



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Centro Universitario Regional UNA-Juigalpa

Trabajo de Tesis

Efecto de tres distancias de siembra en el cultivo de Sorgo negro (*Sorghum almum*) sobre la producción de biomasa y materia seca en Muelle de los Bueyes, (RACCS) periodo mayo 2023.

Autor

Br. Hader Habed Ruiz Flores

Asesores

Ing. MSc. Noel Duarte Rivas
Ing. MSc. Jorge Luis Sobalvarro Mena
Ing. Francisco Delgadillo Herrera

Juigalpa, Nicaragua
Agosto, 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

Centro Universitario Regional UNA -Juigalpa

Trabajo de Tesis

**Efecto de tres distancias de siembra en el cultivo de
Sorgo negro (*Sorghum alnum*) sobre la producción de
biomasa y materia seca en Muelle de los Bueyes,
(RACCS) periodo mayo 2023**

Autor

Br. Hader Habed Ruiz Flores

Asesores

Ing. MSc. Noel Duarte Rivas

Ing. MSc. Jorge Luis Sobalvarro Mena

Ing. Francisco Delgadillo Herrera

**Presentado a la consideración del honorable comité
evaluador como requisito final para optar al grado
de Ingeniero Agrónomo**

Juigalpa, Nicaragua

Agosto, 2026

Aval

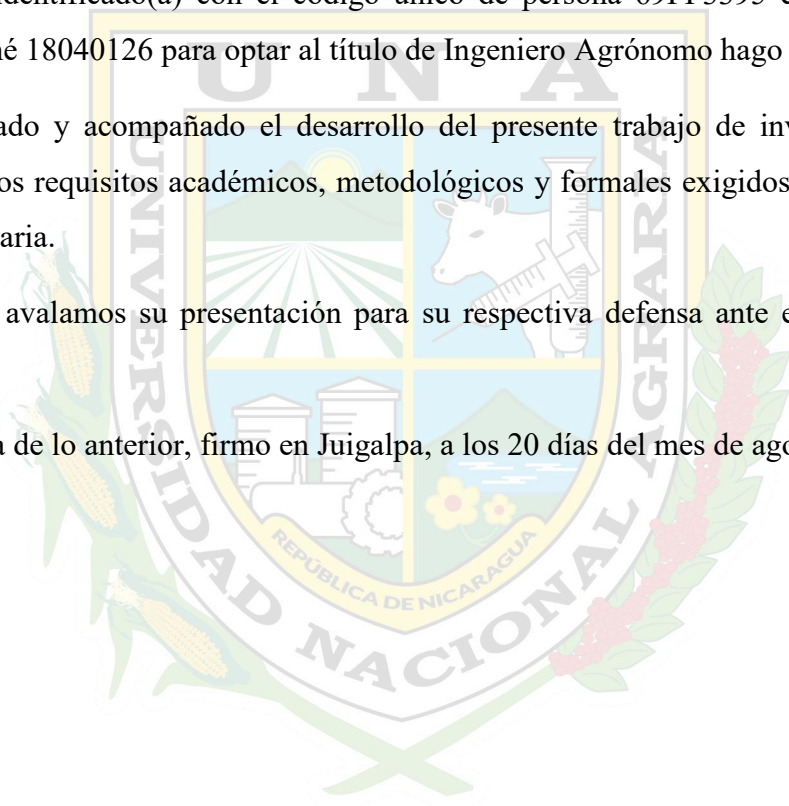
Yo, Noel Duarte Rivas, Francisco Leonidas Delgadillo Herrera en calidad de asesor(a) de la Forma de Culminación de Estudios del tipo tesis, titulada: Efecto de tres distancias de siembra en el cultivo de sorgo negro (*Sorghum alnum*) sobre la producción de biomasa y materia seca en muelle de los bueyes (RACCS) periodo mayo 2023.

Centro Universitario Regional UNA -Juigalpa. Elaborada por el estudiante, Hader Habed Ruiz Flores identificado(a) con el código único de persona 69FF3395 cédula 121-170884-0002P, y carné 18040126 para optar al título de Ingeniero Agrónomo hago constar que:

Hemos revisado y acompañado el desarrollo del presente trabajo de investigación, el cual cumple con los requisitos académicos, metodológicos y formales exigidos por la Universidad Nacional Agraria.

Por lo tanto, avalamos su presentación para su respectiva defensa ante el comité evaluador designado.

En constancia de lo anterior, firmo en Juigalpa, a los 20 días del mes de agosto del año 2026.



Miembros del Comité Evaluador

Ing. Juan Carlos Fernandez
Alvarez

Presidente

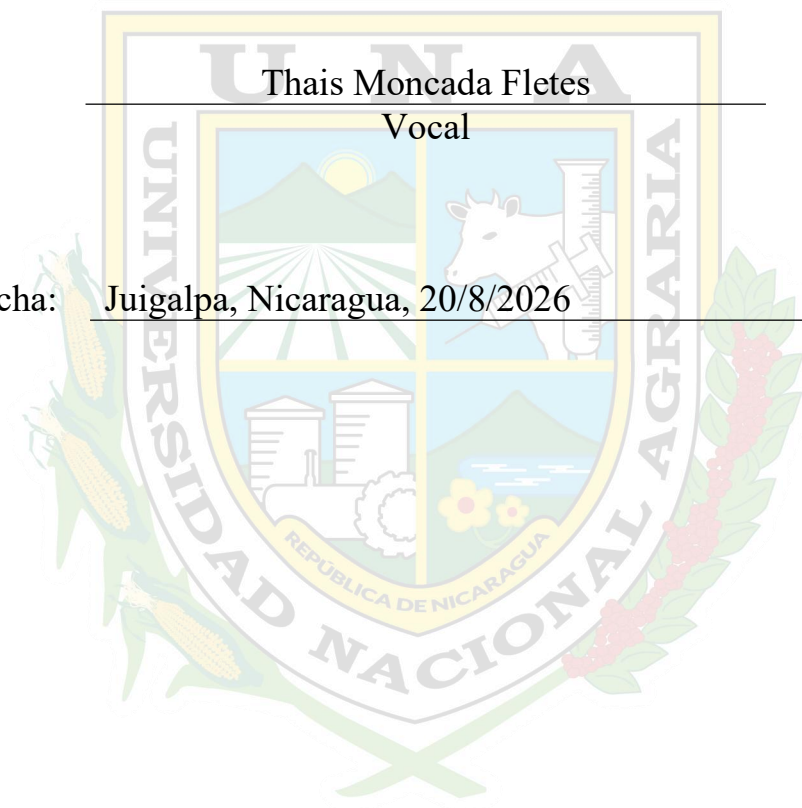
Eddy Ramon Martinez Bejarano

Secretario

Thais Moncada Fletes

Vocal

Lugar y fecha: Juigalpa, Nicaragua, 20/8/2026



DEDICATORIA

A Dios: Por ser el sembrador de mi camino, por darme la sabiduría, la fuerza y la templanza necesarias para superar cada obstáculo y permitirme llegar con bien a la meta.

A mi esposa, Oneyda Monge Castillo: Por ser mi compañera incondicional, mi apoyo y mi refugio en los momentos más difíciles. Este logro también es tuyo por tu paciencia, tu amor y por sostener mi mano en cada paso de este trayecto.

A mis hijos, Ashlyng Michell Ruiz Monge y Bryan Habed Ruiz Chavarría: Quienes son mi mayor bendición y el motor que impulsa mi vida. Espero que este logro les sirva de inspiración para saber que, con esfuerzo y dedicación, no hay meta que no puedan alcanzar. Todo este sacrificio es por y para ustedes.

A mi madrecita, Jeannette Ortega Robleto: Por sus oraciones incansables, sus consejos y por enseñarme el valor del trabajo duro. Gracias, madre, por creer en mí desde el primer día y por ser el pilar fundamental de mi formación.

Br. Hader Habed Ruiz Flores



AGRADECIMIENTO

Primeramente, doy gracias a Dios Todo poderoso por concederme la vida, la salud, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta importante etapa de mi formación profesional. Su guía y bendiciones han sido fundamentales para superar cada desafío y alcanzar esta meta.

Expreso mi más profundo agradecimiento a mis hijos, Ashlyng Michell Ruiz Monge y Bryan Haded Ruiz Chavarría, quienes han sido una fuente constante de inspiración, amor y motivación para seguir adelante. Cada esfuerzo realizado ha tenido como propósito brindarles un mejor ejemplo de perseverancia y superación.

A mi amada esposa, Oneyda Monge Castillo, le agradezco profundamente por su amor, comprensión, paciencia y apoyo incondicional durante todo este proceso. Su compañía, sus palabras de aliento y su confianza en mí fueron esenciales para alcanzar este logro.

Con especial cariño y gratitud, dedico un reconocimiento a mi querida madre, Jeannette Ortega Robleto, por su amor infinito, sus sacrificios, sus enseñanzas y los valores que me inculcó desde mi infancia. Gracias por creer siempre en mí y por ser un ejemplo de esfuerzo y dedicación.

Asimismo, expreso mi sincero agradecimiento a mis asesores de tesis, MSc. Noel Enrique Duarte Rivas, MSc. Jorge Luis Sobalvarro Mena y al Ing. Francisco Leónidas Delgadillo Herrera, por compartir generosamente sus conocimientos, experiencia, orientación académica y valiosas recomendaciones durante el desarrollo de esta investigación. Su apoyo y compromiso fueron determinantes para la culminación exitosa de este trabajo.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron con su apoyo, confianza y palabras de ánimo para hacer posible la realización de esta tesis y la culminación de mi carrera de Ingeniería Agronómica.

Br. Hader Haded Ruiz Flores



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general	4
III. MARCO DE REFERENCIA	5
3.1 Origen del sorgo negro	5
3.2 Origen del sorgo halapense	5
3.3 Origen del sorgo bicolor	5
3.4 Taxonomía del sorgo negro (<i>Sorghum almum</i>)	5
3.5 Híbrido	6
V. MATERIALES Y MÉTODOS	10
5.1 Ubicación del estudio	10
5.3 Tipo de suelo.	11
5.4 Diseño metodológico	11
5.5 Manejo del experimento.	13
5.7 Análisis de datos	16
5.8 Materiales y equipo	17
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
VII. CONCLUSIONES	34
VIII. RECOMENDACIONES	35
IX. LITERATURA CITADA	36
X. ANEXOS	41



ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
1 Análisis estadístico para la variable altura de planta (cm) en el ensayo de sorgo negro evaluado con tres distancias de siembra	17
2 Análisis estadístico para la variable número de hojas de sorgo negro evaluado con tres distancias de siembra	19
3 Análisis estadístico para la variable ancho de hoja (cm) en el ensayo de sorgo negro evaluado con tres distancias de siembra	21
4 Análisis estadístico para la variable largo de hoja en ensayo de sorgo evaluado con tres distancias de siembra	24
5 Análisis estadístico para la variable diametro de tallo en el ensayo de sorgo evaluado con tres distancias de siembra	26
6 Análisis estadístico para la variable relación hoja-tallo, producción de forraje verde y materia seca en el ensayo de sorgo negro evaluados con tres distancias de siembra	28



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Ubicación de Comunidad Cerro Bonito, municipio Muelle de los Bueyes.....	10



ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÀGINA
1. Plano de campo utilizado para la evaluación	41



RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de tres distancias de siembra (0.50, 0.75 y 1.00 m entre surcos) sobre el crecimiento, desarrollo y producción de biomasa del sorgo negro (*Sorghum almum*) en condiciones del municipio Muelle de los Bueyes, durante el periodo mayo–agosto de 2023. Se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar, conformado por tres tratamientos y tres repeticiones. Durante el ciclo del cultivo se evaluaron variables morfológicas y productivas, entre ellas largo de hoja, diámetro de tallo, relación hoja, producción de forraje verde y producción de materia seca. Los resultados mostraron que la respuesta del cultivo a la distancia de siembra varió según la etapa de desarrollo. El espaciamiento de 0.75 m presentó el mayor rendimiento de forraje verde (48,234 kg/ha) y materia seca (14,470 kg/ha), con diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.0342$). La relación tallo/hoja no presentó diferencias significativas ($p = 0.0558$); no obstante, el tratamiento de 0.75 m registró el mayor valor numérico (2.65), equivalente aproximadamente a 65% de hoja y 35% de tallo. Asimismo, los espaciamientos de 0.75 y 1.00 m favorecieron el desarrollo individual de las plantas durante las etapas avanzadas, particularmente en largo de hoja y diámetro de tallo. Los resultados permiten concluir que la distancia de 0.75 m entre surcos constituye la alternativa más favorable para maximizar la producción de biomasa forrajera del sorgo negro bajo las condiciones agroecológicas evaluadas.

Palabras clave: *Sorghum almum*, distancia de siembra, producción forrajera, biomasa, materia seca.



ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the effect of three row spacings (0.50, 0.75, and 1.00 m between rows) on the growth, development, and biomass production of black sorghum (*Sorghum almum*) under the conditions municipality of Muelle de los Bueyes, during the May–August 2023 period. A randomized complete block design was established, consisting of three treatments and three replications. Morphological and productive variables were evaluated throughout the crop cycle, including leaf length, stem diameter, leaf-to-stem ratio, green forage production, and dry matter production. The results showed that crop response to row spacing varied according to the growth stage. The 0.75 m spacing produced the highest green forage yield (48,234 kg/ha) and dry matter yield (14,470 kg/ha), with significant differences among treatments ($p = 0.0342$). The leaf-to-stem ratio showed no significant differences among treatments ($p = 0.0558$); however, the 0.75 m spacing recorded the highest numerical value (2.65), equivalent to approximately 65% leaf and 35% stem. Likewise, the 0.75 and 1.00 m spacings favored individual plant development during the later growth stages, particularly in leaf length and stem diameter. The results indicate that a 0.75 m row spacing is the most favorable alternative for maximizing forage biomass production of black sorghum under the agroecological conditions evaluated.

Keywords: *Sorghum almum*, row spacing, forage production, biomass, dry matter.



I. INTRODUCCIÓN

El sorgo, gramínea de clima tropical que a través de las mejoras genéticas se adapta a distintos tipos de ambientes y es considerado como uno de los cultivos mundiales de la seguridad alimenticia y por ende tiene muy buena adaptación en Argentina en la Región Pampeana de Clima templado (Carrasco et. al., 2011).

Por otro lado, se puede aprovechar de diferentes formas ya sea como pastoreo, forraje diferido, silos y como concentrado, tiene altas cantidades de rastrojos esto les permite a los suelos obtener una mejor cobertura, además tiene un sistema radicular bien desarrollado y muy profundo que le permite explorar el perfil del suelo por un lado que le ayuda a mejorar su estructura y condiciones físicas, químicas y biológicas (Carrasco et. al., 2011).

El incremento en la demanda de productos alimenticios, la expansión de la frontera agrícola y ganadera, la erosión del suelo y la contaminación de las aguas, el crecimiento estacional de los pastos debido a la estacionalidad de las lluvias, son algunos de los factores que han dirigido la investigación hacia la búsqueda de métodos alternos de producción de alimentos forrajeros (Herrera-Campos et al, 2009).

En la zona de la altura de la Meseta Central, donde se hizo este experimento, pudimos comprobar un buen resultado sobre el rendimiento de materia seca en el sorgo negro forrajero, a pesar de es un producto de primera cosecha, se observó que a los 57 días de crecimiento tiene una buena formación del tallo. Entre los dos y los tres meses es el tiempo apropiado para cosechar el forraje con el fin de dar una excelente alimentación animal ya que tiene un alto contenido de materia seca y proteína cruda (Amador y Boschini, 2000).

El sorgo negro forrajero hasta los 52 días de crecimiento las hojas producen más biomasa verde que los tallos, sin embargo, a los 57 días de crecimiento la producción de biomasa en relación hoja tallo es 1:1, 50% hoja y 50% tallo. Posteriormente a los 66 días de crecimiento se alcanza una mayor producción de forraje. Luego, de dos semanas que emerge



la panoja. Luego a los 108 días entra en un descanso de rendimiento hoja y tallo, aunque haya aumentado la materia seca por el desarrollo de la panoja (Amador y Boschini, 2000).

Por la alta producción ganadera se ha venido intensificando el uso de concentrados, heno y silos en algunas áreas de productores que tienen limitantes a tecnologías de silos, el sorgo negro ha sido una alternativa que se adapta muy bien en estas áreas. El Ing. Farinelli buen conocedor de forrajes encontró a un productor que tenía incorporada al sorgo negro forrajero a su cadena de forraje. (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA, 2017).

Se atribuye que el sorgo ensilado tiene mayor consumo en los bovinos por su alta cantidad de azúcares (carbohidratos solubles) lo que favorece a su fermentación por lo tanto un mejor olor y sabor esto lo lleva a tener una mejor palatabilidad para los bovinos. El ensilaje del sorgo tiene un bajo costo, por lo que está siendo una tecnología de fácil acceso a pequeños productores en condiciones agroecológicas similares al municipio de Acoyapa, Chontales. (Duarte et. al., 2019).

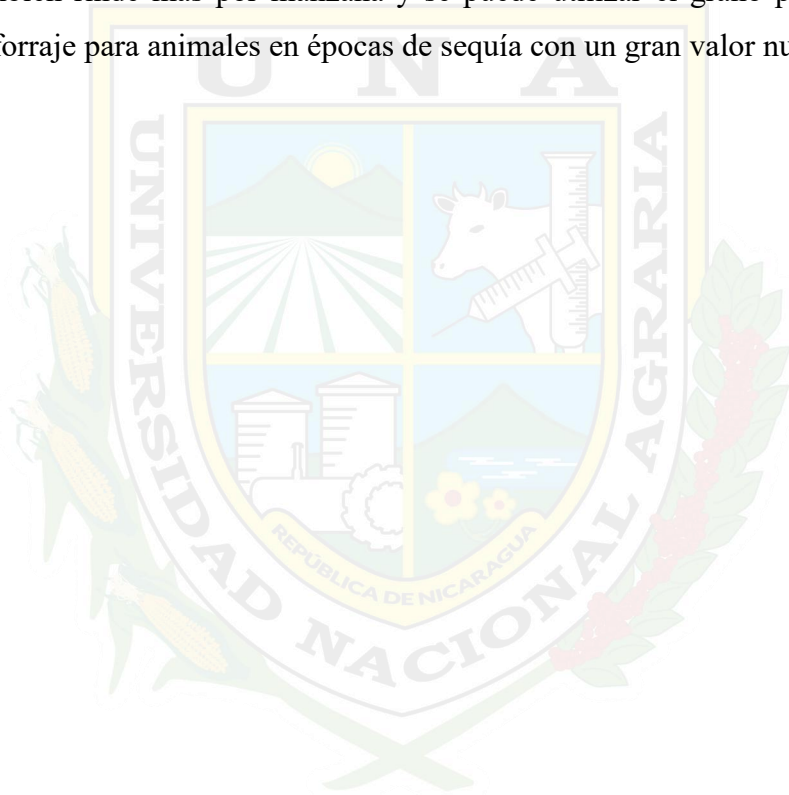
Campos y Carranza (2015): Afirman que a lo largo de una investigación se ha demostrado que el sorgo es de suma importancia para los animales y los humanos, al seleccionar la mejor semilla para la siembra los productores obtendrán una mejor producción. El sorgo al paso del tiempo se ha venido mejorando genéticamente y por ello ha incrementado su calidad para el forraje y granos, ha aumentado su productividad por hectáreas, es un cultivo que se adapta muy bien a bajas temperaturas sin embargo cuando tiene cambios de temperaturas este disminuye su rendimiento en granos.

El sorgo para los productores a nivel nacional es preferido por que es más resistente a las plagas y resiste la sequía, es más productivo a menos costo, perjudica menos los suelos y por ende los vuelve más productivos, sin embargo la alta demanda de las industrias avícolas tienen que recurrir a la compra de maíz amarillo por la poca disponibilidad del sorgo, es por eso que los productores de sorgo en Nicaragua se han organizado en la Asociación Nacional de Productores de sorgo (ANPROSOR) que está jugando un papel muy importante en las



negociaciones del sector también la Asociación Nacional de Avicultores y Productores de Alimentos (ANAPA) están mediando con el fin de conseguir un precio por quintal en base a sus costos de producción. (Campos y Carranza, 2015).

Mercado y Ordóñez (2011) mencionan que la semilla mejorada de sorgo es más resistente a plagas y enfermedades lo cual reduce su costo de producción al comprar menos insumos para el control de malezas, plagas y enfermedades, su madures es más precoz en comparación con las variedades criollas de sorgo y puede establecerse en asocio con otros cultivos. También rinde más por manzana y se puede utilizar el grano para la alimentación humana y el forraje para animales en épocas de sequía con un gran valor nutritivo.



II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de tres distancias de siembra en el cultivo de sorgo negro (*Sorghum almum*) sobre la producción de biomasa verde y materia seca.

2.2 Objetivos específicos

1. Determinar cuál de las tres distancias de siembra estudiadas produce más cantidad de biomasa verde.
2. Analizar con cuál de las tres distancias de siembra el sorgo negro incrementa la producción de materia seca.
3. Evaluar el efecto de las distancias de siembra sobre la relación tallo/hoja de las plantas de sorgo negro.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Origen del sorgo negro

El sorgo negro (*Sorghun almum*), se dice que es originario de argentina en el año 1943, este sorgo nace de un cruce natural de dos variedades de sorgo, *Sorghun bicolor* y *Sorghun halapense* (Mesa, 2004).

3.2 Origen del sorgo halapense

Sorghun halapense, del halapense (latín), originario de la ciudad de Haleb en Siria, por ello se le da el nombre vulgar de sorgo Aleppo es considerada gramínea perenne y es una maleza de las peores en al menos 53 países que están ubicados en rango de latitudes muy amplio (55° N hasta 45° S) llegó al país como uso para forraje, pero por ser muy invasora fue declarada plaga a nivel Nacional de la Agricultura en el año 1930 (Leguizamón, 2006).

3.3 Origen del sorgo bicolor

Sorgo bicolor o sorgo dulce es originario de África al igual que muchas variedades conocidas de sorgo en la actualidad, se presume que antes que la historia lo registrara se cultivaba en la India y en Asiria desde el año 700 A.C. llegó a China en el siglo XIII y luego llegó al hemisferio occidental, posteriormente llegó a Estados Unidos allá por el siglo XVII, pero su extensión no fue mayor hasta el año 1850 que lo introdujeron de Francia (Pecina et. al., 2017).

3.4 Taxonomía del sorgo negro (*Sorghunm almum*)

Reino: Plantae

Phylum: Magnoliophyta

Subphylum: Euphyllophytina

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales



Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Andropogonegoneae

Género: Sorghum

Especie: alnum Parodi

(Parodi, 2021)

3.5 Híbrido

El termino híbrido, es la mejora genética de dos líneas puras, esto se realiza con el fin de crear mayor producción de la planta, creando resistencia a factores bióticos y abióticos. La hibridación es la práctica de cruzamientos, que el ser humanos ha empleado desde el inicio de la agricultura, cuando se realiza la hibridación, se generan plantas con dotación genética de ambos parentales (Azcón y Talón, 2008).

En las regiones de las Huastecas las actividades que se relacionan a la ganadería son muy importantes durante los meses de noviembre a mayo por que presentan alta escasez de forrajes, por lo es de suma importancia la utilización de híbridos con mayor altura para el aprovechamiento de granos y forrajes, está comprobado que los híbridos tienen un alto potencial para la producción de forraje en algunos estados de México como: Morelos, Michoacán Sinaloa, colima y Nayarit (Universidad de Costa Rica UCR, 2014).

En zamorano se utilizan variedades de sorgo blanco, Centa S-3 y Sureño para producir silos, pero se hizo un estudio con el fin de comparar caracteres morfológicos y rendimiento de los sorgos que se establecen en zamorano y el sorgo negro (*Sorghum alnum*) bajo sus mismas condiciones, el ensayo fue realizado en los meses de mayo a septiembre del 2004, se utilizaron bloques completamente al azar (BCA) con cuatro repeticiones, con análisis de correlación de Pearson y análisis de regresión simple (Mesa, 2004).

Se demostró que el sorgo negro presento un menor porcentaje de germinación con un (65%), sin embargo, sus plantas fueron más altas (3m) y el diámetro de tallo fue más grueso con un (1cm)., presento más resistencia en estado lechoso con respecto al ataque de los



insectos y aves, contrario a enfermedades ya que es más susceptible a la (Roya y Tizón Norteño), esta variedad tardo más para florecer (86 días), madurez fisiológica hasta los 114 días su contenido de fibra neutro fue de (62%) no jugoso y fibra acido Detergente (38.4%), mayor. Por lo que en condiciones del Zamorano no se recomienda la utilización de sorgo negro para la producción de forraje (Mesa, 2004).

En Alajuela Costa Rica se realizó una investigación donde afirman que el tiempo propicio para cosechar el sorgo negro forrajero y donde tiene más concentración de nutrientes es a los tres meses, y para que el productor obtenga la mayor cantidad de forraje se debe de cosechar a los 133 días ya que presenta una mayor cantidad de proteína que se acerca al 8% y un contenido de fibra neutro detergente de 77% que todavía se puede ensilar sin ningún problema. (Boschini y Elizondo, 2005).

El sorgo se puede adaptar a diferentes tipos y condiciones del suelo, clima y tecnología, y la pero, para obtener un mayor aprovechamiento de él es necesario tener conocimiento sobre sus requerimientos de nutrientes y agua debemos de definir muy bien sus densidades de siembra y fecha con respecto a la zona donde lo vamos a establecer, un buen manejo productivo y la producción de distintos híbridos y otros factores para una buena excelente alimentación en los animales, pero no solo debemos de tomar en cuenta el potencial productivo y su comportamiento fisiológico sino también incluir una dieta adecuada con otros alimentos (Carrasco et. al., 2011).

El sorgo ensilado es una excelente reserva forrajera y a su vez aporta grandes volúmenes de materia fresca, pero sin embargo su contenido de proteína es muy bajo y en muchos casos también el aporte de energía es limitado. El híbrido que tenemos que elegir debe de contener grandes cantidades de azúcares o doble propósito porque así obtendríamos un mejor equilibrio entre calidad y cantidad de forraje, de esta manera damos más crédito a que al elegir un híbrido para producir alimentos de calidad para nuestros animales (Carrasco et. al., 2011).



Owen y Moline (1970) Indican que: el Cultivo de sorgo negro forrajero es un material resistente que permite su coacervación con facilidad, debido a que es muy soluble, siempre que se sigan los procedimientos de elaboración de ensilaje adecuados. La disponibilidad de ese producto permite una mejor alimentación del ganado en los períodos secos y posee gran habilidad para recuperarse de la sequía. La producción de biomasa de este cultivo se puede mejorar por la capacidad de rebrote después de su corte y presenta como valor añadido el contenido de azúcares en sus tallos.

Araya et. al., (1997) Dicen que: El sorgo negro forrajero (*Sorghum almum*) es necesario en la actual necesidad de producción regional de semillas forrajeras de especies perennes y rústicas a bajo costo, y la posibilidad de obtener material forrajero de esta especie de condición perenne, aún en época de sequía. Esta gramínea de corte, que tiene alto rendimiento, se recupera rápidamente ante sequía, puede soportar suelos encharcados, y de capacidad superior a la del maíz (*Zea mays*) Del sorgo negro forrajero se puede obtener más de una cosecha en su vida útil, lo que le da ventaja sobre otras especies usadas para este fin.

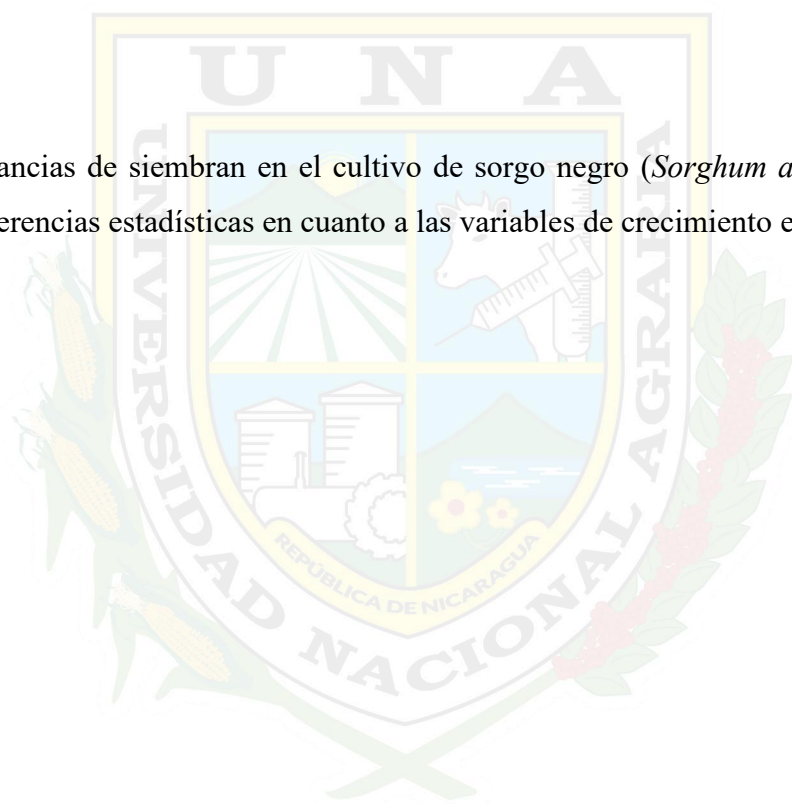
Hacker (1992), destaca que: Las propiedades que posee el *Sorghum almum*: Es de una calidad razonablemente alta y las concentraciones de N en las hojas pueden superar el 3% si los rodales se fertilizan adecuadamente, aunque esta disminuye a medida que las plantas maduran. Es apetecible para el ganado. El pasto joven puede acumular niveles peligrosamente altos de HCN que pueden provocar intoxicación por ácido prúsico en el ganado. A diferencia de su supuesto padre, la hierba Johnson, se puede erradicar sin dificultad cuando se desee.

A pesar de la información existente sobre el comportamiento del sorgo negro, existe limitada evidencia sobre el efecto de la densidad de siembra en condiciones edafoclimáticas de Nicaragua por tal motivo nos dispusimos hacer el presente estudio.

IV. HIPOTESIS

H₀: Las distancias de siembran en el cultivo de sorgo negro (*Sorghum almum*) evaluadas no presentan diferencias estadísticas en cuanto a las variables de crecimiento evaluadas.

H_a: Las distancias de siembran en el cultivo de sorgo negro (*Sorghum almum*) evaluadas si presentan diferencias estadísticas en cuanto a las variables de crecimiento evaluadas.



V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación del estudio

El presente estudio se estableció en el área agrícola de la Comunidad Cerro Bonito del Municipio de Muelle de los Bueyes (RAACS) esta presenta coordenadas UTM X: 762852 Y:1322339, con una elevación de 99.65 msnm.



Figura 1. Ubicación de Comunidad Cerro Bonito, Municipio Muelle de los Bueyes RACCS, Fuente: UTM Geo Map (2023).

5.2 Condiciones climáticas

Según el Instituto Nicaragüense del Fomento municipal (INIFON 2015) el municipio Muelle de los Bueyes presenta un clima de monzónico tropical. Las temperaturas promedio van desde los 25 °C a los 28 °C. Los meses donde aumentan las temperaturas son de marzo a mayo, los meses más fríos la temperatura oscila 25.7 °C. La humedad relativa promedio es de 73 y 82 %. Este municipio presenta un régimen lluvioso, con valores anuales que oscilan aproximadamente entre 2,700 y 2,900 mm por año, característico de la zona climática del Caribe Sur de Nicaragua.

5.3 Tipo de suelo.

Según INIFON (2015) los suelos del Municipio de Muelle de los Bueyes presentan las siguientes texturas:

Según información edafológica disponible para el municipio de Muelle de los Bueyes, Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RACCS), los suelos presentan una variabilidad en sus características físicas, predominando las texturas de moderadamente finas a finas, principalmente franco-arcillo-limosas y arcillo-limosas. En menor proporción se encuentran suelos de textura franco-limosa, así como sectores con texturas muy finas, como arcillosos pesados y Vertisoles.

Los suelos franco-arcillo-limosos presentan una infiltración de regular a deficiente y una aireación regular, mientras que los suelos arcillo-limosos y arcillosos se caracterizan por una mayor adhesividad, infiltración deficiente y aireación limitada. Por otra parte, los suelos de textura franco-limosa presentan mejores condiciones de infiltración y aireación. Durante la época lluviosa, algunas áreas pueden presentar problemas de drenaje y acumulación temporal de agua, generando condiciones de saturación del suelo.

En términos generales, los suelos del municipio pueden presentarse tanto profundos como poco profundos, con predominio de suelos bien drenados y de textura franco-arcillosa a arcillosa, desarrollados principalmente a partir de rocas básicas. Asimismo, se ha señalado la presencia de suelos con fertilidad media y baja, debido principalmente a las condiciones de alta precipitación de la zona, que favorecen el lavado de nutrientes.

5.4 Diseño metodológico

Periodo de inicio y finalización de estudio



El estudio inicio la segunda semana del mes de mayo del año 2023, incluyendo la preparación del terreno para luego realizar la siembra de la semilla de sorgo negro constando de un solo ciclo y finalizado la segunda semana del mes de agosto del 2023.

Diseño metodológico

El estudio se realizó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar (BCA). Se realizaron 3 repeticiones con 3 tratamientos. Los surcos fueron de 5 metros lineales a diferentes distancias las cuales fueron: 0.5 metros, 0.75 metros y 1 metro. Se realizó la siembra de 5 semillas por golpe con una distancia de 20 cm para un total de 25 plantas por metro lineal.

La densidad de plantas por ha por tratamiento fueron las siguientes: Distancia 1 (50 cm entre surco) 500,000., distancia 2 (75 cm entre surco) 332, 500 y en el caso de la distancia 3 el número de planta por hectárea es de 250,000. Cada bloque ocupó un área de 50 m² con una distancia de un metro entre bloque. El área experimental total del estudio fue 160m². El área de muestreo fue 1 m² en cada parcela donde se estableció cada tratamiento. Se implementó el modelo matemático siguiente:

Modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

ij , donde: $i = 1, 2, 3 \dots t \dots$ = tratamientos

$j = 1, 2, 3 \dots r \dots$ = repeticiones

Y_{ij} = La j -ésima observación del i -ésimo tratamiento

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento

β_j = Estimador del efecto debido al j -ésimo bloque

ε_{ij} = Efecto aleatorio de variación.

Tratamientos a evaluar.

T1: distancia de siembra 0.5m.

T2: distancia de siembra 0.75m.

T3: distancia de siembra 1m.

5.5 Manejo del experimento.

Preparación del terreno

Se realizó la preparación del terreno dos semanas antes de la siembra, se hizo muestreo de suelo con medida de 20 x 20cm a una profundidad de 20cm. De igual manera se realizó limpieza del terreno con apoyo de químico glifosato 120cc por bombada de 20ltrs y de manera manual (machete) también se removió el suelo haciendo camellones con azadones.

Siembra

Se realizó la aplicación de tratador blindaje a la semilla a base Thiamethoxam y Thiodicarb contra los insectos que se encuentran en el suelo. Luego se realizó la siembra de semilla.

Control de plagas y enfermedades

El control de larvas *Spodoptera* como gusano cogollero que normalmente se encuentran en todo ciclo vegetativo de las plantas, para ello se realizó aplicaciones de un producto de contacto como es Winner (*Spinetoram*) con dosificación de 10 cc por bombadas de 20 lt. Sin embargo, se encuentran otras plagas como son los pulgones y Trips que son transmisores de virus, para ello aplicamos un producto sistémico que fue Engeo (*Thiamethoxam* + *Lambda cihalotrina*) con 20 cc por bomba de 20lt e *Imidacloprid* con dosificación de 25 cc por bombada de 20 lt. De igual forma para evitar enfermedades como

son la antracnosis y roya del sorgo (*Puccinia purpurea*) aplicamos Rumba (*Azoxystrobin* y *Ciproconazole*) con dosificación de 20 cc por bombada de 20 lt, también se hizo uso de fungicida preventivo como Antracol (*Propineb*) con aplicación de dosis de 100 gramos por bomba de 20 lt. Cabe mencionar que las aplicaciones de pesticidas se realizaron por igual a todos los tratamientos.

Control de maleza

Se empezó a controlar malezas de manera manual con ayuda de un machete a partir de los 15 días después de la siembra. Sin embargo, se estuvo realizando esta actividad semanalmente con el fin de evitar la alta población de maleza.

5.6 Variables a evaluar

Variables de rendimiento productivo

Expresa Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT 1993) las variables que se evalúan en el establecimiento de un estudio de sorgo son los siguientes:

Altura de planta (cm)

La altura de la planta se determinó midiendo en centímetros la longitud del tallo desde el nivel del suelo hasta el ápice de la panoja. Si el pedúnculo está doblado, la medida debe incluir esa curvatura hasta el ápice mismo de la panoja.

Número de hojas

Para esta medición se tomó la hoja completamente abierta desde la base hasta el punto apical.

Longitud de hoja (cm)

Se mide en centímetros, desde el punto de inserción de la vaina en la lígula hasta el ápice de la misma lámina, en las hojas que nacen en el quinto nudo, contados a partir de la hoja bandera.

Ancho de hoja (cm)

Es la distancia, en centímetros, medida de borde a borde en el lugar más ancho de la lámina, en la hoja inmediatamente inferior a la hoja bandera.

Diámetro de tallo (mm)

Este se midió en el segundo entrenudo de la planta para ello utilizamos un vernier.

Rendimiento de materia verde en (kg ha⁻¹).

Para estimar el rendimiento de biomasa fresca (kg ha⁻¹ /corte), se cosecharon todos los rebrotes de las plantas contenidas dentro de la parcela útil (1m²) por tratamiento y repetición. Se cortaron los rebrotes con un machete a 10 cm del suelo registrando su peso en (kg).

Rendimiento de materia seca en (kg ha⁻¹)

Una vez obtenido el porcentaje de materia seca se estableció el rendimiento de biomasa en base a materia seca multiplicando el porcentaje por el rendimiento de forraje verde obtenido por metro cuadrado, posteriormente se extrapoló a kg MS/ha-1.

Relación tallo-hoja (kg)



Se separaron los componentes morfológicos de la planta, tallo y hoja, donde la hoja se separó completamente del tallo desde la base del nudo tomado como hoja la lámina y la vaina. Luego de este proceso procedimos a pesarlos por separado hoja y tallo para su correspondiente toma de dato y calculamos la relación hoja tallo.

Materia seca (%)

Para estimar el contenido de materia seca, una vez determinado el peso fresco del forraje de cada parcela, se tomó una muestra representativa de 500 g de forraje verde por tratamiento. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Bromatología, donde se colocaron en un horno de secado a una temperatura de 60 °C durante 72 horas, con el propósito de eliminar la humedad presente en el material vegetal. Finalizado el periodo de secado, las muestras fueron pesadas nuevamente, obteniéndose 150 g de materia seca a partir de los 500 g iniciales de forraje verde. Con estos valores se calculó el porcentaje de materia seca, y posteriormente este porcentaje se utilizó para estimar la producción de materia seca por hectárea correspondiente a cada tratamiento.

Una vez obtenido el porcentaje de materia seca se determinó el rendimiento de biomasa en base seca multiplicando el porcentaje por el rendimiento de forraje verde obtenido por metro cuadrado, posteriormente se extrapoló a kg MS/ha-1.

Recolección de datos

Se utilizó una hoja de campo para la recopilación de datos, luego fueron introducidos a una hoja de Excel para después ser analizados.

5.7 Análisis de datos

Los datos recopilados en campo fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANDEVA) en el programa estadístico InfoStat versión 2022. Donde se realizó una prueba de separación de media con Tukey con un nivel de significancia del 5% ($P < 0,05$).



5.8 Materiales y equipo

Los materiales y equipo que se utilizaron durante todo el proceso que duro el estudio fueron: Machete, cinta métrica, azadón, tablias, porta papeles, lápices, bomba de mochila, balanza digital, semillas de sorgo negro, productos agroquímicos, fertilizantes.



VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Análisis estadísticos para la variable altura de planta (cm) en el ensayo de sorgo negro evaluado con tres distancias de siembra.

Tratamiento	Altura de planta en (cm)				
	30 DDS	45 DDS	60 DDS	75 DDS	90 DDS
Distancia entre surco (50 cm)	123 a	181 a	218 a	253 a	267 ab
Distancia entre surco (75 cm)	111 b	159 b	227 a	261 a	295 a
Distancia entre surco (100 cm)	86 c	146 b	175 b	208 b	262 b
P-valor (<0.05)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0175

La altura de planta presentó diferencias estadísticas entre las distancias entre surcos en todas las fechas de evaluación (P-valor $0.05 \leq 0.0175$). A los 30 y 45 DDS, la distancia de 50 cm presentó las mayores alturas, con 123 y 181 cm, respectivamente. A partir de los 60 DDS, la distancia de 75 cm mostró los mayores valores numéricos, alcanzando 227, 261 y 295 cm a los 60, 75 y 90 DDS, respectivamente, mientras que la distancia de 100 cm presentó los menores valores durante el período evaluado.

El comportamiento de la altura según la distancia entre surcos puede relacionarse con modificaciones en la competencia intraespecífica y en la disponibilidad de recursos durante el desarrollo del cultivo. Villalobos et al. (2024) señalan que la distribución espacial de las plantas influye en la disponibilidad de recursos y en la expresión del crecimiento. Asimismo, Ma y Li (2019) relacionan la disponibilidad de radiación con modificaciones en la elongación y arquitectura de las plantas.

A los 90 DDS, la distancia de 75 cm alcanzó la mayor altura (295 cm), mientras que 50 y 100 cm registraron 267 y 262 cm, respectivamente. Este comportamiento evidencia que la respuesta del cultivo al espaciamiento varió durante el ciclo de desarrollo. En este sentido, Villalobos et al. (2024) y Gao et al. (2024) señalan que la distribución espacial y el espaciamiento entre plantas pueden modificar el aprovechamiento y la disponibilidad de recursos, generando respuestas diferenciadas en las características morfológicas del cultivo.

En términos agronómicos, la distancia de 50 cm favoreció el crecimiento en altura durante las primeras etapas, mientras que 75 cm presentó la mayor altura al final del período de evaluación. Sin embargo, la mayor altura no necesariamente representa una mayor producción de forraje, por lo que esta variable debe interpretarse conjuntamente con las variables morfológicas y productivas evaluadas posteriormente.

Finalmente, es importante considerar que la altura de planta, aunque es un indicador relevante del crecimiento, no necesariamente refleja el rendimiento total del cultivo. En muchos casos, un mayor crecimiento en altura puede estar asociado a plantas más delgadas o con menor resistencia estructural, lo cual podría afectar variables productivas. Por ello, seguiremos analizando otras variables agronómicas de la planta del sorgo negro.

Tabla 2. Análisis estadísticos para la variable número de hoja en el ensayo de sorgo

	Número de hojas				
Tratamiento	30 DDS	45 DDS	60 DDS	75 DDS	90 DDS
Distancia entre surco (50 cm)	5.97 a	6.39 a	7.67 a	10.39 a	9.14 a
Distancia entre surco (75 cm)	6.69 a	6.81 a	8.07 a	9.11 b	9.58 a
Distancia entre surco (100 cm)	6.25 a	6.53 a	7.94 a	8.38 b	9.92 a
P-valor (<0.05)	0.902	0.4377	0.4099	0.0001	0.2723

negro evaluado con tres distancias de siembra.



El número de hojas no presentó diferencias estadísticas entre las distancias entre surcos a los 30, 45, 60 y 90 DDS ($p > 0.05$). Los valores registrados durante estas evaluaciones oscilaron entre 5.97 y 9.92 hojas por planta. La única diferencia estadística se presentó a los 75 DDS ($p = 0.0001$), donde la distancia de 50 cm alcanzó el mayor número de hojas (10.39), mientras que las distancias de 75 y 100 cm registraron 9.11 y 8.38 hojas por planta, respectivamente.

La ausencia de diferencias durante las primeras evaluaciones indica que el espaciamiento entre surcos tuvo poca influencia sobre el número de hojas durante las etapas iniciales del cultivo. Este comportamiento puede estar relacionado con el patrón de desarrollo vegetativo del sorgo, en el cual la emisión de hojas durante las primeras fases está determinada principalmente por características propias del desarrollo de la planta. En este sentido, Perez et al. (2029) señalan que el número de hojas y otras características foliares pueden presentar baja sensibilidad a cambios en la densidad durante las primeras fases del desarrollo.

A los 75 DDS se presentó la única respuesta significativa, con una mayor cantidad de hojas en la distancia de 50 cm. Este comportamiento puede relacionarse con la dinámica de crecimiento del dosel y con una mayor intercepción de radiación durante la etapa de máximo desarrollo vegetativo. Zhang et al. (2026) señalan que los espaciamientos reducidos pueden favorecer un cierre más rápido del dosel y modificar la captación de radiación, lo que puede influir en el desarrollo de estructuras vegetativas.

Sin embargo, a los 90 DDS las diferencias desaparecieron ($p = 0.2723$), registrándose valores estadísticamente similares entre las tres distancias. Esta respuesta puede asociarse con la plasticidad fenotípica del cultivo, que permite realizar ajustes en características morfológicas conforme cambian las condiciones de competencia y disponibilidad de recursos. Ciampitti et al. (2024) señalan que esta capacidad puede conducir a que diferencias observadas durante etapas intermedias tiendan a reducirse posteriormente. Asimismo, Aguilar et al. (2015) indican que el número de hojas tiende a estabilizarse conforme el cultivo avanza hacia las etapas reproductivas.



En términos agronómicos, los resultados indican que la distancia entre surcos tuvo un efecto temporal sobre el número de hojas, expresándose únicamente a los 75 DDS, cuando la distancia de 50 cm presentó el mayor valor. La ausencia de diferencias en las demás fechas sugiere que esta variable presentó una respuesta relativamente estable frente al espaciamiento durante gran parte del ciclo del cultivo. Por tanto, el número de hojas por planta, por sí solo, no permite establecer cuál distancia entre surcos produjo el mejor comportamiento forrajero, por lo que debe analizarse conjuntamente con las demás variables morfológicas y, posteriormente, con la producción de materia verde y materia seca.

Tabla 3. Análisis estadísticos para la variable ancho de hoja en el ensayo de sorgo negro

Tratamiento	Ancho de hoja (cm)				
	30 DDS	45 DDS	60 DDS	75 DDS	90 DDS
Distancia entre surco (50 cm)	3.68 a	3.55 a	3.58 a	3.72 b	3.95 a
Distancia entre surco (75 cm)	3.53 ab	3.69 a	3.82 a	4.39 a	4.01 a
Distancia entre surco (100 cm)	3.10 b	3.61 a	4.03 a	4.43 a	4.26 a
P-valor (<0.05)	0.0113	0.7216	0.0772	0.0003	0.844

evaluado con tres distancias de siembra

El ancho de hoja presentó una respuesta diferencial al espaciamiento entre surcos durante el ciclo del cultivo. Se observaron diferencias estadísticas a los 30 DDS ($p = 0.0113$) y 75 DDS ($p = 0.0003$), mientras que a los 45, 60 y 90 DDS no se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$).

A los 30 DDS, la distancia de 50 cm presentó el mayor ancho de hoja (3.68 cm), aunque no difirió estadísticamente de 75 cm (3.53 cm), mientras que 100 cm registró el menor

valor (3.10 cm). Este comportamiento puede relacionarse con la respuesta temprana del cultivo a la distribución espacial y a la competencia por radiación. Gardner et al. (1985) y Taiz et al. (2015) señalan que la disposición de las plantas puede modificar la competencia intraespecífica y la arquitectura del dosel. Asimismo, Franklin (2008) indica que las plantas pueden responder a cambios en la calidad de la luz asociados con la proximidad de plantas vecinas mediante modificaciones en su crecimiento.

A los 45 y 60 DDS no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos, aunque a los 60 DDS la distancia de 100 cm presentó el mayor valor numérico (4.03 cm). La ausencia de significancia indica que las diferencias numéricas observadas no fueron suficientes para establecer un efecto estadístico del espaciamiento sobre el ancho de hoja durante estas etapas. Este comportamiento puede asociarse con la plasticidad fenotípica del cultivo, mediante la cual las plantas ajustan su crecimiento y distribución de biomasa ante cambios en las condiciones de competencia. Salisbury y Ross (1992) señalan que las plantas pueden modificar características morfológicas en respuesta a las condiciones ambientales.

A los 75 DDS se presentó la mayor diferenciación entre tratamientos. Las distancias de 100 y 75 cm alcanzaron 4.43 y 4.39 cm, respectivamente, y superaron estadísticamente a 50 cm, que registró 3.72 cm. Esta respuesta puede estar relacionada con una menor competencia intraespecífica en los mayores espaciamientos, permitiendo un mayor desarrollo individual de los órganos foliares. Larcher (2003) señala que la disponibilidad de recursos y la competencia pueden modificar el crecimiento foliar, mientras que Loomis y Connor (1992) indican que una menor densidad puede favorecer el crecimiento individual de los órganos vegetativos debido a una menor competencia.

A los 90 DDS no se encontraron diferencias estadísticas entre las distancias ($p = 0.8440$), aunque el mayor valor numérico correspondió a 100 cm (4.26 cm), seguido de 75 cm (4.01 cm) y 50 cm (3.95 cm). Por tanto, no debe afirmarse que la distancia de 100 cm produjo un mayor ancho foliar en esta etapa, ya que estadísticamente los tratamientos fueron similares. La ausencia de diferencias puede relacionarse con una estabilización del crecimiento foliar conforme el cultivo se aproxima a etapas avanzadas de desarrollo. Taiz et al. (2015) señalan



que el tamaño final de los órganos foliares está condicionado por las condiciones de crecimiento acumuladas durante el ciclo.

En términos agronómicos, el efecto de la distancia entre surcos sobre el ancho de hoja fue temporal, con respuestas significativas únicamente a los 30 y 75 DDS. La distancia de 50 cm favoreció el ancho foliar durante la primera evaluación, mientras que a los 75 DDS los mayores espaciamientos presentaron los valores superiores. Sin embargo, al final del ciclo no se detectaron diferencias estadísticas, por lo que el espaciamiento no produjo un efecto permanente sobre el ancho de hoja.

Tabla 4. Análisis estadísticos para la variable largo de hoja en ensayo de sorgo negro evaluado con tres distancias de siembra.

Tratamiento	Largo de hoja (cm)				
	30 DDS	45 DDS	60 DDS	75 DDS	90 DDS
Distancia entre surco (50 cm)	77.64 ab	80 b	81 a	81 b	82 b
Distancia entre surco (75 cm)	79.58 a	86 a	85 a	89 a	88 a
Distancia entre surco (100 cm)	72.17 b	87 a	88 a	91 a	93 a
P-valor (<0.05)	0.0082	0.0197	0.0682	0.0001	0.0012

Los resultados del largo de hoja muestran que el efecto de la distancia entre surcos varió de acuerdo con el momento de evaluación. A los 30 DDS se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p = 0.0082$), donde la distancia de 75 cm registró el mayor largo de hoja con 79.58 cm, seguida por 50 cm con 77.64 cm, mientras que 100 cm presentó el menor valor con 72.17 cm. De acuerdo con las letras de comparación, el tratamiento de 75 cm fue estadísticamente superior al de 100 cm, mientras que el tratamiento de 50 cm presentó un comportamiento intermedio.

Este comportamiento durante la etapa inicial puede relacionarse con la respuesta de las plantas a la distribución espacial. De acuerdo con Franklin (2008), las plantas son capaces de detectar la proximidad de sus vecinas mediante cambios en la calidad de la luz, particularmente en la relación entre determinadas longitudes de onda, desencadenando modificaciones en su arquitectura y crecimiento. En este sentido, la respuesta observada a los 30 DDS podría indicar que una distancia intermedia entre surcos proporcionó condiciones favorables para la expansión inicial de las hojas, sin generar una competencia excesiva entre plantas.

A los 45 DDS también se registraron diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.0197$). Las mayores medias correspondieron a las distancias de 100 y 75 cm, con 87 y 86 cm, respectivamente, mientras que el tratamiento de 50 cm presentó 80 cm. Estos resultados muestran que, conforme avanzó el desarrollo vegetativo, las plantas establecidas a mayores distancias entre surcos tendieron a expresar un mayor crecimiento individual de la hoja.

La respuesta puede estar relacionada con una mayor disponibilidad de recursos por planta bajo espaciamientos más amplios. Larcher (2003) señala que el crecimiento vegetal está condicionado por la disponibilidad de agua, nutrientes, radiación y espacio, factores que determinan la capacidad de las plantas para expresar su potencial de crecimiento. De manera complementaria, Gardner et al. (1985) indican que el incremento de la competencia intraespecífica asociado con mayores densidades puede limitar el crecimiento individual de las plantas debido a una mayor demanda de recursos.

A los 60 DDS, aunque las medias continuaron siendo numéricamente superiores en los tratamientos de 100 cm (88 cm) y 75 cm (85 cm) respecto a 50 cm (81 cm), las diferencias no fueron estadísticamente significativas ($p = 0.0682$). Por tanto, en esta etapa no es correcto afirmar que las distancias de 75 y 100 cm produjeron un mayor largo de hoja desde el punto de vista estadístico, aunque sí se observa una tendencia numérica favorable.

La ausencia de significancia en esta etapa podría estar relacionada con una fase de estabilización temporal de la respuesta morfológica. La plasticidad fenotípica permite que las



plantas modifiquen su crecimiento y distribución de recursos de acuerdo con las condiciones ambientales y la competencia existente. Salisbury y Ross (1992) señalan que las plantas presentan capacidad de ajuste en sus patrones de crecimiento y distribución de biomasa como respuesta a las condiciones del ambiente.

A los 75 DDS se registró nuevamente un efecto significativo de la distancia entre surcos ($p = 0.0001$). El mayor largo de hoja correspondió al tratamiento de 100 cm, con 91 cm, seguido de 75 cm con 89 cm, mientras que el tratamiento de 50 cm presentó 81 cm. Las letras de comparación indican que los tratamientos de 75 y 100 cm fueron estadísticamente superiores al tratamiento de 50 cm.

Este comportamiento evidencia que, durante una etapa avanzada del desarrollo, la menor competencia asociada con los espaciamientos más amplios favoreció la expresión del crecimiento foliar individual. Loomis y Connor (1992) señalan que la reducción de la densidad de plantas puede favorecer el crecimiento individual de los órganos vegetativos debido a una menor competencia por los recursos disponibles.

A los 90 DDS se mantuvo esta tendencia, registrándose diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.0012$). El mayor largo de hoja se obtuvo con 100 cm (93 cm), seguido por 75 cm (88 cm), mientras que 50 cm presentó el menor valor (82 cm). De acuerdo con la comparación estadística, los tratamientos de 75 y 100 cm fueron superiores al tratamiento de 50 cm.

La permanencia de esta diferencia al final del periodo de evaluación indica que el efecto de la distribución espacial sobre el crecimiento foliar se manifestó con mayor claridad durante las etapas avanzadas del cultivo. Desde una perspectiva fisiológica, el tamaño final de los órganos vegetativos es consecuencia de las condiciones de crecimiento experimentadas durante las etapas anteriores. Taiz et al. (2015) señalan que el desarrollo de los órganos vegetativos está determinado por la interacción entre factores ambientales, disponibilidad de recursos y procesos fisiológicos de crecimiento.

En conjunto, los resultados indican que la distancia entre surcos tuvo un efecto variable sobre el largo de hoja durante el ciclo del sorgo negro. Los efectos fueron significativos a los 30, 45, 75 y 90 DDS, mientras que a los 60 DDS no se detectaron diferencias estadísticas. A partir de los 45 DDS se observa una tendencia consistente hacia mayores valores de largo de hoja en los espaciamientos de 75 y 100 cm, particularmente durante las etapas avanzadas del cultivo. Esto sugiere que una menor competencia intraespecífica permitió una mayor expresión del crecimiento foliar individual.

Tabla 5. Análisis estadísticos para la variable diámetro de tallo en el ensayo de sorgo negro evaluado con tres distancias de siembra

Tratamiento	Diámetro de tallo (mm)				
	30 DDS	(45 DDS	60 DDS	75 DDS	90 DDS
Distancia entre surco (50 cm)	6.86 a	6.64 a	7.97 a	8.05 a	8.25 b
Distancia entre surco (75 cm)	5.39 b	7.08 a	8.42 a	8.5 a	9.7 a
Distancia entre surco (100 cm)	4.58 b	7.14 a	9.92 a	9.97 a	10.07 a
P-valor (<0.05)	0.0001	0.4981	0.281	0.3040	0.0393

El diámetro de tallo presentó una respuesta variable a la distancia entre surcos durante el ciclo del cultivo. Se detectaron diferencias estadísticas a los 30 DDS ($p = 0.0001$) y 90 DDS ($p = 0.0393$), mientras que a los 45, 60 y 75 DDS no se encontraron diferencias significativas, con valores de p de 0.4981, 0.281 y 0.3040, respectivamente. Estos resultados indican que el efecto de la distancia entre surcos sobre el diámetro del tallo no fue constante durante el desarrollo del cultivo.

A los 30 DDS, el tratamiento de 50 cm presentó el mayor diámetro de tallo, con 6.86 mm, mientras que los tratamientos de 75 y 100 cm registraron valores de 5.39 y 4.58 mm, respectivamente. Las diferencias estadísticas muestran que el tratamiento de 50 cm fue superior a los espaciamientos de 75 y 100 cm.

La mayor respuesta observada en el espaciamiento de 50 cm durante esta etapa inicial puede estar relacionada con modificaciones en la arquitectura de la planta inducidas por la proximidad entre individuos. Xu et al. (2023) señalan que el espaciamiento puede modificar el desarrollo del tallo mediante mecanismos relacionados con la captación de luz y la regulación del crecimiento. En condiciones de mayor proximidad entre plantas, las modificaciones en la calidad de la luz pueden generar respuestas morfológicas que alteran la arquitectura del cultivo.

Sin embargo, esta diferencia inicial no se mantuvo durante las etapas intermedias. A los 45 DDS, los valores fueron de 6.64, 7.08 y 7.14 mm para 50, 75 y 100 cm, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre tratamientos ($p = 0.4981$). De igual manera, a los 60 DDS los valores fueron de 7.97, 8.42 y 9.92 mm ($p = 0.281$), mientras que a los 75 DDS fueron de 8.05, 8.50 y 9.97 mm ($p = 0.3040$), respectivamente.

La ausencia de diferencias estadísticas entre los tratamientos durante este periodo indica que las plantas presentaron una respuesta relativamente uniforme en el crecimiento del tallo, independientemente de la distancia entre surcos. Este comportamiento puede asociarse con la capacidad de las plantas para ajustar su crecimiento ante diferentes condiciones de competencia. Ladu et al. (2024) señalan que la geometría de siembra no necesariamente genera diferencias permanentes en las variables morfológicas, debido a la capacidad adaptativa y a la plasticidad fenotípica de los cultivos.

A los 90 DDS se volvieron a detectar diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.0393$). El mayor diámetro correspondió al tratamiento de 100 cm, con 10.07 mm, seguido por 75 cm con 9.70 mm, mientras que 50 cm presentó el menor valor, con 8.25 mm. Estos resultados muestran una inversión del comportamiento observado a los 30 DDS, ya que al final del ciclo los espaciamientos más amplios favorecieron el desarrollo radial del tallo.

La respuesta final puede explicarse por una menor competencia intraespecífica en los tratamientos con mayor distancia entre surcos. Brown y Ellison (2025) reportaron que las altas densidades de siembra pueden generar una mayor competencia entre plantas, favoreciendo estructuras de menor diámetro, mientras que densidades inferiores pueden permitir un mayor



desarrollo de las estructuras vegetativas. De igual manera, Wang et al. (2025) señalan que el incremento de la densidad intensifica la competencia por agua y nutrientes, lo que puede limitar el desarrollo radicular y el crecimiento individual de las plantas.

Desde una perspectiva fisiológica, el diámetro del tallo representa una característica importante para el soporte estructural y el transporte interno de agua y fotoasimilados. Sun et al. (2019) establecen que el diámetro del tallo está relacionado con la capacidad de soporte de la planta y con el transporte de recursos dentro de sus tejidos. En este sentido, los mayores diámetros registrados al final del ciclo en los tratamientos de 75 y 100 cm reflejan una mayor expresión del crecimiento individual bajo condiciones de menor competencia.

Asimismo, la distribución espacial de las plantas puede modificar la interceptación de radiación y el aprovechamiento de los recursos disponibles. Haarhoff y Swanepoel (2022) demostraron que diferentes configuraciones de espaciamiento modifican la captación de radiación fotosintéticamente activa y la eficiencia en el uso de los recursos, repercutiendo sobre el crecimiento del cultivo. Por consiguiente, la mayor separación entre surcos pudo favorecer una distribución más amplia de las plantas y una menor competencia durante las etapas avanzadas.

En conjunto, los resultados indican que la respuesta del diámetro de tallo estuvo condicionada por la etapa de desarrollo. El espaciamiento de 50 cm presentó una ventaja estadística durante la fase inicial, pero esta respuesta desapareció durante las etapas intermedias y posteriormente se invirtió al final del ciclo, cuando los tratamientos de 75 y 100 cm presentaron los mayores diámetros. Por tanto, el efecto del espaciamiento sobre esta variable debe interpretarse considerando la dinámica temporal del crecimiento y no únicamente los valores registrados en una etapa específica.

Tabla 6. Análisis estadísticos para la variable relación tallo hoja, producción de forraje verde y materia seca en el ensayo de sorgo negro evaluado con tres distancias de siembra

Tratamiento	Relación tallo/hoja	Kg /ha Forraje verde	Kg/ha Materia seca
Distancia entre surco (50 cm)	2.35 ab	30,294 b	9,088 b
Distancia entre surco (75 cm)	2.65 a	48,234 a	14,470 a
Distancia entre surco (100 cm)	1.42 b	35,700 ab	10,710 ab
P-valor (<0.05)	0.0558	0.0342	0.0342

Relación tallo/hoja

La relación hoja presentó valores de 2.35, 2.65 y 1.42 para las distancias de 50, 75 y 100 cm, respectivamente. El análisis estadístico mostró un valor de $p = 0.0558$, por lo que no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos al nivel de 5 %. Sin embargo, se observó una tendencia numérica hacia una mayor relación hoja en el espaciamiento de 75 cm.

La relación hoja expresa la cantidad de hoja presente en relación con la cantidad de tallo. Por tanto, valores mayores indican una mayor proporción relativa de hojas respecto al tallo. Bajo esta interpretación, el tratamiento de 75 cm presentó el mayor valor (2.65), seguido de 50 cm (2.35), mientras que 100 cm registró el menor valor (1.42).

La relación tallo presentó valores de 2.35, 2.65 y 1.42 en los espaciamientos de 50, 75 y 100 cm, respectivamente. De acuerdo con la forma de interpretación utilizada en el estudio, el valor de 1.42 registrado en el espaciamiento de 100 cm, representa una proporción relativa de 42% de tallo y 58% de hoja. En términos descriptivos, este resultado indica una menor participación relativa del componente tallo en comparación con los tratamientos que presentaron valores superiores de relación tallo. No obstante, debido a que el análisis estadístico presentó un $p = 0.0558$, las diferencias observadas entre las distancias de siembra no fueron estadísticamente significativas al nivel de 5 %.

Desde el punto de vista forrajero, una mayor proporción de hojas puede representar una característica favorable, debido a que las hojas generalmente presentan menor concentración de componentes fibrosos estructurales que los tallos y pueden contribuir a una mayor calidad potencial del forraje. Navarro-Ortiz y Roa-Vega (2018) señalan que la digestibilidad de la materia seca está relacionada con el contenido de fibra y lignina de los tejidos vegetales.

Asimismo, Herrera-Angulo et al. (2007) destacan la importancia de la digestibilidad de la materia seca sobre el consumo voluntario y la respuesta productiva de los animales.

En este sentido, el tratamiento de 75 cm presentó simultáneamente la mayor relación hoja (2.65) y la mayor producción de forraje verde y materia seca, lo que representa una respuesta favorable tanto desde el punto de vista de la composición estructural como de la producción de biomasa. No obstante, la ausencia de diferencias estadísticas en la relación hoja indica que esta ventaja debe interpretarse como una tendencia numérica y no como un efecto estadísticamente demostrado de la distancia de siembra.

Xu et al. (2023) señalan que la distribución espacial puede modificar la arquitectura y el desarrollo estructural de las plantas, mientras que Ladu et al. (2024) destacan la capacidad de los cultivos para ajustar sus características morfológicas ante diferentes condiciones de establecimiento. En este estudio, la mayor relación hoja observada numéricamente en 75 cm podría estar relacionada con una distribución espacial que permitió un adecuado desarrollo de los componentes foliares y estructurales de la planta.

En conjunto, los resultados indican que el espaciamiento de 75 cm presentó la respuesta más favorable en términos de relación hoja y producción de biomasa, aunque el efecto sobre la relación hoja no alcanzó significancia estadística ($p = 0.0558$). Por ello, la principal ventaja estadísticamente demostrada de este espaciamiento corresponde a la mayor producción de forraje verde y materia seca.

Producción de forraje verde

La distancia entre surcos tuvo un efecto significativo sobre la producción de forraje verde, con un valor de $p = 0.0342$. El tratamiento de 75 cm presentó la mayor producción, con 48,234 kg/ha, seguido por 100 cm con 35,700 kg/ha, mientras que 50 cm registró la menor producción, con 30,294 kg/ha. De acuerdo con la comparación estadística, el tratamiento de 75 cm fue superior al de 50 cm, mientras que 100 cm presentó un comportamiento intermedio.

El mayor rendimiento obtenido con 75 cm sugiere que esta distancia proporcionó una condición favorable para alcanzar un equilibrio entre el número de plantas por unidad de superficie y el crecimiento individual de las plantas. En otras palabras, el espaciamiento de 75 cm aparentemente permitió suficiente intercepción de radiación y disponibilidad de recursos sin generar el nivel de competencia observado en el tratamiento de 50 cm.

Fuksa et al. (2023) sostienen que el espaciamiento entre hileras modifica la distribución espacial de las plantas y su acceso a la radiación, afectando consecuentemente la acumulación de biomasa. De manera complementaria, Wang et al. (2025) indican que la densidad y distribución de las plantas pueden modificar variables estructurales y productivas del cultivo debido a cambios en la competencia por recursos.

La menor producción de forraje verde registrada en 50 cm puede asociarse con una mayor competencia intraespecífica. En una distribución más estrecha, las plantas comparten un espacio limitado y compiten por radiación, agua y nutrientes, lo que puede reducir el crecimiento individual y limitar la acumulación de biomasa.

Por otra parte, aunque el tratamiento de 100 cm permitió un mayor crecimiento individual en algunas variables morfológicas, su producción total por hectárea fue inferior a la obtenida con 75 cm. Esto puede explicarse porque una mayor distancia entre surcos implica una menor concentración de plantas por unidad de superficie, por lo que el incremento del crecimiento individual no necesariamente compensa la reducción en el número de plantas.



En consecuencia, los resultados muestran que el mayor crecimiento individual de determinadas estructuras vegetativas no necesariamente conduce al mayor rendimiento por unidad de superficie. El tratamiento de 75 cm presentó el mejor equilibrio entre crecimiento individual y producción total de biomasa.

Producción de materia seca

La producción de materia seca presentó un comportamiento similar al observado para el forraje verde, registrándose diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.0342$). El tratamiento de 75 cm alcanzó la mayor producción, con 14,470 kg/ha, seguido por 100 cm con 10,710 kg/ha, mientras que 50 cm obtuvo 9,088 kg/ha.

La coincidencia en el patrón de respuesta entre forraje verde y materia seca indica que el tratamiento de 75 cm no solamente produjo mayor cantidad de biomasa fresca, sino que también acumuló una mayor cantidad de materia seca por unidad de superficie. Ramírez Gutiérrez et al. (2024) señalan que la acumulación de materia seca constituye un componente importante del rendimiento y refleja la producción neta de biomasa de las plantas. Asimismo, Lagunes Rivera et al. (2019) destacan que el rendimiento de materia seca constituye un indicador fundamental para valorar el potencial productivo de especies forrajeras.

La mayor producción de materia seca en 75 cm confirma que este espaciamiento presentó la respuesta productiva más favorable entre los tratamientos evaluados. La diferencia respecto a 50 cm es particularmente importante, debido a que demuestra que la mayor producción de forraje verde obtenida en 75 cm estuvo acompañada por una mayor acumulación real de biomasa y no únicamente por una mayor cantidad de agua en los tejidos.

No obstante, la producción de materia seca por sí sola no permite determinar la calidad nutricional del forraje. La calidad depende también de la composición química de la biomasa y de la proporción de tejidos foliares y estructurales. Navarro-Ortiz y Roa-Vega (2018) demostraron que la digestibilidad de la materia seca está condicionada por la



concentración de fibra y lignina. De igual forma, Herrera-Angulo et al. (2007) evidenciaron que la digestibilidad de la materia seca está relacionada con el consumo voluntario y la ganancia de peso de los animales, lo que resalta su importancia desde el punto de vista productivo.

En este contexto, los resultados del presente estudio permiten establecer una diferencia importante entre cantidad de forraje producido y calidad potencial del forraje. El tratamiento de 75 cm presentó el mayor rendimiento de forraje verde y materia seca, además del mayor valor numérico de relación hoja. Sin embargo, debido a que la relación hoja no alcanzó significancia estadística ($p = 0.0558$), no puede afirmarse estadísticamente que el espaciamiento de 75 cm haya mejorado la calidad del forraje mediante esta variable.

La respuesta productiva observada puede estar relacionada con una distribución favorable de la radiación dentro del dosel. Haarhoff y Swanepoel (2022) señalan que la configuración espacial de las plantas puede modificar la intercepción de radiación fotosintéticamente activa y la eficiencia en el uso de los recursos. Asimismo, Fuksa et al. (2023) y Wang et al. (2025) destacan la importancia de establecer una densidad adecuada para lograr un equilibrio entre el crecimiento individual de las plantas y la producción de biomasa por unidad de superficie.

En conjunto, los resultados de la Tabla 6 indican que la distancia de 75 cm presentó el comportamiento productivo más favorable, al alcanzar la mayor producción de forraje verde y materia seca. La distancia de 50 cm presentó los menores rendimientos, posiblemente como consecuencia de una mayor competencia intraespecífica, mientras que 100 cm mostró un comportamiento intermedio. Para la relación hoja, aunque 75 cm presentó el mayor valor numérico, las diferencias no fueron significativas. Por tanto, la principal ventaja demostrada estadísticamente para 75 cm corresponde a la producción de biomasa, más que a una modificación comprobada de la calidad estructural del forraje.

VII. CONCLUSIONES

La distancia entre surcos modificó de manera variable el crecimiento y desarrollo del sorgo negro (*Sorghum alnum*) durante el ciclo del cultivo, con respuestas dependientes de la etapa de evaluación. Los efectos fueron más evidentes en variables como largo de hoja y diámetro de tallo, mientras que algunas características morfológicas presentaron respuestas no constantes entre fechas de evaluación.

El espaciamiento de 0.75 m entre surcos presentó el mejor comportamiento productivo, alcanzando la mayor producción de forraje verde (48,234 kg/ha) y materia seca (14,470 kg/ha), con diferencias significativas respecto al espaciamiento de 0.50 m. Esto indica que esta distancia permitió un balance favorable entre competencia entre plantas y aprovechamiento de los recursos disponibles.

Los espaciamientos de 0.75 y 1.00 m favorecieron el desarrollo individual de las plantas durante las etapas avanzadas, evidenciado principalmente en el mayor largo de hoja y diámetro de tallo. En contraste, el espaciamiento de 0.50 m presentó mayores valores de diámetro de tallo durante la etapa inicial, respuesta que no se mantuvo durante el resto del ciclo.

La relación tallo/hoja no presentó diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.0558$); sin embargo, el espaciamiento de 0.75 m presentó el mayor valor numérico (2.65), seguido por 1.00 m presentó (1.42).

En términos generales, el espaciamiento de 0.75 m entre surcos constituye la alternativa más favorable bajo las condiciones agroecológicas evaluadas en Muelle de los Bueyes RACCS, debido a que presentó el mayor rendimiento de forraje verde y materia seca y, además, mostró numéricamente la mayor relación hoja. Por tanto, esta distancia representa la opción más conveniente cuando el objetivo principal es maximizar la producción de biomasa forrajera.



VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar una distancia de siembra de 0.75 m entre surcos en el cultivo de sorgo negro (*Sorghum alnum*) cuando el objetivo principal sea maximizar la producción de forraje verde y materia seca bajo condiciones similares a las del municipio de Muelle de los Bueyes, RACCS.

En sistemas donde se priorice la calidad nutricional del forraje, especialmente para alimentación de ganado con mayores requerimientos, se sugiere implementar un espaciamiento de 1 m entre surcos, debido a su mejor relación tallo-hoja.

Realizar la cosecha del sorgo negro entre los 60 y 90 dds, etapa en la que se logra un buen equilibrio entre producción de biomasa y calidad nutricional.

IX. LITERATURA CITADA

- Aguilar-Carpio, C., Salvador Escalante Estrada, J. A., & Aguilar Mariscal, I. (2015). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 33(1), 51–60.
- Amador, A., & Boschini, C. (2000). Calidad nutricional de la planta de sorgo negro forrajero (*Sorghum alnum*) para alimentación animal. *Agronomía Mesoamericana*, 11(2), 79–84.
- Araya, E., Jiménez, C., Soto, H., & Quan, A. (1997). Evaluación del potencial productivo del sorgo negro forrajero (*Sorghum alnum*). *Agronomía Mesoamericana*, 8(2), 90–95.
- Boschini, C., & Elizondo, J. (2005). Determinación de la calidad y la producción de sorgo negro forrajero (*Sorghum alnum*) en edades para ensilar. *Agronomía Mesoamericana*, 16(1), 29–36.
- Brown, A., & Ellison, S. (2025). Impacto de la densidad de siembra en el diámetro del tallo, la altura de planta y la ramificación en *Cannabis sativa* L. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. <https://doi.org/10.1002/agg2.70126>
- Campos, G., & Carranza, L. (2015). Producción y comercialización de sorgo en Nicaragua [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua].
- Carrasco, N., Zamora, M., Melin, A., Bolleta, A., Marinissen, J., Gijón, R., Forján, H., Lagrange, S., Campo, P., Manso, L., & Cicchino, M. (2011). Manual de sorgo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). (1993). Descriptores varietales: arroz, frijol, maíz, sorgo. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/descriptores



- Ciampitti, I. A., Carcedo, A. P., & Lucero, M. F. (2024). Potencial de rendimiento del sorgo granífero: Comprensión de los principales componentes del rendimiento. Kansas State University.
- Franklin, K. A. (2008). Shade avoidance. *New Phytologist*, 179(4), 930–944.
- Fuksa, P., Hrevušová, Z., Szabó, O., & Hakl, J. (2023). Effect of row spacing and plant density on silage maize growth, dry matter distribution and yield. *Agronomy*, 13(4), 1117. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041117>
- Gao, J., Zhuang, S., & Zhang, W. (2024). Advances in plant auxin biology: Biosynthesis, metabolism, signaling, interaction with other hormones and roles under abiotic stress. *Plants*, 13(17).
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., & Mitchell, R. L. (1985). *Physiology of crop plants*. Iowa State University Press.
- Haarhoff, S. J., & Swanepoel, P. A. (2022). La población de plantas y el espaciamiento entre surcos afectan el crecimiento y rendimiento del maíz de temporal en ambientes semiáridos. *Frontiers in Plant Science*, 13, 761121. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.761121>
- Hacker, J. (1992). *Sorghum alnum* Parodi. En L. 't Mannetje & R. M. Jones (Eds.), *Plant resources of South-East Asia* (Vol. 4, pp. 203–205).
- Herrera Angulo, A. M., Depablos, L. A., López, R., Benezra, M., & Ríos, L. (2007). Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje hidropónico de maíz. *Revista Científica*, 17(4).

- Herrera-Campos, L., Vargas-Rodríguez, C., Boschini-Figueroa, C., y Chacón-Villalobos, A. (2009). variación bromatológica de la leche de cabras Lamancha alimentadas con diferentes forrajes. *Agronomía Mesoamericana*, 20(2), 381-390. 2009
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2017). El sorgo negro surge como alternativa para ganaderos de zonas serranas. <http://www.elsemiarido.com>
- Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal (INIFOM). (2015). Ficha municipal de Muelle de los Bueyes. <https://es.scribd.com/document/1003791170/Muelle-de-Los-Bueyes>
- Ladu, A., Öztürk, A., Türkoğlu, A., et al. (2024). La geometría de siembra puede utilizarse para optimizar la densidad de plantas y el rendimiento sin modificar el potencial productivo por planta en maíz dulce. *Plants*, 13(17), 2465. <https://doi.org/10.3390/plants13172465>
- Lagunes Rivera, S. A., et al. (2019). Rendimiento de materia seca y valor nutritivo de leguminosas forrajeras. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(4).
- Larcher, W. (2003). *Physiological plant ecology*. Springer.
- Leiva, M., Tijerino, E., & Duarte, H. (2019). Informe técnico FAREM-Chontales. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Leguizamón, E. (2006). *Sorghum halepense* L. Pers. (Sorgo de Alepo). Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de Plagas.
- Loomis, R. S., & Connor, D. J. (1992). *Crop ecology: Productivity and management in agricultural systems*. Cambridge University Press.
- Ma, L., & Li, G. (2019). Auxin-dependent cell elongation during shade avoidance response. *Frontiers in Plant Science*, 10.

- Mesa, J. (2004). Comparación de la morfología y la producción del sorgo negro forrajero (*Sorghum almum*) con dos cultivares de sorgo blanco [Tesis de grado, Zamorano].
- Navarro-Ortiz, C. A., & Roa-Vega, M. L. (2018). Comparación de la digestibilidad de especies forrajeras. *Orinoquia*, 22(1). <https://doi.org/10.22579/20112629.476>
- Owen, F., & Moline, W. (1970). *Sorghum for forage: Sorghum production and utilization*. Wall & Ross.
- Palma, D., & Raudez, M. (2018). Caracterización de dos cultivares de *Pennisetum* sp. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria].
- Pecina, V., Corredor, C., Martínez, M., Montes, N., & Gallegos, T. (2017). Tecnología de producción de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) en Guanajuato.
- Peralta, E., & Ruiz, H. (2020). Potencial forrajero y nutritivo de pastos híbridos *Brachiaria* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria].
- Pérez Hernández, A., Quero Carrillo, A. R., Garduño Velázquez, S., Escalante Estrada, J. A., Rodríguez González, M. T., & Miranda Jiménez, L. (2019). Análisis de crecimiento en sorgo forrajero en dos períodos de siembra. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1083–1095.
- Ramírez Gutiérrez, D. E., et al. (2024). Acumulación de materia seca, rendimiento y calidad nutricional del forraje de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 15(2).
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (1992). *Plant physiology*. Wadsworth Publishing.
- Sun, J., Wang, M., Lyu, M., et al. (2019). Stem diameter (not length) limits twig leaf biomass. *Frontiers in Plant Science*, 10, 185. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00185>



Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development*. Sinauer Associates.

Universidad de Costa Rica. (2014). Comportamiento agronómico de híbridos y progenitores de sorgo para grano en las Huastecas. *Agronomía Mesoamericana*, 26(1), 87–97.

Villalobos, F. J., Sadras, V. O., & Fereres, E. (2024). *Densidad de población vegetal y competencia*. Springer Nature.

Wang, J., Chen, Z., Liang, Z., et al. (2025). Efectos interactivos de la densidad de siembra y el espaciamiento entre surcos sobre la distribución radicular y el rendimiento en maíz. *Agronomy*, 15(11), 2552. <https://doi.org/10.3390/agronomy15112552>

Xu, N., Meng, L., Tang, F., et al. (2023). Efectos del espaciamiento de plantas sobre el desarrollo del tallo y crecimiento secundario en *Nicotiana tabacum*. *Agronomy*, 13(8), 2142. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082142>

Zhang, F., Zhao, Z., Yang, Y., Wang, J., Yang, L., Zhang, K., Chen, B., Duan, Y., Wu, H., Feng, B., Zhu, K., Wang, Y., & Lu, F. (2026). Effects of row spacing and planting density on canopy structure, photosynthesis, and yield of sorghum. *Agronomy*, 16(8), 798.



X. ANEXOS

