



UNIVERSIDAD DEL PAPAŁOAPAN
Campus Loma Bonita

LICENCIATURA EN ZOOTEENIA

**EVALUACI3N DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FORRAJE DE
GENOTIPOS DE SORGOS (*Sorghum bicolor* L. Moench) CULTIVADOS EN
EL TR3PICO H3MEDO**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

LICENCIADO EN ZOOTEENIA

**PRESENTA:
MARIANO MAULE3N AGUIRRE**

**DIRECTOR:
DR. SERGIO RAM3REZ ORDOÑES**

LOMA BONITA, OAXACA, M3XICO, 2017



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

Campus Loma Bonita

LA PRESENTE TESIS TITULADA “EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FORRAJE DE GENOTIPOS DE SORGOS (*Sorghum bicolor* L. Moench) CULTIVADOS EN EL TRÓPICO HÚMEDO” PRESENTADA POR EL PASANTE MARIANO MAULEON AGUIRRE, BAJO LA DIRECCIÓN DEL DR. SERGIO RAMÍREZ ORDOÑES, HA SIDO ACEPTADA Y REVISADA POR EL JURADO EXAMINADOR INDICADO PARA SER DEFENDIDA EN EL EXAMEN PROFESIONAL Y OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN ZOOTECNIA.

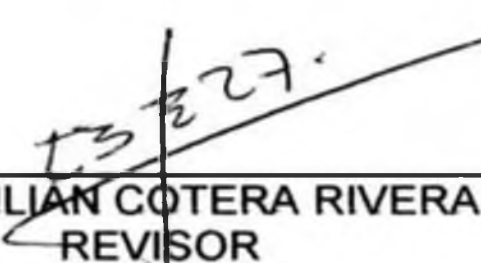
JURADO EXAMINADOR



DR. SERGIO RAMÍREZ ORDOÑES
DIRECTOR



M.C. CECILIO UBALDO AGUILAR MARTÍNEZ
REVISOR



M.C. JULIAN CÓTERA RIVERA
REVISOR

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, primeramente a DIOS que con su gran amor y bendición en todo momento y circunstancia no me ha dejado ni soltado de su mano.

A mis padres

EL Sr. Maurilio Mauleón Díaz y la Sra. Maribel Aguirre Cruz, por haberme brindado su apoyo condicional durante este capítulo en mi vida, por todos sus consejos, motivaciones, insistencia y sobre todo sus regaños hoy puedo decir que tengo un logro más .

A mis hermanas

Margarita y Marisela por ser grandes hermanas, y sobre todo un gran ejemplo a seguir, gracias por sus consejos y por su apoyo en todo lo que estuvo a su alcance.

A mis grandes amigos

Nelly, Nora, Ada, Rochel, María de Jesús, Verónica, Christian, Pepe, Jorge, Sergio, Pablo, Erwin, Pedro, Luis, Heriberto, Iván, Dra. Ana, Profe Palmieri por los buenos momentos que pasamos en el tiempo que convivimos.

A todos muchas gracias de todo corazón por ser parte de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

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

A mi director de tesis el Dr. Sergio Ramírez Ordoñez, por la paciencia, comprensión y su apoyo brindado durante el desarrollo de este proyecto, le agradezco de corazón por compartir sus conocimientos y experiencias que han sido y seguirán siendo de mucha 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 se deriva esta tesis.

A mis revisores de tesis, M.C. Cecilio Ubaldo Aguilar Matínez y M.C. Julián Coterá Rivera por su apoyo, orientación y sugerencias en la revisión de este trabajo lo cual permitió enriquecerlo más, muchas gracias.

A todo los profesores que contribuyeron en mi formación como profesionista en especial a los profesores, Tania, Carolina, Cherly, Gladis, Abad, Agustín Corral, Meza, Nicolás, Rueda, Miguel Ángel, Alejandro Palmieri y Cesar Herrera por compartir sus conocimientos y consejos cuando se requirieron y seguirán siendo de gran importancia en mi vida profesional.

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

ÍNDICE

	Pag.
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos particulares.....	3
3. HIPOTESIS	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. Situación actual de la producción de sorgo en México.....	5
4.2. Descripción botánica de la planta de sorgo.....	6
4.3. Etapas fisiológicas de la planta de sorgo	8
4.4. Importancia del cultivo de sorgo como forraje.....	11
4.5. Efecto de la variedad sobre el rendimiento y calidad nutritiva del forraje de sorgo	13
4.6. Criterios para seleccionar un cultivo de sorgo para forraje.....	14
4.7. Problemática en la alimentación animal en la época de estiaje.....	15
4.8. Factores involucrados en la calidad nutritiva del forraje de sorgo	16
4.8.1. Ambiente.....	16
4.8.2. Fertilidad y tipo de suelo	16
4.8.3. Métodos y densidad de siembra.....	16
4.9. El forraje de sorgo como alternativa al forraje de maíz.....	17
5. MATERIALES Y MÉTODOS	20
5.1. Área del estudio	20
5.2. Desarrollo del experimento	20
5.2.1. Establecimiento del cultivo	20
5.2.2. Tratamiento y diseño experimental	20
5.2.3. Cosecha y toma de muestra.....	21
5.2.4. Análisis químico.....	21
5.2.5. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca.....	22
5.2.5.1. Preparación del medio de cultivo para el inóculo.....	22
5.2.5.2. Obtención del líquido ruminal e incubación de las muestras	23
5.3. Variables evaluadas.....	24

5.4. Análisis estadístico.....	24
6. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	26
6.1. Densidad de plantas por hectárea.....	26
6.2. Contenido de materia seca.....	27
6.3. Rendimiento de forraje por hectárea.....	28
6.4. Composición química.....	29
6.4.1. Contenido de proteína cruda.....	29
6.4.2. Contenido de cenizas.....	30
6.4.3. Contenido de FDN y FDA.....	31
6.4.4. Contenido de lignina.....	35
6.4.5. Contenido de carbohidratos no fibrosos.....	36
6.5. Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca.....	37
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
8. LITERATURA CITADA.....	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1.	Media \pm DE del número de plantas ha ⁻¹ , contenido de materia seca (% MS), rendimiento de material verde (MV ha ⁻¹) y material seca (MS ha ⁻¹) de cinco genotipos de sorgos cultivados bajo condiciones de temporal en Loma Bonita, Oaxaca	27
2.	Medias \pm DE del contenido porcentual de proteína cruda (PC) y cenizas de cinco genotipos de sorgos cultivados bajo condiciones de temporal en Loma Bonita, Oaxaca	30
3.	Medias \pm DE del contenido porcentual de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), carbohidratos no fibrosos (CNF), lignina detergente ácida (LDA) y digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia seca (DIVMS) de genotipos de sorgos cultivados bajo condiciones de temporal en Loma Bonita, Oaxaca	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1.	Etapa del crecimiento y desarrollo del cultivo de sorgo, según la escala de Louisiana State University Research & Extension.....	8

RESUMEN

Se evaluó el rendimiento y la calidad del forraje de cinco genotipos de sorgo cultivados bajo condiciones de temporal en el trópico húmedo en Loma Bonita, Oax. En junio de 2013, los sorgos para grano Niquel (Niquel), RB-Huasteco (RBH), RB-Norteño (RBN) y los sorgos forrajeros Silo Miel 350 (SM350) con nervadura café y Silo Miel DP (SMDP) convencional, se sembraron a una densidad de 20 kg ha⁻¹. El arreglo de los tratamientos a evaluar fue un diseño completamente al azar con tres repeticiones por genotipo. La densidad final promedio fue de 108 417 plantas ha⁻¹. La cosecha se hizo en etapa de madurez de grano lechoso-masoso. A la cosecha, se tomó 1 kg de forraje verde por cada repetición. Las muestras fueron secadas y molidas a 1 mm para determinar materia seca total (105 °C/12 h), cenizas (550 °C/3 h), proteína cruda (PC; N*6.25), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina (LDA) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS). Se observó efecto de genotipo sobre el rendimiento ($P \leq 0.05$) y calidad del forraje ($P \leq 0.10$). La materia seca del forraje fue de 29.8 %, el rendimiento de 8.4 t ha⁻¹ de MS. En promedio, el contenido de PC, FDN, FDA y lignina fueron 10.3, 55.5, 30.4 y 4.25 % de la MS, respectivamente, mientras que la DIVMS fue 47.6 %. Los sorgos forrajeros SM350 y SMDP presentaron mayor rendimiento de MS y calidad del forraje, seguidos del sorgo Niquel. Se recomienda establecer los sorgos forrajeros en la época de lluvias para producir forraje de alto valor nutricional en el trópico húmedo.

Palabras clave: Sorghum bicolor, calidad nutritiva, digestibilidad, rendimiento.

ABSTRACT

The yield and forage quality of five sorghum genotypes cultivated under rainfall conditions in the humid tropics of Loma Bonita, Oaxaca, were evaluated. In June 2013, the conventional grain sorghums Niquel (Niquel), Huasteco-RB (HRB), Northern-RB (NRB) and forage sorghums Silo Miel 350 (SM350) brown midrib and Silo Miel DP (SMDP), were planted at density of 20 kg ha⁻¹. The arrangement of treatments was a completely randomized design with three replicates per genotype. The final density average was 108,417 plants ha⁻¹. The harvest was done when grain reached the milky-dough stage of maturity. At harvest, 1 kg of green forage was taken for each repetition. Those samples were dried and ground to 1mm to determine the total dry matter (105°C/12 h), ash (550 °C/3 h), crude protein (CP; N * 6.25), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), lignin (ADL) and *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD). The genotype effect was observed on yield (P≤0. 05) and quality of forages (P≤0. 10). The content of dry matter of sorghum forages was 29.8%, yield dry matter was 8.4 t ha⁻¹. On average, the contents of CP, NDF, ADF, and ADL were 10.3, 55.5, 30.4 and 4.25 % of the DM, respectively; while the IVDMD was 47.6%. The sorghums SM350 and SMDP presented higher yield and forage quality, followed by Niquel sorghum. It is recommended to establish the sorghum during rainy season to produce forage of highly nutritional value in the humid tropics.

Keywords: forage sorghum, digestibility, yield, drought, genotype effect.

1. INTRODUCCIÓN

En el trópico húmedo de México, la producción de carne y leche de ganado bovino es estacional, ya que está fuertemente ligada con la oferta de forraje a través del año. En los meses de junio a noviembre existe abundante forraje, pero limitado en nutrientes para animales en producción y crecimiento; mientras que, de diciembre a mayo, época seca, el forraje es escaso y de baja calidad (Améndola *et al.*, 2005; Magaña *et al.*, 2006; Basurto, 2007). Como una solución a esta problemática, se ha propuesto el uso de forrajes conservados. El maíz es el forraje de elección para llevar a cabo esta práctica; debido a que presenta altos rendimientos de materia seca y alta calidad del forraje; sin embargo, su producción puede verse mermada debido al cambio climático que está alterando dramáticamente la cantidad y distribución de las lluvias en muchas latitudes del mundo; por lo tanto, actualmente se buscan nuevas alternativas forrajeras que mejor se adapten a este cambio (Lobell *et al.*, 2008).

El sorgo [*Sorgo bicolor* (L.) Moench] es una planta tropical muy versátil que se adapta bien a altas temperaturas, precipitaciones bajas y erráticas y, además, tolera largos periodos de sequía (Oliver *et al.*, 2005); por estas razones es cultivado en muchas latitudes del mundo, especialmente en regiones de temporal que presentan altas temperaturas y largos periodos de sequía. Como forraje, la planta de sorgo puede ser picada, ensilada, henificada o pastoreada. Como ensilaje es excelente, ya que posee altos niveles de carbohidratos solubles (CS) y una baja capacidad buffer (Miron *et al.*, 2005, 2006; Amer *et al.*, 2012).

En general, los sorgos pueden ser clasificados en dos grandes tipos: los

forrajeros y los graníferos. A su vez, los sorgos forrajeros pueden ser agrupados en cuatro grupos: 1) los híbridos de sorgos forrajeros; 2) los Sudan (pasto sudan); 3) los híbridos sudan (*Sorghum* x Sudan); 4) sorgos dulces (Getachew *et al.*, 2016). También existen los sorgos con la mutación bmr (brown midrib) que se caracteriza por tener mayor digestibilidad debido a su menor contenido de lignina (Oliver *et al.*, 2005).

En un estudio donde se evaluó el rendimiento y la calidad del forraje de cuatro híbridos de sorgo para grano, uno forrajero bmr y un híbrido de maíz, se observó que el sorgo bmr presentó contenidos de fibra y total de nutrientes digestibles (TND) similares al maíz, superando a los sorgos para grano (De la Cruz, 2016). En ese estudio, el sorgo bmr presentó un rendimiento bajo de forraje, característica de estas variedades; sin embargo, el TND por hectárea de éste sorgo fue igual al de maíz. Esto reafirma que los sorgos bmr, por su menor contenido de lignina, presentan mayor digestibilidad de la materia seca que sus contrapartes (Oliver *et al.*, 2005).

En el trópico húmedo de México no existe información suficiente sobre el rendimiento y la calidad nutricional que presenta el forraje de sorgo, tampoco existe evidencia de las variedades o híbridos de sorgo que presentan mejor desempeño en cuanto a rendimiento y calidad del forraje. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo evaluaciones para conocer el rendimiento, composición química y digestibilidad del forraje que presentan distintos tipos de sorgo establecidos bajo condiciones del trópico húmedo en distintas épocas del año.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Comparar el rendimiento y calidad del forraje de variedades de sorgo para grano y variedades de sorgo forrajeros con o sin el gen de nervadura café, establecidos en la época de lluvias en el trópico húmedo.

2.2. Objetivos particulares

- Evaluar el rendimiento y composición química del forraje de tres variedades de sorgos para grano, uno forrajero (convencional) y un forrajero con nervadura café.
- Estimar la digestibilidad de la materia seca *in vitro* del forraje de tres variedades de sorgos para grano, uno forrajero (convencional) y un forrajero con nervadura café.

3. HIPÓTESIS

Los sorgos forrajeros con o sin nervadura café, desarrollados bajo condiciones de temporal en el trópico húmedo, presentan mayor rendimiento y calidad del forraje comparado con los sorgos para grano.

4. REVISION DE LITERATURA

4.1. Situación actual de la producción de sorgo en México

El sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] es el quinto cereal más importante a nivel mundial después del trigo, maíz, arroz y cebada. En México el cultivo de sorgo tiene gran importancia para el sector agropecuario, donde la mayor parte de la superficie establecida se orienta a la producción de grano para el consumo animal, particularmente la avicultura y la porcicultura y, como planta entera para forraje. El sorgo ocupa el tercer lugar de importancia después de la avena forrajera y el maíz forrajero (SIAP, 2013).

Anualmente en el país se siembran poco más de dos millones de hectáreas de sorgo, principalmente en condiciones de temporal (70 %). Solo en el periodo de 2009 al 2013 se sembraron en el país un promedio de 2 198 758 ha de sorgo, que tuvieron como fin principal la producción de grano (88 %), mientras que el 11 % se destinó a la producción de forraje (SIAP, 2013).

En base a los datos del mismo periodo, los estados de la república que más superficie dedicaron al cultivo de esta gramínea fueron: Tamaulipas (43 %), Sinaloa (13 %), Guanajuato (12 %), Michoacán (6 %) y Nayarit (3 %). Por su parte, de un promedio total de 238 145 ha de sorgo forrajero que fueron establecidas en este periodo, destacan los estados de Chihuahua (19.2 %), Coahuila (15.6 %), Sinaloa (15.1 %) y Durango (11.8 %).

En relación al rendimiento de forraje por hectárea, bajo sistema de riego se tiene un rendimiento promedio de 36 t, mientras que bajo condiciones de temporal es de 13 t de materia verde (SIAP, 2013). Es importante mencionar que la producción de forraje varía bajo diferentes escenarios de temporal.

4.2. Descripción botánica de la planta de sorgo

El sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] comprende numerosas variedades que se han incluido en varios grupos de importancia económica. Entre ellas se encuentra el Sorgo Kafir, Sorgo Dulce, Durra, Shallu, Hegari, Sorgo Milo, Sorgo Escobero, Pasto Sudan, Pasto Jhonson y Sorgo Almun (Gómez y Sarmiento, 1975).

En todas las variedades de sorgo el sistema radicular de la planta se desarrolla en los nudos más bajos del tallo. La profundidad de la raíz va 1 a 1.3 metros, con 80 % de las raíces en los primeros 30 centímetros. El número de pelos absorbentes puede ser el doble que en maíz (CENTA, 2007). La ramificación y la amplia distribución es la consecuencia por la que la planta de sorgo presenta resistencia a la sequía.

El sorgo es una planta de un solo tallo, no obstante, puede desarrollar más (hijos) dependiendo de la variedad y el ambiente. El tallo está compuesto de una serie de nudos y entrenudos, cuya longitud varía de 0.5 a 4 metros, su diámetro es de 0.5 a 5 cm cerca de la base, lo cual hace que sea más angosto en el extremo superior; es de consistencia sólida con una corteza o tejido exterior duro y una médula suave y puede tener de 7 a 24 nudos (CENTA, 2007). La longitud de los entrenudos determina la altura de la planta, ya que las variedades enanas o altas, en la misma etapa de madurez, son iguales en el número de hojas, nudos y entrenudos; por tanto, la diferencia en altura se debe únicamente a la longitud de los entrenudos, y no al número de ellos (Gómez y Sarmiento, 1975).

El número de hojas en la planta de sorgo va de 7 a 24, según la variedad y

la etapa fenológica. Las hojas son erectas y horizontales y se encorvan con la edad. La longitud y ancho de una hoja totalmente desarrollada es 30 a 135 y de 1.5 a 15 cm; y estas pueden ser alternas y lanceoladas o linear-lanceoladas, con una superficie lisa y cerosa (CENTA, 2007). Los estomas de las hojas de sorgo son más pequeños que los del maíz, cuya superficie está quitinizada y cubierta por una sustancia cerosa (Gómez y Sarmiento, 1975), esta característica le permite retener más agua que la planta de maíz.

La inflorescencia es una panícula de racimo con un raquis central escondido totalmente por sus ramas o totalmente expuesto, cuando está inmadura es forzada hacia arriba dentro de la vaina más alta (buche), después que la última hoja (bandera) se expande distendiéndola a su paso. La panícula puede ser corta o larga, suelta y abierta, y compacta o semicompacta, dependiendo de la variedad. Puede tener de 4 a 25 cm de largo, 2 a 20 cm de ancho y contener de 400 a 800 granos, según el tipo de panícula (CENTA, 2007)

Las semillas están cubiertas por glumas, totalmente en algunas variedades, y parcialmente en otras; sus glumas son de color negro, rojo, café, color paja. Los granos son de tipo cariósido, de diversos tamaños, formas y colores. El color puede ser café, blanco, pardo, amarillo, crema, morado o rojo. Las semillas de color pardo contienen taninos que hacen que sean inmune al ataque de los pájaros (sorgos anti-pájaros). El tamaño es variado, desde 8 a 35 mm, y un kilogramo puede contener de 25 000 a 60 000 semillas, dependiendo de la variedad (Gómez y Sarmiento, 1975). Cada semilla está formada aproximadamente por un 84 % de endospermo, 10 % de germen y 6 % de pericarpio (Gómez y Sarmiento, 1975).

4.3. Etapas fisiológicas de la planta de sorgo

En la producción de forrajes es necesario conocer las etapas fisiológicas que presenta una planta, ya que este es uno de los factores que tienen mayor impacto sobre el rendimiento y la calidad del forraje. El sorgo, como otras especies forrajeras, presenta diferentes etapas en su crecimiento. En la Figura 1 se representan las diferentes etapas de desarrollo del sorgo.

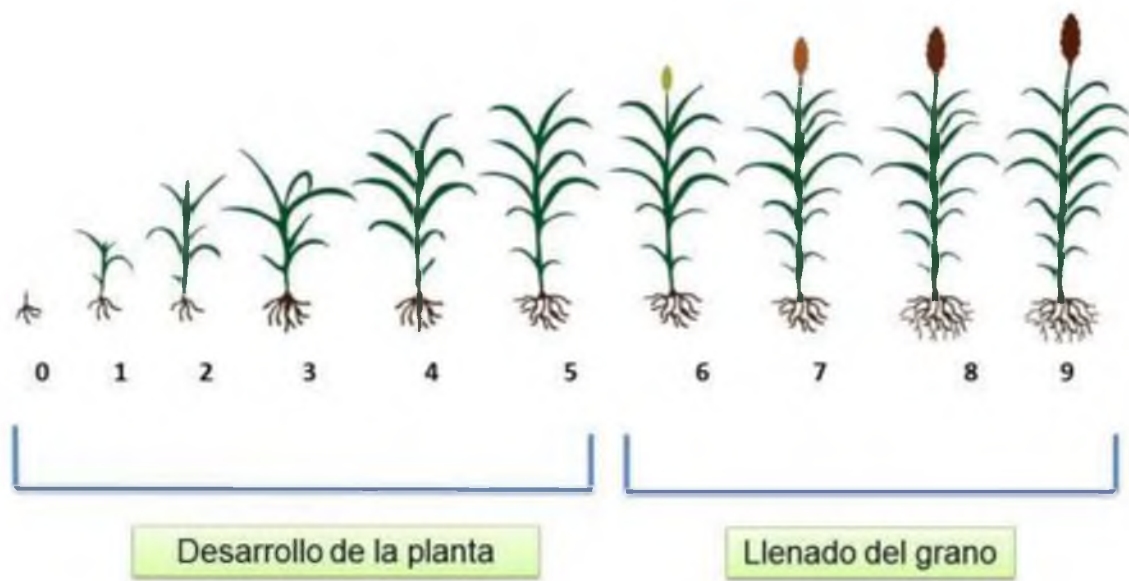


Figura 1. Etapa del crecimiento y desarrollo del sorgo, según la escala de Louisiana State University Research & Extension.

De acuerdo a Gerik *et al.* (2003), a continuación se cita una breve descripción de cada una de las etapas:

Etapa 0- Emergencia (3-10 días post-siembra). Ocurre cuando el coleóptilo es visible en la superficie del suelo. Para lograr una buena emergencia es necesario que se den varios factores, como son, la temperatura, que debe estar por encima de los 15 grados centígrados, si

es superior a los 18 grados mejorará notablemente la germinación y emergencia, también debe tener buena humedad, profundidad de siembra y semilla con buen vigor híbrido.

Etapa 1 - Estado de 3 hojas (~10 días post-emergencia). Se produce cuando se pueden observar las lígulas de tres hojas sin tener que romper la planta. En esta etapa, la parte aérea puede ser eliminada y la planta se recuperará, ya que el meristema de crecimiento se encuentra por debajo de la superficie.

Etapa 2 - Etapa de 5 hojas (~21 días post-emergencia). Se produce cuando las lígulas de 5 hojas se pueden ver sin necesidad de romper la planta. El sistema radical se desarrolla rápidamente en esta etapa. La materia seca (MS) se acumula a una velocidad constante con condiciones de crecimiento satisfactorias. Durante esta etapa se determina el desarrollo potencial de la planta, ya que se establece el número total de hojas que tendrá. Los rendimientos pueden disminuir drásticamente si no se toman medidas para evitar la competencia de las malezas, la carencia de nutrientes, de agua o el ataque de plagas.

Etapa 3 - Punto de crecimiento (~30 días post-emergencia). En esta etapa cambia el punto de crecimiento de vegetativo a reproductivo. Además, se define el tamaño potencial de la panoja. La absorción de nutrientes es rápida. La planta compite sobre las malezas, ayudando a tenerlas controladas hasta fin de ciclo.

Etapa 4 - Última hoja visible (40 días post-emergencia). Se encuentran casi todas las hojas expandidas, menos las últimas 3 o 4. Se determina

el 80 % del área foliar y se empiezan a perder algunas hojas inferiores. Aparece hoja bandera.

Etapa 5 - Panoja embuchada (50 días post-emergencia). Se encuentran todas las hojas expandidas, máxima cobertura foliar. La panoja se encuentra embuchada en la vaina de la hoja bandera. La planta continúa con su rápido crecimiento y absorción de nutrientes. En esta etapa comienza el período crítico de definición del rendimiento. Una carencia nutricional o de agua en este momento se traduce directamente en menores rendimientos.

Etapa 6 – Media floración (60 días post-emergencia). Se encuentran el 50 % de las plantas en floración, la que comienza en la parte superior de las panojas, y baja en 4 a 9 días. A partir de este momento, la producción de fotoasimilados se destina por completo al llenado de granos.

Etapa 7 - Grano pastoso o masoso-suave (70 días post-emergencia). El grano tiene una consistencia pastosa y el llenado se produce rápidamente. Las hojas inferiores siguen envejeciendo.

Etapa 8 - Grano masoso duro (85 días post-emergencia). En esta etapa se alcanzan las tres cuartas partes del peso seco del grano, la absorción de nutrientes es casi nula. Un estrés hídrico severo o una helada se traducirán en un grano chuzo.

Etapa 9 - Madurez fisiológica (95 días post-emergencia). Se alcanza el máximo peso seco de la planta, con valores que oscilan entre el 25-35 % de humedad en el grano. Esta madurez fisiológica no es la madurez de

cosecha, depende el uso que se le quiera dar, se cosechará o no en este momento.

Para el caso del sorgo para forraje, se ha observado que la mejor etapa de madurez para hacer la cosecha es cuando el grano está entre lechoso a masoso, con 25 a 35 % de materia seca en la planta entera (Carrasco *et al.*, 2011).

4.4. Importancia del cultivo de sorgo como forraje

En el trópico la alimentación de los bovinos se basa en los pastos nativos o introducidos. Por las características propias del trópico húmedo, estos pastos poseen un bajo valor nutritivo; con contenidos variables de proteína cruda y altos niveles de fibra y lignina (Román *et al.*, 2009). Esto hace que los pastos sean bajos en energía y posean menor digestibilidad de la materia seca (41-56 %) (Améndola *et al.*, 2005). Esta situación se traduce en bajos rendimientos de carne y leche en el sistema extensivo de producción de bovinos de doble propósito. Adicionalmente, la estacionalidad de la producción en estas regiones es un problema latente cada vez más acentuado (Améndola *et al.*, 2005).

Como una alternativa a la problemática anterior, se ha propuesto el uso de forrajes ensilados. Por su alto valor nutritivo, el maíz es el recurso forrajero por más utilizado en la conservación de forrajes (Oliver *et al.*, 2005); sin embargo, es un cultivo que tiene inconvenientes durante períodos de estrés hídrico (Bolaños *et al.*, 2012). En esas regiones, donde las condiciones del temporal limitan el rendimiento y calidad del forraje de maíz, el sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] es considerado como una alternativa para producir forraje de alto valor nutritivo (McCorkle *et al.*, 2007).

Actualmente, la importancia del uso de sorgo como forraje se ha incrementado a nivel mundial debido a su alta productividad y habilidad que tiene la planta para utilizar el agua de manera más eficiente, aún bajo condiciones de sequía. Con el propósito de incrementar el rendimiento y valor nutritivo del forraje se han desarrollado diferentes tipos y variedades de sorgo. (Getachew *et al.*, 2016). Sin embargo, se conoce poco sobre la digestibilidad de la material seca y de la fibra detergente neutro que presentan estas variedades, así como el efecto sobre la producción de carne o leche cuando son consumidos por los rumiantes. A diferencia de los sorgos para grano, los sorgos forrajeros, especialmente las variedades de nervadura café, pueden tener alto valor nutritivo, que puede ser comparable al del forraje de maíz (Bean *et al.*, 2002).

Se ha establecido que el valor alimenticio del ensilaje de sorgo es 80-90 % comparable al de ensilaje de maíz (Undersander, 2003), logrando, incluso, soportar producciones de leche similares al mismo (Oliver *et al.*, 2004). Este valor nutritivo es variable y es afectado por factores como genotipo o variedad, etapa fenológica y medio ambiente (humedad del suelo, temperatura, horas luz), entre otros. En un estudio llevado a cabo en el norte de México, región de La Laguna, se reportó que el forraje de doce variedades de sorgo presentó un rango (promedio) de 7.7-18.0 (13.8) t ha⁻¹ de MS, un contenido de 47.8-59.5 (51.1) % de FDN, 1.41-1.60 (1.47) MCAL ENL/kg de MS , así como 52.6-68.1 (62.0) % de digestibilidad *in vitro* de la MS (Núñez *et al.*, 1999), siendo la variedad o genotipo uno de los principales factores que influyó sobre el contenido de nutrientes.

Por lo anterior, es de esperarse que cuando diferentes genotipos de sorgo son establecidos en ambientes diferentes, su contenido de nutrientes y digestibilidad de la MS (DMS) y FDN presenten una amplia variación. Al respecto, en México, y particularmente en el trópico húmedo, no existe información suficiente sobre el valor nutricional que presenta el forraje de variedades o híbridos de sorgo cuando son establecidas bajo condiciones propias de la región. Tal información que puede ser útil para la selección de híbridos de sorgo con alto valor nutritivo del forraje comparables al de maíz, con potencial para proporcionarse al ganado como forraje de corte o ensilado.

4.5. Efecto de la variedad sobre el rendimiento y calidad nutritiva del forraje de sorgo

Actualmente se encuentran disponibles en el mercado tres tipos de sorgo como recurso forrajero: los sorgos graníferos, los forrajeros y azucarados; incluidos aquí los de doble propósito y los sorgos con el gen de nervadura café. Estos sorgos varían en altura, producción de materia seca y composición bromatológica, produciendo forrajes con valores nutritivos diferentes.

Los sorgos graníferos varían de 1.0-1.6 m de alto, con panojas bien desarrolladas y granos de tamaño grande produciendo forrajes de valor nutritivo superior al forraje de los sorgos forrajeros de porte alto (Ribeiro *et al.*, 2007)

Los sorgos de tipo forrajero son aptos para producción de ensilado y para corte directo en verde, con altura entre 2 e 3 m. Además, existen cultivares de doble propósito (forraje y grano), con altura media de 2 m (Viana *et al.*, 2001, citado por Ribeiro *et al.*, 2007).

Los sorgos de porte alto producen forraje con valores nutritivos normalmente

inferiores a los del maíz debido a una menor proporción de granos en la planta (Zago, 1997, citado por Ribeiro *et al.*, 2007). Por su parte, los sorgos con la mutación bmr, poseen menor contenido de lignina, lo que los hace más digestibles y, por tanto, presentan una ventaja sobre los sorgos convencionales (sin nervadura café), además, el forraje de estos sorgos presenta un valor nutritivo cercano o igual al de maíz (Aydin *et al.*, 1999; Oliver *et al.*, 2004; Miron *et al.*, 2007), especialmente en ambientes con déficit hídrico o retraso del temporal.

El uso de forraje de sorgo en el trópico húmedo presenta gran potencial, ya que posee elevada productividad, buena adecuación a la mecanización, susceptibles de cultivarse incluso durante la época de sequías y gran versatilidad, pudiendo ser utilizado como heno, pasto, corte fresco y ensilado.

4.6. Criterios para seleccionar un cultivo de sorgo para forraje

Según Cummins (1971), los criterios para selección de híbridos de sorgo para forraje han sido, principalmente, la altura de la planta, productividad, producción de granos, resistencia a enfermedades y plagas y tolerancia a sequía. El desarrollo de híbridos de sorgo con alta proporción de tallos, por el incremento de materia seca de la planta, puede contribuir a una mayor producción de forraje de mejor valor nutritivo. No obstante, la proporción de granos de la planta ejerce mayor influencia en el nivel de materia seca digestible que el mayor o menor contenido de tallos.

La proporción de granos es un factor importante que determina la calidad de los forrajes, pues esta es la fracción de energía más disponible que tiene la planta. De hecho al momento de ensilar, se recomienda que el 40 al 50 % de la

materia seca debería ser compuesta de granos en el momento de la cosecha, para garantizar mayor calidad y consumo (Ribeiro *et al.*, 2007). De esta manera, el mejor criterio de selección para mejorar el valor nutritivo del forraje o ensilado de sorgo, son el incremento de la digestibilidad *in vitro* de la MS y la FDN, así como menor contenido de lignina (Casler, 2000), variables que están correlacionadas positivamente con la proporción de grano presente en la planta de sorgo al momento de la cosecha.

En la actualidad, debido a la selección y mejoramiento genético para producir grano, existen variedades de sorgo con alta proporción de panoja y hojas, características que las hacen adecuadas para obtener elevados rendimientos de forraje de buena calidad que pueden ser usados en la alimentación del ganado bovino de doble propósito en el trópico húmedo, ya sea picado en verde o ensilado.

4.7. Problemática en la alimentación animal en la época de estiaje

En el trópico la alimentación del ganado se basa principalmente al pastoreo de gramíneas nativas o introducidas con bajo valor nutricional, por su alto contenido de fibra y lignina. Además, la cantidad y calidad de la materia seca de los pastos es estacional, con una producción mayor a las épocas de lluvias y menor a la de secas. Se ha considerado que la estacionalidad en la producción de forrajes es la más importante a cuanto a la producción, ya que la mayoría de los productores no toman las medidas necesarias para tener forraje en las épocas de sequía (Améndola *et al.*, 2005). Debido a este problema, es posible sugerir el cultivo de sorgo para forraje como una opción más al de maíz, especialmente para la época de seca que es la más crítica del año.

4.8. Factores involucrados en la calidad nutritiva del forraje de sorgo

La calidad del forraje de sorgo depende de diversos factores como son: el medio ambiente, estado de madurez a la cosecha y el método de almacenamiento del forraje, así como fertilidad del suelo, fertilización, temperatura durante su crecimiento y variedad (Ball *et al.*, 2001).

4.8.1. Ambiente

La humedad, temperatura y cantidad de las horas luz, influye en la calidad del forraje. Las altas temperaturas (condición propia del trópico) tienen efecto importante en la acumulación de lignina en la pared celular, lo cual ocasiona un aumento en la fibra indigestible (Cherney y Hall 2008). La lignina es indigestible para los microorganismos del rumen y sus altas concentraciones limitan la digestibilidad de los carbohidratos estructurales, como son la celulosa y la hemicelulosa (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).

4.8.2. Fertilidad y tipo de suelo

Afecta más al rendimiento del forraje que a su calidad, aunque es posible producir forrajes de alta calidad en suelos pobres e improductivos, los rendimientos son muy bajos (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 un pH de 6 a 6.5 y con 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, prefiere suelos de mediana

profundidad debido a que la planta extrae el 100 % de agua de la primera capa de 1 a 2 mm de profundidad.

4.8.3. Método y densidad de siembra

Para la producción de forraje el sorgo se puede 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 agroquímicas, la cual afectan la cantidad y calidad de materia seca producida.

La siembra en hileras facilita el control de las malezas y plagas y regula mejor la profundidad y distribución de la semilla. Para ensilados se recomienda una separación de 70 a 80 cm entre hileras. Las densidades de siembra sugeridas varían de 10 a 25 kg de semillas ha (Burboa y Cabanillas 2008), con un promedio de 16 kg ha (Palacios *et al.*, 2009).

La producción y calidad del sorgo se puede mejorar mediante pruebas de manipulación agronómicas como variar la distancia entre surcos y la densidad de siembra o plantas por hectárea.

4.9. El forraje de sorgo como alternativa al forraje de maíz

A nivel mundial el cambio climático, que se caracteriza por incremento atmosférico de dióxido de carbono, aumento de la temperatura y cambios en los patrones de lluvia, están afectando la actividad agrícola. Por lo anterior es imperativo buscar alternativas de cultivos forrajeros con menor demanda de agua y alto rendimiento de biomasa por unidad de agua consumida, asegurando así la sustentabilidad. El sorgo es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial; esta especie está adaptada a una amplia variedad

de condiciones agronómicas y medioambientales, particularmente en aquellas regiones que cuentan con amplios periodos de sequía, con patrones de precipitación erráticos, o bien, que no tienen acceso a condiciones de riego (Getachew *et al.*, 2016). Diversos estudios han demostrado que el sorgo es capaz de producir rendimientos de forraje comparables al maíz, incluso se ha llegado a sugerir que el cultivo de sorgo puede sustituir al de maíz en aquellas regiones o épocas del año donde las condiciones agronómicas y medioambientales no son aptas para el cultivo del mismo.

En un estudio, De la Cruz (2016), observó un rendimiento similar ($P > 0.05$) en MS entre el forraje de sorgos para grano y el forraje de maíz cuando los cultivos fueron desarrollados en la época seca en el trópico húmedo. Por otro lado, el TND ha^{-1} fue mayor ($P < 0.05$) en el maíz vs. los sorgos graníferos, pero fue igual ($P > 0.05$) entre el maíz y el sorgo con la mutación *bmr* (con menor contenido de lignina). Esto explica la ventaja que tiene el maíz sobre los sorgos convencionales (sin nervadura café) cuando la comparación se hace en nutrientes por hectárea, pero cuando se compara el maíz con los sorgos *bmr*, estos últimos pueden igualar o incluso superar el TND ha^{-1} de los maíces. Un comportamiento similar es reportado por Schmid *et al.* (1976), ellos compararon el rendimiento y la composición química del forraje de once maíces y catorce sorgos forrajeros. Observaron que en promedio el rendimiento de MS fue 12.0 y 13.2 ton ha^{-1} , 28.4 y 34.6 % de FDA y 64.4 y 55.9 % de digestibilidad de la MS, para los maíces y sorgos respectivamente. En otro estudio llevado a cabo en la UC Davis se reporta un rendimiento promedio de 24.7 y 22.0 ton ha^{-1} de MS, 46.4 y 53.7 % de FDN y 26.5 y 32.1 % de FDA para maíces y sorgos forrajeros,

respectivamente (Getachew *et al.*, 2016). Con base a estos estudios se puede afirmar que bajo condiciones de temporal (sin extrema sequía) el sorgo puede igualar al maíz en rendimiento de forraje pero no en nutrientes digestibles por hectárea. De lo anterior resulta necesario investigar a qué nivel hídrico diferentes tipos de sorgo pueden superar al maíz, tanto en rendimiento como en nutrientes por hectárea.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el campo experimental de la Posta Zootécnica de la Universidad del Papaloapan ubicado en Loma Bonita, Oaxaca. Las coordenadas geográficas del sitio son 18° 06' 06" latitud Norte y 95° 53' 48" longitud Oeste a 33 msnm (Google Earth®). El clima del lugar es cálido húmedo, con lluvias abundantes en verano (Am). Con una precipitación promedio anual de 1,845 mm y con una temperatura promedio de 24 °C según el sistema de Köppen modificada por García (2004).

5.2. Desarrollo del experimento

5.2.1. Establecimiento del cultivo

Los híbridos de sorgo Niquel (**Niquel**; sorgo para grano; Asgrow®), RB-Norteño (**RBN**; sorgo para grano; Inifap) y RB-Huasteco (**RBH**; sorgo para grano; Inifap), las variedades Silo Miel 350 (**SM350**; forrajero con venación café braquítico; Genex®) y Silo Miel DP (**SMDP**; forrajero convencional doble propósito; Genex®), fueron establecidas bajo condiciones de temporal el 06 de junio de 2013. Después de un chapeo y dos pasos de rastra, la siembra se hizo de forma manual a chorro a una densidad estimada de 20 kg de semilla por hectárea con una densidad esperada de 160000 p/ha.

5.2.2. Tratamiento y diseño experimental

El diseño de tratamientos fue completamente al azar con tres repeticiones. De cada genotipo se sembraron tres parcelas, haciendo un total de quince. Cada parcela midió 12 x 2.8 m con 0.7 m de espacio entre líneas, quedando una parcela útil de 33.6 m². La fertilización se hizo manualmente mediante

aplicar la formula 120N-00P-00K; dividida en dos aplicaciones: a los 15 y 50 d posteriores de la fecha de siembra. Las labores culturales fueron las tradicionales de la región: dos aplicaciones de foliar, Insecticida y deshierbe manual.

5.2.3. Cosecha y toma de la muestra

La cosecha se hizo cuando los sorgos alcanzaron la etapa de grano lechoso-masoso; lo cual ocurrió en promedio a los 84 ± 8 d, dependiendo del genotipo (RBH, 81; RBN, 74; Niquel, 84; SM350, 97; SMDP, 83 d). Al momento de la cosecha se estimó la densidad de plantas y el rendimiento de forraje por hectárea. Para esto se realizó un muestreo en diagonal en los surcos hasta completar la longitud total de uno de ellos; en cada muestreo se contó y después se cortó el número de plantas que había en 2.5 m lineales.

En cada muestreo el material cosechado se pesó y después se mezcló para posteriormente ser picado con una picadora estacionaria de gasolina. Con el material picado se tomó una muestra de 1000 gr de forraje verde. Las muestras se trasladaron al laboratorio Químico Biológico de la Universidad del Papaloapan donde fueron secadas a 60 °C en un horno de convección durante 72 h para determinar su contenido de materia seca, y así, calcular el rendimiento de materia seca por hectárea.

5.2.4. Análisis químico

Una vez secas, las muestras fueron molidas y pasadas a través de una malla de 1 mm en un molino Wiley (Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, PA). Con la muestra molida se hizo el análisis químico en base a determinar materia seca total (105 °C por 12 h), materia orgánica (MO) y cenizas (550 °C por 3 h),

proteína cruda (PC; % de nitrógeno x 6.25) y extracto etéreo (EE). Siguiendo los métodos de análisis oficiales de la AOAC (1995).

El contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se determinaron de acuerdo a la metodología propuesta por Van Soest et al., (1991). La lignina detergente ácido (LDA) se determinó utilizando el método propuesto por Goering y Van Soest (1970). La concentración de FDN, FDA y LDA se determinaron secuencialmente en el analizador de fibras ANKOM200, usando bolsas filtro Ankom® F57 con un tamaño de poro de 30 µm (Ankom Corp., Fairport, NY).

5.2.5. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se realizó en el laboratorio químico biológico. Las muestras molidas a 1 mm fueron incubadas por duplicado en el equipo DaisyII®, siguiendo la metodología de Ankom (Ankom Technology Corp., Fairport, NY-USA).

Bolsas filtro Ankom® F57 con tamaño de poro de 30 µm y dimensiones de 5 x 4 cm fabricadas de poliéster/polietileno, fueron remojadas en acetona por cinco minutos, secadas al medioambiente, marcadas y pesadas. En cada bolsa se depositaron 0.25 g (\pm 0.05) de muestra. Las bolsas con la muestra fueron selladas con calor con una selladora de impulso de 120V y 60Hz (American Intern. Elec. Corp.) Para su posterior uso. También fueron pesadas y selladas dos bolsas blanco (bolsa sin muestra) para efectuar la corrección por contaminación durante el proceso de incubación.

5.2.5.1. Preparación del medio de cultivo para el inóculo

Para la incubación de las muestras, se preparó el medio de cultivo de

acuerdo a los lineamientos descritos por Aankom®: el medio para el inóculo estuvo compuesto por una solución búfer A (10 g/L de KH_2PO_4 , 0.5 g/L de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.5 g/L de NaCl , 0.1 g/L de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 0.5 g/L de urea) y una solución búfer B (15 g/L de Na_2CO_3 y 1.0 g/L de $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$). Ambas soluciones fueron precalentadas a 39 °C y mezcladas a una relación 5:1 (1596 ml) ajustando el pH a 6.8 a 39 °C. Esta mezcla fue agitada y transferida a dos jarras de digestión del equipo DaisyII donde previamente fueron depositadas las bolsas conteniendo la muestra.

5.2.5.2. Obtención del líquido ruminal e incubación de las muestras

El líquido ruminal fue retirado manualmente de los sacos ventral y caudal del rumen de dos vacas que fueron sacrificadas en el rastro municipal de Loma Bonita, Oax. De cada vaca se depositó líquido ruminal en una garrafa térmica y digesta ruminal en otra.

En el laboratorio químico biológico, el líquido ruminal fue filtrado a través de dos capas de tela quesera, la parte sólida fue retirada de la tela y transferida a una licuadora junto con líquido ruminal y licuado por 30 segundos, con gaseado constante de CO_2 , para mantener una atmosfera anaerobia. El material licuado junto con el resto de líquido ruminal fueron nuevamente filtrados y transferidos a un recipiente mantenido en baño maría a 39 °C y continuamente saturado con CO_2 . Este procedimiento garantizó que el inóculo resultante estuvieron compuesto por microorganismos ruminales adheridos y no adheridos al material fibroso.

Obtenido el inóculo ruminal, 400 ml del inóculo fueron transferidos a cada una de las jarras de digestión, mezcladas con las soluciones búfer y gaseadas

por 30 segundos con CO₂ e incubadas durante 48 h en el equipo DaisyII.

Pasadas las 48 h de incubación, las muestras fueron retiradas de las jarras, enjuagadas inicialmente en agua fría y posteriormente lavadas cuidadosamente de manera individual usando el agua del grifo. Posteriormente, las bolsas conteniendo las muestras fueron sometidas a un proceso de digestión con solución detergente neutro para estimar la DIVMS de acuerdo al procedimiento descrito por Ankom para la digestibilidad verdadera *in vitro*.

5.3. Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: densidad final (plantas ha⁻¹), porcentaje de materia seca (% MS), rendimiento de forraje verde (MV ha⁻¹) y seco por hectárea (MS ha⁻¹), porcentaje en base a materia seca de proteína cruda (PC), cenizas, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina detergente ácido (LDA), carbohidratos no fibrosos (CNF) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS).

5.4. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados a través de un diseño completamente al azar con tres repeticiones con el procedimiento GLM del paquete estadístico del SAS, bajo el modelo:

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

Dónde:

Y_{ij} = variable de respuesta,

μ = media general,

T_i = efecto de tratamiento (cinco sorgos).

e_{ij} = error aleatorio atribuido a la medición.

La comparación de medias se hizo con la prueba de rango múltiple de Duncan, a un $\alpha \leq 0.05$ para rendimiento y ≤ 0.10 para composición química y digestibilidad in vitro de la materia seca.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1. Densidad de plantas por hectárea

La densidad final de la siembra de plantas ha^{-1} se muestra en el Cuadro 1. El sorgo Niquel y SMDP estadísticamente fueron los que obtuvieron mayor densidad de plantas ha^{-1} ($P=0.001$), mientras que los cultivares BRH, RBN y SM350 presentaron valores bajos de plantas ha^{-1} . Esto puede deberse a las características propias de cada genotipo; esto es, las plantas de los sorgos Niquel y SMDP mostraron mayor desempeño en su desarrollo, tuvieron mayor competencia por luz y agua que los sorgos RBH, RBN y SM350, en los cuales las plantas no desarrollaron adecuadamente. En relación a lo anterior, Anguil (2007) menciona que la densidad de planta depende de la calidad de la semilla, tamaño y peso de la misma, sistema de siembra, el tipo de híbrido, disponibilidad de riego o el tipo de suelo.

En México se recomienda sembrar el sorgo de 85 a 150 mil plantas ha^{-1} y a 0.75 m de distancia entre surcos; sin embargo, la densidad puede afectar el rendimiento y la calidad del forraje (Bolaños y Emile, 2013). Se espera que, a densidades más altas, mayor es el contenido de paredes celulares en la planta de sorgo (Caravetta *et al.*, 1990); sin embargo, en el estudio de Marsalis *et al* (2010), no se observó una mejora en la calidad del forraje de sorgo en relación al contenido de PC, FDN, DFDN y energía neta de lactancia a tres densidades de plantas ha^{-1} . Por su parte Bolaños y Emile (2013) reportaron que la calidad del forraje de sorgo establecido a 0.20 y 0.75 m de espacio entre líneas, solo fue determinada por su contenido de proteína y no por su contenido de fibra o digestibilidad.

Cuadro 1. Media±DE del número de plantas ha⁻¹, contenido de materia seca (% MS), rendimiento de material verde (MV ha⁻¹) y materia seca (MS ha⁻¹) de cinco genotipos de sorgos cultivados bajo condiciones de temporal en Loma Bonita, Oaxaca.

Genotipo	Planta ha ⁻¹	% de MS	MV ha ⁻¹ , t	MS ha ⁻¹ , t
Niquel	130417 ^a	31.7±0.7 ^a	26.5±4.8 ^{ab}	8.4±1.6 ^{ab}
RBH	86667 ^b	31.9±0.7 ^a	24.5±3.6 ^b	7.8±1.3 ^b
RBN	95417 ^b	28.2±1.7 ^b	23.0±9.6 ^b	6.4±2.4 ^b
SM350	98750 ^b	25.8±0.9 ^c	35.0±5.3 ^a	9.0±1.1 ^{ab}
SMDP	130833 ^a	31.3±0.9 ^a	33.8±8.9 ^a	10.6±3.1 ^a
Media	108417	29.8	28.5	8.4
c.v.	17.8	3.5	24.1	24.1
valor-p	0.001	<0.0001	0.015	0.021

Niquel= sorgo Niquel, RBH= sorgo RB-Huasteco, RBN= sorgo RB-Norteño, SM350= sorgo silo miel 350, SMDP= sorgo silo miel DP.

a,b. Medias entre filas sin letra en comun son estadísticamente diferentes (P ≤ 0.05). DE=desviación estandar, c.v.= Coeficiente de variación.

Normalmente altas densidades de plantas ha⁻¹ significan más rendimiento de forraje por área; sin embargo, debe señalarse que a altas densidades las plantas desarrollan tallos de menor diámetro (más delgados) lo que predispone al acame, particularmente en sorgos de porte alto, como el SMDP que puede llegar a medir hasta 2.20 m de altura. También, la presencia de vientos y/o lluvias en etapas de madurez avanzadas, predisponen al acame. Así, la combinación de tallos delgados más el incremento del peso de la panoja por el llenado del grano en etapa de madurez avanzada (grano masoso) predispone al doblado de la planta de sorgo. Las observaciones anteriores deben ser tomadas en cuenta al momento de seleccionar un sorgo para forraje.

6.2. Contenido de materia seca

El porcentaje de MS fue más alto (P<0.0001) en los sorgos Niquel, RBH y SMDP, mientras que el SM350 presentó el valor más bajo (Cuadro 1). Estos valores son parecidos a los reportados por Ramírez *et al.* (2014) en un estudio

llevado a cabo con los mismos sorgos. Lo anterior confirma que cuando los sorgos son cultivados bajo condiciones del trópico húmedo y son cosechados en la etapa de grano lechoso-masoso, el contenido de MS es de 27 a 30 %, siendo los sorgos bmr los que presentan menor contenido de MS y, por tanto, se espera que presenten menor rendimiento de forraje seco ha⁻¹.

El porcentaje promedio de MS observado en este estudio (Cuadro 1) al momento de la cosecha, es lo recomendable para obtener buen rendimiento y adecuada calidad del forraje o ensilaje de sorgo (NRC, 2001; Bolaños *et al.*, 2012; Calsamiglia *et al.*, 2016). Es bien conocido que el momento óptimo de la cosecha del sorgo es cuando el grano se encuentra en la etapa de lechoso-masoso; esto es, cuando el grano es aplastado entre los dedos índice y pulgar y 50-25 % del contenido es líquido blanco (Gerik *et al.*, 2003; Carmi *et al.*, 2006); suceso que, en la mayoría de las ocasiones, ocurre cuando la planta contiene entre 27 y 32 % de MS.

6.3. Rendimiento de forraje por hectárea

El rendimiento de forraje por ha⁻¹ está muy relacionado con la densidad y el contenido de MS presente en la planta de sorgo al momento de la cosecha, pero también la altura de la planta y la relación hoja:tallo:panoja influyen de manera importante sobre el rendimiento. Los sorgos SMDP, SM350 y Niquel presentaron los mayores ($P=0.015$) rendimientos de MV y MS ha⁻¹ (Cuadro 1). Esta diferencia, respecto a los sorgos RBH y RBN se atribuyó principalmente a la altura de las plantas (variable no medida). De la misma forma, el mayor rendimiento del sorgo SMDP fue debido que es un sorgo de porte alto, con buena relación hoja:tallo:panoja.

El menor rendimiento de SM350 se atribuye, principalmente, a su menor contenido de MS y menor densidad de plantas ha^{-1} . En su estudio Ramírez *et al.* (2014) reportaron un rendimiento de 7.2 t de MS ha^{-1} para el sorgo SM350 cultivado en el periodo diciembre-marzo, donde la precipitación total fue 103.5 mm, muy por debajo de los 552 mm ocurridos en el presente estudio. Por lo anterior, se puede afirmar que en trópico húmedo los sorgos SM350 y SMDP, presentan buen potencial de rendimiento, siendo mayor en la época de lluvias.

Aunque la MV ha^{-1} fue numéricamente mayor en el sorgo SM350 vs. SMDP, el rendimiento de MS ha^{-1} es más alto en el sorgo SMDP. Esto se explica por el mayor contenido de MS presente en este sorgo al momento de la cosecha; además, como se mencionó anteriormente, el SMDP fue desarrollado para obtener altos rendimientos de biomasa.

Por último, el bajo rendimiento de los sorgos RBH y RBN, se atribuyó a su baja densidad, menor contenido de MS y menor altura de planta.

6.4. Composición química

6.4.1. Contenido de proteína cruda

La proteína cruda (PC) declina conforme la planta de sorgo avanza en su madurez. La variedad también es un factor importante que afecta la calidad en relación al contenido de PC, fibra y digestibilidad del forraje. Sin embargo, en este estudio la PC fue igual ($P=0.730$) entre los genotipos, con promedio 10.3 % (Cuadro 2). Este valor es similar a un 10.1 % observado por Bolaños y Emile (2013) y al 10.2 % obtenido por De la Cruz (2015). En otro estudio Bolaños *et al.* (2012), observaron que la proteína varió de 7.5 a 10.4 %, resultado que estuvo inversamente ligado al rendimiento de MS, altura de planta y relación

Cuadro 2. Medias±DE del contenido porcentual de proteína cruda (PC) y cenizas de cinco genotipos de sorgos cultivados bajo condiciones de temporal en Loma Bonita, Oaxaca.

Genotipo	PC	Cenizas
Niquel	9.4±0.8	5.2±2 ^{ab}
RBH	10.9±1.8	6.7±1 ^a
RBN	10.7±2	7.3±1.7 ^a
SM350	9.9±1.6	5.6±1.2 ^{ab}
SMDP	10.4±4	4.0±0.3 ^b
Media	10.3	5.8
c.v.	14.2	24.0
valor- <i>p</i>	0.730	0.094

Niquel= sorgo Niquel, RBH= sorgo RB-Huasteco, RBN= sorgo RB-Norteño, SM350= sorgo silo miel 350, SMDP= sorgo silo miel DP (doble propósito).

a,b, Medias entre filas sin letra en común son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.10$).

DE= desviación estándar, c.v.= coeficiente de variación.

tallo/planta. Respecto a este último resultado, se ha observado que la menor concentración de PC en variedades con mayor rendimiento de biomasa, se explica por la dilución del nitrógeno dentro de la planta debido al incremento de la MS en la misma. Así, se espera que variedades con menor rendimiento de MS, menor altura de planta y menor relación tallo/planta, tengan niveles de PC más altos. También se ha observado que la concentración de proteína tiene relación directa con el área foliar ($r^2=0.71$; $P < 0.05$; Bolaños *et al.*, 2012), esto debido a que la concentración de proteína es mayor en las hojas del sorgo que en sus tallos (Singh *et al.*, 2007).

Finalmente, el resultado de estos y otros estudios muestra que el contenido de PC del forraje de sorgos supera al de maíz, que es alrededor de 8 a 9 %.

6.4.2 Contenido de cenizas

El contenido de cenizas fue más alto en los sorgos RBH y RBN, intermedio en los sorgos Niquel y SM350 y más bajo en el sorgo SMDP (Cuadro 2; $P=0.094$). El contenido de cenizas fue en promedio de 5.8 % y fue más bajo al

7.5 y 10.9 % reportados en el NRC (2001) para sorgos graníferos y sudan, respectivamente. En otro estudio, de un promedio de quince genotipos de sorgo evaluados se reportó un valor de 11.9 % (Vargas, 2005). Por su parte, Bolaños y Emile (2013) reportaron un contenido de 6.4 y 4.9 % para los años 2007 y 2008, respectivamente.

El nivel de cenizas en una planta está en función del contenido de MS, la etapa de madurez, así como el contenido y disponibilidad de minerales presentes en el suelo. Por lo tanto, se espera que a una etapa de madurez más temprana mayor será el contenido de cenizas. Un resultado como el anterior se puede observar en el estudio de Vargas (2005).

6.4.3. Contenido de FDN y FDA

El contenido de FDN y FDA fueron estadísticamente iguales entre los sorgos, siendo el sorgo Niquel el que presentó los niveles más altos (Cuadro 3). Los niveles más bajos de FDN y FDA se atribuyen a una mayor relación panoja/planta. Por su parte, los mayores niveles de fibra son atribuidos a una mayor densidad de plantas ha^{-1} (Caravetta *et al.*, 1990). No obstante, en los estudios de Carmi *et al.* (2006) y Marsalis *et al.* (2010) no se observó un efecto importante de la densidad sobre el contenido de FDN y digestibilidad del forraje, al contrario, en el primer estudio se observa una disminución en el contenido de lignina a través de las densidades baja, media y alta. En otro estudio Bolaños y Emile (2013) reportaron que la calidad del forraje de sorgo establecido a 0.20 y 0.75 m de espacio entre líneas, solo fue determinada por su contenido de proteína y no por su contenido de fibra o digestibilidad.

En este estudio el contenido de FDN y FDA observado en los sorgos para

Cuadro 3. Medias±DE del contenido porcentual de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), carbohidratos no fibrosos (CNF), lignina detergente ácida (LDA) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de genotipos de sorgos cultivados bajo condiciones de temporal en Loma Bonita, Oaxaca.

Genotipo	FDN	FDA	CNF*	LDA	DIVMS
Niquel	58.9±0.7 ^a	32.9±1.6 ^a	24.2±2.4 ^{bc}	4.46±0.5	42.5±0.6 ^b
RBH	57.3±2.9 ^{ab}	31.5±1.4 ^{ab}	22.8±3.2 ^c	4.55±0.3	48.5±0.5 ^a
RBN	53.0±3.8 ^b	28.8±3 ^b	26.7±2.2 ^{abc}	4.18±0.2	48.5±0.9 ^a
SM350	53.7±0 ^b	29.7±0.5 ^{ab}	28.5±2.7 ^{ab}	4.05±0.4	49.0±2.4 ^a
SMDP	54.5±2.3 ^b	29.0±2.2 ^b	29.8±1.5 ^a	4.02±0.5	49.5±0.7 ^a
Media	55.5	30.4	26.4	4.25	47.6
c.v.	4.3	6.3	9.3	9.1	2.6
valor- <i>p</i>	0.057	0.104	0.031	0.381	0.0002

Niquel= sorgo Niquel, RBH= sorgo RB-Huasteco, RBN= sorgo RB-Norteño, SM350= sorgo silo miel 350, SMDP= sorgo silo miel DP (doble propósito).

a,b,c Medias entre filas sin letra en común son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.10$).

DE= desviación estándar, c.v.= coeficiente de variación. *Estimado mediante: $CNF (\% MS) = 100 - (\%PC + \%FDN + \%EE + \%Ceniza)$ (NRC, 2001).

grano, son similares a los obtenidos por De la Cruz (2015); sin embargo, el valor de 53.7 % de FDN y 29.7 % de FDA observados en este estudio para el sorgo SM350 son 5.1 y 2.6 unidades mayor a lo reportado por el mismo autor. Esta diferencia no puede ser explicada, ya que se espera que este sorgo tenga menos paredes celulares por presentar el gen *bmr*, rasgo que le confiere menor contenido de lignina. Por otro lado, es posible atribuir estas diferencias a las diferentes variables climáticas que imperaron en cada experimento, ya que en el experimento de De la Cruz (2015) los sorgos fueron establecidos en el mes de diciembre (época con días más fríos y menos lluvia), mientras que el presente estudio los cultivos se desarrollaron entre junio y agosto (época con días calurosos y más lluvia).

Lo anterior tiene relación directa con el desarrollo de la planta, es bien sabido que el contenido de paredes celulares está influenciado directamente

con la temperatura ambiental, radiación solar y disponibilidad de agua; a mayor temperatura mayor será la proporción de carbohidratos fibrosos, y viceversa. Por otra parte, a mayor disponibilidad de agua se espera un incremento en los componentes de la pared celular: hemicelulosa, celulosa y lignina (FDN); al respecto Carmi *et al.* (2006), observaron que niveles de irrigación de 20, 100 y 180 mm, el contenido de FDN fue de 64.8, 65.9 y 68.3 % cuando el sorgo fue cosechado en etapa de grano masoso. Los autores atribuyeron este comportamiento a un mayor desarrollo de los tallos lo que ocasionó incremento y lignina y disminución de la digestibilidad.

En otros estudios se han reportado valores de FDN y FDA por arriba del 50 y 29 % para el mismo híbrido de sorgo (Corral *et al.*, 2011).

El contenido de carbohidratos estructurales de un forraje depende en gran medida de la especie, variedad y sus cruza. En el NRC (2001) se reporta un contenido de 60.7 y 38.7, y de 63.3 y 40.7 % de FDN y FDA para el ensilaje de sorgos tipo graníferos y tipo sudan (forrajeros), respectivamente, cosechados con 28.8 % de MS. Nótese que el contenido de fibra es notoriamente mayor en los sorgos tipo sudan, diferencias que están en función del perfil de carbohidratos fibrosos en los distintos componentes de la planta (hoja, tallo, espiga), en lo cual la relación hoja:tallo:panoja es determinante para el contenido de fibra total presente en la planta y, en general, para el contenido de nutrientes y su digestibilidad.

Otras referencias reportan valores de 58.0 y 37.5 % para FDN y FDA (Calsamiglia *et al.*, 2016), que es mayor a lo reportado en este estudio a similar contenido de MS. En su estudio Thomas *et al.* (2013) evaluaron cuatro

diferentes tipos de sorgos forrajeros y reportan valores que coinciden con lo obtenido en el presente estudio. En ese estudio el contenido de FDN fue de 50.5 a 57.6 % y de FDA de 30.3 a 33.0 %, y observaron que el contenido de fibra fue menor en el sorgo con la mutación bmr.

En otro estudio Vargas (2005) evaluó el rendimiento y contenido de nutrientes de 15 sorgos cosechados a 77 d de edad. Observó un contenido promedio de 73.3 y 43.0 % de FDN y FDA, valores muy por encima a los obtenidos en el presente estudio. Ese elevado nivel de fibra observado por Vargas (2005), puede atribuirse al bajo contenido de MS (14.0 %) que presentaban los sorgos al momento de la cosecha, esto implica un menor desarrollo de la panoja y, por consecuencia, una relación tallo:hoja.panoja elevada, lo que se traduce en menor contenido de almidón y mayor contenido de fibra en la planta completa.

Por último, en un estudio donde se evaluó el efecto de la etapa de madurez sobre la calidad del forraje de cuatro sorgos, se observó que cuando los sorgos fueron cosechados en la etapa de grano lechoso y masoso, el contenido de FDN fue 60.8 y 55.4 %, y la FDA de 35.6 y 33.4 % (Atis *et al.*, 2012). Esos resultados son parecidos a las medias obtenidas en este estudio. En el mismo estudio se observa que al avanzar la etapa de madurez a la cosecha el contenido de FDN y FDA disminuyeron, pero lo contrario ocurrió con el contenido de lignina que se incrementó linealmente al avanzar la etapa de madurez. Esto confirma que la etapa de madurez al corte de un forraje influye de manera importante sobre su calidad.

6.4.4. Contenido de lignina

No se observó diferencia estadística para el contenido de lignina (LDA; $P=0.381$) en los diferentes genotipos de sorgos evaluados. En promedio el contenido de LDA fue de 4.25 % en base a materia orgánica (Cuadro 3). Los sorgos SM350 y SMDP tendieron a presentar menor contenido de LDA. Para el caso del primero se atribuye a su característica bmr; en el caso del segundo, a la alta densidad de plantas y a la relación panoja/planta, tal como ocurrió en el estudio de Carmi *et al.* (2006). En ese estudio se observa un promedio de 4.75 y 4.15 % en el forraje del sorgo Tal cuando fue cosechado en la etapa de floración temprana y grano masoso. Este descenso del contenido de lignina de la etapa de floración a grano masoso, fue atribuido al llenado del grano por almidón y a un incremento en la relación panoja/planta lo que ocasionó un cambio en la proporción de lignina. También se observó que, en la etapa de grano masoso, al aumentar la densidad de plantas el contenido de lignina disminuye.

En otros estudios se reporta un contenido de 4.6 a 5.6 % cosechado en similar etapa de madurez (Calsamiglia *et al.*, 2016). Por su parte en el NRC (2001) se reporta un contenido de 6.5 y 5.9 % para los ensilajes de sorgo tipo graníferos (sorgos para grano) y sudan (forrajeros), respectivamente.

En un estudio donde se evaluaron 15 genotipos de sorgo forrajero se observó un promedio de 5.12 % de lignina, con rango de 4.07 a 7.30 % (Vargas, 2005). Por su parte Thomas *et al.* (2013) reportan que el contenido de lignina del forraje de un sorgo con nervadura café, un fotosintético y dos sorgos

forrajeros convencionales (sin nervadura café), fue de 4.61, 5.84, 5.87 y 6.43 %, respectivamente.

Diversos estudios han demostrado que la cantidad de lignina y su relación química con la celulosa y la hemicelulosa tiene efecto directo sobre la DIVMS (Carmi *et al.*, 2006; Miron *et al.*, 2006; Yosef *et al.*, 2009). De tal manera que, dentro de los criterios a considerar para mejorar el valor nutritivo de un forraje deben incluir mayor DIVMS y reducción del contenido de lignina. Para lograr esto se debe tener en cuenta la selección genética, la etapa de madurez al corte y factores de crecimiento como nivel de irrigación y densidad de plantas.

Es de esperarse que cuando el contenido de lignina de un forraje tiende a disminuir, la digestibilidad *in vitro* se incrementa y viceversa; de hecho, se ha sugerido que cada 1 % de incremento en lignina la DIVMS se reduce 4 % (Cherney *et al.*, 1991).

Por lo anterior es imperativo determinar el contenido de lignina en la muestra de forraje, esto permitirá hacer una buena selección del material a cultivar.

6.4.5. Contenido de carbohidratos no fibrosos

El contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF) fue mayor en los sorgos SMDP y SM350, pero no fueron diferentes al RBN (Cuadro 2). Esto significa que estos sorgos presentaron mayor contenido de almidón; en parte, debido a un mayor contenido de grano vs. los sorgos RBH o Niquel que presentaron menor contenido de CNF. Del estudio de Corral *et al.* (2011) se calcula un contenido de CNF de 31.7 y 34.5 % para los sorgos Silo Miel y Gigante Verde, valores que son superiores al 18.4 % de Colombia *et al.* (2010) para un sorgo bmr. Un valor de 27.1 % fue observado por De la Cruz (2015) con los mismo

sorgos (dato no publicado), similares al 26.4 % observado en el presente estudio. Por su parte Thomas *et al.* (2013) reportaron un contenido de carbohidratos solubles de 21.3, 19.9, 17.2 y 13.3 % para un forraje de sorgo bmr, un sorgo fotosintético y dos sorgos forrajeros convencionales, respectivamente.

En general, los sorgos SMDP y SM350 presentaron mayor cantidad de CNF, lo cual se relacionó a un menor contenido de pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina). Esta característica hace a estos sorgos más digestibles para los rumiantes, lo que conlleva mayor aprovechamiento de los nutrientes y mayor producción de leche en las vacas. Por su parte, el contenido de CNF de los sorgos para grano es atribuido en gran parte a su contenido de grano; característica que se debe aprovechar para producir ensilajes con elevados rendimientos de MS y alto contenido de almidón.

6.5. Digestibilidad *in vitro* la materia seca

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) fue en promedio de 47.4 % (Cuadro 2). Con excepción del sorgo Niquel, que presentó el valor más bajo ($P=0.002$), el resto de los sorgos no mostraron diferencias. Es importante observar que si no se considera la media del sorgo Niquel el promedio general cambia a 48.9 %.

Se observó una tendencia numérica a favor de los sorgos SM350 y SMDP, lo cual se relaciona a su vez con el menor contenido de FDN, FDA y LDA que presentan estos dos sorgos (Cuadro 3). Lo anterior se explica en parte a que estos sorgos fueron creados con fines forrajeros; además, se ha demostrado que la DIVMS tiene una alta correlación con el contenido de lignina (Carmi *et*

al., 2006; Miron *et al.*, 2006; Yosef *et al.*, 2009), En un estudio se observó que cuando el contenido de lignina fue de 2.9, 2.3 y 2.5 %, la digestibilidad *in vivo* de la MS fue de 52.5, 62.9 69.1 % para un ensilaje de sorgo convencional, un bmr-6 y un bmr-18, respectivamente (Oliver *et al.*, 2004). Esto significa que pequeñas variaciones en el contenido de lignina implica cambios importantes en la digestibilidad. De hecho se afirma que por cada unidad porcentual de incremento en lignina, la digestibilidad de la MS disminuye de tres a cuatro unidades.

La baja digestibilidad del sorgo Niquel no se puede explicar del todo; no obstante, puede estar relacionado con el mayor contenido de FDN y FDA que presentó este genotipo y a una relación química más intrínseca entre la celulosa y la hemicelulosa con la lignina.

El promedio de 48.9 % observado en este estudio no se parece al 62.0 % reportado por Núñez *et al.* (1999) en el norte de México, con rango de 53.0 a 68.0 %; o al 59.8 % reportado por Bolaños y Emile (2013) en Francia. Por su parte, en Brasil, Machado *et al.* (2012) reportaron 50.7 y 54.5 % cuando la cosecha se hizo en grano lechoso y masoso, respectivamente. Mientras que Astigarraga *et al.* (2014) reportan 65.0 %. En un estudio más reciente en Brasil, Costa *et al.* (2016) evaluaron el rendimiento y la calidad de quince genotipos de sorgo cosechados a 30-35 % de MS, en los datos se observa un promedio de 42.1 % de DIVMS, siendo el valor más bajo de 33.8 % y el más alto de 52.4 %, resultados que son similares a los obtenidos en este estudio.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones en que fue desarrollado el presente estudio, los sorgos bmr y doble propósito presentaron mejor rendimiento y calidad del forraje. Los sorgos para grano, como el sorgo Niquel, por su adaptabilidad a la zona, son una buena alternativa para producir forraje verde o ensilado de buena calidad.

Se recomienda el uso de sorgos forrajeros bmr y doble propósito para ser establecidos en la zona del trópico húmedo en la época de lluvias, poniendo atención al ataque de plagas, pájaros y posible acame.

8. LITERATURA CITADA

- Améndola, R., Castillo, E. y Martínez, P. A. 2005. Perfiles por país del recurso pastura/forraje. México, FAO. pp. 58.
- Amer, S., Hassanat, F., Berthiaume, R., Seguinc P. and Mustafaa, A. F. 2012. Effects of water soluble carbohydrate content on ensiling characteristics chemical composition and *in vitro* gas production of forage millet and forage sorghum silages. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 177:23-29.
- Astigarra, L., Bianco, A., Mello, R. and Montedónico, D. 2014. Comparison of brown midrib sorghum with conventional sorghum forage grazing dairy cows. *Am. J. Plant Sci.* 5:955-962.
- Atis, I., Konuskan, O., Duro, M., Gozubenli, H. and Yilmaz, S. 2012. Effect of harvesting time on yield, composition and forage quality of some forage sorghum cultivars. *International J. of Agriculture & Biology.* 14:879-886.
- AOAC (Association of Analytical Chemists). 1995. Official methods of análisis. 16th ed. AOAC International, Arlington, VA.
- Aydin, G., Grant, R. J., O`Rear J. 1999. Brown midrib sorghum in diets for lactating dairy cows. *J. of Dairy Sci.* 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.
- Basurto, H. 2007. Programa estacional de reproducción: una alternativa para la producción bovina en pastoreo en el trópico mexicano. Disponible: www.ganaderialaluna.com/biblioteca.php. Consultado: mayo 15, 2017.

- Bean, B., McCollum, T., Pietsch, D., Rowland, M., Porter, B. and VanMeter, R. 2002. Texas panhandle forage sorghum silage trial. The Agriculture Program of Texas A&M University System. Disponible: <http://soilcrop.tamu.edu/publications/pubs/910465silage.pdf>. Consultado: abril 15, 2017.
- Bolaños, E. D., Emile, J. C. y Audebert, G. 2012. Rendimiento y calidad de híbridos de sorgo con y sin nervadura café. *Rev. Mex. de Cienc. Agrí.* 3:441-449.
- Bolaños, E. D. y Emille, J. C. 2013. Efecto de la distancia entre surcos y densidad de siembra en el rendimiento y calidad del forraje de sorgo. *Rev. de Mex. de Cienc. Pecu.* 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_siage/publications/Sorghum%20Silage%20a%Review.pdf. Consultado: Ago,2013.
- Borrell, A. K. and Hammer, G. L. 2000. Nitrogen dynamics and the physiological basis of stay-green in sorghum. *Crop Sci.* 40:1295-1307.
- 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.
- Calsamiglia, S., Ferret. A y Bach. A. 2016. Tablas FEDNA de valor nutritivo de forrajes y subproductos húmedos. 2 Ed. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA).

- Caravetta, G. J., Cherney, J. H. and Johnson, K. D. 1990. Within-row spacing influences on diverse sorghum genotypes: II. Dry matter yield and forage quality. *Agron J.* 82:210-215.
- Carmi, A., Aharoni, Y., Edelstein, M., Umiel, N., Hagiladi, A., Yosef, E., Nikbachat, M., Zenou, A. and Miron, J., 2006. Effects of irrigation and plant density on yield, composition and in vitro digestibility of a new forage sorghum variety, Tal, at two maturity stages. *Anim. Feed. Sci. Tech.*, 131: 120–132.
- Carrasco, N., Zamora, M. y Melin, A. 2011. Manual de Sorgo.-Chacra experimental Integrada. Barrow: Ed. INTA.- ISBN 978-987-679-071-0.
- Casler, M. D. 2000. Breeding forage crops for increased nutritional value. *Advances in Agronomy.* 71:51–107.
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2007. Guía técnica del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Editores M. Mejía, J. A. Orellana y B. N. Menjivar. La Libertad, El Salvador, Mar. 2007. 38 p.
- Cherney, Y. H., Cherney, D. J. R., Akin, D. E. and Axtell, J. D. 1991. Potential of brown-midrib, low lignin mutants for improving forage quality. *Advances in Agronomy.* 46:157–198.
- Costa, R. F., Pires, D. A. A., Moura, M. M., Sales, E. C. J., Rodríguez, J. A. S. and Rigueira, J. P. S. 2016. Agronomic characteristics of sorghum genotypes and nutritional values of silage. *Acta Scientiarum. Animal Science.* 38:127-133.
- Cummins, D. G. 1971. Relationships between tannin content and forage digestibility in sorghum. *Agron. J.* 63:500-502.

- Cherney, J. H. and Hall, M. H. 2008. Forage Quality in Perspective. Pennsylvania State College of Agricultural Sciences. 4 p.
- Cherney, J. H., Cherney, D. J. R., Akin, D. E. and Axtell, J. D. 1991. Potential of brown-midrib, low-lignin mutants for improving forage quality. *Adv. Agron.* 46:157-198.
- 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 Brasileña de Ciencias Agrarias.*6:181-187.
- De la Cruz, O. H. 2015. Rendimiento y composición química de ensilaje de sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*) cultivados en el trópico húmedo. Universidad del Papaloapan, Ciencias Agropecuarias, Tesis de Licenciatura.
- 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.
- Didier, G. 1991. Culture et utilisation du sorgho grain ensilé en plante entière pour l'engraissement des taurillons. Compte rendu d'essai n° 91093. Institut d l'Elevage et CEESO de Soual.
- Emile, J. C., Charrier, X., Do Nascimento, W. G. y Barrière, Y. 2005. Utilisation d'ensilage de sorgho planteentière pour l'alimentation de vaches laitières. In 12e. Rencontres Recherches Ruminantes. Paris, les7 et 8 décembre. 209 p.

- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie Libros, Núm. 6. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gerhardt, R. L., Fritz, J. O., Moore, K. J. and Jaster, E. H. 1994. Digestion kinetics and composition of normal and brown midrib sorghum morphological components. *Crop Sci.* 34:1353-1361.
- Getachew, G., Putman, D. H., De Ben, C. M. and De Peters, E. J. 2016. Potential of sorghum as an alternative to corn forage. *Ame. J. of Plant Sci.* 7:1106-1121.
- Gerik, T., Bean, B. and Vanderlip, R. 2003. Sorghum growth and development. Agricultural Communications. The Texas A&M University System. B-6137. pp. 8.
- Goering, H. K. and Van Soest, J. P. 1970. Forage fiber analices (Apparatus Reagents, Procedures, and some Applications), *Agric. Handbook No. 379.* USDA-ARS, Washinton, DC. 20.
- Gómez, L. H. y Sarmiento, N. A. 1975. El cultivo del sorgo. Universidad Nacional de Colombia, Medellin, Facultad de Agronomía, Medellin. Disponible: www.bdigital.unal.edu.co/38/. Consultado: Nov. 30, 2016.
- Humphreys, J. M. and Chapple, P. 2002. Rewriting the lignin road-map. *Curr. Opin. Plant Biol.* 5:224-229.
- Legarto, J. 2000. L'utilisation en ensilage plante entière des sorghos grains et sucriers: intérêts et limites pour les régions sèches. *Fourrages.* 163:323-338.

- Lobell, D. B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P. and Naylor, R. L. 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science* 319, 607–610.
- Louisiana State University Research & Extension. Disponible: www.sorghumcheckoff.com/farmer-resources/grainproduction/cropping-systems. Consultado: Abril. 6, 2017.
- Lusk, J. W., Karau, P. K., Balogu, D. O. and Gourley, L. M. 1984. Brown midrib sorghum or corn silage for milk production. *J. Dairy Sci.* 67:1739-1744.
- Machado, F. S., Rodríguez, N. M., Rodríguez, J. A. S., Ribas, M. N., Teiweira, A. M., Ribeiro Jr., G. O., Velasco, F. O., Goncalves, L. C., Guimaraes Jr., R. and Pereira, L. G. R. 2012. Qualidade da silage de híbridos de sorgo em diferentes estádios de maturacap, *Arq. Bras. Med. Vet. Zoo.* 64:711-720.
- Magaña, J. G., Rios, G. y Martínez, J. C. 2006. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 14:105-114.
- McCorkle, D. A., Hanselka, D., Bean, B., McCollum, T., Amosson, S., Klose, S. and Waller, M. 2007. The economics benefits of forage sorghum silages as an alternative crop. MKT-3557L. Texas Cooperative Extension. The Texas A&M University System. Disponible en: <http://tcebookstore.org>. Consultado: Septiembre 01, 2014.
- Miron, J., Zuckerman, E., Sadeh, D., Adin, G., Nikbachat, M., Yosef, E., Ben-Ghedalia, D., Carmi, A., Kipnis, T. and Solomon, R. 2005. Yield,

- composition and *in vitro* digestibility of new forage sorghum varieties and their ensilage characteristics. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 120:17-32.
- Miron, J., Solomon, R., Adin, G., Nir, U., Nikbachat, M., Yosef, E., Carmi, A., Weinberg, Z. G., Kipnis T., Zuckerman, E. and Ben-Ghedalia, D. 2006. Effects of harvest stage and re-growth on yield, composition, ensilage and *in vitro* digestibility of new forage sorghum varieties. *J. Sci. Food Agric.*, 86: 140–147.
- Miron, J., Zuckerman, E., Adin, G., Solomon, R., Shoshani, E., Nikbachat, M., Yosef, E., Zenou, A., Weinberg, Z. J., Chen, Y., Halachmi I. and Ben-Ghedalia, D. 2007. Comparison of two forage sorghum varieties with corn and the effect of feeding their silages on eating behavior and lactation performance of dairy cows. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 139:23-39.
- National Research Council (NRC) 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. National Academy Press. Washington, D. C. 381pp.
- Núñez, G., Contreras, F. E., Faz, R. and Herrera, R. 1999. Componentes tecnológicos para la producción de ensilados de maíz y sorgo. INIFAP, CIRNOC, CE-La Laguna.
- Núñez, H. G. y Cantú. B. J. E. 2000. Producción y composición química y digestibilidad del forraje de sorgo x sudan de nevadura café en la región norte de México. *Técnica Pecuaria en México*. 38:117-187.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Disponible: www.gob.mx/siap/. Consultado: Abril 6, 2017.

- Oliver, A. L., Grant, R. J., Pedersen, J. F. and 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. *J. Dairy Sci.* 87:637-644.
- Oliver, A. L., Pedersen, J. F., Grant, R. J. and 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.
- Palacios, V. O., Moreno, G. T., Loaiza, M. A., Reyes, J. J. y 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.
- Ribeiro, P. L. G., Rodríguez, N. M., Gonçalves, C. L. y De Assis, D. A. 2007. Consideraciones sobre ensilajes de sorgo. In: Jornada sobre producción y utilización de ensilajes. Bahía Blanca, Universidad Nacional del Sur. pp. 51-68.
- Román, P. H., Ortega, L., Hernández, L., Díaz, E., Espinosa, J. A., Núñez, G., Vera, H. R., Medina, M. y Ruiz, F. J. 2009. Producción de leche de bovino en el sistema de doble propósito. Libro técnico Num.22. INIFAP. CIRGOC. Veracruz, México. 355 p.
- Ruiz, C. A., Medina, G., Ortiz, R. C., Martínez, I. J., Gonzales, H. E., Flores, k. y Byerly, F. 1999. Requerimiento A agroecológicos de los cultivos. Ed. INIFAP. Guadalajara, Jalisco. 324pp.
- Singh, S. P., Luthra, Y. P. and Joshi, U. N. 2007. Biochemical differences in some forage sorghum varieties in relation to *Pyrilla perpusilla* Walker

- infestation. *Acta Phytolopathologica et Entomologica Hungarica*. 42:17-23.
- Thomas, M. E., Foster, J. L., McCuiston, K. C., Redmon, L. A. and Jessup, R. W. 2013. Nutritive value, fermentation characteristics, and in situ disappearance kinetics of sorghum silages treated with inoculants. *J. Dairy Sci.* 96:7120-7131.
- Traxler, M. J., Fox, D. G., Van Soest, P. J., Pell, A. N., Lascano, C. E., Lanna, D. P. D., Moore, J. E., Lana, R. P., Vélez, M. and Flores, A. 1998. Predicting forage indigestible NDF from lignin concentration. *J. Anim. Sci.* 76:1469-1480.
- Undersander, D. 2003. Sorghums, Sudangrasses, and sorghum-Sudan hybrids. *Univ. of Wisconsin Focus on Forage* 5:5, Madison. <http://fyi.uwex.edu/forage/files/2014/01/SorghumsFOF.pdf>.
- Van Soest, J. P., Robertson J. B. and Lewis B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3589.
- Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd. ed. Cornell University Press. New York. 476 pp.
- Vargas, R. C. F. 2005. Valoración nutricional y degradabilidad ruminal de genotipos de sorgo forrajero (*Sorghum sp.*). *Agronomía Mesoamericana*. 16:215-223.
- Vogel, K. P. and Jung, H. G. 2001. Genetic modification of herbaceous plants for feed and fuel. *Crit. Rev. Plant Sci.* 20:15-49.

Yosef, E., Carmi, A., Nikbachat M., Zenou, A., Umiel, N. and Miron, J, 2009.
Characteristics of tall versus short-type varieties of forage sorghum grown
under two irrigation levels, for summer and subsequent fall harvests, and
digestibility by sheep of their silages. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 152: 1–11.