

UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

Campus Loma Bonita

LICENCIATURA EN ZOOTECNIA

**RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE FORRAJES DE
SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) EN FUNCIÓN DE LA
DENSIDAD DE SIEMBRA Y ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA**

TESIS PROFESIONAL

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN ZOOTECNIA**

PRESENTA:

ÁNGEL RAFAEL MURILLO HERNÁNDEZ

DIRECTOR:

DPh. SERGIO RAMÍREZ ORDÓÑES

LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO. 2021.



Universidad del Papaloapan

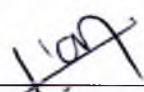
FECHA:	17 de Febrero del 2021
ÁREA:	Vice-Rectoría Académica
OFICIO NÚMERO:	UNPA/VRA/011/2021
ASUNTO:	Autorización de Impresión de tesis.

C. Ángel Rafael Murillo Hernández
PRESENTE:

En base al artículo 120 del reglamento de alumnos, por medio de la presente se aprueba la impresión de la tesis titulada **“Rendimiento y composición química de forrajes de sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) en función de la densidad de siembra y de la etapa de madurez fisiológica”** así como la programación del examen profesional bajo la dirección del Dr. Sergio Ramírez Ordoñez.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente.
terra ubérrima, mens aperta
Bou Lo-tama, chi jí jú


MC. HÉCTOR LÓPEZ ARJONA
Vice-Rector Académico.



**VICE-RECTORIA
ACADEMICA**



C.c.p. Dra. Tania Zúñiga Marroquín Jefe de Carrera de la Lic. En Zootecnia
C.c.p. L.P. Yesenia Barrientos Arenal. Jefa del Departamento de Servicios Escolares
C.c.p. Dr. Sergio Ramírez Ordoñez. Directora de Tesis.
C.c.p. Archivo.



Universidad del Papaloapan

Terra Uberrima. Mens Aperta

Licenciatura en Zootecnia

Loma Bonita, Oaxaca a 9 de febrero de 2021

M.E. Yesenia Barrientos Arenal
Jefa del Departamento de Servicios Escolares
PRESENTE

Mediante la presente, le informo que esta jefatura con el visto bueno de la Vice-rectoría Académica, ha designado a los siguientes profesores como sinodales del examen profesional del exalumno, el **C. Ángel Rafael Murillo Hernández**, quien defenderá su trabajo de tesis titulado **"Rendimiento y composición química de forrajes de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en función de la densidad de siembra y de la etapa de madurez fisiológica"**, para obtener el título de **Licenciado en Zootecnia**.

Titulares:

Presidente: M.C. Julián Cotera Rivera
Secretario: M.C. Iván Medel Contreras
Vocal: Dr. Sergio Ramírez Ordoñez

Suplentes:

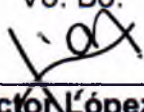
D.C. Jose Angel Rueda Barrientos
Dr. Nicolás Valenzuela Jiménez

Sin más por el momento, le envió un cordial saludo.

Atentamente



Dra. Fania Zúñiga Marroquín
Jefa de Carrera de Lic. en Zootecnia

Vo. Bo.


M.C. Héctor López Arjona
Vice-rector Académico

C.c.p.: M.C. Hector López Arjona. Vicerector académico. Para su conocimiento
C.C.p: Archivo

Universidad del Papaloapan. Campus Loma Bonita, Col. Cd. Universitaria, Loma Bonita, Oaxaca.

C.P. 68100. Tel: 01 (281) 87 222 39

www.unpa.edu.mx



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

LICENCIATURA EN ZOOTECNIA

LA PRESENTE TESIS TITULADA **RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE FORRAJES DE SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench) EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA Y ETAPA DE MADUREZ FISIOLÓGICA**, PRESENTADA POR EL PASANTE **ÁNGEL RAFAEL MURILLO HERNÁNDEZ**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL DPh. **SERGIO RAMÍREZ ORDOÑES**, HA SIDO REVISADA Y ACEPTADA POR EL JURADO REVISOR, COMO UN REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN ZOOTECNIA.

JURADO EXAMINADOR

DPh. **SERGIO RAMÍREZ ORDOÑES**
DIRECTOR

M.C. **JULIÁN COTERA RIVERA**
REVISOR

M.C. **CARLOS IVÁN MEDEL CONTRERAS**
REVISOR

DEDICATORIA

A mis padres:

En especial quiero agradecer a mis padres por siempre estar conmigo en todo momento apoyándome Ing. Rafael Murillo Arreola y Lic. Ana Lucia Hernández

A mis abuelos:

Por qué sé que, desde el cielo, siempre estuvieron conmigo en mi carrera.

Genaro, Maruca y Loreto.

A Jesús Murillo:

Por el apoyo que me brindaron en los momentos difíciles de mi carrera.

A mis compañeros:

Por todos los momentos que vivos juntos en la carrera.

A mis primos:

Por acompañarme en los momentos de mi carrera.

A mis amigos:

Quienes siempre estuvieron en los buenos momentos, Gerardo, Juan José, Karla y Alfredo.

AGRADECIMIENTOS

A los docentes, quienes en a lo largo de la carrera me apoyaron en mi formación académica, Dr. Sergio Ramírez Ordoñez, M.C. Julián Coterá Rivera, M.C. Carlos Iván Medel Contreras, Dr. Nicolás Valenzuela y Dra. Tania Zuñiga Marroquín.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. HIPÓTESIS	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1. Origen del sorgo.....	5
4.2. Clasificación del sorgo.....	5
4.3. Morfología de la planta de sorgo.....	6
4.3.1. Raíz.....	6
4.3.2. Tallo.....	6
4.3.3. Hojas.....	7
4.3.4. Flores.....	7
4.3.5. Semillas.....	7
4.4. Fenología del sorgo.....	8
4.5. Cultivares de sorgo y sus características generales.....	10
4.5.1. Kafir.....	10
4.5.2. Sorgo dulce.....	10
4.5.3. Durra.....	10

4.5.4. Shallu.....	10
4.5.5. Hegari.....	11
4.5.6. Milo.....	11
4.5.7. Sorgo escobero.....	11
4.5.8. Pasto sudan.....	11
4.5.9. Pasto Jhonson.....	12
4.5.10. Sorgo almun.....	12
4.6. Efecto de la madurez sobre la calidad de sorgos forrajeros.....	15
4.7. Efecto de la densidad de plantas sobre la calidad de sorgos forrajeros.....	18
4.8. Producción de sorgo forrajero en México.....	20
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
5.1. Área de estudio.....	22
5.2. Tratamientos y diseño experimental.....	22
5.3. Variables a evaluar.....	24
5.4. Características de rendimiento de forraje.....	24
5.5. Análisis de la composición química del forraje.....	25
5.6. Análisis estadístico.....	26
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
6.1. Variables climatológicas.....	28
6.2. Contenido de materia seca.....	28
6.3. Densidad final de plantas por hectárea.....	31
6.4. Rendimiento de materia seca por hectárea.....	32
6.5. Composición química.....	33
6.5.1. Contenido de proteína cruda (PC).....	33

6.5.2. Fibra detergente neutro (FDN).....	34
6.5.3. Fibra detergente ácido (FDA).....	36
6.5.4. Lignina detergente ácido (LDA).....	37
6.5.5. Hemicelulosa (HCEL).....	38
6.5.6. Celulosa (CEL).....	38
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	40
8. LITERATURA CITADA.....	41

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Etapas fenológicas del sorgo.....	9
Cuadro 2. Arreglo de los tratamientos.....	23
Cuadro 3. Resultados de la prueba tipo 3 de efectos fijos del proc GLM del SAS para contenido de materia seca (MS, %), rendimiento de MS (t), contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina (LDA), hemicelulosa (HCEL) y celulosa (CEL) para tres variedades de sorgo forrajero, establecidos a dos densidades de siembra y cosechados en dos etapas de madurez.	29
Cuadro 4. Contenido de materia seca (MS, %), rendimiento de MS y contenido de proteína cruda (PC) del forraje de tres variedades de sorgo forrajero sembrados a dos densidades de semilla y cosechados en dos etapas de madurez.	30
Cuadro 5. Contenido de paredes celulares del forraje de tres variedades de sorgo forrajero sembrados a dos densidades de semilla y cosechados en dos etapas de madurez.....	35

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Proporción hoja:tallo:panoja en la planta entera de sorgo cosechado en dos etapas de madurez (adaptado de Carmi *et al.*, 2006). 16
- Figura 2.** Contenido de fibra detergente neutro (FDN), digestibilidad de la materia seca (DMS) y digestibilidad de la FDN (DFDN), en los componentes hoja, tallo y panoja de la planta de sorgo cosechada en las etapas de madurez de panoja embuchada (Embuche) y grano-masoso (Masoso) (adaptado de Carmi *et al.*, 2006)..... 16
- Figura 3.** Contenido de lignina en los componentes hoja, tallo y panoja de la planta de sorgo cosechada en dos etapas de madurez (adaptado de Carmi *et al.*, 2006)..... 17
- Figura 4.** Efecto de la etapa de madurez sobre el contenido de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y proteína cruda (PC) del ensilado de sorgo (adaptado de Bolsen, 2002)..... 19
- Figura 5.** Principales estados productores de sorgo forrajero en México (Fuente: SIACON, 2019). 21
- Figura 6.** Temperaturas y precipitación máxima, mínima y media ocurridas durante el periodo de desarrollo de los cultivos de sorgo 29
- Figura 7.** Efecto de interacción variedad-madurez sobre el contenido de materia seca (MS) del forraje de tres variedades de sorgo forrajero. 31
- Figura 8.** Efecto de interacción variedad-densidad sobre el contenido de fibra detergente neutro (FDN) del forraje de tres variedades de sorgo forrajero. Densidad: Alta, 20 kg ha⁻¹ de semilla; Baja, 16 kg ha⁻¹..... 35

RESUMEN

El cambio climático está prolongando los periodos de sequía, poniendo en riesgo la producción de forraje de maíz. El sorgo es una alternativa pero no se cuenta con suficiente información en cuanto a su rendimiento y calidad del forraje en el trópico húmedo. El objetivo fue evaluar el rendimiento y la composición química del forraje de los sorgos forrajeros Silo Miel B (SMB), Silo Miel II (SMII) y Silo Miel DP (SMDP) en función del estado de madurez (Lechoso y Masoso) y la densidad de semillas (20 y 16 kg ha⁻¹). Los tratamientos fueron distribuidos dentro de un diseño en parcelas subdivididas en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. No se observó efecto de la densidad o madurez sobre el rendimiento de forraje ($P > 0.05$), con promedio de 2.0 t de MS ha⁻¹. El rendimiento de forraje y la densidad de plantas ha⁻¹ fueron más bajos ($P < 0.05$) en el sorgo bmr SMB. La mayor ($P < 0.05$) cantidad de plantas (255,000 ha⁻¹) se obtuvo con la densidad de 20 kg. La PC fue 7.4 % en promedio y no mostro efecto ($P > 0.05$) de factores principales o sus interacciones. El contenido de FDN fue menor ($P < 0.05$) en el sorgo SMDP (57.3 %) y más bajo ($P < 0.05$) con la densidad de 16 kg (60.8 %). En Masoso el contenido de FDA fue más bajo y la lignina más alto ($P < 0.05$). Por su menor contenido de FDN y FDA los sorgos SMDP y SMB deben sembrarse a 16 kg y el SMII a 20 kg ha⁻¹ y cosecharse en estado de grano masoso. Por mayor rendimiento, calidad del forraje y resistencia al pulgón amarillo se recomienda el SMDP para ser establecido en esta zona del trópico.

Palabras clave: calidad, digestibilidad, ensilaje, sequía, *Sorghum bicolor*, trópico.

ABSTRACT

Climate change is prolonging periods of drought, putting corn fodder production at risk. Sorghum fodder is an alternative but there is insufficient information on its yield and forage quality in the humid tropics. The objective was to evaluate forage yield and chemical composition of forage sorghums Silo Miel B (SMB), Silo Miel II (SMII) and Silo Miel DP (SMDP) according to maturity stage (Milk and Dough) and seed rate (20 and 16 kg ha⁻¹). Treatments were distributed into a sub-split experimental arrangement in a completely randomized blocks design, with four replicates. No effect of density or maturity was observed on forage yield ($P>0.05$), with mean of 2.0 t of DM ha⁻¹. The forage yield and plants ha⁻¹ were lower ($P<0.05$) in SMB bmr sorghum. The highest plant quantity ($P<0.05$) (255,000 ha⁻¹) was obtained at 20 kg. The CP was 7.4 % on average, and showed no effect ($P>0.05$) of main factors or their interactions. The NDF content was lower ($P<0.05$) in sorghum SMDP (57.3 %) and ($P<0.05$) at 16 kg (60.8 %). In Dough, the content of ADF was lower but lignin higher ($P<0.05$). Due to their lower NDF and FDA, sorghums SMDP and SMB should be planted at 16 kg and SMII at 20 kg ha⁻¹, and harvested at the grain dough stage. For higher yield, forage quality and Yellow Aphid resistance, it is recommended to establish the sorghum SMDP in this area of the tropic.

Key words: quality, digestibility, silage, drought, *Sorghum bicolor*, tropic.

1. INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es una gramínea cultivable muy difundida en el mundo y se usa para producir grano, semilla y forraje. Es una especie forrajera muy versátil, con alta rusticidad, se adapta bien a bajas condiciones de humedad en el suelo y soporta largos periodos de sequía (Oliver *et al.*, 2005).

Para producir forraje se usan los llamados sorgos forrajeros; estas variedades de sorgo se caracterizan por presentar mayor altura de planta, mayor relación hoja:tallo y menor producción de grano (Getachew *et al.*, 2016). El sorgo forrajero puede ser picado fresco, ensilado o henificado, siendo la tecnología del ensilado la más aceptada por los productores pecuarios.

El sorgo forrajero puede ser una alternativa de alimentación para la ganadería del trópico húmedo mexicano, especialmente en la época de secano (diciembre-mayo). Ese periodo se caracteriza por presentar escasa precipitación, lo que limita la tasa de crecimiento de los pastos tropicales y el desarrollo óptimo de cultivos forrajeros de alta calidad como el maíz que por tener altos requerimientos hídricos puede disminuir su rendimiento y afectarse su calidad (Ramírez *et al.*, 2019). Por otro lado, se ha señalado que complementar la alimentación de las vacas con ensilado de sorgo de buena calidad puede mantener e incluso incrementar la producción láctea durante todo el año (Pérez *et al.*, 2010).

Aunque el maíz es el cultivado de elección para producir forraje o ensilado de buena calidad, bajo condiciones de escasas hídrico el cultivo de sorgo puede ser mejor alternativa (Oliver *et al.*, 2005; Getachew *et al.*, 2016). Si se comparan el

cultivo de sorgo con el cultivo de maíz para ensilaje bajo condiciones de estrés hídrico, se observan varias ventajas a favor del primero: menores costos de producción, mayor tolerancia a sequía, mejor capacidad de recuperación del cultivo luego de largos períodos de sequía y mayor producción de materia seca por área cosechada ([Getachew *et al.*, 2016](#)).

El cultivo de sorgo forrajero en México es una actividad común en el norte y centro del país; no obstante, en el trópico húmedo mexicano no existen datos suficientes sobre el comportamiento productivo y calidad nutricional del forraje de sorgos cultivados bajo condiciones propias del trópico húmedo ([Ramírez *et al.*, 2019](#)). Por ejemplo, no existe evidencia del efecto que tiene la variedad o híbrido sobre el rendimiento y calidad nutritiva del forraje de sorgo y tampoco del efecto que pueden tener la densidad de siembra y la etapa de madurez sobre el rendimiento y calidad del forraje.

En consecuencia, el propósito de la presente investigación fue generar información acerca del rendimiento y composición química que presentan diferentes sorgos forrajeros cultivados bajo condiciones propias del trópico subhúmedo a seco. Y el efecto que tienen los factores etapa de madures y densidad de siembra sobre la producción y calidad del forraje.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la variedad, densidad de siembra y etapa de madurez fisiológica sobre características de rendimiento y composición química de forrajes de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench).

2.2. Objetivos específicos

Analizar el efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento total de forraje de variedades de sorgo con o sin nervadura café.

Analizar el efecto de la etapa de madurez al corte sobre el rendimiento total de forraje de variedades de sorgo con o sin nervadura café.

Evaluar el efecto de la densidad de siembra sobre la composición química del forraje de variedades de sorgo con o sin nervadura café.

Evaluar el efecto de la etapa de madurez sobre la composición química del forraje de variedades de sorgo con o sin nervadura café.

Encontrar la combinación variedad-densidad-madurez donde se obtiene mejor equilibrio entre rendimiento y calidad del forraje de sorgo.

3. HIPÓTESIS

Al menos una combinación variedad-densidad-madurez presentará mayor rendimiento y calidad del forraje de sorgo cultivado bajo condiciones propias del trópico subhúmedo mexicano.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Origen del sorgo

Según Harlan y de Wet (1972), el sorgo tuvo su origen en la parte Noreste de África, entre el Lago Chad y Etiopia, 8,000 años A.C. los cazadores-recolectores ya lo consumían (Dillon *et al.*, 2007). La domesticación del sorgo inició entre 4,000-3,000 A.C. y el propósito fue convertir los sorgos silvestres con granos pequeños y dehiscentes a sorgos con granos grandes y indehiscentes, también la selección de panojas grandes y abiertas a sorgos con panojas más compactas. En consecuencia, esto incrementó el número de ramas dentro de la inflorescencia, disminución de la longitud del raquis e incremento en el tamaño de la semilla, que en los sorgos actuales se sale de las glumas que lo cubren. Estos cambios hicieron que los sorgos actuales sean mucho más productivos que las variedades ancestrales. El sorgo fue transportado a América a finales de 1800s y principios de 1900s (Dillon *et al.*, 2007).

4.2. Clasificación del sorgo

Actualmente el sorgo se ubica en la familia Poaceae, tribu Andropogoneae, subtribu Sorguinae y género *Sorghum* Moench. El género *Sorghum* se divide en cinco subgéneros: *Eu-Sorghum*, *Chaetosorghum*, *Heterosorghum*, *Para-Sorghum* y *Stiposorghum*. El subgénero *Eu-Sorghum* contiene todas las razas domésticas cultivadas y variedades como el *Sorghum bicolor* subsp. *bicolor*, entre otras especies, como la maleza *Sorghum halepense* (L.) Pers. (conocida como zacate Johnson) (Dillon *et al.*, 2007).

Todos los *S. bicolor* subsp. *bicolor* tienen $2n=20$ cromosomas, y son descritos como plantas anuales, con tallos gruesos de hasta cinco metros de altura, en ocasiones ramificado con muchos macollos. Estas razas domesticadas han sido clasificadas dentro de cinco razas básicas: *bicolor*, *guinea*, *caudatum*, *kafir* y *durra*, y diez razas intermedias también reconocidas (Harlan y de Wet, 1972).

4.3. Morfología de la planta de sorgo

4.3.1. Raíz. El sistema radicular de la planta de sorgo es fibroso y se desarrolla en los nudos más bajos del tallo. La profundidad de la raíz es de 1 a 2 metros, con 80 % de las raíces en los primeros 30 cm. El número de pelos absorbentes puede ser el doble que en maíz (CENTA, 2007). La ramificación y la amplia distribución de la raíz es la consecuencia por la que la planta de sorgo presenta resistencia a la sequía.

4.3.2. Tallo. El sorgo es una planta de un solo tallo, no obstante, puede desarrollar más (hijos o macollos) dependiendo de la variedad y el ambiente. El tallo presenta una serie de nudos y entrenudos, cuya longitud varía de 0.5 a 5 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; en consecuencia, la diferencia en altura se debe únicamente a la longitud de los entrenudos, y no al número de ellos. Después de la cosecha, los tallos pueden producir nuevos brotes. Existen

variedades con tallos secos y otras con tallos jugosos (sorgos dulces), de los cuales se obtiene miel ([Gómez y Sarmiento, 1975](#)).

4.3.3. Hojas. 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 de una hoja totalmente desarrollada es 30 a 135 y el ancho de 1.5 a 15 cm; y éstas 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 ([Contreras-Hinojosa et al., 2017](#)).

4.3.4. Flores. 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, lo cual depende 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](#)).

4.3.5. Semillas. Las semillas están cubiertas por glumas, total o parcialmente, dependiendo de la variedad; sus glumas son de color negro, rojo, café o color paja. Los granos son de tipo cariósipide, de diversos tamaños, formas y colores. El color puede ser café, blanco, pardo, amarillo, crema, morado o rojo. Las semillas de color pardo poseen resistencia contra al ataque de los 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. Cada semilla está formada aproximadamente por un 84 % de endospermo, 10 % de germen y 6 % de pericarpio. En el grano de sorgo la mayor cantidad de proteína está en el endospermo, con limitada cantidad del aminoácido lisina. El embrión y el pericarpio tiene tres a cuatro veces mayor lisina que el endospermo ([Gómez y Sarmiento, 1975](#)).

4.4. Fenología del sorgo

Durante su desarrollo la planta de sorgo va cambiando su morfología. Este proceso de desarrollo de la planta de sorgo está íntimamente relacionado con el rendimiento de biomasa y la calidad nutritiva del forraje; de ahí la importancia de conocer las principales etapas fenológicas de desarrollo por las que pasa la planta de sorgo, desde su germinación hasta la madurez fisiológica. En la [Cuadro 1](#) se resumen estas etapas con sus códigos, así como los días aproximados en que se presenta cada una ([Vanderlip, 1993](#); [Gerik et al., 2003](#)).

La etapa S0 ocurre cuando el coleóptilo es visible en la superficie del suelo. La etapa S1 se produce cuando se pueden observar las lígulas de tres hojas sin tener que romper la planta. La etapa S2 se produce cuando las lígulas de cinco hojas se pueden ver sin necesidad de romper la planta. El sistema radical se desarrolla rápidamente en esta etapa. En la etapa S3 cambia el punto de crecimiento de vegetativo a reproductivo. En la etapa S4 se encuentran casi todas las hojas expandidas, menos las últimas tres o cuatro. En la etapa S5 se encuentran todas las hojas expandidas, se alcanza la máxima cobertura foliar; en esta etapa

Cuadro 1. Etapas fenológicas del sorgo.

Código	Descripción	Días post-siembra
S0	Emergencia	3-10
S1	Estado de tres hojas	10
S2	Etapa de cinco hojas	21
S3	Diferenciación del punto de crecimiento	30
S4	Última hoja visible (hoja bandera)	40
S5	Panoja embuchada o embuche	50
S6	Media floración	60
S7	Granos pastoso o masoso-suave	70
S8	Grano masoso-duro	85
S9	Madurez fisiológica	95

comienza el período crítico de definición del rendimiento. Una carencia nutricional o de agua en este momento se traduce directamente en menores rendimientos. En la etapa S6 se encuentran el 50 % de las plantas en floración. En la etapa S7 el grano tiene una consistencia pastosa y el llenado se produce rápidamente. Las hojas inferiores van envejeciendo. En la etapa S8 se alcanzan las tres cuartas partes del peso seco del grano, la absorción de nutrientes es casi nula. Finalmente, en la etapa S9 se alcanza el máximo peso seco de la planta, con valores que oscilan entre 25 a 35 % de humedad en el grano. Esta etapa de madurez fisiológica no es la madurez de cosecha, depende del uso que se le quiera dar, se cosechará o no en este momento.

Para el 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 ([Carmi et al., 2006](#); [Carrasco et al., 2011](#)).

4.5. Cultivares de sorgo y sus características generales

El *Sorghum bicolor* (L.) Moench, comprende muchas variedades incluidas en varios grupos de importancia económica. De acuerdo a [Gómez y Sarmiento \(1975\)](#) entre éstos se encuentran:

4.5.1. Kafir. *Sorghum bicolor* var. *kaffrorum* Hubbard Rehd. Tiene tallos fuertes de 1.6 a 2 m, con poco macollamiento, las semillas son ovaladas, de diversos colores, blancas, rosadas y rojas; en panículas cilíndricas, alargadas y sin barba. En África, estas variedades se utilizan para grano y forraje.

4.5.2. Sorgo dulce. *Sorghum bicolor* var. *saccharatum* Boerl. Incluye un grupo heterogéneo de variedades, todas ellas con tallos jugosos, gruesos o delgados, de los cuales se obtiene miel. Se cultivan para grano, forraje verde y ensilado.

4.5.3. Durra. *Sorghum bicolor* var. *durra* Hubbard y Rhed. Tiene tallos medios y vigorosos; semillas blancas o amarillas, globosas o aplanadas; en panículas, sin barba, recurvadas, abiertas y pilosas. Estas variedades son más resistentes a enfermedades fungosas, que aquellas con panículas más compactas. Se cultivan en la India para forraje y para grano.

4.5.4. Shallu. *Sorghum bicolor* var. *rogburghii* Haines. Son de tallos relativamente delgados y semi-secos, su macollamiento es considerable y el

número de hojas varía de acuerdo con la precocidad de las variedades. La panícula es larga y abierta, con ramificaciones también largas, las cuales cuelgan sobre un costado. El color de la planta cuando madura es amarillo-paja. Las glumas son largas, duras y punteagudas, enrollándose de las orillas hacia adentro, a medida que la madures se acerca, de tal manera que para la cosecha, la semilla se encuentra sostenida muy ligeramente. Las semillas son duras, de color blanco, de forma elipsoidal y un poco más pequeñas que las de Kafir.

4.5.5. Hegari. *Sorghum bicolor* (L) Moench, tipo Hegari. Son los tipos más precoces entre las variedades para grano. Sus tallos son delgados, jugosos y dulces. Las plantas macollan considerablemente. Estas características lo hacen apto para utilizarlo también como forraje.

4.5.6. Milo. *Sorghum bicolor* (L) Moench, tipo Milo. Los tallos son de macollamiento abundante, por lo que su producción de forraje es alta. Las plantas son altas y precoces. La espiga es generalmente curvada y muy densa. Las semillas son grandes de color rojizo o blanco. Se adaptan muy bien a las condiciones áridas.

4.5.7. Sorgo escobero. *Sorghum bicolor* var. *echnicum* Jav. Tiene panículas largas, abiertas y firmes, que se utilizan para la fabricación de escobas. Las panículas se cosechan cuando las plantas todavía tienen un color verde claro y las semillas están en estado lechoso. Las semillas se eliminan y las panojas se secan a la sombra.

4.5.8. Pasto sudan. *Sorghum bicolor* var. *sudanense* Hitch. Es nativo del

Sedán Anglo-Egipcio y se le cultiva para forraje de corte o para heno, en muchas zonas tropicales o subtropicales. Es muy resistente a la sequía, pero no resiste bajas temperaturas. Tiene gran producción de follaje, buen macollamiento, tallos firmes, alcanza alturas de tres a cuatro m.

4.5.9. Pasto Jhonson. *Sorghum halepense* (L.) Pers. Es una planta forrajera muy rustica, tiene buena palatabilidad y se adapta bien a suelos pobres, aunque por su difícil erradicación está catalogada como una maleza. Es perenne, alcanza hasta dos metros de altura. Su sistema radicular es su característica principal, el cual difiere completamente de los sorgos anuales, pues está provisto de rizomas largas que se entierran profundamente en el suelo, alcanzando longitudes de un metro o más.

4.5.10. Sorqo almun. *Sorghum almun* Parodi. Sorgo forrajero que se adapta bien a climas tropicales y subtropicales. La altura de la planta va de dos a cuatro metros. Sin embargo, por su alto porcentaje de ácido cianhídrico se recomienda emplearlo, solo cuando la planta ha alcanzado su floración.

Aunque existen diferencias importantes en cada variedad de sorgo, actualmente, a nivel comercial se pueden encontrar cuatro tipos de sorgo: los forrajeros, los graníferos, los doble propósito (DP) y los llamados sorgos sileros. Dentro de los sorgos forrajeros se encuentran los sorgos Sudán, los fotosensitivos, los azucarados y los BMR (brown mid rib). Los sorgos Sudán son los más adaptados al pastoreo directo, presentan buen rendimiento de forraje por hectárea y gran capacidad de rebrote y macollaje. Los fotosensitivos, presentan periodo vegetativo de más de 120 d (desde su emergencia a floración) lo que permite mantener el

valor nutritivo, tienen buen rendimiento de forraje y aptitud para el pastoreo directo, en condiciones optimas pueden alcanzar más de cuatro metros de altura. Los azucarados (dulces), presentan alto contenido de azúcares en tallo, tienen menor velocidad de crecimiento, menor macollaje y rebrote que los tipo Sudán, tienen alta calidad y palatabilidad, aceptable producción de grano, son aptos para el pastoreo directo, para heno y para ensilado. Los BMR o VCB (venación café braquítico), son sorgos que presentan una mutación genética que conlleva menor contenido de lignina en hojas y tallos (30 a 60 % menos que sorgos normales) lo que hace que sean más digestibles, tienen aceptable producción de grano, son aptos para el pastoreo y para la elaboración de ensilados (Coria, 2010). Se debe tener en cuenta que normalmente las variedades de sorgos convencionales (sin el gen BMR) rinden mayor producción de forraje que las variedades con BMR (Oliver *et al.*, 2005; Marsalis *et al.*, 2010). Al respecto, Marsalis *et al.* (2010) reportaron 13 % menos rendimiento en sorgo BMR comparado con la variedad convencional (21.1 vs. 24.4 t ha⁻¹ de MS).

Los sorgos graníferos, son los mejores para producir grano (30 a 65 % de la planta es grano), presentan buen rendimiento de forraje, algunos de estos pueden ser ensilados. Los sorgos DP, son parecidos a los graníferos pero son 40-50 cm más altos, con más macollaje y foliosos, en consecuencia el rendimiento de biomasa es mayor que los graníferos. Los sorgos sileros son una combinación entre graníferos y forrajeros dulces, con aceptable relación hoja:tallo:panoja que permite obtener ensilados de buen rendimiento y calidad debido a su alto contenido de carbohidratos solubles que favorecen la fermentación del material ensilado. Al

igual que algunos sorgos forrajeros, los sorgos graníferos, DP y sileros pueden presentar el gen BMR o mayor contenido de azúcares en tallo (Coria, 2010).

Por otro lado, al seleccionar un sorgo para producir forraje, se debe, en primer termino, tener en cuenta su adaptación a las condiciones edafoclimáticas de la zona, así como su tolerancia, resistencia o su vulnerabilidad a las diferentes plagas y enfermedades y al acame. Comúnmente, dicha información está incluida en la ficha técnica expedida por las casas comerciales para cada híbrido de sorgo que se comercializa. Otros criterios a considerar son: altura de planta, rendimiento de forraje por hectárea, proporción hoja:tallo:grano. Este ultimo punto es crítico para obtener un forraje de buena calidad, enfocándose en menor contenido de fibra, mayor digestibilidad y mejor proceso fermentativo durante el ensilaje. La proporción de granos es el factor que más contribuye a la calidad del forraje, pues ahí se encuentra la fracción energética más disponible de la planta de sorgo (NRC, 2001); energía que procede del almidón, el cual representa el 70 % del grano de sorgo (Villareal-Silva *et al.*, 2015). De acuerdo a Nussio (1997), 40-50 % de la materia seca debería estar compuesta por grano al momento del ensilaje, para garantizar mayor calidad y consumo. En su estudio Silva *et al.* (1999), evaluaron ensilajes de sorgo de porte alto, medio y bajo, con diferentes proporciones hoja:tallo:panoja, concluyeron que a mayor proporción de panoja se redujo la fibra y se elevó la digestibilidad *in vitro* de la materia seca en todos los híbridos estudiados, demostrando una proporción mínima de 40 % de panoja en la planta de sorgo, para obtener ensilados de buena calidad.

En cuestión de producción, según Valente (1997), el rendimiento mínimo

aceptable para el sorgo es de 40 t ha⁻¹ de forraje verde (10-14 t ha⁻¹ de MS), pues, debajo de esto, sería económicamente inviable.

4.6. Efecto de la madurez sobre la calidad de sorgos forrajeros

La etapa de madurez es uno de los principales factores que impacta de forma importante en el rendimiento de MS y la calidad del forraje (Atis *et al.*, 2013). Como en otras especies forrajeras cultivables, la relación hoja:tallo:grano que presente la planta de sorgo al momento de la cosecha influye fuertemente en el contenido de MS y la composición química del forraje. Esta relación está íntimamente ligada con la fenología de la planta (Figura 1); típicamente, ocurre que durante el proceso de madurez el contenido de FDN y lignina (Figuras 2 y 3) en la hoja de sorgo incrementan lentamente, en el tallo es más rápido, mientras que en la panoja ocurre un descenso significativo a partir del inicio del llenado del grano (etapa S6) y es más fuerte en la etapa de grano masoso (Carmi *et al.*, 2006). Un proceso inverso ocurre con la digestibilidad de la MS (Figura 2), lo cual se explica por la alta correlación que existe entre los componentes de la pared celular y la digestibilidad. Estas características deben ser consideradas al momento de seleccionar un sorgo para producir forraje, ya que, por ejemplo, la calidad no es igual en un sorgo con porte alto (tipo Sudán, recomendados para corte y pastoreo), con alta relación tallo:hoja:panoja que un sorgo de porte mediano con alta proporción de granos (tipo sileros, para obtener ensilados con mayor aporte de energía digestible). Normalmente, los sorgos de porte alto poseen elevada proporción de tallo, lo que implica mayor contenido de lignina (Figura 3) y, en consecuencia, menor digestibilidad de la planta completa.

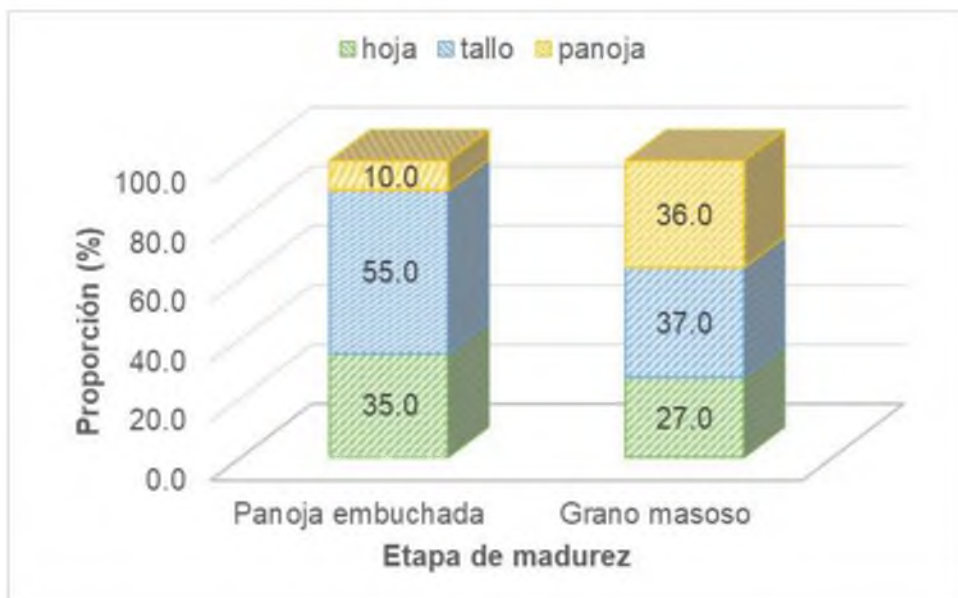


Figura 1. Proporción hoja:tallo:panoja en la planta entera de sorgo cosechado en dos etapas de madurez (adaptado de [Carmi et al., 2006](#)).

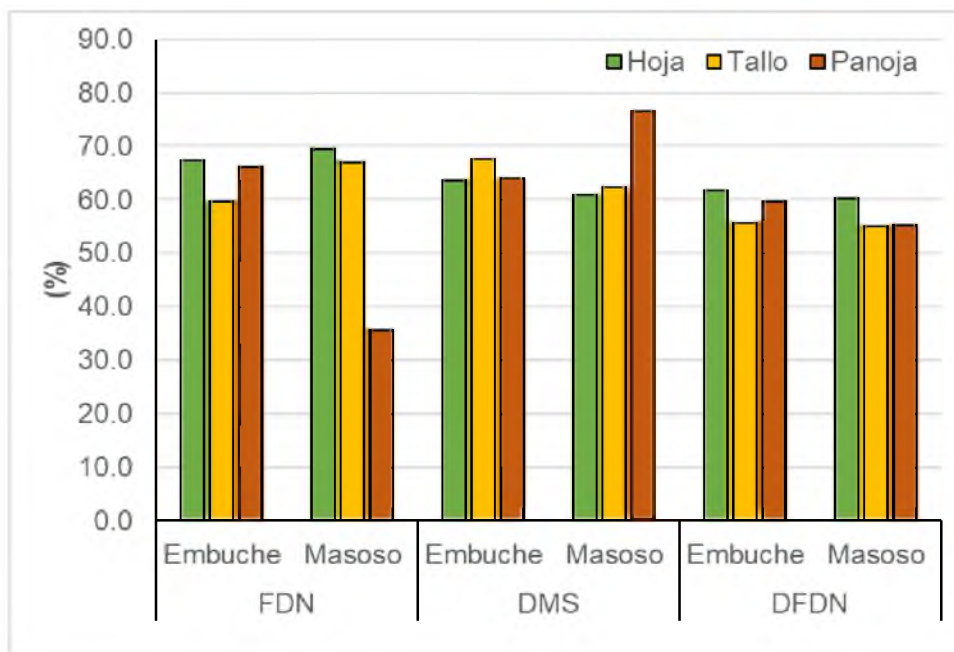


Figura 2. Contenido de fibra detergente neutro (FND), digestibilidad de la materia seca (DMS) y digestibilidad de la FND (DFDN), en los componentes hoja, tallo y panoja de la planta de sorgo cosechada en las etapas de madurez de panoja embuchada (Embuche) y grano-masoso (Masoso) (adaptado de [Carmi et al., 2006](#)).

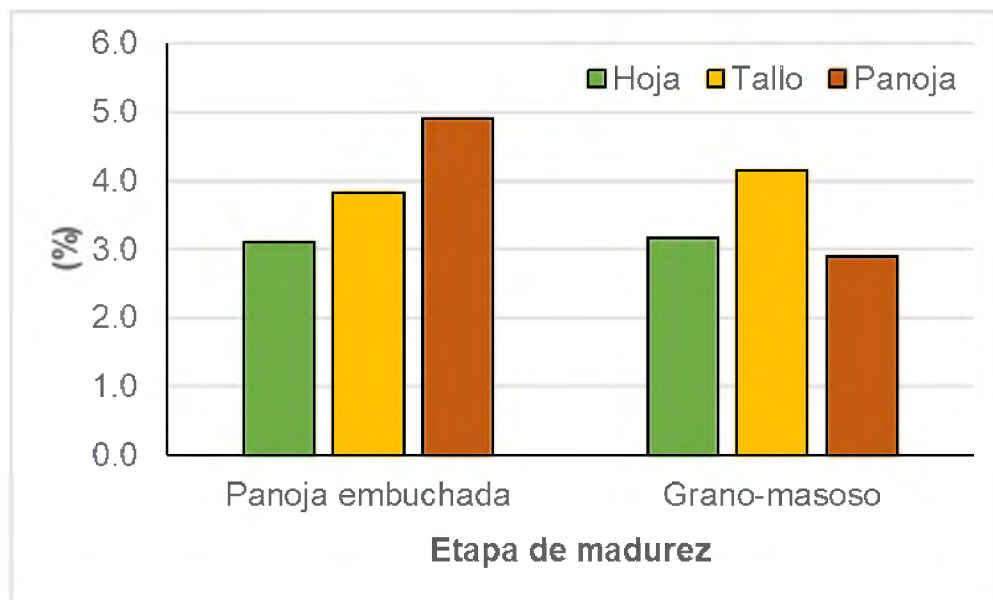


Figura 3. Contenido de lignina en los componentes hoja, tallo y panoja de la planta de sorgo cosechada en dos etapas de madurez (adaptado de [Carmi et al., 2006](#)).

En dos estudios citados por [Bolsen \(2002\)](#), de 31 híbridos de sorgos forrajeros cosechados en tres etapas de madurez (grano-lechoso, grano-masoso y grano-duro), se puede observar que el contenido promedio de MS y la proporción de grano (25.5, 30.4, 36.4 % y 14.6, 29.1 y 35.3 %, respectivamente) en la planta completa, aumentaron conforme avanzó la etapa de madurez. El rendimiento de forraje fue mayor ($P < 0.05$) en la etapa de grano-masoso (14.2 t ha^{-1} de MS) y fue igual entre las etapas de grano-lechoso y grano-duro. El contenido de PC, FDN y FDA fueron más altos ($P < 0.05$) en la etapa de grano-lechoso pero sin cambios significativos ($P > 0.05$) entre grano-masoso y grano-duro ([Figura 4](#)). Este último resultado pudo deberse al efecto de dilución causado por un incremento en la proporción grano en la planta completa al avanzar la madurez por un incremento en la proporción de panoja ([Carmi et al., 2006](#); [Atis et al., 2013](#)).

4.7. Efecto de la densidad de plantas sobre la calidad de sorgos forrajeros

El sorgo forrajero se puede sembrar al voleo, o bien, en hileras o surcos. En siembra para ensilajes se recomienda una separación de 70 a 80 cm entre hileras o surcos. 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 densidad de plantas (DP) es otro elemento a considerar en la producción de forraje de sorgo. Esta práctica agronómica tiene efecto directo sobre el rendimiento y calidad del forraje. Un incremento en la DP podría reducir la disponibilidad de agua para las plantas y provocar un estrés hídrico, seguido de una reducción en el rendimiento (Berenguer y Faci, 2001; Carmi *et al.*, 2016); no obstante, esto puede ser compensado por un aumento en la digestibilidad de la MS causado por un descenso en el contenido de lignina. La DP también puede afectar la morfología de la planta de sorgo, el contenido de MS y la composición química, variables relacionadas con la calidad del forraje (Carmi *et al.*, 2016). Una menor DP puede provocar mayor producción de tallo, incremento del número de granos por panoja y mayor peso de estos granos (Berenguer y Faci, 2001), lo que podría afectar la producción y el valor nutritivo del forraje, especialmente cuando el aporte de agua está limitado (Marsalis *et al.*, 2010).

En el estudio Carmi *et al.*, (2006) se observa un descenso promedio de 1.3, 1.3 y 1.1 % en el contenido de PC, FDN y lignina cuando la densidad paso de 200,000 a 330,000 plantas ha⁻¹. Por su parte, Marsalis *et al.* (2010) no observaron efecto de la DP sobre la producción y valor nutritivo del forraje de sorgo establecido a

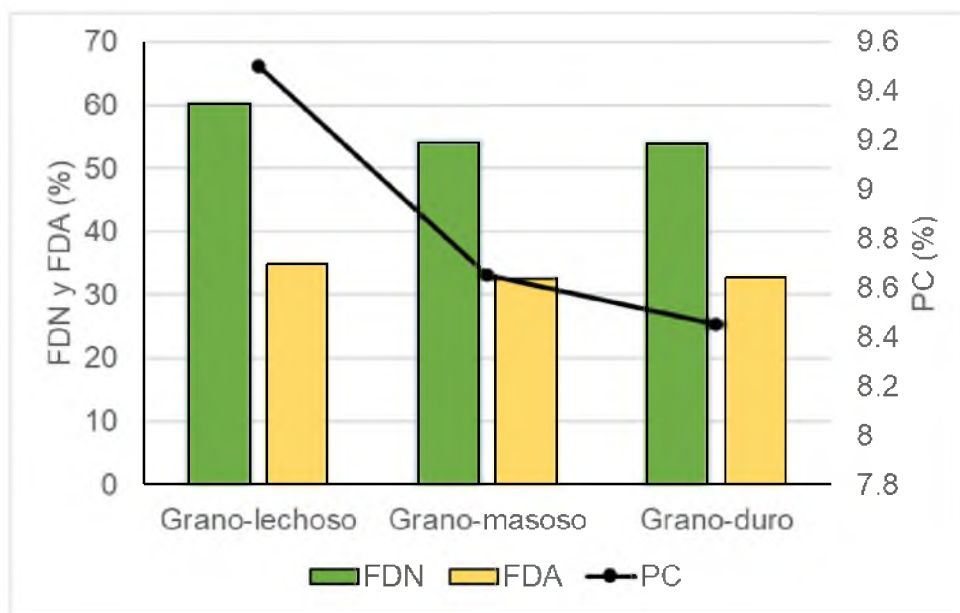


Figura 4. Efecto de la etapa de madurez sobre el contenido de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y proteína cruda (PC) del ensilado de sorgo (adaptado de [Bolsen, 2002](#)).

185,185 a 249,383 plantas ha⁻¹. De los resultados obtenidos en estos estudios, se puede concluir que la DP tiene correlación con la cantidad de agua disponible para el cultivo ([Carmi et al., 2006](#)); adecuada disponibilidad de agua permite mayores DP con buen rendimiento y calidad del forraje; contrariamente, en situaciones de déficit hídrico, puede ser necesario bajar la DP para favorecer un mejor desarrollo de la planta de sorgo que permita mantener una buena relación hoja:tallo:panoja con menor contenido de lignina, atribuido a un aumento en la proporción de grano en la planta completa.

Prácticas agronómicas como variar la distancia entre surcos y la densidad de siembra (semillas ha⁻¹) puede influir sobre la producción y calidad del forraje de sorgo. Por ejemplo, en un estudio se observó que sembrar en surcos estrechos (20 cm de separación) y densidad baja (33 semillas m²), se mejoró el rendimiento

de MS ha⁻¹ y el contenido de proteína, en comparación si se siembra en surcos más amplios (75 cm) y densidad alta (65 semillas m²), 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; sin embargo, no se encontró efecto de la distancia entre surcos y densidad sobre los componentes de la fibra y digestibilidad del forraje (Bolaños y Emile, 2013). También, según lo citado por Contreras-Govea *et al.* (2010), aumentar el espacio entre plantas dentro de la misma hilera puede reducir la FDN y aumentar la digestibilidad *in vitro* en 8.7 %; sin embargo, el rendimiento de MS puede reducirse hasta 25.7 %.

En acuerdo con Berenguer y Faci (2001), el rendimiento y el valor nutritivo del forraje de sorgo sembrado a densidades bajas, es compensado por un mejor desarrollo de la planta por menor competencia, ya que cada una dispone de cantidades adecuadas de agua, nutrientes y luz solar; sin embargo, esta condición puede verse afectada cuando alguno de estos nutrientes es limitante, o bien, cuando otros factores como la variedad o etapa de madurez están involucrados.

4.8. Producción de sorgo forrajero en México

En México el sorgo forrajero se cultiva para producir ensilado, para corte, forraje verde picado, para pastoreo directo y, aunque poco, para producir heno en forma de pacas. Esta actividad está ligada con la actividad ganadera, siendo el sistema tecnificado de ganado bovino productor de leche el principal destino del forraje de sorgo cultivado en el país.

De un periodo de cinco años (2015-2019), en México se establecieron 175,755 ha de sorgo forrajero, con rendimiento promedio de 20.2 t ha⁻¹ de forraje verde. Del total establecido el 70 % fue bajo temporal con un rendimiento de 13.8 t ha⁻¹ y el resto (30 %) bajo riego con rendimiento de 34.2 t ha⁻¹ (SIACON, 2019).

En el mismo periodo, se observó que los principales estados productores de sorgo forrajero fueron Coahuila, Sinaloa, Durango, Sonora, Chihuahua y Jalisco, concentrando el 75 % (2,547,879 t) de la producción nacional (Figura 5) que fue de 3,402,370 t. Le siguieron Michoacán (6 %), Guerrero (5.3 %) y Baja California (4.8 %); mientras que el estado de Oaxaca representó apenas el 0.2 %.

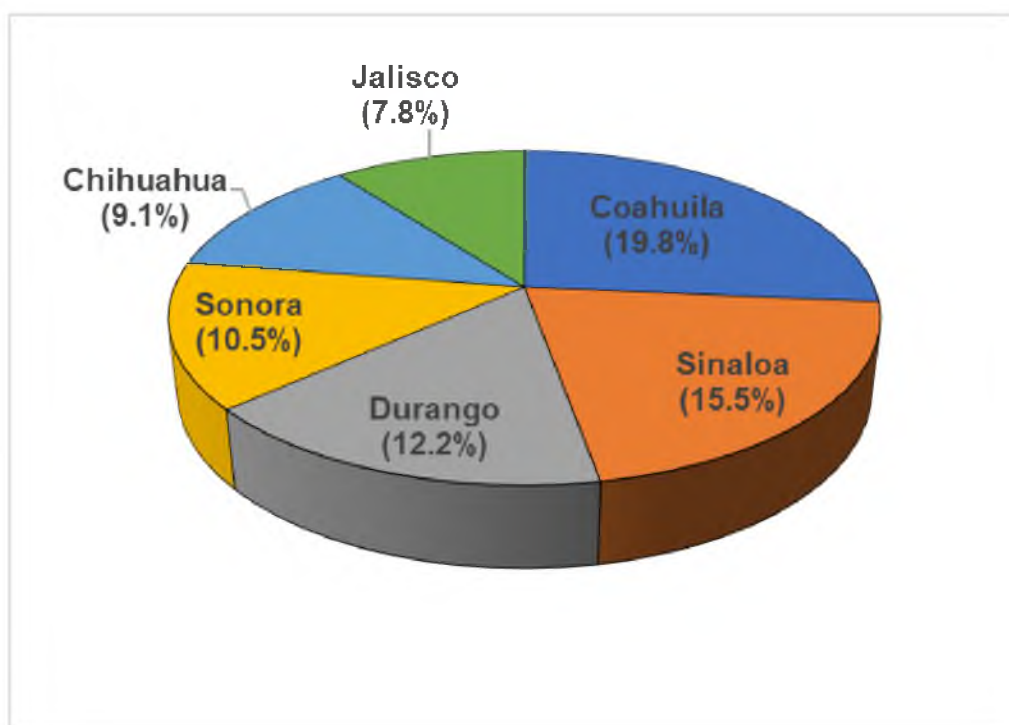


Figura 5. Principales estados productores de sorgo forrajero en México (Fuente: SIACON, 2019).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El trabajo de estudio y evaluación en campo se llevó a cabo en terrenos del INIFAP, Sitio Experimental Loma Bonita, Oax., ubicado en el Km 3 de la carretera Loma Bonita-Playa Vicente. Las coordenadas geográficas del sitio son 18°04'16.8" LN y 95°52'39.3" LO a 52 msnm. Los análisis químicos de las muestras se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad del Papaloapan campus Loma Bonita. El clima de esta zona es cálido sub-húmedo, Am, según el sistema de Köppen ([García, 2004](#)). con periodo de secas de abril a mayo, lluvias abundantes en verano, una precipitación promedio anual de 1,845 mm y una temperatura promedio de 24 °C, con máximas de 39 °C y mínimas de 17 °C al día durante la mayoría del año.

5.2. Tratamientos y diseño experimental

El 24 de enero de 2015, después de un chapeo y dos pasos de rastra, se establecieron cinco variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench): Silo Miel DP (SMDP), Silo Miel II (SMII), Silo Miel 310 VC (SM310), Silo Miel "B" VCB (SMB) y Silo Miel "R" VCB (SMR) de la compañía GENEX®. Cada variedad se sembró en cuatro parcelas (n=4) de ocho líneas de 12 m de largo x 0.8 m de separación entre líneas (76.8 m²) con máquina sembradora de precisión labranza mínima (modelo SD-2009). Cada parcela se dividió en dos densidades de siembra: 16 y 20 kg h⁻¹ de semilla, y cada media parcela se dividió en dos subparcelas para las etapas de madurez fisiológica: grano-lechoso (77±4 d) y grano-masoso (83±3 d), haciendo un total de 20 tratamientos con cuatro

Cuadro 2. Arreglo de los tratamientos.

Variedad de sorgo	Etapas de madurez (d)	Densidad (kg ha ⁻¹)
Silo Miel DP	Lechoso (82)	16
		20
	Masoso (87)	16
		20
Silo Miel II	Lechoso (74)	16
		20
	Masoso (81)	16
		20
Silo Miel 310	Lechoso (*)	16
		20
	Masoso (*)	16
		20
Silo Miel B	Lechoso (76)	16
		20
	Masoso (82)	16
		20
Silo Miel R	Lechoso (*)	16
		20
	Masoso (*)	16
		20

n = 4 para todos los tratamientos. (d), días a cosecha (posteriores a la fecha de siembra) correspondientes a cada variedad y etapa de madurez; (*), las plantas de estas variedades enfermaron, esto no permitió tomar muestras ni tampoco datos de campo.

repeticiones cada uno (Cuadro 2). La parcela útil (6.4 m²) consistió de las dos líneas centrales sin tomar en cuenta el primer y último metro. El diseño experimental fue en parcelas subdivididas en bloques completos al azar.

A los 25 d posteriores a la fecha de siembra, se fertilizó con 433 kg ha⁻¹ de la fórmula química 20N-10P-20K que aportó 87-43-87 kg ha⁻¹ de N-P-K, respectivamente. Además, el diez de febrero y el cuatro de marzo, se aplicó un foliar (Bayfolan Forte®) y un insecticida (Foley Rey®), junto con deshierbe manual.

A principios de abril, se detectó una fuerte plaga de pulgón amarillo (*Melanaphis sacchari* Zehntner) que hizo necesario hacer dos aplicaciones de insecticida, el

tres (Lorsban 480®) y el ocho de abril (Foley Rey®). Además, debido a la escasa precipitación ocurrida en el mes de febrero, se aplicó un riego de auxilio, el cual consistió en regar con aspersor manual, al pie de la planta, 450 L de agua por parcela.

5.3. Variables a evaluar

Respecto a las características de rendimiento, se estimó: densidad final de plantas por hectárea (P, ha⁻¹) y el rendimiento de materia seca por hectárea (MS, t ha⁻¹). Respecto a la composición química, se determinó: el contenido de materia seca total (MS), el contenido de materia orgánica (MO), cenizas (Cen), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina detergente ácido (LDA), hemicelulosa (HCEL) y celulosa (CEL).

5.4. Características de rendimiento de forraje

Las características de rendimiento se determinaron mediante contar, cortar (a 10 cm de altura sobre el nivel del suelo) y después pesar el número de plantas completas (con panoja) que había en dos metros líneas de cada parcela útil (dos metros por cada etapa de madurez). Del material cosechado se tomaron dos muestras en bolsas de papel que fueron trasladadas al laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad donde fueron pesadas (*peso verde*) y llevadas a un horno de convección forzada (marca [Scorpion Scientific](#)) a 60 °C por 72 h para su desecación (*peso seco*); con estos datos se calculó el contenido de humedad mediante: % humedad = $100 \left(\frac{\text{peso verde} - \text{peso seco}}{\text{peso verde}} \right)$; y el

contenido de materia seca parcial mediante: % de materia seca = 100 - % de humedad. Con esta información se procedió a calcular el rendimiento de MS ha⁻¹.

5.5. Análisis de la composición química del forraje

Las muestras secas de las dos bolsas de papel fueron mezcladas y posteriormente molidas a un tamaño teórico de partícula de 1 mm en el molino [Wiley®](#). Con la muestra molida se determinó la materia seca total; para esto, por duplicado se depositaron 0.5 g de muestra en crisoles (50 ml) a peso constante que fueron llevados al horno de convección forzada a 105 °C por 12 h ([AOAC, 934.01](#)). La determinación del contenido de MO y Cen (600 °C/6 h; [AOAC, 942.05](#)) se hizo secuencialmente después de la determinación de cenizas total en los crisoles: (MO = MS - Cen). El contenido de PC (% de N x 6.25) se determinó mediante el procedimiento [AOAC, 2001.11](#). El contenido de FDN, FDA ([Van Soest et al., 1991](#)) y LDA ([Goering y Van Soest, 1970](#)) se determinaron en forma secuencial en el equipo Ankom200® ([Ankom Technology, Macedon, NY](#)), usando bolsas filtro F57 con tamaño de poro de 25 µm ([Ankom Technology, Macedon, NY](#)) y siguiendo los procedimientos propuestos por la compañía. En la determinación de FDN se usó α-amilasa y sulfito de sodio (Na₂SO₃) para remover el almidón y el nitrógeno de la muestra, respectivamente. Para la determinación de LDA, después de la prueba de FDA, las bolsas fueron sumergidas en H₂SO₄ al 72 % por tres horas, con agitación manual cada media hora. La HCEL y CEL se calcularon mediante la diferencia entre la FDN y FDA, y entre la FDA y LDA, respectivamente.

5.6. Análisis estadístico

Los datos de cada variable estudiada fueron analizados ajustando un modelo para un diseño en parcelas subdivididas en bloques completos al azar, con el procedimiento MIXED del paquete estadístico de SAS ([SAS, 2002](#)), bajo el modelo siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + D_i + M_j + V_k + DM_{ij} + DV_{ik} + MV_{jk} + DMV_{ijk} + \beta_l + E_{il} + E_{ijl} + e_{ijkl}$$

$i = 1,2$ (densidad), $j = 1,2$ (madurez), $k = 1,2,3,4,5$ (variedad),

$l = 1,2,3,4$ (bloque o repetición).

Donde:

y_{ijkl} = variable de respuesta

μ = media general

D_i = efecto fijo de densidad (factor A)

M_j = efecto fijo de madurez (factor B)

V_k = efecto fijo de variedad (factor C)

DM_{ij} = efecto fijo entre densidad y madurez

DV_{ik} = efecto fijo entre densidad y variedad

MV_{jk} = efecto fijo entre madurez y variedad

DMV_{ijk} = efecto de la triple interacción entre densidad, madurez y variedad

β_l = bloque o repetición

E_{il} = error en parcela grande

E_{ijl} = error en parcela mediana

e_{ijkl} = error aleatorio en parcela chica.

La significancia fue declarada con valores de $P \leq 0.05$ y la tendencia será notada con valores de $P > 0.05$ y < 0.10 . La separación de las medias se efectuó con el método de la diferencia mínima significativa.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Variables climatológicas

En la [Figura 6](#) se presenta el comportamiento de la temperatura y la precipitación pluvial registradas durante el desarrollo de los cultivos, periodo que abarcó del 24 de enero al 21 de abril de 2015 ([FAM, 2015](#)). En promedio, las temperaturas máxima, mínima y media registradas durante el periodo fueron: 28.0, 18.9 y 23.2 °C; siendo la mínima de 13 °C el ocho de febrero y la máxima de 37 °C el 18 de abril. La precipitación total acumulada fue de 86.3 mm; siendo el 15 de abril donde se registró el evento mayor con 36 mm, seguido del 7 de marzo con 16 mm.

A pesar del esfuerzo para combatir la plaga de pulgón amarillo, se presentó un efecto severo sobre las plantas de las variedades Silo Miel 310 y Silo Miel R y, por tanto, no pudieron ser muestreadas. Solo se tomaron muestras y datos de las variedades Silo Miel B, Silo Miel II y Silo Miel DP, las cuales mostraron baja, intermedia y alta resistencia a la plaga. En consecuencia, a continuación, solo se reportan resultados derivados del análisis de estas tres variedades.

6.2. Contenido de materia seca

En el [Cuadro 3](#) se muestran los resultados de la prueba tipo tres de efectos fijos y su interacción para las variables evaluadas. Respecto al contenido de materia seca (MS) a la cosecha, se observó efecto de la etapa de madurez, densidad y efecto de la interacción variedad-madurez ([Cuadro 3](#)). El sorgo cosechado en la etapa de madurez Masoso, presentó mayor contenido de MS lo cual es de esperarse ya que al madurar la planta acumula biomasa y se incrementa la MS. El

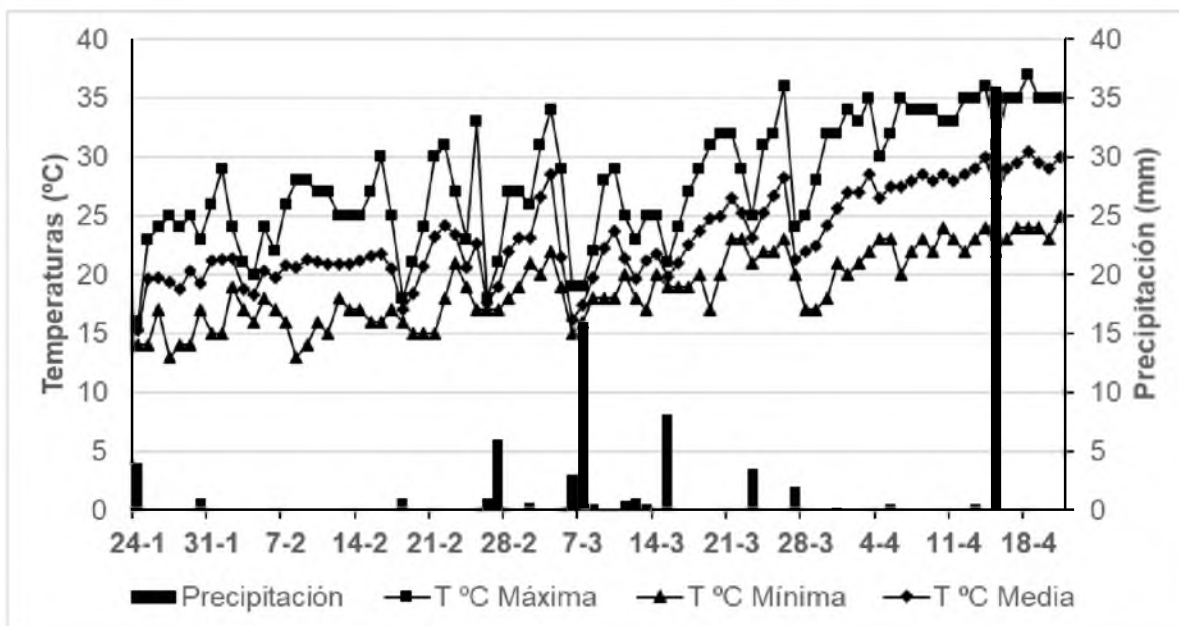


Figura 6. Temperaturas y precipitación máxima, mínima y media ocurridas durante el periodo de desarrollo de los cultivos de sorgo.

Cuadro 3. Resultados de la prueba tipo 3 de efectos fijos del proc GLM del SAS para contenido de materia seca (MS, %), rendimiento de MS (t), contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina (LDA), hemicelulosa (HCEL) y celulosa (CEL) para tres variedades de sorgo forrajero, establecidos a dos densidades de siembra y cosechados en dos etapas de madurez.

Fuente	g.l.	MS (%)	MS (t)	PC	FDN	FDA	LDA	HCEL	CEL
Variedad (Var)	2	NS	***	NS	***	NS	***	***	NS
Madurez (Mad)	1	**	NS	NS	NS	*	*	***	***
Var*Mad	2	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Densidad (Den)	1	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
Var*Den	2	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
Den*Mad	1	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
Var*Mad*Den	2	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS, no significativo; * ≤ 0.05 ; ** ≤ 0.01 ; *** ≤ 0.001 .

contenido de MS observado por efecto de madurez coincide con otros estudios, donde se reportan valores de 28 % (Ramírez *et al.*, 2014) y 30 % (Ramírez *et al.*, 2015) cuando la cosecha se hizo alrededor de la etapa de grano lechoso-masoso.

En otro estudio, [Machado et al. \(2014\)](#) reportaron 25.7 y 28.7 % en lechoso y masoso, respectivamente. El contenido de MS fue mayor con la densidad alta (20 kg ha⁻¹), con una diferencia de una unidad con respecto a la densidad baja (16 kg ha⁻¹) ([Cuadro 4](#)). Normalmente, a mayor densidad mayor acumulación de MS ([Contreras-Govea, 2010](#)), mientras el cultivo disponga de todos los nutrientes necesarios durante su desarrollo. En la interacción variedad-madurez, en Lechoso el SMB presentó mayor contenido de MS (29.5 %) que sus contrapartes SMDP (27.5 %) y SMII (26.9 %); mientras que en Masoso el SMII (30.7 %) supero en contenido de MS al SMB (29.1 %) y SMDP (28.8 %) los cuales presentaron similar contenido ([Figura 7](#)).

Cuadro 4. Contenido de materia seca (MS, %), rendimiento de MS y contenido de proteína cruda (PC) del forraje de tres variedades de sorgo forrajero sembrados a dos densidades de semilla y cosechados en dos etapas de madurez.

Factor	MS (%)	MS (t ha ⁻¹)	PC (%)
<i>Variedad de sorgo</i>			
SMII	28.8	2.1 ^a	7.2
SMB	29.3	1.3 ^b	7.7
SMDP	28.2	2.3 ^a	7.4
EEM	0.42	0.10	0.24
<i>Etapas de Madurez</i>			
Lechoso	28.0 ^b	1.9	7.7
Masoso	29.5 ^a	2.2	7.2
EEM	0.35	0.08	0.19
<i>Densidad de siembra</i>			
20 kg ha ⁻¹	29.3 ^a	2.1	7.5
16 kg ha ⁻¹	28.2 ^b	1.9	7.4
EEM	0.35	0.08	0.19

Medias dentro de una columna seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes a un valor P≤0.05. EEM, error estándar de la media.

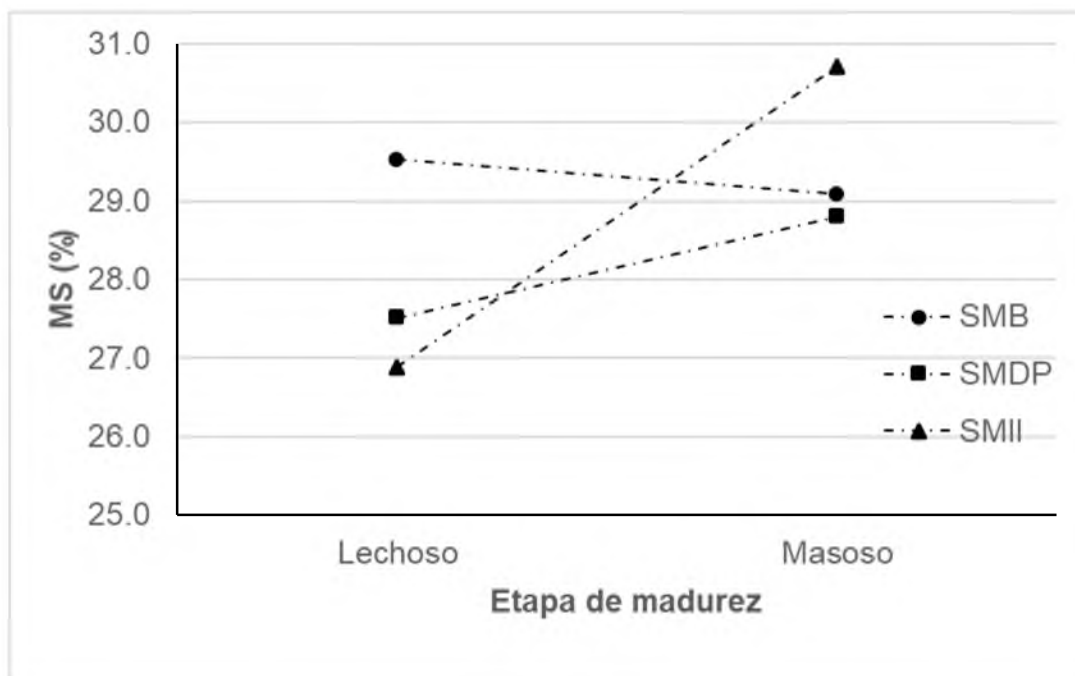


Figura 7. Efecto de interacción variedad-madurez sobre el contenido de materia seca (MS) del forraje de tres variedades de sorgo forrajero.

6.3. Densidad final de plantas por hectárea

Acorde a lo reportado, la densidad final de plantas por hectárea (plantas ha⁻¹) fue más alto con la densidad de semilla alta y menor con la densidad de semilla baja (255,000 vs. 200,469 plantas ha⁻¹), Respecto a la variedad, el sorgo SMII presentó la mayor cantidad de plantas ha⁻¹ (266,992), el sorgo SMDP intermedio (221,484) y el SMB el más bajo (161,719). El número menor de plantas ha⁻¹ observado con SMB se explica por el daño físico del pulgón amarillo, que como se reportó antes, fue la variedad más afectada por esta plaga, especialmente en la etapa de grano masoso donde no se contó con plantas completas para hacer el conteo. En consecuencia, la baja cantidad de plantas obtenida con SMB se atribuye a que el análisis solo toma en cuenta los datos del conteo de la etapa de grano lechoso. También se observó que el número de plantas fue menor en Lechoso (203,648)

vs. Masoso (263,867), este incremento pudo deberse a que al momento del conteo solo se consideraron plantas espigadas (con panoja); de esta manera, las plantas que no presentaron espiga en Lechoso la presentaron en Masoso, lo que sumó más plantas en esta última etapa.

6.4. Rendimiento de materia seca por hectárea

El rendimiento de MS ha⁻¹ mostró efecto de variedad ([Cuadro 3](#)); sin embargo, este resultado se atribuyó al menor número de plantas ha⁻¹ obtenido en SMB, como consecuencia del daño del pulgón amarillo. En general, el rendimiento de forraje de sorgo por ha⁻¹ fue bajo ([Cuadro 4](#)) y no se parece a los rendimientos obtenidos en previos estudios realizados en la misma zona ([Ramírez et al., 2014](#); [Ramírez et al., 2015](#)). En el primer estudio se obtuvo un rendimiento de 7.2 a 11.5 t ha⁻¹ y en el segundo de 6.4 a 10.6 t ha⁻¹ de MS, rendimientos considerados aceptables para la zona por ser cultivos para grano.

Aunque la etapa de madurez y la densidad de siembra promovieron un incremento en el contenido de MS y la cantidad final de plantas ha⁻¹, este incremento no fue suficiente para observar un efecto significativo ($P>0.05$) de estos dos factores sobre el rendimiento de forraje a favor de la densidad alta ([Cuadro 3](#)). Este resultado se atribuye a que en la densidad baja se promovió el mejor desarrollo individual de las plantas con mayor producción de biomasa, rendimiento de MS que compensó el rendimiento de MS atribuido el número de plantas ha⁻¹. Una menor DP puede promover mayor producción de tallo, incremento del número de granos por panoja y mayor peso de estos granos ([Berenguer y Faci, 2001](#)), esto podría afectar la producción y el valor nutritivo del forraje, especialmente cuando el

aporte de agua está limitado (Marsalis *et al.*, 2010), como sucedió en este estudio. Por otro lado, aunque no se observó efecto de madurez y densidad sobre el rendimiento de MS, en el Cuadro 4 se aprecia un aumento numérico en el rendimiento de MS en la etapa Masoso y densidad alta, resultado que muestra indicios de la influencia que podrían tener estos dos factores sobre la producción del forraje.

Los bajos rendimientos de MS obtenidos en este estudio, pueden ser atribuidos a la baja precipitación registrada (86 mm) durante el periodo de desarrollo de los cultivos, a las características del suelo (suelo ácido) y al ataque de pulgón amarillo que afectó a los sorgos. Aunque el sorgo SMDP mostró alta resistencia al daño de esta plaga, es probable que las características del suelo y el déficit hídrico afectaron su producción, ya que con este mismo sorgo se reportó un rendimiento de 10.6 t ha⁻¹ de MS en esta misma zona (Ramírez *et al.*, 2015).

6.5. Composición química

6.5.1. Proteína cruda (PC). La PC no mostró cambios por efecto de variedad, madurez densidad o por la interacción de estos factores (Cuadros 3 y 4). El promedio general de PC fue de 7.4 %, valor inferior al 10 % reportado en otros estudios (Bolaños y Emile 2013; Ramírez *et al.*, 2014; Ramírez *et al.*, 2015). Tampoco Marsalis *et al.* (2010) observaron efecto de variedad ni efecto de densidad de plantas sobre el contenido de PC en sorgos forrajeros, con promedio de 7.2 %. El mayor (P=0.0921) contenido de PC notado en la etapa de Lechoso con respecto a Masoso, puede deberse a una mayor dilución del nitrógeno en la etapa de Masoso, consecuencia de la mayor cantidad de MS en la biomasa en

esta etapa de madurez; adicionalmente, se ha sugerido una relación negativa entre PC y densidad de plantas (Marsalis *et al.*, 2010).

6.5.2. Fibra detergente neutro (FDN). El contenido de FDN mostró cambios por efectos principales variedad y densidad, así como por las interacciones variedad-densidad y densidad-madurez (Cuadros 3 y 5). La variedad SMDP presentó el menor contenido de FDN (57.3 %), valor superior al promedio de 54.5 % reportado por Ramírez *et al.* (2015) para esta misma variedad. El contenido de FDN fue mayor con la densidad alta, este resultado coincide con lo citado por Marsalis *et al.* (2010) y Bolaños y Emile (2013), quienes mencionan que a mayores densidades de planta mayor síntesis de paredes celulares; sin embargo, en los resultados de esos dos trabajos no se observó efecto de densidad sobre el contenido de FDN. También Ramírez *et al.* (2015), atribuyeron el incremento de paredes celulares a una densidad de plantas alta; a densidad alta (130,417 plantas ha⁻¹) reportaron 59 y 33 % y a densidad baja (95,417) 53 y 29 % en el contenido de FDN y FDA, respectivamente. Es importante señalar que aunque la densidad de plantas puede influir en la composición química de un forraje; la conformación de la planta, específicamente la relación hoja:tallo:panoja propias de cada variedad, también tiene efecto importante sobre la composición química del forraje.

En la interacción variedad-densidad se observó que el contenido de FDN en los sorgos SMDP y SMB fue más bajo a densidad baja, mientras que en el SMII fue más bajo a densidad alta (Figura 8). En la interacción densidad-madurez se observó que la FDN permanece casi sin cambios en la densidad alta (64.3 %) y

Cuadro 5. Contenido de paredes celulares del forraje de tres variedades de sorgo forrajero sembrados a dos densidades de semilla y cosechados en dos etapas de madurez.

Factor	FDN (%)	FDA (%)	LDA (%)	HCEL (%)	CEL (%)
<i>Variedad de sorgo</i>					
SII	65.1 ^a	30.3	3.24 ^a	26.4 ^b	27.6
SMB	65.6 ^a	30.3	2.01 ^b	29.9 ^a	28.8
SMDP	57.3 ^b	29.6	2.49 ^b	28.6 ^a	27.4
EEM	1.3	0.82	0.15	0.59	0.66
<i>Etapas de Madurez</i>					
Lechoso	64.0	31.3 ^a	2.37 ^b	29.7 ^a	29.4 ^a
Masoso	61.3	28.9 ^b	2.79 ^a	26.8 ^b	26.5 ^b
EEM	1.1	0.67	0.12	0.48	0.54
<i>Densidad de siembra</i>					
20 kg ha ⁻¹	64.6 ^a	30.6	2.54	28.5	28.4
16 kg ha ⁻¹	60.8 ^b	29.6	2.62	28.0	27.4
EEM	1.1	0.67	0.12	0.48	0.54

Medias dentro de una columna seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes a un valor $P \leq 0.05$. EEM, error estándar de la media; FDN, fibra detergente neutro; FDA, fibra detergente ácido; LDA, lignina detergente ácido; HCEL, hemicelulosa; CEL, celulosa.

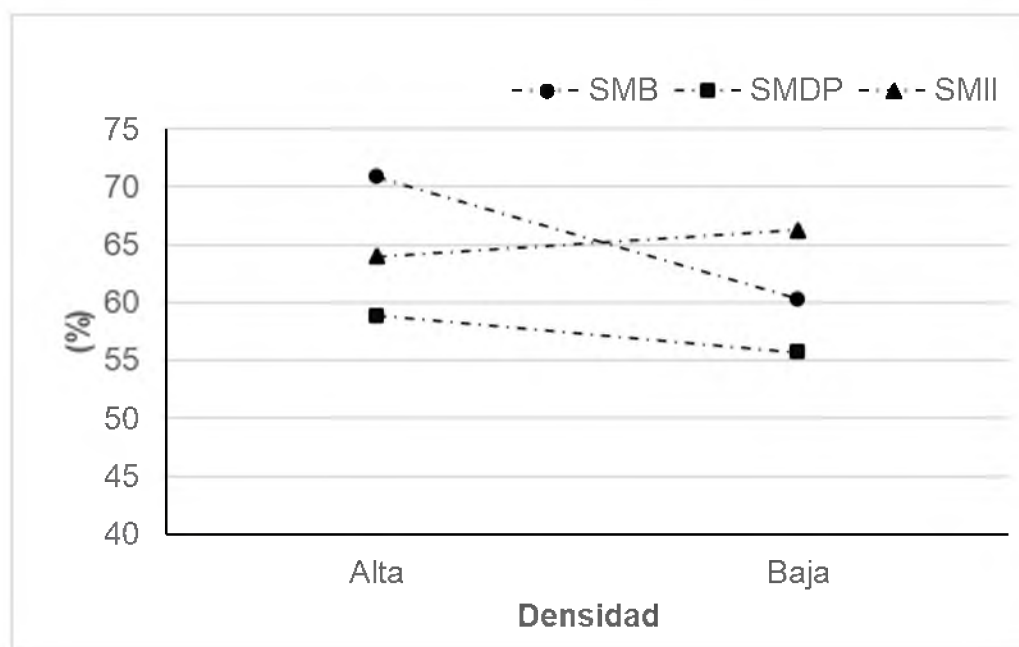


Figura 8. Efecto de interacción variedad-densidad sobre el contenido de fibra detergente neutro (FDN) del forraje de tres variedades de sorgo forrajero. Densidad: Alta, 20 kg ha⁻¹ de semilla; Baja, 16 kg ha⁻¹.

baja (63.6 %); mientras que en Masoso el contenido de FDN fue mucho menor a densidad baja (57.9 %) respecto a la densidad alta (64.8 %).

En general, los valores promedios de FDN observados en este estudio en las dos etapas de madurez fueron superiores al 55 % reportado por [Ramírez et al. \(2014 y 2015\)](#), o a los promedios de 56.4 y 55.3 % observados en el trabajo de [Machado et al. \(2014\)](#) en las etapas de grano-lechoso y grano-masoso, respectivamente. Estas diferencias pueden deberse al desarrollo de la planta y proporción de panoja en las plantas de sorgo al momento de la cosecha, cuyo desarrollo está fuertemente influenciado por las condiciones edafoclimáticas prevalecientes en cada estudio, desarrollo que fue limitado en el presente estudio.

6.5.3. Fibra detergente ácido (FDA). Los cambios en la concentración de FDA solo se debieron a la etapa de madurez ([Cuadros 3. y 5.](#)). En la etapa de grano Masoso se obtuvo menor contenido de FDA. En su estudio, [Machado et al. \(2014\)](#) no observaron efecto de etapa de madurez en el contenido de FDA, con medias de 33.9, 33.5 y 33.0 % para la etapa de grano-lechoso, grano-masoso y grano-harinoso, respectivamente; valores superiores a los obtenidos en este estudio en Lechoso y Masoso ([Cuadro 5](#)). Los autores argumentaron que durante el desarrollo de la planta, los componentes tallo, hoja y panoja interactuaron para mantener constante los constituyentes de la pared celular. En su estudio [Ramírez et al. \(2014\)](#) reportaron un contenido de 26.3 % para el sorgo BMR (Silo Miel 350) y 33.3 % en sorgos graníferos, mientras que [Ramírez et al. \(2015\)](#) reportaron 29.7 % para el mismo sorgo BMR y 29 % para el Silo Miel DP. La diferencia observada en el contenido de paredes celulares para el sorgo BMR Silo Miel 350 en ambos

trabajos de [Ramírez et al. \(2014 y 2015\)](#), puede ser atribuida a que la variedad fue cultivada en épocas distintas, en época seca y época lluviosa, respectivamente. Es probable, que en la época de lluvias se promovió un mejor desarrollo de la planta, mayor acumulación de biomasa (particularmente tallo) y en consecuencia mayor acumulación de paredes celulares, esto influenciado por una menor densidad de plantas ha⁻¹, mayor disponibilidad de agua y temperaturas más altas.

6.5.4. Lignina detergente ácido (LDA). El contenido de LDA mostro efecto de variedad y madurez ([Cuadro 3](#)). El sorgo SMB (variedad BMR) presentó menor contenido de LDA, pero fue igual ($P>0.05$) a SMDP, mientras que el sorgo SMII presentó el contenido más alto ([Cuadro 5](#)). En su estudio [Ramírez et al. \(2014\)](#) reportaron un valor promedio de 2.2 % de LDA en un sorgo tipo BMR (Silo Miel 350). Los resultados mostraron que el contenido de FDN y FDA fueron influenciados positivamente por la etapa de madurez, mientras que el contenido de LDA fue influenciado negativamente; esto es, en contraste con otros componentes de la pared celular, el contenido de LDA incrementó con el avance de la madurez ([Cuadro 5](#)). En un estudio se observó un efecto positivo para el contenido de FDN y FDA y negativo para lignina conforme avanzo la madurez de la planta de sorgo ([Atis et al., 2013](#)). Los autores mencionaron que el contenido de lignina tiene mayor efecto sobre la digestibilidad de la materia seca del forraje. Contrario a lo anterior, [Carmi et al. \(2006\)](#) observaron que el contenido de lignina decreció a través de la madurez; descenso atribuido a un crecimiento intenso de panojas con más grano y almidón y mayor contenido de carbohidratos solubles en los tallos, que pudo llevar a una reducción proporcional de lignina en la planta completa.

6.5.5. Hemicelulosa (HCEL). Igual que el contenido de LDA, la HCEL mostró efecto de variedad y madurez (Cuadro 3); sin embargo, este comportamiento fue inverso (Cuadro 5). Así, la variedad con menor contenido de HCEL fue SMII y en la etapa de grano Masoso se registró el menor contenido. También *Atis et al. (2013)* obtuvieron una reducción de 1.7 unidades porcentuales en el contenido de HCEL al pasar de la etapa de grano-lechoso a grano-masoso (20.6 a 18.9 %); mientras que *Carmi et al. (2006)* observaron el mismo comportamiento con reducción de 2.2 unidades (35.3 a 33.1%), respectivamente.

6.5.6. Celulosa (CEL). El contenido de CEL varió por efecto de madurez, comportamiento similar al contenido de FDA y HCEL (Cuadro 3). La acumulación de CEL fue menor en la etapa de Masoso (Cuadro 5). Un contenido de 22.4 y 20.2 % fue reportado por *Atis et al. (2013)* en grano-lechoso y grano-masoso. Inversamente, en el estudio de *Carmi et al. (2006)* se observan valores promedios de 23.9 y 28.3 %, respectivamente. Respecto a ese incremento, *Carmi et al. (2006)* mencionan que probablemente se debió al desarrollo de la pared celular secundaria (rica en celulosa) que es más intensa a partir de la etapa de grano-masoso, siendo en los tallos y las hojas donde se da la mayor acumulación.

A excepción de la FDN, ningún componente de la pared celular mostró efecto de densidad de semilla, siendo el factor madurez el que tuvo mayor impacto sobre estos componentes. Según *Machado et al. (2014)*, durante el desarrollo de la planta los componentes tallo, hoja y panoja interactúan para mantener constante los constituyentes de la pared celular a través de las etapas de madurez. De esta manera, el incremento de fibra en tallos y hojas conforme avanza la madurez, se

compensa por la menor concentración de fibra y elevado contenido de almidón de los granos que conforman la panoja. Esto explica porque algunos autores ([Atis et al., 2013](#)) recomiendan hacer la cosecha en etapa de madurez fisiológica. Sin embargo, cuando las condiciones son optimas (suelo, nutrientes, agua), la calidad del forraje debe enfocarse en obtener la mayor cantidad de MS y FDN digestibles por área cosechada y, en la mayoría de las situaciones, esto se obtiene al cosechar el sorgo en la etapa de grano-masoso ([Carmi et al., 2006](#); [Carrasco et al., 2011](#)).

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por el alto rendimiento, calidad del forraje y mayor resistencia al pulgón amarillo, el SMDP es primera opción para ser establecido en esta zona, seguido del SMII y SMB. Aunque el SMB por ser BMR tiene menor contenido de lignina, presentó bajo rendimiento de forraje y poca resistencia al pulgón amarillo. Por su menor contenido de FDN y FDA los sorgos SMDP y SMB deben sembrarse a 16 kg ha^{-1} y el SMII a 20 kg ha^{-1} y cosecharse en etapa de grano-masoso.

Los rendimientos y la calidad de los forrajes de sorgo presentados fueron bajos en comparación a estudios previos que se han llevado a cabo en la zona. Esto puede atribuirse a las características fisicoquímicas del suelo donde fueron sembrados (suelos muy ácidos), a la baja precipitación registrada y al daño físico de pulgón amarillo que afectó más al sorgo SMB y casi nada al SMDP.

8. LITERATURA CITADA

- Atis I., Duru M., Konuskan O., Gozubenli H. 2013. Effect of plant maturity stage on silage quality of some silage sorghum cultivars. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 11(1):534-537. DOI:<https://doi.org/10.1234/4.2013.3934>.
- Bolsen K.K. 2002. Grain and forages sorghum silages: A review for cultivar, maturity and processing effects. Kansas State University.
- Berenguer M.J., Faci J.M. 2001. Sorghum (*Sorghum Bicolor* L. Moench) yield compensation processes under different plant densities and variable water supply. *European Journal of Agronomy*. 15:43-55. DOI:[https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(01\)00095-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(01)00095-8).
- Bolaños E.D., 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. Disponible en: <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/2835/2380>.
- Burboa F.R., Cabanillas R. 2008. Tecnología para la producción de sorgo forrajero. INIFAP-Campo Experimental Costa de Hermosillo. Desplegable para productores No. 12. 2 p.
- Carmi A., Aharoni Y., Edelstein M., Umiel N., Hagiladi A., Yosef E., Nikbachat M., Zenou A., 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. *Animal Feed Science and Technology*. 131:120-132. DOI:10.1016/j.anifeedsci.2006.02.005.
- Carrasco N., Zamora M., Melin A. 2011. Manual de sorgo. 1ed. Chacra Experimental Integrada Barrow: Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. 110 p. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_sorgo_renglon_191.pdf
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2007. Guía Técnica del Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Editores: Mejía M., Orellana J.A., Menjivar B.N. La Libertad, El Salvador. 38 p. Disponible en: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/GUIA%20TECNICA%20SORGO.pdf>.
- Contreras-Govea F.E., Marsalis M.A., Lauriault L.M., Bean B.W. 2010. Forage sorghum nutritive value: A review. *Forage and Grazinglands*. DOI:10.1094/FG-2010-0125-01-RV.
- Contreras-Hinojosa J.R., Espinosa-Paz H., Montes-García N., Ortiz-Haros L. 2017. Tecnología de producción de sorgo dulce en el Istmo de Oaxaca. Folleto Técnico No. 50. INIFAP. CIRPAS. Campo Experimental Valles Centrales de

- Oaxaca, México. 55 p. Disponible en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/handle/123456789/4436>.
- Coria M.L. 2010. Calidad de sorgos según tipo y momentos de corte. Estación Experimental Agropecuaria Bordenave, INTA, Centro Regional Buenos Aires Sur (CERBAS). Bahía Blanca, Argentina. 3 p. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-1_calidad_sorgo_segun_tipo_y_corte.pdf.
- Dillon S.I., Shapter F.M., Henry R.J., Cordeiro G., Izquierdo L., Lee I.S. 2007. Domestication to crop improvement: Genetic resources for *Sorghum* and *Saccharum* (Andropogoneae). *Annals of Botany*. 100(5):975-989. DOI:<https://doi.org/10.1093/aob/mcm192>.
- FAM (Fuerza Aérea Mexicana). 2015. Estadística meteorológica mensual. Dirección de Servicio Meteorológico. Estación Loma Bonita, Oaxaca, México.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie Libros. 5ª edición. Distrito Federal, México. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México. 91 p.
- Gerik T., Bean B., Vanderlip R. 2003. Sorghum growth and development. Texas Cooperative Extension, Amarillo TX. The Texas A&M University System. Disponible en: https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87184/pdf_1724.pdf?sequence=1.
- Getachew G., Putnam D.H., De Ben C.M., De Peters E.J. 2016. Potential of sorghum as an alternative to corn forage. *American Journal of Plant Sciences*. 7:1106-1121. DOI:10.4236/ajps.2016.77106.
- Goering H.K., Van Soest J.P. 1970. Forage fiber analyses (Apparatus Reagents, Procedures, and some Applications), Agric. Handbook No. 379. USDA-ARS, Washinton, DC. 20 p.
- Gómez L.H., Sarmiento N.A. 1975. El cultivo del sorgo. Universidad Nacional de Colombia, Medellin, Facultad de Agronomía, Medellin. Disponible en: www.bdigital.unal.edu.co/38/.
- Harlan J.R., De Wet J.M.J. 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. *Crop Science*. 12(2):172-176. Disponible en: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1972.0011183X001200020005x>.
- Machado F.S., Rodríguez N.M., Gonçalves L.C., Rodrigues J.A.S., Ribas M.N., Lobato F.C.L., Veiga I.R.F.M., Guimarães Jr. R., Pereira L.G.R. 2014. Valor nutricional de híbridos de sorgo em diferentes estádios de maturacao. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 66(1):244-252. Disponible en: <https://www.scielo.br/pdf/abmvz/v66n1/v66n1a33.pdf>.

- Marsalis M.A., Angadi S.V., Contreras-Govea F.E. 2010. Dry matter yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates. *Field Crops Research*. 116:52-57. DOI:10.1016/j.fcr.2009.11.009.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, D.C.
- Nussio L.G. Produção de silagem de sorgo. 1997. In: Manejo Cultural do Sorgo para Forragem. Circular Técnica No. 17, 2ed. EMBRAPA/CNPMS. p. 53-55. 66 p. Disponible en: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/483986/manejo-cultural-do-sorgo-para-forragem>.
- 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. Disponible en: <https://pubag.nal.usda.gov/download/3037/PDF>.
- 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 p.
- Pérez A., Saucedo O., Iglesias J., Wencomo H.B., Reyes F., Oquendo G., Milián I. 2010. Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Pastos y Forrajes*. 33(1):1-26. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v33n1/pyf01110.pdf>.
- Ramírez O.S., de la Cruz B.O.H., Antonio C.C.M., Trejo C.A., Meza V.V.M., Ortega G.J.A. 2014. Rendimiento de forraje y composición química del ensilaje de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivados bajo condiciones del trópico húmedo. Memorias de la XLI Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria (AMPA). Mérida, Yucatán. 2-4 de julio de 2014. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). pp. 760-766.
- Ramírez S., Mauleón M., Antonio C.M., Meza M.V., Abad J., Corral A. 2015. Evaluación del rendimiento y composición química del forraje de genotipos de sorgo cultivados en el trópico húmedo. Memorias de la XLII Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria (AMPA). Montecillo, Texcoco, Estado de México. 28-30 de octubre de 2015. Colegio de Postgraduados. pp. 230-234.
- Ramírez O.S., Meza V.V., Trejo C.A., Hernández B.J., Villalobos V.G. 2019. Chemical composition and *in situ* ruminal disappearance of sorghum silages grown in the mexican humid tropic. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 51(2):353-366. Disponible en: <http://revistas.uncuyo.edu.ar/ojs3/index.php/RFCa/article/view/2707>
- SAS. 2002. Statistical Analysis System. System for Windows version 9.0. SAS Institute Inc. Cary NC. USA.

- SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta). 2019. Producción de sorgo forrajero verde nacional, periodo 2015-2019. Modulo Agrícola Estatal del SIACON-NG. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), México. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>.
- Silva F.F., Gonçalves L.C., Santos R.J.A., Corrêa C.E.S., Rodriguez N.M., Brito A.F., Mourão G.B. Qualidade de silagens de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) de portes baixo, médio e alto com diferentes proporções de colmo+folhas/panícula. 2. Avaliação do valor nutritivo. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 28(1):21-29. DOI:<https://doi.org/10.1590/S1516-35981999000100004>.
- Valente J.O. 1997. Introdução. In: Manejo Cultural do Sorgo para Forragem. Circular Técnica No. 17, 2ed. EMBRAPA/CNPMS. pp. 5-7. 66 p. Disponible en: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/483986/manejo-cultural-do-sorgo-para-forragem>.
- Vanderlip R.L. 1993. How a sorghum plant develops. S-3. Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Kansas State University. 19 p. Disponible en: <https://www.coffey.k-state.edu/crops-livestock/crops/How%20a%20Sorghum%20Plant%20Develops.pdf>.
- Van Soest J.P., Robertson J.B., 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. Disponible en: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(91\)78551-2/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(91)78551-2/pdf).
- Villarreal-Silva M., Castrejón P.F., Plascencia A., Pujol L.C., Estrada A.A., Ríos R.F.G., Cortez S.J.M., Cuca G.M., Corona L. 2015. Características fisicoquímicas de nueve híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y su relación con el contenido de almidón y digestión ruminal. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 6(3):243-261. Disponible en: <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/issue/view/512>.