

## Efecto de tres densidades de siembra en *Sorghum bicolor* en desarrollo y rendimiento en trópico

### Effect of three sowing densities on sorghum bicolor development and performance in the tropics

Miguel Ángel Sánchez-Hernández<sup>1</sup> , Gladis Morales-Terán<sup>1\*</sup> , César Sánchez-Hernández<sup>2</sup> ,  
Jorge Hernández-Bautista<sup>3</sup> , Sergio Iban Mendoza-Pedroza<sup>4</sup> , Lizeth Monserrat Santos-Ortíz<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad del Papaloapan. Instituto de Agroingeniería. Av. Ferrocarril s/n, CP. 68400. Loma Bonita, Oaxaca, México.

<sup>2</sup>NovaUniversitas. Carretera a Puerto Ángel Km.34.5, CP. 71513. Ocotlán de Morelos, Oaxaca, México.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca. Av. Universidad Ex-Hda. Cinco Señores, CP. 68120. Oaxaca de Juárez, México.

<sup>4</sup>Colegio de Postgraduados. Posgrado en Ganadería. Montecillo, CP. 56230. Texcoco, Estado de México, México.

\*Autor de correspondencia: gteran\_75@hotmail.com

### Artículo científico

Recibido: 24 de abril 2024

Aceptado: 05 de noviembre 2025

**RESUMEN.** El objetivo del estudio fue determinar la respuesta productiva de sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* L. Moench.) a densidades de siembra en Loma Bonita, Oaxaca, México. Se utilizó un diseño completamente al azar donde se probaron los tratamientos a chorrillo, 125 000, 178 571 y 250 000 plantas ha<sup>-1</sup> bajo tres repeticiones, la unidad experimental fue de 16 m<sup>2</sup>. Las variables de crecimiento fueron: altura de planta, diámetro de tallo, contenido de clorofila en hojas, largo y ancho de hojas y área foliar por planta. Al momento de cosechar, entre otras, se determinó el rendimiento en forraje (t ha<sup>-1</sup>), peso de planta, hojas y tallos, peso de panoja, espiguillas y número de granos por espiguilla. Se realizó un análisis de varianza con Proc GLM y se efectuaron comparaciones de medias en variables significativas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Los resultados indicaron que la densidad a chorrillo generó un mayor rendimiento de grano (4 420 kg ha<sup>-1</sup>) y de forraje (27 157 kg ha<sup>-1</sup>) superior a lo obtenido con las densidades de 125 000, 178 571 y 250 000 plantas ha<sup>-1</sup>. La ALP, DTA, AFO, CLO, LHO y AHO fueron afectadas por la densidad de siembra hasta los 42 DDS, después de 56 y hasta los 80 DDS no existió efecto de las densidades probadas. Hubo correlaciones positivas entre ALP con APA, DTA, LPA y REG (varianaron de  $r = 0.63^{**}$  a  $r = 0.95^{**}$ ). Rendimiento de grano se correlacionó con AFO ( $r = 0.74^{**}$ ) y PCG ( $r = 0.61^{**}$ ). Rendimiento en forraje se asoció de manera positiva con seis caracteres estudiados.

**Palabras clave:** *Sorghum bicolor* L., Poaceae, forrajes tropicales, rendimiento, región Papaloapan.

**ABSTRACT.** The objective of the study was to determine the productive response of sorghum forage (*Sorghum bicolor* L. Moench) grown at different sowing densities in Loma Bonita, Oaxaca, Mexico. A complete randomized experimental design was used where treatments: chorrillo, 125 000, 178 571 and 250 000 plants ha<sup>-1</sup> were tested under three repetitions, the experimental unit was 16 m<sup>2</sup>. The growth variables in study were: plant height, stem diameter, chlorophyll content in leaves, leaf length, leaf width and foliar area per plant. At harvest, yield components were taken, forage yield (t ha<sup>-1</sup>), plant weight, leaves and stems weight, panicle weight, number of spikelets and number of grains per spikelet. An analysis of variance was performed with GLM and mean comparisons were made in variables that were significant (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). The results indicate that a chorrillo density generated a higher grain yield (4 420 kg ha<sup>-1</sup>) and forage (27 157 kg ha<sup>-1</sup>) above that obtained with the densities 125 000, 178 571 and 250 000 plants ha<sup>-1</sup>. The ALP, DTA, AFO, CLO, LHO and AHO were influenced by the sowing density up to 42 DDS, after 56 and up to 80 DDS there were no effect to the densities tested. There were positive correlations between ALP with APA, DTA, LPA and REG (ranging from  $r = 0.63^{**}$  to  $r = 0.95^{**}$ ). Grain yield was correlated with AFO ( $r = 0.74^{**}$ ) and PCG ( $r = 0.61^{**}$ ). Forage performance was positively correlated with six studied traits.

**Key words:** *Sorghum bicolor* L., Poaceae, tropical forages, performance, Papaloapan zone.

**Como citar:** Sánchez-Hernández MA, Morales-Terán G, Sánchez-Hernández C, Hernández-Bautista J, Mendoza-Pedroza SI, Santos-Ortíz LM (2026) Efecto de tres densidades de siembra en *Sorghum bicolor* en desarrollo y rendimiento en trópico. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 13(1): e4114. DOI: 10.19136/era.a13n1.4114.

## INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) es una planta anual perteneciente a la familia *Poaceae* (Rodrigues *et al.* 2021) que se cultiva por su capacidad de adaptación a ambientes con diferencias en clima, tolera factores adversos como plagas y enfermedades y condiciones de suelo en donde otros cultivos no reditúan (Cun-González *et al.* 2023). Una práctica tendiente a incrementar la productividad del cultivo de sorgo es el uso correcto de la densidad de siembra, dado que esta influye en la competencia de las plantas por luz, agua y nutrientes, sugiriéndose utilizar 53 300 plantas ha<sup>-1</sup> para incrementar el contenido de clorofila en hojas e incidir en parámetros de crecimiento y en el rendimiento del cultivo de sorgo para grano (Dembele *et al.* 2021). Aunque en producción de forraje para alimentación animal, se recomienda sembrar híbridos de sorgo a densidades de 200 000, 260 000 y 330 000 plantas ha<sup>-1</sup>, pudiendo existir cambios en el contenido de proteína cruda y fibra detergente neutro. Así, las investigaciones actuales podrían aclarar la influencia de la densidad de siembra en el rendimiento de grano y forraje (McCary *et al.* 2020).

En México durante el año 2022 la superficie sembrada de sorgo para grano fue de 1.35 millones de ha y aquella que se destinó para la producción de forraje verde fue de 174.2 millones de ha, convirtiéndose en el tercer cultivo de importancia sólo después del maíz (*Zea mays* L.) y del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Williams-Alanís *et al.* 2021). Así mismo, el rendimiento promedio de grano fue de 3.5 t ha<sup>-1</sup> y el de forraje verde alcanzó 23.4 t ha<sup>-1</sup>. En Oaxaca se siembran 21 401 ha de sorgo para grano; de las cuales, 1 128 ha se tuvieron en el Distrito Tuxtepec (SIAP 2023). Es importante resaltar que el grano que produce el sorgo blanco se usa en la alimentación humana y el forraje junto con el grano pueden emplearse en alimentación animal, ya sea en consumo directo o para balancear dietas (Fortoul-Díaz *et al.* 2022).

El sorgo presenta una alta eficiencia productiva que es el resultado de su mecanismo fotosintético C<sub>4</sub>, habilitándolo para adaptarse a condiciones de disponibilidad de agua mínimas e intensidades de iluminación elevadas (Corallo *et al.* 2021). Una de las problemáticas que existen al establecer un cultivo es identificar la densidad de siembra óptima para aprovechar al máximo la capacidad de producción del cultivo, y que se vea reflejado en una mejora en la expresión de las características morfológicas y en su rendimiento, ya que en alimentación animal la producción de forraje así lo exige. Es por ello que Rodríguez-Gómez *et al.* (2021), identificaron que es deseable contar con cultivares de sorgo con características agronómicas sobresalientes, que propicien un incremento en los rendimientos de grano y forraje, y que incidan en una mejora en el valor nutricional de dichos genotipos, pero que, al mismo tiempo, dicha tecnología pueda ser adoptada por productores de ganado rumiante (Cuevas-Reyes *et al.* 2020). También Bolaños-Aguilar y Emile (2013) midieron el efecto de la distancia entre surcos y la densidad de siembra en rendimiento y calidad del forraje de sorgo, reportando rendimientos que oscilaron entre 4 491 y 5 802 kg ha<sup>-1</sup> en densidades de siembra de 250 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Debido a que la densidad de siembra es una práctica agronómica que se ha identificado como tendiente a incrementar la productividad de un cultivo con la finalidad de aprovechar de mejor forma los recursos nutricionales, de luminosidad y humedad (Osuna-Ceja y Martínez-Gamiño 2017). El objetivo de la presente propuesta de investigación fue determinar el efecto de diferentes densidades de siembra en los principales componentes de crecimiento y de

rendimiento del cultivo de sorgo producido en condiciones de trópico húmedo donde se encuentra ubicado el Municipio de Loma Bonita, Oaxaca, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del sitio donde se efectuó el estudio

La investigación se llevó a cabo en terrenos pertenecientes a la Posta Zootécnica de la Universidad del Papaloapan, ubicada en Loma Bonita, Oaxaca, México (18° 06' 35" LN, 95° 52' 47" LO a 25 msnm) el clima es Am, que es cálido húmedo con lluvias en verano con una precipitación de 1 902 mm y una temperatura media anual de 25 °C (INEGI 2017, Soto *et al.* 2019). Las condiciones edáficas del sitio de estudio, de acuerdo con Sánchez-Hernández *et al.* (2021) indicaron que se trata de un suelo de textura franco arenosa, presenta un contenido de materia orgánica de 2.69% y pH de 5.2.

### Preparación del terreno para siembra

Mediante el uso de maquinaria agrícola se efectuó un barbecho a una profundidad de 0.30 m y se realizaron dos pasos de rastra para dejar el terreno en condiciones para realizar la siembra de las semillas, posteriormente se surcó a 0.80 m de separación entre surcos.

### Tratamientos, tamaño de parcela y diseño experimental

Los tratamientos consistieron en las densidades de siembra: depósito continuo de semilla (chorrillo, 412 500), 125 000, 178 571 y 250 000 plantas ha<sup>-1</sup> con tres repeticiones que se distribuyeron en un diseño completamente al azar, en el entendido de que se tuvieron doce unidades experimentales de 16 m<sup>2</sup> (3.2 m de ancho por 5.0 m de largo).

### Siembra y manejo general del cultivo

El establecimiento del cultivo en condiciones de campo se hizo el día 25 de noviembre de 2022. La siembra fue manual y consistió en depositar semillas de sorgo Sudán (*Sorghum bicolor* L. Moench) a chorro en el fondo del surco y se tapó con tierra a una profundidad de 1.5 a 2.0 cm, cuando el cultivo estaba completamente establecido, a 15 días después de siembra (DDS) se hizo un raleo de plantas para ajustar las densidades que debían tenerse para cada uno de los tratamientos en estudio.

El manejo general del cultivo consideró hacer control de malezas mediante el uso de herramientas manuales como tarpalas y azadones, además se aplicó nutriente químico al cultivo con la fórmula 120-60-00 de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, a 15 DDS se aplicó todo el fósforo y el potasio y una tercera parte del nitrógeno y a los 30 DDS se dosificó al cultivo el nitrógeno restante. Desde que las plantas tenían diez días de haber emergido y hasta floración se hicieron aplicaciones semanales de micronutrientes al follaje del cultivo (Bayfolán Forte®, 1.0 L ha<sup>-1</sup>). Para el control de plagas se utilizó el ingrediente activo Clorpirifos etil (Lorsban®, 1.0 L ha<sup>-1</sup>) y se tuvo especial cuidado en prevenir enfermedades con el uso de fungicidas a base de Mancozeb (Manzate®, 1.0 kg ha<sup>-1</sup>) y fosetil aluminio (Aliette®, 1.0 kg ha<sup>-1</sup>).

## Variables de crecimiento

Las variables de crecimiento de las plantas de sorgo Sudán fueron medidas desde 15 DDS y se realizaron con frecuencia semanal, se utilizaron cinco plantas por cada parcela experimental en las cuales se midió: Altura de la planta (ALP, cm). Se hizo una medición, con ayuda de un flexómetro, que comprendió desde el nivel del suelo hasta la parte superior de la planta de sorgo donde se encuentra el punto de crecimiento (cogollo).

Diámetro de tallo (DTA, mm), para esta variable se tomó la parte media de la planta y con ayuda de un vernier digital se hizo la determinación. Área foliar (AFO, cm<sup>2</sup>). Para determinar esta variable se midió el largo y ancho de todas las láminas foliares y el resultado de cada hoja se multiplicó por el factor 0.75. También se cuantificó el contenido de clorofila en hojas (CLO, unidades SPAD [Soil Plant Analysis Development]) con el uso de un clorofilómetro portátil SPAD-502 (Konica-Minolta®).

## Variables de rendimiento

A los ochenta DDS, 14 de febrero de 2023, en una muestra de cinco plantas, se procedió a determinar las variables de cosecha, lo cual se realizó en una etapa del vegetal cuando el grano alcanzó el estado de madurez denominado lechoso masoso. Se determinó: Altura de panoja (ALP). La medición se hizo en cm desde el nivel del suelo hasta la parte donde terminó la estructura floral. Diámetro de tallo (DTA) se midió en el centro de la planta y se utilizó un vernier digital para obtener una lectura en milímetros. Contenido de clorofila en hojas (CLO) como se había indicado previamente se obtuvo con el uso del clorofilómetro SPAD-502. Número de hojas por planta (NHO), se conoció el número de hojas por planta a partir de contar el número de hojas vivas o que no mostraron senescencia en cada planta. Número de Nudos por planta (NPP) por medio del conteo de cada uno de los nudos existentes en la planta. Peso total de la planta (PPL, g). Esta información se obtuvo a partir de conocer el peso de la planta en gramos con el uso de una báscula digital Ohaus Scout pro (USA, modelo SPX2201) con capacidad para  $2200 \pm 0.01$  gramos. Peso de hojas (PHO, g), se separó la planta en sus componentes morfológicos: hojas, tallos y estructura floral, de esta manera se obtuvo el peso total de las hojas que integran la planta. Peso de tallos (PTA, g), se conoció al separar el vegetal en sus componentes y se determinó el peso de los tallos. También se determinó la longitud de panoja (LPA, cm) para conocer la longitud total de dicha estructura reproductiva que concentra gametos masculinos y femeninos. Peso de la panoja (PPA, g) para conocer este dato se pesó la panoja con el total de los granos que la integran. Número de espiguillas por panoja (EPP) se obtuvo al contar en cada panoja el número total de espiguillas. Número de granos por espiguilla (GPE), de cada una de las espiguillas por panoja, se contó el número de granos que contenía cada una de las espiguillas.

El número de granos por panoja (GPP), se obtuvo a partir del número de espiguillas y el número de granos por cada espiguilla para integrar el número de granos totales por panoja. Peso de cien granos (PCG, g), en cinco plantas elegidas al azar en cada unidad experimental se generaron tres repeticiones de cien granos por panoja para obtener un valor promedio de peso de cien granos. El rendimiento en forraje verde (RFO, kg ha<sup>-1</sup>), se obtuvo a partir del peso promedio de 10 plantas con competencia completa tomadas al azar, dentro de cada una de las densidades experimentales, con lo cual se estimó el rendimiento de forraje verde por hectárea cuando la planta presentó un 70% de

humedad. Finalmente, el rendimiento de grano (REG, kg ha<sup>-1</sup>) fue el resultado de conocer el peso de cien granos y el número de granos por planta, a una humedad de 12 a 14% se obtuvo el rendimiento de grano por hectárea.

### Análisis estadístico de la información

La información que se obtuvo directamente en campo y aquella que se generó en los conteos y pesaje de estructuras morfológicas, en condiciones del laboratorio Químico Biológico de la Universidad del Papaloapan, se concentró en una hoja de cálculo de Excel para Windows® 2019, se ordenaron los datos bajo los requerimientos y supuestos de un diseño experimental completamente al azar. El modelo estadístico utilizado fue:  $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$ . Donde:  $Y_{ij}$  es la variable de respuesta,  $\mu$  es la media general,  $T_i$  correspondió al efecto asociado a los tratamientos,  $E_{ij}$  es la componente de error experimental. Se realizó un análisis de varianza mediante el procedimiento GLM de SAS (SAS 2013) y las medias se agruparon con la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Así mismo, se hizo una prueba de correlación de Pearson ( $P \leq 0.05$ ) bajo el supuesto de normalidad con la finalidad de verificar el grado de asociación existente entre las componentes de rendimiento en forraje (RFO) y rendimiento de grano (REG) de sorgo con relación a variables de crecimiento y rendimiento que se determinaron en la presente propuesta de investigación, para lo cual se utilizó el procedimiento Corr de SAS.

### Condiciones ambientales en que se desarrolló el experimento

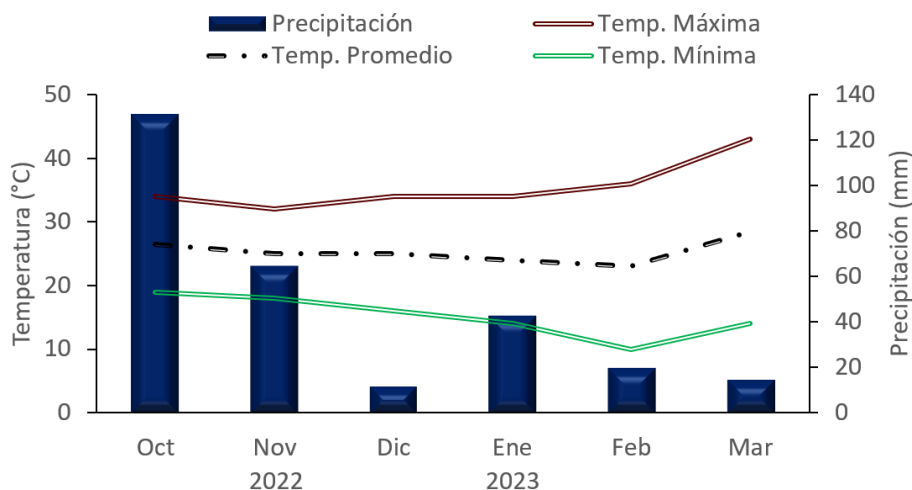
En la Figura 1 se muestran los datos de temperatura máxima (35.8 °C), promedio (27.9 °C) y mínima (20 °C), además de la precipitación acumulada (914 mm) en milímetros que se presentaron de octubre 2022 a marzo 2023 (FAM 2025), periodo en que se desarrolló la investigación en condiciones de trópico húmedo de Loma Bonita, Oaxaca, México. La época de octubre a marzo coincide con las temperaturas más frescas del año para dicha zona geográfica; no obstante, en ese periodo la precipitación disminuye de forma importante con relación a la obtenida en los meses de junio a septiembre que es cuando el temporal se presenta de mejor manera.

## RESULTADOS

### Componentes de crecimiento

La altura de planta en sorgo no fue afectada ( $p > 0.05$ ) por las diferentes densidades de siembra en las fechas de muestreo 14, 56, 70 y 80 DDS, dicho comportamiento cambió en las fechas 28 y 42 DDS donde destacó la siembra a chorrillo sobre las densidades de 125 000, 178 571 y 250 000 plantas ha<sup>-1</sup> (Tabla 1), comportamiento que pudo darse por la competencia por elementos nutricionales, agua y luz. De esta manera se notó que después de 56 DDS no hubo diferencias significativas entre tratamientos ( $P > 0.05$ ), de esta forma a los 80 DDS, aunque no existió respuesta a las densidades de siembra, la altura de planta tuvo un intervalo que varió entre 221.1 y 236.6 centímetros (Tabla 1). El diámetro de tallo sólo presentó diferencias entre densidades de siembra a 14 y 42 DDS, tales diferencias no se observaron en las tres últimas fechas de muestreo (56, 70 y 80 DDS).





**Figura 1.** Temperatura mínima, promedio, máxima (°C) y precipitación (mm) de Loma Bonita, Oaxaca, México.

El contenido de clorofila en hojas fue mayor conforme avanzó la edad de las plantas, y solamente se observó diferencia significativa a 14 DDS ( $P \leq 0.05$ ) e incrementó de 34.9 hasta 54.7 unidades SPAD a 28 y 80 días, respectivamente. El contenido de clorofila, permite conocer el estado nutricional del cultivo de sorgo y consideró que el índice SPAD se correlaciona de forma positiva con el rendimiento de grano del cultivo, sirviendo como una herramienta excelente para diagnóstico nutrimental en gramíneas forrajeras.

El área foliar fue mayor ( $P < 0.05$ ) a medida que aumentó la edad de las plantas y también se atribuye al amacollamiento que permitió aumentar el largo y ancho de la hoja (Tabla 1), se notó que a menor densidad de siembra el área foliar fue menor en comparación a la máxima densidad en 1.5 veces, sin embargo, en la densidad media, no fue diferente ( $P > 0.05$ ) en términos estadísticos, por tanto, la densidad no perjudica la captación de radiación solar. La variable área foliar por planta fue estadísticamente diferente ( $P \leq 0.05$ ) en las fechas de muestreo 14 y 42 DDS. El área foliar por planta en el último muestreo (80 DDS; Tabla 1) presentó un intervalo entre 1 296.7 y 1 523.5 cm<sup>2</sup> indicativo de que el tener áreas foliares grandes ayuda en el proceso fotosintético.

### Componentes de rendimiento

La densidad de siembra del sorgo Sudán a 80 DDS no tuvo efecto ( $P > 0.05$ ) en el diámetro de tallo, número de nudos por planta, número de hojas por planta, contenido de clorofila en hojas, peso de las hojas, peso de tallos, peso de la planta, espiguillas por planta, número de granos por espiguilla y número de granos por planta (Tabla 2). El tratamiento de siembra a chorrillo sobresalió en las variables: área foliar por planta con 1 267.1 cm<sup>2</sup>, además de la componente rendimiento de grano (4 420 kg ha<sup>-1</sup>) y rendimiento en forraje verde que alcanzó un valor de 27 157 kg ha<sup>-1</sup> (Tabla 2), en las variables citadas se registraron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) lo que demuestra que existió un comportamiento diferencial entre las densidades de siembra que se probaron. De esta manera, las densidades de siembra de 125 000, 178 571 y 250 000 plantas por hectárea no favorecieron las componentes de rendimiento de grano y rendimiento en forraje por hectárea en las condiciones de producción y manejo del cultivo en que se llevó a cabo la presente investigación.

**Tabla 1.** Información de crecimiento de sorgo Sudán.

DDS	Siembra	ALP	DTA	AFO	CLO	LHO	AHO
14	Chorrillo	14.5 <sup>a</sup>	2.38 <sup>a</sup>	19.7 <sup>ab</sup>	26.4 <sup>ab</sup>	10.8 <sup>ab</sup>	0.58 <sup>ab</sup>
	125 000	11.2 <sup>a</sup>	1.73 <sup>b</sup>	11.8 <sup>b</sup>	24.1 <sup>b</sup>	9.3 <sup>b</sup>	0.46 <sup>b</sup>
	178 571	14.2 <sup>a</sup>	1.37 <sup>b</sup>	20.9 <sup>ab</sup>	25.4 <sup>ab</sup>	11.9 <sup>a</sup>	0.62 <sup>ab</sup>
	250 000	13.2 <sup>a</sup>	1.47 <sup>b</sup>	25.0 <sup>a</sup>	27.0 <sup>a</sup>	11.5 <sup>a</sup>	0.67 <sup>a</sup>
	Media	13.2	1.74	19.33	25.7	10.9	0.58
	DHS	3.5	0.44	9.36	2.5	2.0	0.16
	Valor P	0.066	0.0001	0.0045	0.0158	0.0058	0.0082
28	Chorrillo	32.5 <sup>a</sup>	4.44 <sup>a</sup>	221.0 <sup>a</sup>	35.0 <sup>a</sup>	26.4 <sup>a</sup>	1.28 <sup>a</sup>
	125 000	27.5 <sup>ab</sup>	4.77 <sup>a</sup>	180.9 <sup>a</sup>	34.4 <sup>a</sup>	23.6 <sup>a</sup>	1.23 <sup>a</sup>
	178 571	21.9 <sup>b</sup>	4.89 <sup>a</sup>	214.2 <sup>a</sup>	36.8 <sup>a</sup>	24.8 <sup>a</sup>	1.39 <sup>a</sup>
	250 000	22.5 <sup>b</sup>	4.76 <sup>a</sup>	202.7 <sup>a</sup>	33.6 <sup>a</sup>	22.4 <sup>a</sup>	1.28 <sup>a</sup>
	Media	26.1	4.72	204.7	34.9	24.3	1.30
	DHS	3.7	1.41	81.0	4.6	5.2	0.41
	Valor P	0.0011	0.8564	0.5806	0.3360	0.2292	0.7588
42	Chorrillo	90.5 <sup>a</sup>	6.58 <sup>b</sup>	649.3 <sup>ab</sup>	44.7 <sup>a</sup>	52.9 <sup>ab</sup>	2.81 <sup>ab</sup>
	125 000	69.2 <sup>b</sup>	6.42 <sup>b</sup>	482.1 <sup>b</sup>	41.5 <sup>a</sup>	48.6 <sup>b</sup>	2.47 <sup>b</sup>
	178 571	93.4 <sup>a</sup>	8.22 <sup>a</sup>	744.2 <sup>a</sup>	45.2 <sup>a</sup>	54.9 <sup>a</sup>	3.01 <sup>a</sup>
	250 000	81.2 <sup>ab</sup>	7.43 <sup>ab</sup>	674.3 <sup>a</sup>	43.7 <sup>a</sup>	55.3 <sup>a</sup>	2.94 <sup>a</sup>
	Media	83.6	7.17	637.5	43.8	52.9	2.8
	DHS	17.5	1.46	172.3	6.0	5.6	0.4
	Valor P	0.0025	0.0065	0.0016	0.3913	0.0098	0.0086
56	Chorrillo	139.3 <sup>a</sup>	7.85 <sup>a</sup>	1167.1 <sup>a</sup>	45.6 <sup>a</sup>	61.0 <sup>a</sup>	3.48 <sup>a</sup>
	125 000	134.5 <sup>a</sup>	7.55 <sup>a</sup>	986.7 <sup>a</sup>	44.7 <sup>a</sup>	56.7 <sup>a</sup>	3.20 <sup>a</sup>
	178 571	146.9 <sup>a</sup>	7.52 <sup>a</sup>	1033.2 <sup>a</sup>	45.1 <sup>a</sup>	57.9 <sup>a</sup>	3.47 <sup>a</sup>
	250 000	131.6 <sup>a</sup>	7.50 <sup>a</sup>	1152.2 <sup>a</sup>	44.5 <sup>a</sup>	57.7 <sup>a</sup>	3.67 <sup>a</sup>
	Media	138.1	7.61	1084.8	45.0	58.3	3.45
	DHS	16.5	1.32	313.0	5.1	6.0	0.5
	Valor P	0.0850	0.8821	0.3458	0.9634	0.2766	0.0832
70	Chorrillo	221.0 <sup>a</sup>	8.17 <sup>a</sup>	1017.5 <sup>a</sup>	54.9 <sup>a</sup>	65.8 <sup>a</sup>	3.42 <sup>a</sup>
	125 000	217.3 <sup>a</sup>	7.90 <sup>a</sup>	1063.9 <sup>a</sup>	52.4 <sup>a</sup>	63.7 <sup>a</sup>	3.58 <sup>a</sup>
	178 571	226.4 <sup>a</sup>	7.98 <sup>a</sup>	1049.2 <sup>a</sup>	54.1 <sup>a</sup>	61.5 <sup>a</sup>	3.60 <sup>a</sup>
	250 000	219.5 <sup>a</sup>	8.33 <sup>a</sup>	1060.8 <sup>a</sup>	52.4 <sup>a</sup>	61.9 <sup>a</sup>	3.47 <sup>a</sup>
	Media	221.0	8.09	1047.9	53.5	63.2	3.5
	DHS	21.1	1.03	248.3	7.1	5.4	0.39
	Valor P	0.7000	0.6902	0.9582	0.7165	0.1576	0.5300
80	Chorrillo	236.6 <sup>a</sup>	8.01 <sup>a</sup>	1300.5 <sup>a</sup>	56.2 <sup>a</sup>	62.3 <sup>a</sup>	3.72 <sup>a</sup>
	125 000	229.2 <sup>a</sup>	7.61 <sup>a</sup>	1523.5 <sup>a</sup>	56.5 <sup>a</sup>	62.9 <sup>a</sup>	3.98 <sup>a</sup>
	178 571	221.1 <sup>a</sup>	7.89 <sup>a</sup>	1355.4 <sup>a</sup>	54.1 <sup>a</sup>	64.6 <sup>a</sup>	3.87 <sup>a</sup>
	250 000	227.8 <sup>a</sup>	7.28 <sup>a</sup>	1296.7 <sup>a</sup>	51.9 <sup>a</sup>	63.1 <sup>a</sup>	3.88 <sup>a</sup>
	Media	228.7	7.71	1368.8	54.7	63.2	3.87
	DHS	20.0	1.06	443.3	5.5	6.4	0.86
	Valor P	0.2480	0.2419	0.4919	0.1080	0.8195	0.8898

DDS: Días después de siembra, ALP: Altura de planta (cm), DTA: Diámetro de tallo (mm), AFO: Área foliar por planta (cm<sup>2</sup>), CLO: Clorofila en hojas (unidades SPAD), LHO: Longitud de hoja (cm), AHO: Ancho de hoja (cm). DHS: Diferencia honesta significativa, abc: letras iguales en columnas indican que no existen diferencias significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

**Tabla 2.** Componentes de rendimiento en sorgo forrajero (*Sorghum bicolor*) en trópico húmedo.

FV	125 000	178 571	250 000	Chorrillo	Media	CV	DHS	Valor P
ALP	197.4 <sup>b</sup>	200.9 <sup>ab</sup>	185.7 <sup>b</sup>	216.1 <sup>a</sup>	200.0	9.1	17.5	0.0004
APA	154.5 <sup>ab</sup>	153.4 <sup>b</sup>	147.2 <sup>b</sup>	168.1 <sup>a</sup>	155.8	9.7	14.7	0.0037
LPA	42.9 <sup>ab</sup>	47.5 <sup>a</sup>	39.4 <sup>b</sup>	48.0 <sup>a</sup>	44.4	18.1	7.8	0.0141
DTA	6.5 <sup>a</sup>	6.9 <sup>a</sup>	6.5 <sup>a</sup>	7.7 <sup>a</sup>	6.9	20.7	1.4	0.0761
NPP	6.5 <sup>a</sup>	6.5 <sup>a</sup>	6.5 <sup>a</sup>	7.1 <sup>a</sup>	6.7	12.6	0.8	0.0936
NHO	7.1 <sup>a</sup>	6.8 <sup>a</sup>	6.4 <sup>a</sup>	7.2 <sup>a</sup>	6.8	13.0	0.9	0.0615
CLO	48.6 <sup>a</sup>	51.8 <sup>a</sup>	47.7 <sup>a</sup>	53.2 <sup>a</sup>	50.3	16.3	8.1	0.2438
AFO	978.2 <sup>b</sup>	950.2 <sup>b</sup>	858.5 <sup>b</sup>	1267 <sup>a</sup>	1014	27.9	274.7	0.0016
PHO	21.5 <sup>a</sup>	19.1 <sup>a</sup>	22.8 <sup>a</sup>	20.1 <sup>a</sup>	21.06	19.6	9.6	0.7758
PTA	47.5 <sup>a</sup>	44.8 <sup>a</sup>	40.9 <sup>a</sup>	44.7 <sup>a</sup>	44.5	28.8	20.3	0.8598
PPA	18.6 <sup>a</sup>	16.5 <sup>a</sup>	14.5 <sup>a</sup>	19.0 <sup>a</sup>	17.2	26.7	9.6	0.6055
PCG	1.1 <sup>a</sup>	1.0 <sup>ab</sup>	0.8 <sup>b</sup>	1.4 <sup>a</sup>	1.09	22.9	0.3	0.0003
PPL	89.7 <sup>a</sup>	79.8 <sup>a</sup>	76.3 <sup>a</sup>	89.7 <sup>a</sup>	81.8	27.6	36.5	0.7967
EPP	37.7 <sup>a</sup>	40.5 <sup>a</sup>	38.1 <sup>a</sup>	40.1 <sup>a</sup>	39.1	23.1	8.7	0.7712
GPE	32.8 <sup>a</sup>	27.8 <sup>a</sup>	26.1 <sup>a</sup>	30.6 <sup>a</sup>	29.3	26.3	7.5	0.0986
GPP	1235 <sup>a</sup>	1108 <sup>a</sup>	1002 <sup>a</sup>	1238 <sup>a</sup>	1146	37.6	416.8	0.3830
REG	1966 <sup>b</sup>	2131 <sup>b</sup>	1825 <sup>b</sup>	4420 <sup>a</sup>	2585	38.4	1081	0.0001
RFO	11217 <sup>c</sup>	14262 <sup>bc</sup>	18417 <sup>b</sup>	27157 <sup>a</sup>	17763	36.0	7057	0.0001

FV: Fuente de variación, ALP: Altura de planta (cm), APA: Altura a la panoja (cm), LPA: Longitud de panoja (cm), DTA: Diámetro de tallo (mm), NPP: Número de nudos por planta, NHO: Número de hojas, CLO: Clorofila en hojas (unidades SPAD), AFO: Área foliar por planta (cm<sup>2</sup>), PHO: Peso de hojas (g), PTA: Peso de tallos (g), PPA: Peso de panojas (g), PCG: Peso de cien granos (g), PPL: Peso de planta (g), EPP: Número de espiguillas por planta, GPE: Número de granos por espiguilla, GPP: Número de granos por planta, REG: Rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>), RFO: Rendimiento en forraje verde (kg ha<sup>-1</sup>), DHS: Diferencia honesta significativa, abc: letras iguales en columnas indican que no existen diferencias significativas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

### Correlaciones fenotípicas en sorgo

El efecto de tres densidades de siembra en sorgo Sudán en Loma Bonita, Oaxaca, en las correlaciones, que presentaron un grado de asociación mayor fueron: altura de planta con altura de la panoja ( $r = 0.95^{**}$ ), DTA ( $r = 0.72^{**}$ ) y LPA ( $r = 0.71^{**}$ ), además de que ALP presentó una correlación alta con rendimiento de grano ( $r = 0.63^{**}$ , Tabla 3).

La variable rendimiento en forraje (RFO) presentó correlaciones altas positivas y significativas ( $P \leq 0.05$ ) con: REG ( $r = 0.70^{**}$ ), AFO ( $r = 0.69^{**}$ ), PHO ( $r = 0.59^{**}$ ), PTA ( $r = 0.69^{**}$ ), además de que RFO mostró buena asociación con altura de planta (ALP) y altura a la panoja (APA) (Tabla 3). El rendimiento de grano (REG) alcanzó correlaciones altas y significativas ( $P \leq 0.05$ ) con el área foliar por planta ( $r = 0.74^{**}$ ) y con el peso de cien granos ( $r = 0.61^{**}$ ).



**Tabla 3.** Correlaciones fenotípicas para diferentes caracteres en sorgo.

	APA	LPA	DTA	NPP	NHO	CLO	AFO	PHO	PTA	PPA	PCG	RFO	REG
ALP	0.95**	0.71**	0.72**	0.40**	0.27*	0.31*	0.67**	0.32*	0.55**	0.42**	0.41**	0.47**	0.63**
APA		0.45**	0.69	0.46**	0.33*	0.29*	0.62**	0.32*	0.52**	0.37**	0.38**	0.45**	0.60**
LPA			0.51**	0.02ns	-0.07ns	0.22ns	0.52**	0.20ns	0.38**	0.35**	0.29*	0.33**	0.42**
DTA				0.36**	0.32*	0.42**	0.68**	0.31*	0.45**	0.37	0.22ns	0.47**	0.49**
NPP					0.26**	0.15ns	0.34**	0.24ns	0.25ns	0.19	0.30*	0.38**	0.42**
NHO						0.05ns	0.05ns	0.49**	0.26*	0.28*	0.23ns	0.27*	0.30*
CLO							0.18ns	0.12ns	0.13ns	0.24ns	0.15ns	0.21ns	0.22ns
AFO								0.46**	0.62**	0.63**	0.50**	0.69**	0.74**
PHO									0.63**	0.67**	0.20*	0.59**	0.29*
PTA										0.85**	0.34**	0.62**	0.44**
PPA											0.43**	0.69**	0.46**
PCG												0.38**	0.61**
RFO													0.70**

ALP: Altura de planta (cm), APA: Altura a la panoja (cm), LPA: Longitud de panoja (cm), DTA: Diámetro de tallo (mm), NPP: Número de nudos por planta, NHO: Número de hojas, CLO: Clorofila en hojas (unidades SPAD), AFO: Área foliar por planta (cm<sup>2</sup>), PHO: Peso de hojas (g), PTA: Peso de tallos (g), PPA: Peso de panojas (g), PCG: Peso de cien granos (g), REG: Rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>), RFO: Rendimiento en forraje verde (kg ha<sup>-1</sup>).

## DISCUSIÓN

### Componentes de crecimiento

La densidad de siembra en sorgo Sudán en Loma Bonita, Oaxaca, México no tuvo un efecto significativo a los 14, 56, 70 y 80 DDS ( $P > 0.05$ , Tabla 1), tal comportamiento se explica porque las plantas de sorgo que se tuvieron en los distintos tratamientos (chorrillo, 125 000, 178 571 y 250 000 plantas ha<sup>-1</sup>) recibieron un manejo del cultivo similar. Al respecto, se ha reportado que la altura de la planta en el cultivo de sorgo se comporta como un carácter de alta heredabilidad, ya que la heredabilidad en sentido amplio de ALP es de  $H^2 = 92.4\%$  con ALP promedio de 249.2 cm (Sawadogo *et al.* 2023). La ALP obtenida en la presente investigación es similar a la previamente reportada (APL = 220 cm), debido a que fue poco afectada por el ambiente que integra las condiciones de manejo y de nutrición del cultivo, además de que también indica que las densidades de siembra evaluadas no la afectaron. Sólo en la densidad de población que se manejó a chorrillo, originó que a los 28 y 42 DDS se tuvieran las mayores alturas de planta (Tabla 1).

La densidad de siembra en el híbrido de sorgo Sudán en Loma Bonita, Oaxaca no afectó la altura como fue consignado por Rodríguez-Gómez *et al.* (2021), por la competencia entre plantas, sino más bien en rendimiento y/o en tamaño de panojas. Se ha indicado que, si el sorgo se establece a chorrillo, la cual fue una densidad aceptable en este estudio, puede hacerse con sembradora mecánica, colocando la semilla a una profundidad de 2 a 3 cm, con una apertura de surcos a 70 cm se obtendrán densidades de siembra de 85 a 150 000 plantas por hectárea (SAGARPA 2017).

Con base en lo encontrado se puede establecer que con 85 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  y cuidando la preparación del suelo, nutrición del cultivo, control de malezas, plagas y enfermedades (Sierra-Boquero *et al.* 2023) se tienen rendimientos adecuados. Los valores en ALP del presente estudio son adecuados, ya que Baloch *et al.* (2023), aseguraron que el sorgo llega a alcanzar una altura de planta por arriba de los 200 cm, adaptándose a regiones que presentan condiciones de escasa humedad y altas temperaturas que promedian entre 24 y 27 °C. Dicha información está en concordancia con lo que se muestra en la Figura 1, en donde se puede observar que las condiciones de temperatura y precipitación del sitio de estudio fueron adecuadas para que se diera un buen desarrollo del cultivo de sorgo en trópico húmedo donde se ubica Loma Bonita, Oaxaca, México. En un trabajo conducido por Williams-Alanís *et al.* (2021), se evaluaron 17 genotipos de sorgo en Tamaulipas, México, que se establecieron a chorrillo y se raleó para tener una densidad de 250 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , se reportó una altura de planta de 154 a 171 cm que fue distinta en función del ciclo de producción, primavera-verano, otoño-invierno, y del año de evaluación (2013 a 2017), y deja en claro que las condiciones del sitio de producción incidieron en los resultados que se obtuvieron. Al respecto, Rodríguez-Gómez *et al.* (2021) indicaron que en sorgos forrajeros la innovación ha consistido en dar énfasis en formar nuevos genotipos con características sobresalientes que aporten un potencial mayor de rendimiento en biomasa verde y materia seca.

El efecto de la densidad de siembra en el diámetro de tallo de sorgo estuvo en sintonía con lo que se observó en la variable ALP, obedeció a que en las fechas 28 y 42 DDS se tuvo en el vegetal un efecto positivo de la primera (15 DDS) y segunda fertilización edáfica (30 DDS) que se le hizo al cultivo de forma manual. La situación anterior fue identificada por Santos *et al.* (2022), quienes aseguraron que el uso de la fertilización nitrogenada en sorgo puede aumentar la altura de la planta hasta en más de 10 cm en comparación a cuando no se utiliza el aporte de fertilizante químico, y argumentaron que la densidad cuando se maneja de 190 a 260 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$  modifica la altura de la planta en el cultivo de sorgo.

El diámetro de tallos a los 80 DDS, aunque no mostró diferencias significativas ( $P > 0.05$ ), alcanzó valores de 7.90 a 8.33 mm (Tabla 1). Dicho comportamiento del cultivo, contrastó con lo estimado por Macías-Duarte *et al.* (2021) quienes, en el Valle de Mexicali en México, determinaron que el DTA en sorgo, medido a nivel de la base del tallo, promedió 10.2 mm sin fertilización, y en plantas fertilizadas este dato incrementó a 19.8 milímetros. Es importante hacer notar que en dicha experiencia se trabajó a una densidad de 14 kg de semilla por hectárea durante el ciclo primavera-verano 2013 y verano-otoño 2012 y la cantidad de horas luz y la temperatura explican que existiera variación en el desarrollo del cultivo. Dicho fotoperiodo para la zona central de Veracruz, México, de octubre a marzo es menor a 12 h y de abril a septiembre es superior a 12 h (Uribe-Gómez *et al.* 2025).

Con relación a los tratamientos de densidad de siembra probados en la presente experiencia, aunque existieron variantes numéricas, en términos estadísticos, no se modificó el diámetro de tallo atribuido a que el espaciamiento entre plantas no reflejó una variación en tal carácter. Tal comportamiento fue el resultado del manejo agronómico y plan nutrimental del cultivo. Por otra parte, Rebollar-Ávila (2018) sostuvieron que el diámetro de tallo del sorgo es un carácter poco sensible a los cambios ambientales y explicaron que al igual que la altura de planta se trata de un carácter altamente heredable.

El contenido de clorofila en hojas de sorgo establecido en Loma Bonita, Oaxaca fue promovido por la densidad de siembra de 250 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  e influida por la fertilización que se manifestó conforme avanzaron los muestreos en el tiempo (Tabla 1), ya que en la primera determinación de clorofila existió humedad en el terreno, que garantizó un porcentaje de germinación y emergencia superior al 95%, y permitió un pleno establecimiento de las plantas. No obstante, en un inicio 14 DDS, se notaron plantas deficientes en el elemento nitrógeno, que propiciaron que hubiese diferencias en el contenido de clorofila entre los tratamientos de densidad que se ensayaron. Las variantes en los contenidos de clorofila mostraron que se requería fertilización para el cultivo de sorgo en las etapas iniciales de desarrollo del cultivo, ya que después de corregir los aspectos de nutrición mediante fertilización edáfica al cultivo utilizando nutriente químico, se propició que los contenidos de clorofila pasaran de un valor promedio de 34.9 unidades SPAD (28 DDS) a 54.9 unidades SPAD a los 80 días DDS ( $P > 0.05$ ). Los valores señalados estuvieron dentro del intervalo que se maneja para sorgo, establecido a 40 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ , que se calculó en 22 a 46 unidades SPAD [Soil Plant Analysis Development] (Holguín-Peña *et al.* 2020), reforzando lo antes expuesto se ha indicado que el índice SPAD en sorgo llega a relacionarse de forma directamente proporcional con el rendimiento de grano del cultivo (Macías-Duarte *et al.* 2021).

El área foliar por planta fue consistente con lo observado en diámetro de tallo, ya que sólo a los 14 y 42 DDS se presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ). La mayor área foliar fue de 1 523.5  $\text{cm}^2$  a los 80 DDS, porque en esa etapa del cultivo las hojas basales comenzaban a entrar en senescencia en las diferentes densidades que se ensayaron (Tabla 2). Situación distinta a la reportada por Macías-Duarte *et al.* (2021), quienes en sorgo bajo riego estimaron en el testigo un AF = 2 452  $\text{cm}^2$  que aportó un rendimiento de grano de 3 440  $\text{kg ha}^{-1}$ . En Campeche, México en sorgo sembrado a 300 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  se contabilizó un área foliar promedio de 3 710  $\text{cm}^2$ , que fue similar a la reportada en el trabajo previo, y se obtuvo al multiplicar el ancho (4.3 cm) y largo de la hoja (71.5 cm) por 0.75 (González-Valdivia *et al.* 2019). El peso de cien granos no fue favorecido en la densidad de 250 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , ya que destacó en la densidad a chorrillo (PCG = 1.4 g, Tabla 2). Al respecto, Bolaños-Aguilar y Emile (2013) estudiaron el efecto de la distancia entre surcos sobre caracteres de crecimiento, rendimiento y calidad del forraje de sorgo en diferentes años, y contabilizaron un peso de cien granos que varió de 0.8 a 2.3 gramos. Por su parte Gutiérrez-Palacios *et al.* (2019), al calcular la aptitud combinatoria general y la heterosis en cruza experimentales de sorgo para grano a 250 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  en Río Bravo, Tamaulipas y Buenavista, Saltillo, Coahuila, México reportaron un peso de cien granos de 2.19 a 3.01 gramos que difieren por el manejo de la nutrición, ya que a la siembra colocaron 133 unidades de N y 60 de P y en una segunda fertilización aplicaron otras 60 unidades de N  $\text{ha}^{-1}$ .

La variable rendimiento de grano fue estadísticamente diferente entre densidades de siembra ( $P \leq 0.05$ ), y sobresalió en el tratamiento a chorrillo donde aportó 4 420  $\text{kg ha}^{-1}$  (Tabla 2). Este dato es relevante si se considera que, en México, durante el año 2022 el rendimiento promedio de grano de sorgo fue de 3.53  $\text{t ha}^{-1}$  (SIAP 2023). Por otra parte, el rendimiento obtenido a 125 000, 178 571 y 250 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  apenas representó un 44.5, 48.2 y 41.3% con relación al rendimiento de grano que se obtuvo a chorrillo, se atribuyó a que las plantas en esa densidad tuvieron un comportamiento productivo superior. Así, Santos *et al.* (2022) reportaron para sorgo establecido a 260 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  y con el uso de fertilización nitrogenada (90  $\text{kg N ha}^{-1}$ ), obtuvieron un rendimiento de grano

de 3.87 t ha<sup>-1</sup>, mientras que cuando no se fertilizó con nitrógeno el rendimiento de grano fue de 3.90 t ha<sup>-1</sup>. En un clima cálido seco de Sonora, México en sorgo sembrado a 40 000 plantas ha<sup>-1</sup> se reportó un rendimiento de grano que varió de 810 (testigo) a 1 687 kg ha<sup>-1</sup>. Los rendimientos se calcularon con un 14% de humedad en el grano, y contemplaron la aplicación de quitosano, en conjunto con un consorcio bacteriano (*Trichoderma* y *Bacillus*) más 50% de la fertilización recomendada de un paquete de fertilización comercial (Holguín-Peña *et al.* 2020).

Para rendimiento en forraje de sorgo se encontró que en la densidad a chorrillo se produjeron 27 157 kg ha<sup>-1</sup>, que superó a las densidades de 250 000, 178 571 y 125 000 plantas ha<sup>-1</sup>, dichas densidades sólo representaron el 67.8, 52.5 y 41.3%, respectivamente con relación a lo que se produjo en la densidad a chorrillo. En Campeche, México se efectuó en el cultivo de sorgo, un ensayo durante lluvias, y riego de auxilio por goteo con una densidad de 300 000 plantas ha<sup>-1</sup>. En el estudio se probaron cuatro tratamientos para controlar el pulgón amarillo *Melanaphis sacchari* (Zehntner), las estimaciones de rendimiento en forraje promediaron de 27 994 a 31 915 kg ha<sup>-1</sup>. Los autores detallaron que dichos rendimientos en sorgo estuvieron en concordancia con la densidad de siembra alta, que se equiparó a lo que se efectúa en los estados de Tamaulipas y Coahuila, México (González-Valdivia *et al.* 2019). Lo anterior, concuerda con lo reportado para las variedades de sorgo 197-2, 206-1 y Fortuna en las que se reportan rendimientos de biomasa fresca de 27 822, 27 914 y 28 541 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente cuando se establecieron a una densidad de 250 000 plantas ha<sup>-1</sup> (William-Alanís *et al.* 2021). Aunque lo antes expuesto difiere de lo señalado por Rodríguez-Gómez *et al.* (2021), quienes al efectuar una evaluación agronómica de 12 cultivares de sorgos forrajeros en el Bajío mexicano, en condiciones de riego, y sembrados a chorrillo con el uso de 11.29 kg de semilla por hectárea, obtuvieron rendimientos de forraje verde que variaron de 54.9 hasta 119.7 t ha<sup>-1</sup>. La información presentada es de importancia debido a que como lo establecieron Osuna-Ceja y Martínez-Gamiño (2017) el sorgo para forraje es una opción viable de producirse en zonas o épocas donde existe escasez de agua de lluvia.

La presencia de correlaciones altas positivas y significativas ( $P \leq 0.05$ ) en sorgo como las que se tuvieron entre altura de planta con altura a la panoja, diámetro de tallo, longitud de panoja y rendimiento de grano ( $r = 0.63^{**}$  a  $0.95^{**}$ , Tabla 3). Dejan de manifiesto que cuando las plantas son más altas tienden a mejorar las características anteriormente indicadas. Dicha información es relevante cuando el objetivo de producción se centra en el rendimiento de forraje; ya que da indicios hacia dónde dirigir los esfuerzos en la producción de sorgo; y que esto, asociado a una correcta densidad de siembra permitirán mejorar la productividad del cultivo. Reforzando lo anterior, Bolaños-Aguilar y Emilie (2013) demostraron que en sorgo la altura de planta se asocia con los caracteres concentración de materia seca en la planta entera de sorgo ( $r = 0.99^{**}$ ) y peso de cien granos ( $0.97^{*}$ ), y confirma que dichos caracteres son importantes para el cultivo en estudio, ya que el peso del grano es parte integrante de la materia seca de la planta entera en *Sorghum bicolor*.

El rendimiento forrajero del sorgo (RFO) se asoció con los caracteres rendimiento de grano, área foliar, peso de hojas, peso de tallos y altura de planta y altura a la panoja (Tabla 3). Al respecto, Pérez-Hernández *et al.* (2018) al estudiar la fenología, biomasa y el crecimiento en sorgo forrajero en condiciones de Valles Altos de México, encontraron correlaciones altas positivas y significativas entre el rendimiento de biomasa total y la altura de la planta ( $r = 0.91^{**}$ ) y con el índice de área foliar ( $r = 0.96^{**}$ ). En el ensayo que se condujo, los resultados demostraron que el rendimiento de

grano tuvo correlaciones positivas con área foliar por planta ( $r = 0.74^{**}$ ) y con el peso de 100 semillas ( $r = 0.61^{**}$ ). Tal comportamiento se explica porque con áreas foliares grandes, la planta se habilita para estar en mejores condiciones de efectuar el proceso fotosintético (Taiz y Zeiger 2006), y coloca a este cultivo en un escenario favorable por tratarse de una especie con mecanismo fotosintético  $C_4$ , tal como lo describen Pérez-Hernández *et al.* (2018), quienes destacaron el hecho de que el cultivo de sorgo se usa en la producción de rumiantes, específicamente en la ganadería tropical por su tolerancia a temperaturas elevadas y sequía, al ser un cultivo con necesidades hídricas 53% inferiores a lo que requiere el maíz (Rosas-Dávila *et al.* 2024), aunado a que podrían aprovecharse hasta dos cortes del cultivo por su capacidad de rebrote, llegando a obtenerse de 13 a 30 t ha<sup>-1</sup> de materia seca de esta gramínea.

En la presente investigación el rendimiento del cultivo de sorgo presentó una respuesta diferencial en las componentes de crecimiento y rendimiento. Comportamiento debido a la influencia de la densidad de siembra, principalmente en la densidad de siembra a chorrillo, que promueve que las plantas aprovechen espacios para utilizar la energía lumínica, y también el sombreado tiene influencia en disminuir el desarrollo de malezas y se incrementa la humedad en el suelo. En términos generales, el cultivo de sorgo es una opción viable para promover el desarrollo de la ganadería de Loma Bonita, Oaxaca, ya que produce en condiciones de poca humedad en el ciclo de producción otoño-invierno. Aunque, como lo declararon Hernández-Salgado *et al.* (2019) se requiere en sorgo, además de investigar sobre las densidades de siembra, conocer la respuesta productiva del cultivo a factores climatológicos que afectan el rendimiento de forraje y de grano, y atender aspectos de innovación tecnológica y mejorar la nutrición del cultivo.

## CONCLUSIONES

El sorgo Sudán establecido a chorrillo tuvo mayor rendimiento de grano (4 420 kg ha<sup>-1</sup>) y de forraje (27 157 kg ha<sup>-1</sup>) a lo obtenido con las densidades de 125 000, 178 571 y 250 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Las variables de crecimiento ALP, DTA, AFO, CLO, LHO y AHO fueron afectadas por la densidad de siembra hasta los 42 DDS, después de 56 DDS dichas variables no se modificaron. Se observaron correlaciones positivas y significativas entre altura de planta con altura a la panoja, diámetro de tallo, longitud de panoja y rendimiento de grano. El rendimiento de forraje se asoció con el rendimiento de grano, área foliar por planta, peso de hojas, peso de tallos, altura de planta y altura a la panoja.

## CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia de ninguna índole.



## LITERATURA CITADA

- Baloch FS, Altaf MT, Liaqat W, Bedir M, Nadeem M, Sun HJ (2023) Recent advancements in the breeding of sorghum crop: current status and future strategies for marker-assisted breeding. *Frontiers in Genetics* 14: 1150616. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1150616>
- Bolaños-Aguilar ED, Emile JC (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(2): 161-176.
- Corallo Fabiano, AB, Bettucci Rosi, LJ, Tiscornia CSM (2021) Selection of *Trichoderma* strains for biological control of *Fusarium nygamai* in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales* 7(2): 11-22. <https://doi.org/10.23850/24220582.4064>
- Cuevas-Reyes V, Sánchez TBI, Servín JR, Reyes JJE, Loaiza MA, Moreno GT (2020) Factores determinantes del uso de sorgo para alimentación de ganado bovino en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 11(4): 1113-1125. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i4.5292>
- Cun-González R, Moinel-Lavastida MI, Duarte-Díaz CE, Cisneros-Zayas E, Ramos-Tamayo AL (2023) Estimación a futuro de normas de riego del sorgo en la zona oriental de Cuba. *Revista Ingeniería Agrícola* 13(2): 1-9.
- Dembele JSB, Gano B, Kouressy M, Dembele LL, Doumbia M, Ganyo KK, Audebert A (2021) Plant density and nitrogen fertilization optimization on sorghum grain yield in Mali. *Agronomy Journal* 113: 4705-4720. <https://doi.org/10.1002/agj2.20850>
- FAM (2025) Estadística meteorológica mensual. Fuerza Aérea Mexicana. Dirección de servicio meteorológico. Estación Loma Bonita, Oaxaca, México.
- Fortoul-Díaz JV, Pérez-Magaña A, Huerta-de la Peña A, Hernández-Salgado JH, Lomelí-Flores JR (2022) Percepción de la incidencia de *Melanaphis sacchari* (Zehntner) y sus enemigos naturales en sorgo (*Sorghum bicolor*) por productores de Puebla, México. *Estudios Sociales* 32(60): 1-30. <https://doi.org/10.24836/es.v32i60.1278>
- González-Valdivia NA, Cauch-Cauch JR, Pérez-Molina SH, Burgos-Campos MA, Arcocha-Gómez E (2019) Control de *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Hemiptera: Aphididae) con entomopatógenos en sorgo, en Campeche, México. *Acta Agrícola y Pecuaria* 5: E0051005. <https://doi.org/10.30973/aap/2019.5.0051005>
- Gutiérrez-Palacios ND, Espinoza-Vázquez J, Rodríguez-García A, Muñoz-Romero LA, López-Benítez A (2019) Aptitud combinatoria y heterosis en cruza experimentales de sorgo para grano. *Agraria* 16(1): 1-10.
- Hernández-Salgado JH, Tornero-Campante MA, Sandoval-Castro E, Aceves-Ruiz E, Jiménez-Becerril R, Castelán-Reyes G (2019) Productividad y sostenibilidad del sorgo (*Sorghum bicolor* L.) en el trópico seco de Puebla, México. *Agro-Divulgación* 1(0): 81-84. <https://doi.org/10.54767/ad.v1i1.23>
- Holguín-Peña RJ, Vargas-López JM, López-Ahumada GA, Rodríguez-Félix F, Borbón-Morales CG, Rueda-Puente EO (2020) Efecto de quitosano y consorcio simbiótico benéfico en el rendimiento de sorgo en la zona indígena "Mayos" en Sonora. *Terra Latinoamericana Num. Esp.* 38(3): 705-714. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.669>
- INEGI (2017) Anuario estadístico y geográfico de Oaxaca 2017. Aguascalientes, México. 1686p. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/anuarios\\_2017/702825094843.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094843.pdf). Fecha de consulta: 23 de enero de 2025.
- Macías-Duarte R, Grijalva-Contreras RL, Robles-Contreras F, Núñez-Ramírez F, Cárdenas-Salazar VA, Mendoza-Pérez C (2021) Índice SPAD, nitratos y rendimiento en sorgo en respuesta al suministro de nitrógeno. *Agronomía Mesoamericana* 32(1): 293-305. <https://doi.org/10.15517/am.v32i1.39712>



- McCary CL, Pas C, Heinzen Jr, Paula EM, Wallau MO, Ferraretto F (2020) Effects of planting density on nutritive value, dry matter yield and predicted milk yield of dairy cows from 2 brown midrib forage sorghum hybrids. *Applied Animal Science* 36: 320-238. <https://doi.org/10.15232/aas.2019-01966>
- Osuna-Ceja ES, Martínez-Gamiño MA (2017) Rendimiento y calidad de forraje de maíz y sorgo de temporal a cuatro y seis hileras en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(6): 1259-1272.
- Pérez-Hernández A, Quero CAR, Escalante EJAS, Rodríguez GMT, Garduño VS, Miranda JL (2018) Fenología, biomasa y análisis de crecimiento de cultivares de sorgo forrajero en Valles Altos. *Agronomía Costarricense* 42(2): 107-117.
- Rebollar-Ávila C, Mendoza-Onofre LE, Cisneros-López ME, Silva-Rojas HV, Córdova-Téllez L (2018) Caracterización y rendimiento de semilla de progenitores femeninos de híbridos simples y trilineales de sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(4): 423-431.
- Rodrigues do NR, Morais PFJ, Biagiotti D, Laiola ER, Santos RJA, Araújo MJ, Sousa AD (2021) Multivariate Analysis of sorghum hybrids cultivated in the semiarid regions. *Archivos de Zootecnia* 70(269): 42-48.
- Rodríguez-Gómez JC, García-De los SG, Hernández-Livera A, Hernández-Martínez M (2021) Evaluación agronómica de sorgos forrajeros en el Bajío, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44(4): 687-691.
- Rosas-Dávila M, Morales-Almaraz E, López-González F, Arriaga-Jordan CM (2024) Uso del ensilado de sorgo variedad top green y variedad caña dulce para la producción de leche en sistemas de pequeña escala. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 27(2):1-10. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4917>
- SAGARPA (2017) Sorgo grano mexicano. Planeación agrícola nacional 2017-2030. chrome-extension://efaidnbmninnbpcajpcgclclefindmkaj/[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256433/B\\_sico-Sorgo\\_Grano.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256433/B_sico-Sorgo_Grano.pdf). Fecha de consulta: 23 de mayo de 2025.
- Sánchez-Hernández MA, Morales TG, Mendoza-Pedroza SI, Hernández-Bautista J, Fraire-Cordero S, Rivas-Jacobo MA (2021) Caracterización productiva de maíces nativos con aptitud forrajera en la Cuenca baja del Papaloapan. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44(4A): 755-764.
- Santos WF, Ferreira JJC, Silva AG, Procópio SO, Braz GBP, Jakelaitis A, Rodrigues RLS (2022) Plant arrangement and nitrogen fertilization in grain sorghum production. *Revista Brasileira de Milho e sorgo*. 21: e1262. <https://doi.org/10.18512/rbms2022v21e1262>
- SAS (2013) Base SAS® 9.4. Procedures Guide: Statistical procedures. Second edition. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 550p.
- Sawadogo N, Drabo I, Ouédraogo N, Tondé WH, Béré TLK, Bationo-Kandó P (2023) Heritability, genetic advance, and correlation studies of morpho-agronomic traits and brix in Burkina Faso sweet stalk sorghum genotypes. *Journal of Applied Biology & Biotechnology* 11(4): 50-57. <https://doi.org/10.7324/JABB.2023.110325>
- SIAP (2023) Anuario estadístico de la producción Agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 16 de diciembre de 2023.
- Sierra-Boquero PV, Gómez-Ramírez LF, Sánchez-Doria T, de Oro ARF, Fuentes CDA, Rubiano RJA (2023) Plagas asociadas al cultivo de sorgo forrajero Corpoica JJT-18 (*Sorghum bicolor* L. Moench) en el departamento del Cesar, Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Colombia. 72p. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7406566>
- Soto MVH, Alanís MJL, Pech CJM (2019) Un año de observaciones meteorológicas en Loma Bonita, Oax., México; una referencia climatológica para su industria agropecuaria. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan* 7(2): 206-221. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v7i2.85>
- Taiz L, Zeiger E (2006) Fisiología vegetal. Universitat Jaume I, D.L. Castelló de la Plana, España. 1338p.

- Uribe-Gómez S, Partida-Sedas G, Rebolledo-García RL, Aguilar-Uscanga MG, Montes-García N (2025) Biomass and sugar production of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) for different sowing dates in Veracruz, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 28(3): 1-14
- Williams-Alanís H, Aranda-Lara U, Arcos-Cavazos G, Zavala-García F, Rodríguez-Vázquez M del C, Olivares-Sáenz E (2021) Potencial productivo de variedades experimentales de sorgo blanco para el sur de Tamaulipas. *Nova Scientia* 13(26): 1-19.