, pH=potencial de hidrógeno.

cosecha contenidos, principalmente, en granos. Aunque el sorgo DK-67 resultó ligeramente superior con un promedio de 3.7, en comparación con el resto de los materiales, dicho valor se encuentra dentro de lo esperado y su ligera variación puede ser explicada por el menor contenido de grano debido a que presentó mayor ataque de pájaros previo a la cosecha.

6.3.2. Proteína cruda. El contenido de proteína cruda (PC) fue diferente entre los sorgos Níquel, RB-Norteño, RB-Huasteco y Silo Miel respecto al sorgo DK-67 y el maíz A7573 ($P < 0.05$). Los primeros sorgos presentaron los valores de PC más altos con un promedio de 10.6 %; mientras que el sorgo DK-67 y maíz tuvieron un contenido 8.4 y 8.5 %, respectivamente (Cuadro 4). Estos valores son superiores en comparación al 6.8 % descrito por Aydin *et al.* (1999) y al 7.3 % de Oliver *et al.* (2004), en ensilados de sorgo cosechados a 30 % de MS, superior a los porcentajes de MS reportados en este estudio. Lo anterior sugiere que al aumentar la MS en el forraje, la PC disminuye. Al respecto, Bolsen (2002), quien reporta valores de 8.8 a 10.9 % en ensilados de sorgo para grano y forrajeros, hace alusión que la calidad el forraje disminuye conforme avanza el estado de madurez de la planta, y a medida que incrementa el contenido de MS disminuye el contenido de PC presente en el forraje de sorgo. En el NRC (2001) y FEDNA (2004), se reportan valores de 9.1 y 9.87 % de PC cuando los sorgos son cosechados con 28.8 y 27.5 % de MS, respectivamente. Asimismo, Bolaños y Emile (2013) reportan 9.76 % de PC en el forraje de una variedad de sorgo para grano.

En general, los niveles de PC observados en los ensilajes de sorgo son superiores al 6.8 a 7.5 % reportados en México, en la misma etapa de madurez, no obstante, coincide con estudios realizados en otros países, donde se reportan valores mayores al 10 %. En el presente estudio el mayor contenido de PC puede ser explicado por el mayor contenido de nitrógeno absorbido por estas plantas cuya deposición en hojas y

tallos incrementó el contenido de PC en la planta entera. Por su parte, una menor presencia de grano a la cosecha en el sorgo DK-67, con respecto a los otros sorgos, pudo haber influido en el menor contenido de PC presente en el forraje verde y ensilado del mismo.

6.3.3. Fibra detergente neutro. No se encontraron diferencias en el contenido de fibra detergente neutro (FDN) en los ensilados de sorgo para grano y maíz ($P>0.05$). Sin embargo, el efecto fue significativo entre los sorgos para grano y el sorgo bmr, el cual presentó un valor de 45.7 %, menor cantidad que el promedio de 55.3 % encontrado en los ensilados de sorgos para grano (Cuadro 4).

El promedio de FDN de los ensilados de sorgo para grano resulta superior al valor de 51.7 %, reportado por Aydin *et al.* (1999) e inferior a 58.1 % reportado por Oliver *et al.* (2004). Asimismo, el NRC (2001) y FEDNA (2004) muestran datos de 60.7 % y 56.9 % respectivamente.

En el presente estudio, el contenido de FDN presente en el ensilado de sorgo Silo Miel (45.7 %), fue similar a lo reportado por Oliver *et al.* (2005), quienes al evaluar sorgos con mutación bmr-6 y bmr-12 encontraron valores de 44.9 y 46.3 %, respectivamente. Sin embargo, fue menor al 50.4 % reportado por Aydin *et al.* (1999) y al 49.2 % encontrado por Oliver *et al.* (2004). Por otro lado, Corral *et al.* (2011) al evaluar el mismo sorgo Silo Miel reportaron un contenido de FDN de 50.5 %, valor que es superior al encontrado en el presente estudio.

En el caso del maíz el resultado obtenido es superior por diez puntos porcentuales en comparación con el resultado de Aydin *et al.* (1999) y por cinco puntos comparado con el resultado de Oliver *et al.* (2004).

Las variaciones en el contenido de FDN en los forrajes puede deberse a las diferencias en la composición morfológica de la planta como lo menciona Corral *et al.*

(2010) en un estudio realizado con maíces. Los autores mencionan que al haber una menor proporción de tallos, los niveles de FDN en la planta son menores. Esto pudo haber sido la causa de las diferencias encontradas entre el maíz y los sorgos. Por otro lado, la diferencia encontrada entre los sorgos para grano y sorgo de nervadura café puede ser el resultado de la mutación *bmr* como se menciona en la literatura.

6.3.4. Fibra detergente ácido. El contenido de fibra detergente ácido (FDA) fue similar entre los ensilados de sorgo para grano ($P>0.05$) con promedio de 32.8 %, valor que es menor en dos y cinco puntos porcentuales a lo reportado por Aydin *et al.* (1999) y Oliver *et al.* (2004), cuando el forraje fue cosechado con un contenido de MS mayor al 30 %, razón que explicaría esta diferencia. Así mismo, en las tablas FEDNA (2004) se reporta un contenido de 33.9 % de FDA, parecido al observado en este estudio en los ensilados de sorgo para grano.

Los niveles de FDA encontrados en los ensilados de sorgo Silo Miel y maíz fueron similares entre sí, pero menores y a los valores encontrados en los ensilados de sorgo para grano. En el presente estudio el resultado obtenido en el sorgo Silo Miel es similar al 26.2 y 26.8 % reportado por Oliver *et al.* (2005) para los sorgos *bmr-6* y *bmr-12*, respectivamente. Mientras que Corral *et al.* (2011) reportaron 29.4 % de FDA para esta misma variedad de sorgo. Respecto al ensilado de maíz, el contenido de FDA fue similar al valores reportados por Oliver *et al.* (2004), FEDNA 2004 y Aydin *et al.* (1999).

6.3.5. Lignina detergente ácido. El contenido de lignina detergente ácido (LDA) fue similar en los ensilados de sorgo para grano ($P>0.05$) donde se obtuvo un promedio de 3.0 %, valor que fue diferente y superior a los observados en los ensilados de sorgo Silo Miel y maíz ($P<0.05$), con valores de 2.2 y 1.9 %, respectivamente.

Los resultados obtenidos con los sorgos para grano son similares al 2.89 % reportado por Oliver *et al.* (2004), pero están 3.5 y 2.7 puntos porcentuales por de bajo

de lo reportado por NRC (2001) y FEDNA (2004), respectivamente.

En el caso del sorgo Silo Miel el contenido de LDA es similar a lo reportado por Corral *et al.* (2011), quienes evaluaron el mismo sorgo y encontraron un contenido de lignina de 2.5 %, con un valor de 24.5 % de MS presente en el forraje a la cosecha, similar a lo observado en el presente estudio.

6.3.6. Energía neta de lactancia. Los animales necesitan de la energía contenida en los alimentos para su desarrollo y producción, así como para realizar trabajo. Esta energía química contenida en los nutrientes que el animal consume, se convierte en energía mecánica o calórica, o bien, se convierte de una forma de energía a otra, como síntesis de grasa corporal o leche a partir de carbohidratos. Por tanto, el aporte de energía es de gran importancia cuando se determina el valor nutritivo de los alimentos. La energía aportada por los alimentos después de que cubra los requerimientos para mantenimiento, se utiliza para la producción de leche, carne, huevo, lana, etc. (McDonald *et al.*, 2006).

La energía neta utilizada para el mantenimiento del animal es llamada energía neta de mantenimiento. El resto de la energía que no es usada para mantenimiento, se usa para producción, ya sea como energía neta para la ganancia de peso, o bien, para producción de leche, energía neta de lactancia (ENL). Por tanto, el valor nutricional de un alimento está dado por la cantidad de energía neta que contiene y por el grado de aprovechamiento de esa energía por parte del animal.

En el presente estudio los resultados encontrados muestran que el ensilado de sorgo Silo Miel es el que presentó el valor más alto de ENL, mientras que el maíz y los demás sorgos fueron similares entre sí ($P > 0.05$) (Cuadro 5). NRC (2001) reporta un valor de ENL 1.11 Mcal kg⁻¹ en ensilado de sorgo para grano y 1.07 Mcal kg⁻¹ sorgo sudan, mientras que para ensilado de maíz con 32 a 38 % de MS, la energía es de 1.45

Cuadro 5. Contenido de ENL, TND y rendimiento de TND y PC por hectárea de ensilados de sorgos para grano y de nervadura café establecidos en condiciones de temporal en Loma Bonita, Oaxaca.

Cultivar	ENL (Mcal kg ⁻¹)	TND (%)	TND (ton ha ⁻¹)	PC (kg ha ⁻¹)
DK-67	1.49 ^b	65.8 ^b	6.9 ^b	880 ^b
Níquel	1.49 ^b	65.8 ^b	6.9 ^b	1052 ^a
RB-Huasteco	1.50 ^b	66.2 ^b	6.9 ^b	1094 ^a
RB-Norteño	1.50 ^b	66.2 ^b	6.9 ^b	1166 ^a
Silo Miel 350	1.55 ^a	68.1 ^a	7.1 ^a	1106 ^a
Maíz A7573	1.51 ^b	68.0 ^a	7.1 ^a	891 ^b

a, b. medias entre líneas sin letra en común son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

ENL=energía neta de lactancia, TND=total de nutrientes digestibles, PC=proteína cruda.

Mcal kg⁻¹. Las tablas FEDNA (2004) reportan 1.35 Mcal kg⁻¹ para el ensilado de sorgo con 25 a 30 % de MS. Marsalis *et al.* (2009) reportaron 1.30 Mcal kg⁻¹ en sorgo convencional y 1.28 Mcal kg⁻¹ en sorgos bmr cosechados con 35 % de MS. En el norte de México Núñez *et al.* (1999) reportaron un contenido de hasta 1.47 Mcal kg⁻¹ para el sorgo Silo Miel, valor cercano al 1.55 observado en el presente estudio para el mismo material. Diversos factores pueden ser la causa de tales diferencias, dentro de la cuales se pueden mencionar, la composición química del ensilado así como la ecuación empleada en la estimación de la ENL.

El mayor contenido de ENL observado en el ensilado de sorgo Silo Miel, está correlacionado negativamente con el contenido de fibra, y positivamente con el contenido de grano y deposición de almidón, resultado de los cambios morfo-fisiológicos intrínsecos de los cultivares, lo que implica una mayor producción de leche por kilogramo de ensilado consumido.

Una vaca en el trópico con peso vivo de 450 kg en media lactancia, produce 10 kg por día de leche con 4 % de grasa, tiene un consumo diario de 12.4 kg de MS y 15.3 Mcal de ENL (NRC, 2001). Por tanto, si se usa solo ensilado de sorgo Silo Miel, este

aportaría 8.68 kg de MS digestible, que a su vez aportarían 13.4 Mcal de ENL, faltando 1.9 Mcal que podrían ser cubiertas fácilmente con grano de maíz. Esto explica que, bajo las condiciones de trópico húmedo se puede producir leche con ensilado de sorgo de buena calidad, y con pastoreo, bajando significativamente los costos de alimentación.

6.3.7. Total de nutrientes digestibles. El total de nutrientes digestibles (TND) es la suma del porcentaje de digestibilidad que tiene la proteína cruda, fibra cruda o fibra detergente neutro, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno. Por tanto, el TND de un alimento es una medida aproximada de su digestibilidad y disponibilidad de energía, por lo que a mayor TND, será mejor el valor nutritivo del alimento (Shimada, 2009).

En el presente estudio se observó que el ensilado Silo Miel y el maíz A7573 presentaron el valor más alto de TND ($P < 0.05$) (Cuadro 5). El resto de los ensilados de sorgo no mostraron diferencias. El NRC (2001) reporta un contenido de 56.7 y 54.4 % para ensilado de sorgo de grano y sudan, respectivamente, y 68.8 % para maíz.

El mayor contenido de TND en el Silo Miel puede estar asociado con las diferencias en composición química de la fibra, lo que permite mayor digestión de la pared celular. Lo anterior podría resultar en una mayor producción de carne o leche con un menor consumo de concentrado, en comparación con los sorgos para grano o sorgos forrajeros convencionales (sin nevadura café).

6.3.8. Rendimiento de nutrientes por hectárea. El total de nutrientes digestibles (TND) producidos por hectárea es un parámetro de suma importancia para los productores, ya que determina la producción que pueden tener los animales por superficie de forraje cosechado. En el presente estudio los ensilados Silo Miel y maíz A7573 presentaron los rendimientos mayores de TND por hectárea ($P < 0.05$), mientras que el resto de los ensilajes de sorgo no mostraron diferencias entre ellos (Cuadro 5).

Desde el punto de vista productivo, el rendimiento de proteína cruda (PC) por

hectárea es importante a considerar. Sin embargo, se debe mencionar que para producción de leche no es tan relevante como la energía o nutrientes digestibles por unidad de superficie cosechada, cuyo impacto es determinante en la producción láctea, en consecuencia, en la rentabilidad de la empresa. Se ha reconocido que cualquier ahorro en unidades de proteína se verá reflejado en la economía de la empresa debido al incremento de los precios de los suplementos proteicos, como la pasta de soya, utilizada comúnmente como ingrediente en la formulación de raciones en vacas lecheras, cuyo precio actual oscila alrededor de los \$9.00 por kg.

Los mayores rendimientos de PC por hectárea se obtuvieron en los ensilados Níquel, RB-Huasteco, RB-Norteño y Silo Miel, mientras que con DK-67 y maíz A7573 se obtuvieron los rendimientos más bajos (Cuadro 5). Estos resultados fueron consecuencia, en primer lugar, del contenido de PC observado en los ensilados (Cuadro 4), y en segundo lugar, al rendimiento de MS por hectárea.

En la misma etapa de madurez a la del presente estudio, Bolsen (2002) reportó un rendimiento de 1,200 kg ha⁻¹ de PC, tanto en sorgos para grano como forrajeros. Mirón *et al.* (2005) al evaluar sorgos forrajeros, incluidos bmr, obtuvieron de 831 a 892 kg ha⁻¹ de PC. En otro estudio Bolaños y Emile (2013) reportaron un valor de 1,288 kg ha⁻¹. Los autores mencionaron que el rendimiento mayor de PC se debe a la cantidad de MS producida por hectárea (Mirón *et al.*, 2005) y la cantidad de PC presente en los forrajes (Bolsen 2002; Bolaños y Emile, 2013).

Los rendimientos de PC ha⁻¹ reportados en el presente estudio, son similares a los reportados en la literatura. Debe tenerse en cuenta que, tanto los rendimientos de PC como de TND por hectárea, están en función de factores ambientales, suelo, cultivar, genotipo, densidad de siembra, etapa de madurez y nivel de fertilización.

6.4. Comparación de la composición química del forraje verde y ensilado

Se encontró variación en la composición química de los forrajes antes y después del proceso de ensilaje (Cuadro 4). Se observó una ligera disminución en el contenido de PC en el ensilaje de los sorgos DK-67, Níquel y RB-Huasteco, mientras que en los sorgos RB-Norteño y Silo Miel el contenido de PC aumentó. Los cambios en PC son debido a reacciones bioquímicas derivadas de la acción de enzimas vegetales o bacterianas que inducen a la proteólisis, lo cual modifica las cantidades de proteína cruda presente en el ensilado. Wattiaux (2000) menciona que a medida que las células de la planta mueren luego de ser cortada, las enzimas proteolíticas actúan dando como resultado componentes más pequeños y solubles dentro de los cuales se incluyen péptidos, aminoácidos y amoníaco. Así mismo, las enterobacterias producen enzimas proteolíticas que permanecen activas aún y con pH por debajo de 5; por tanto, la mayor parte de degradación de la proteína tiene lugar de las primeras 24 a 72 horas. En consecuencia, es deseable que el pH descienda de manera rápida para reducir la proteólisis en el ensilado. Por otro lado, la disminución de la PC en los forrajes ensilados puede deberse al arrastre de nutrientes en los efluentes.

Algunos ensilados presentaron mayor contenido de FDN y FDA respecto al forraje verde (antes de ensilar). Durante el proceso de ensilaje existen pérdidas de MS debido al proceso de respiración celular durante las primeras horas que el forraje ha sido ensilado, asimismo existen pérdidas de MS en efluentes; a medida que se dan estas pérdidas, la composición química del forraje cambia, donde la fibra es la fracción del forraje que se mantiene sin ser alterada de manera significativa por el proceso de fermentación, en consecuencia, las pérdidas de MS derivado de la respiración celular y por efluentes aumenta la proporción de la fibra y los porcentajes de FDN y FDA tienden a aumentar en el ensilado comparado con el forraje recién cortado.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los híbridos de sorgo para grano presentaron los mayores rendimientos de forraje. Sin embargo, su calidad resultó inferior, en comparación con el ensilado de sorgo bmr y maíz. Los sorgos para grano adaptados al trópico húmedo, son una buena alternativa para producir mayor cantidad de ensilado. Contrariamente, los híbridos para grano traídos del norte del país, no son recomendables para el trópico, ya que presentaron bajo rendimiento y calidad del forraje; esto se explica por el hecho de que éstos sorgos fueron creados y adaptados a ambientes propios de dichas latitudes.

En calidad y nutrientes por hectárea, el sorgo de nevadura café superó al resto de los sorgos para grano y fue igual al maíz. Por ello, si se desea obtener ensilado de valor nutritivo alto se recomienda utilizar la variedad de sorgo Silo Miel 350.

El cultivo de sorgo es susceptible al ataque de pájaros, sobre todo en la etapa de llenado de grano, lo cual conlleva a una reducción considerable en el valor nutritivo del ensilado, por lo que se recomienda el cuidado del cultivo en dicha etapa con la finalidad de reducir pérdidas de nutrientes contenidos en los granos.

Los resultados del presente estudio soportan la hipótesis planteada, y muestran que los sorgos con el rasgo bmr son especies forrajeras que pueden sustituir al maíz para la conservación de forraje en la región del Papaloapan. Sin embargo, la evaluación de nuevos materiales de sorgo es indispensable para determinar los que mejor se adapten a la región y los de mejor calidad, con el objetivo de mejorar la alimentación del ganado en el trópico húmedo.

8. LITERATURA CITADA

- Almodares, A., Jafarinia, M. y Hadi, M. R. 2009. The effects of nitrogen on chemical composition in corn and sweet sorghum. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences*. 6:441-446.
- Almodares, A., Thaeri, R., Chung, M. y Fathi, M. 2008. The effect of nitrogen and potassium fertilizers on growth parameters and carbohydrate contents of sweet sorghum. *Journal of Environmental Biology*. 29:849-852.
- Améndola, R., Castillo, E., y Martínez, P. A. 2005. Perfiles por país del recurso pastura/forraje. México, FAO. pp. 58.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official methods of análisis. 16th ed. AOAC International, Arlington, VA.
- Ashbell, G. y Weinberg, Z.G. 1999. Estudio 7: Ensilaje de cereales y cultivos forrajeros en el trópico. En: *Memorias de la Conferencia Electrónica de la FAO sobre el Ensilaje en los Trópicos*. pp.17-30.
- Aydin, G., Grant, R. J. y O`Rear, J. 1999. Brown midrib sorghum in diets for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 82:2127-2135.
- Ball, D., Collins, M., Lacefield, G., Martin, N., Mertens, D., Olson, K., Putnam, D., Undersander, D y Wolf, M. 2001. *Understanding Forage Quality*. American Farm Bureau Federation Publication. pp. 17.
- Bean, B., McCollum, T., McCuiston, K., Robinson, J., Villareal, B., VanMeter, R. y Pietsch, D. 2006. Texas Panhandle Forage Sorghum Silage Trial. Texas Cooperative Extension and Texas Agricultural Experiment Station. Disponible en: <http://amarillo.tamu.edu/amarillo-centerprograms/agronomy/forage-sorghum/>. Consultado: Oct 20, 2014.
- Bolaños, E. D., Emile, J. C. y Audebert, G. 2012. Rendimiento y calidad de híbridos de sorgo con y sin nervadura café. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3:441-449.
- Bolaños, E. D. y Emile, J. C. 2013. Efecto de la distancia entre surcos y densidad de siembra en el rendimiento y calidad del forraje de sorgo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 4:161-176
- Bolsen, K. K. 2002. Grain and forages sorghum silages: A review for cultivar, maturity and processing effects. Kansas State University. Disponible:

- www.ksre.ksu.edu/pr_silage/publications/Sorghum%20Silage%20A%20Review.pdf. Consultado: Ago 20, 2013.
- Burboa, F. R. y Cabanillas, R. 2008. Tecnología para la producción de sorgo forrajero. INIFAP-Campo Experimental Costa de Hermosillo. Desplegable para productores No. 12. 2 p.
- Buxton, D. R. y Fales, S. L. 1994. Plant environment and quality. In: Fahey, G. C. Jr., Collins, M., Mertens, D. R., Moser, L. E. (Eds) Forage Quality, Evaluation, and Utilization. American Society Agronomy. Madison, USA, pp. 155-199
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2007. Guía técnica del sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). Primera edición. San Andrés, La libertad, El Salvador. 40 p.
- Chamberlain, A. T. y Wilkinson, J. M. 2002. Alimentación de la vaca lechera. ACRIBIA. Zaragoza, España. 318 p.
- Cherney, J. H. y Hall, M. H. 2008. Forage Quality in Perspective. Pennsylvania State College of Agricultural Sciences. 4 p.
- Church, D. C., Pood, W. G. y Pood, K. A. 2002. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2 Ed. LIMUSA. México, D.F. 635 p.
- Corral, A., Domínguez, D., Villalobos, G., Ortega, J. A., Rodríguez, F. A. y Muro, A. 2010. Valor nutricional, cinética de fermentación y producción estimada de leche en ensilajes de maíz cortado a diferentes alturas. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. 5:279-283.
- Corral, A., Domínguez, D., Rodríguez, F. A., Villalobos, G., Ortega, J. A. y Muro, A. 2011. Composición química y cinética de degradabilidad de ensilaje de maíz convencional y sorgo de nervadura café. Revista Brasileira de Ciencias Agrarias. 6:181-187.
- Crampton, E. W. y Harris L. E. 1979. Nutrición animal aplicada. ACRIBIA. Zaragoza, España. 706 p.
- Dial, H. L. 2012. Plant guide for sorghum (*Sorghum bicolor* L.). USDA-Natural Resources Conservation Service Tucson Plant Materials Center, Tucson, Arizona. pp. 1-5.
- FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal). 2004. Tablas FEDNA de valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos. Eds. S. Calsamiglia, A. Ferret, A. Bach. Madrid, España. 70 p.

- Fundación produce. 2007. Información general sobre la ganadería en el estado de Oaxaca. Agroproduce. 36 p.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF. 90 p.
- Gerik, T., Bean B. y Vanderlip, R. 2003. Sorghum Growth and Development. Texas Cooperative Extension, Amarillo TX. The Texas A&M University System. Disponible:http://amarillo.tamu.edu/files/2010/11/sorghum_growth_development.pdf. Consultado. Ago 20, 2014.
- Goering, H. K. y Van Soest, J.P. 1970. Forage fiber analices (Apparatus Reagents, Procedures, and some Applications), Agriculture Handbook No. 379. USDA-ARS, Washinton, DC. 20 p.
- González, R. O., Sequera, W. Y. y Graterol, Y. 2005. Comportamiento de nueve cultivares de sorgo forrajero en Portuguesa, Venezuela. Pastos 2:151-162.
- INEGI. 2015. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Loma Bonita, Oaxaca. Disponible: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras>. Consultado: Sep 30, 2015.
- Jung, H. G. y Allen. M. S. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. Journal Animal Science. 73:2774-2790.
- Legarto, J. 2000. L'utilisation en ensilage plante entière des sorghos grains et sucriers: intérêts et limites pour les regions sèches. Fourrages. 163:323-338.
- Lema, M., Félix, A., Salako, S., Bishnoi, U. 2000. Nutrient content and *in vitro* dry matter digestibility of silages made from various grain sorghum and sweet sorghum cultivars. Journal of Sustainable Agriculture. 17:55-70.
- Magaña, M. G., Ríos, A. G. y Martínez, J. C. 2006. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 14:105-114.
- Marsalis, M. A. 2011. Sorghum Forage Production in New México (Guide A-332). New Mexico State University Agricultural Experiment Station. 12 p.
- Marsalis, M. A., Angadi, S., Contreras, F. y Kirksey, R. 2009. Harvest Timing and Byproduct Addition Effects on Corn and Forage Sorghum Silage Grown Under Water Stress. New Mexico State University. Agricultural Experiment Station bulletin 799. 16 p.

- Maynard, L. A., Loosli, J. K., Hintz, H. F., Warner, R. G. 1981. Nutrición animal. 4a Ed. McGRAW-HILL. México, D.F. 640 pp.
- McDonald, P., Edwards, R. A. Greenhalgh, J. F. D. y Morgan, C. A. 2006. Nutrición Animal. 6a Ed. ACRIBIA. Zaragoza, España. 587 pp.
- Miron, J., Zuckerman, E., Sadeh, D., Adin, G., Nikbachat, M., Yosef, E., Ben-Ghedalia, D., Carmi, A., Kipnis, T., Solomon, R. 2005. Yield, composition and *in vitro* digestibility of new forage sorghum varieties and their ensilage characteristics. *Animal Feed Science and Technology*. 120:17-32.
- Moore, K. J. y Jung, H. J. 2001. Lignin and fiber digestión. *Journal Range Manage*. 54:420-430.
- Nelson, C. J., and Moser, L. E. 1994. Plant factors affecting forage quality. In: *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. American Society Agronomy, Madison, USA, pp. 155-199.
- NRC (National Research Council) 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. National Academy Press. Washinton, D. C. 381 pp.
- Núñez, H. G., Contreras, F. E., Faz, R., Herrera, R. 1999. Componentes tecnológicos para la producción de ensilados de maíz y sorgo. INIFAP, CIRNC, CE La Laguna. Matamoros, Coahuila, México. 51 pp.
- Núñez, H. G. y Cantú B. J. E. 2000. Producción y composición química y digestibilidad del forraje de sorgo x sudan de nervadura café en la región norte de México. *Técnica Pecuaria en México*. 38:117-187.
- Ojeda G. F. 1999. Estudio 8: Técnicas de cosecha y de ensilado. En: *Memorias de la Conferencia Electrónica de la FAO sobre el Ensilaje en los Trópicos*. pp. 137-145
- Oliver, A. L., Grant, R.J., Pedersen J. F. y O'Rear, J. 2004. Comparison of brown midrib-6 and -18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage in diets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 87:637-644.
- Oliver, A. L., Pedersen, J. F., Grant, R. J., Klopfenstein, A. 2005. Comparative effects of the sorghum bmr-6 and bmr-12 genes: I. Forage sorghum yield and quality. *Crop Science*. 45:2234-2239.
- Oude S., Driehuis F., Gottschal J. C., Spoelstra, S. F. 1999. Estudio 2: Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación. En: *Memorias de la Conferencia Electrónica de la FAO sobre el Ensilaje en los Trópicos*. pp. 17-30.
- Palacios, V. O., Moreno, G. T., Loaiza, M. A., Reyes, J. J., Medina, C. S. 2009.

- Gavatero-203, nueva variedad de sorgo forrajero para Sinaloa. INIFAP-CIRNO. Campo Experimental Valle de Culiacán. Folleto técnico No. 31. Culiacán, Sinaloa. 23 pp.
- Pérez, A., Saucedo, O., Iglesias J., Wencomo, H. B., Reyes, F., Oquendo, G. y Milián, I. 2010. Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Pastos y Forrajes. 33:1-26
- Reddy, B. V., Reddy, P., Bidinger, F. y Blümmel, M. 2003. Crop management factors influencing yield and quality of crop residues. Field Crops Research. 84:57-77
- Ribeiro, L. G., Gonçalves, C. L., Rodríguez, M. N. y De Assis, D. A. 2007. Consideraciones sobre ensilajes de sorgo. Jornada sobre producción y utilización de ensilajes. Petrolina, Brasil. 68 pp.
- Román, P. H., Ortega, R. L., Hernández, A. L., Díaz, E., Espinosa G. J. A., Núñez H., Vera, A. H.R., Medina C, M., Ruiz, F. J. 2009. Producción de leche de bovino en el sistema de doble propósito. Libro técnico Num.22. INIFAP. CIRGOC. Veracruz, México. 355 pp.
- Ruiz, C. A., Medina, G., Ortiz, R. C., Martínez, I. J., González, H. E., Flores, K. y Byerly, F. 1999. Requerimientos Agroecológicos de los cultivos. Ed. INIFAP. Guadalajara, Jalisco. 324 pp.
- Shimada, M. A. 2009. Nutrición animal. 2a Ed. Trillas, México, D. F. 397 pp.
- SIAP. 2014. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Disponible: www.siap.gob.mx. Consultado: Jun 15, 2014.
- t Mannelje, L. 2001. Uso de ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma Italia .185 pp.
- Undersander, D., Mertens, D. R. y Thiex, N. 1993. Forage analysis procedures. National Forage Testing Association. Omaha, Nebraska. p. 95-103
- Urrutia M. J., Meraz E. O. 2004. Elaboración de ensilaje de buena calidad. INIFAP-CIRNE, CE-San Luis Potosí. Desplegable para productores No. 18. 2 p.
- Van Soest P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd. ed. Cornell University Press. New York. 476 pp.
- Van Soest, J. P., Robertson J. B. y Lewis B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science. 74:3583-3589.

Wattiaux, M. 2000. Introducción al proceso de ensilaje. Instituto Babcock, Universidad de Wisconsin, Madison Wisconsin. 12 pp.

Weinberg, Z. G. y Muck, R. E. 1996. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. FEMS Microbiology Review. 19:53-68.