



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y
SERVICIO EN ZOOTECNIA**

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**MANEJO AGRONÓMICO DE GIRASOL COMO FUENTE DE
FORRAJE**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ REYES

Bajo la supervisión de: **Pedro Arturo Martínez Hernández, Ph.D**



APROBADA



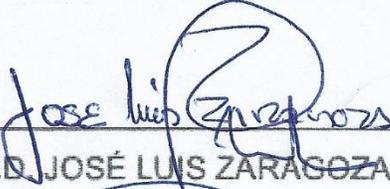
Chapingo, Estado de México, junio 2023.

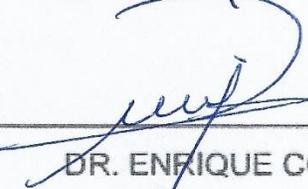
MANEJO AGRONÓMICO DE GIRASOL COMO FUENTE DE FORRAJE

Tesis realizada por **FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ REYES** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR: 
Ph.D. PEDRO ARTURO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

ASESOR: 
Ph.D. JOSÉ LUIS ZARAGOZA RAMÍREZ

ASESOR: 
DR. ENRIQUE CORTÉS DÍAZ

LECTOR EXTERNO: 
DR. CLAUDIO VITE CRISTÓBAL

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
AGRADECIMIENTOS	vi
DATOS BIOGRÁFICOS.....	vii
RESUMEN GENERAL.....	viii
GENERAL ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.1.1 Objetivos particulares.....	2
1.2 Estructura de la tesis	3
1.3 Literatura citada	3
2. IMPACTOS DE LA VARIACIÓN ESTACIONAL DE FORRAJE EN OFERTA A PARTIR DE PRADERAS PERMANENTES COSECHADAS POR APACENTAMIENTO.....	6
3. REVISIÓN: GESTIÓN AGRONÓMICA DE TRES FORRAJERAS ANUALES	37
4. RENDIMIENTO DE FORRAJE DE MAÍZ Y GIRASOL CULTIVADOS EN SECANO.....	50
5. CONCLUSIONES GENERALES	61

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Rendimiento de forraje en base húmeda (kg ha ⁻¹) total y por componente morfológico de dos entradas de maíz, girasol y de la asociación girasol-maíz Costero a 107 días después de la siembra.	53
Cuadro 2. Rendimiento de forraje en base seca (kg MS ha ⁻¹) total y de sus componentes morfológicos de dos entradas de maíz, girasol y de la asociación girasol-maíz Costero a 107 días después de la siembra.	54
Cuadro 3. Índice de cosecha (IC) y razón hoja:tallo en plantas de maíz y girasol a 107 días después de la siembra.	54
Cuadro 4. Altura (cm) de las plantas de girasol y dos variedades de maíz a diferentes días después de la siembra.	54

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Número de hojas en plantas de dos entradas de maíz, girasol y plantas de la asociación girasol-maíz Costero, cultivadas en Texcoco, México.....	55
Figura 2. Radiación total interceptada por las plantas de dos entradas de maíz, girasol y las plantas de la asociación girasol-maíz Costero, medida con el método de metro de madera.....	55
Figura 3. Radiación total interceptada por las plantas de dos entradas de maíz, girasol y las plantas de la asociación girasol-maíz Costero, medida con el equipo AF21-00	56

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por permitirme desarrollar mi perfil profesional, por ofrecer un grupo de investigadores actualizados y de renombre, que forman el Posgrado en Producción Animal, para poder actualizarnos sobre los temas más trascendentales en el sector agropecuario.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por brindarme los recursos económicos para realizar mis estudios de Doctorado en Ciencias en Innovación Ganadera.

Al Dr. Pedro Arturo Martínez Hernández, por su oportuna asesoría y trabajo dedicado en esta investigación, también por facilitarnos un área de trabajo en el campo agrícola San Juan en donde se desarrolló la presente investigación.

Al Dr. José Luis Zaragoza Ramírez, por el tiempo y esfuerzo dedicado para que fuera posible la realización del presente trabajo, por ese apoyo moral siempre positivo y por facilitarnos un área de trabajo en el ejido de Boyeros, en donde se desarrolló la parte experimental de la presente investigación.

Al Dr. Enrique Cortés Díaz, por su oportuna asesoría, disponibilidad para apoyar en el diseño de esta investigación y apoyo para la mejoría de este trabajo.

A mi Familia: a mis padres, mi hermana y hermano que siempre me externaron su apoyo, a mi esposa y a mi hijo por ser un pilar de apoyo en todo momento. En especial a mi esposa quien fue actor clave con ese gran carisma y consejos oportunos que fomentaron esfuerzo y dedicación.

Gracias...

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos generales:

Nombre: Francisco Javier González Reyes
Fecha de Nacimiento: 03 de diciembre de 1990
Lugar de Nacimiento: H. Ciudad de Tlaxiaco, Oaxaca
Cartilla militar: D-2191901
CURP: GORF901203HOCNYR05
Profesión: Maestro en Ciencias en Innovación Ganadera
Cédula Profesional: 08764289

Desarrollo académico

Doctorado en Ciencias (2018 – 2022)	DEIS en Zootecnia Posgrado en Producción Animal Universidad Autónoma Chapingo
Maestría en Ciencias (2014 – 2015)	DEIS en Zootecnia Posgrado en Producción Animal Universidad Autónoma Chapingo
Licenciatura (2009 – 2013)	DEIS en Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

MANEJO AGRONÓMICO DE GIRASOL COMO FUENTE DE FORRAJE¹

Los sistemas de producción de rumiantes en apacentamiento presentan estacionalidad que implica ciclos anuales de déficit y exceso de forraje en cantidad y calidad. La variación climatológica origina esta estacionalidad que se manifiesta en el forraje y en los animales, como son acumulación escasa de forraje y reducción en los parámetros productivos y reproductivos de los animales. El objetivo de esta Tesis fue analizar una opción en la producción de forraje que pueda integrarse a las estrategias de alimentación de rumiantes en apacentamiento, a partir de estudios científicos publicados y realizados en diferentes especies forrajeras. Para conocer las estrategias empleadas en los sistemas de producción de rumiantes en apacentamiento se elaboró un primer artículo que puntualizó los efectos negativos por la variación estacional en las forrajeras y en los animales que de ellas se alimentan, resaltando algunos protocolos para mitigar dichos efectos, entre ellos integrar cadenas forrajeras con la inclusión de especies forrajeras de ciclo anual. El segundo artículo se centró en la gestión agronómica de maíz, sorgo y girasol como fuentes de forraje, para afrontar los impactos negativos de la variabilidad estacional en la cantidad y calidad del forraje de especies perennes. El tercer artículo evaluó los principales parámetros productivos de maíz y girasol cultivados para forraje, donde se encontró que el girasol presenta rendimientos de forraje base seca superiores por componente morfológico o total, respecto al maíz. Por tanto, se concluye que el girasol es una opción forrajera con potencial productivo para integrarse a la alimentación de rumiantes, y puede tener un rol importante como forrajera anual que apoye en épocas de déficit de forrajes en los sistemas productivos de rumiantes en apacentamiento.

Palabras clave: Forrajeras perennes, estacionalidad, frecuencia de cosecha, maíz, sorgo, girasol, prácticas agrícolas.

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Francisco Javier González Reyes

Director: Pedro Arturo Martínez Hernández

GENERAL ABSTRACT

AGRONOMIC MANAGEMENT OF SUNFLOWER AS A FORAGE SOURCE¹

The grazing ruminant production systems present seasonality that implies annual cycles of forage deficit and excess in quantity and quality. The climatological variation originating from this seasonality is manifested in the forage and the animals, such as the scarce accumulation of forage and reduction in the productive and reproductive parameters of the animals. This Thesis aims to analyze an option in forage production that can be integrated into the feeding strategies of grazing ruminants based on published scientific studies on different forage species. To know the strategies used in the production systems of grazing ruminants, a first article was prepared that pointed out the negative effects due to seasonal variation in forage crops and in the animals that feed on them, highlighting some protocols to reduce the effects mentioned, among them they integrate fodder chains with the inclusion of forage species of annual cycle. The second article focused on the agronomic management of maize, sorghum, and sunflower as sources of forage to face the negative impacts of seasonal use on the quantity and quality of forage of perennial species. The third article evaluated the main productive parameters of maize and sunflower grown for forage, where we found that sunflower has higher dry base forage yields by morphological or total component compared to maize. Therefore, it is concluded that sunflower is a forage option with the productive potential to be integrated into ruminant feeding. It can play an important role as an annual forage supported in times of forage deficit in the productive systems of grazing ruminants.

Keywords: Perennial forages, seasonality, harvest frequency, maize, sorghum, sunflower, agricultural practices.

¹Doctoral Thesis in Livestock Innovation, Graduate Program in Animal Production, Universidad Autónoma Chapingo

Author: Francisco Javier González Reyes

Advisor: Pedro Arturo Martínez Hernández

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La integración de los forrajes en la alimentación de animales rumiantes favorece un menor costo de producción (Resendiz et al., 2013) y las especies forrajeras pueden ser una opción para el cuidado y mantenimiento de los suelos (Chávez-Espinoza, Cantú-Silva, González-Rodríguez, & Montañez-Valdez, 2022). La productividad de las forrajeras perennes y anuales puede afectarse negativamente por el cambio climático, pérdida en la salud del suelo y cambios en el uso del suelo (Acevedo, Sánchez, & Mendoza, 2021; Ras, Marra, & Tettamanti, 2020). Para afrontar esta situación, la investigación en forrajes ha tomado caminos como la mejora genética, gestiones agronómicas más eficientes e integración de cadenas forrajeras (Ferreira et al., 2019; Omokanye et al., 2021; Osuna-Ceja, Arias-Chávez, Núñez-Hernández, & González-Castañeda, 2015).

El girasol (*Helianthus annuus* L.) se ha estudiado como un cultivo forrajero para favorecer una mejor alimentación de rumiantes, en coordinación con otras especies forrajeras; sin embargo, se considera que existe falta de validación de esta especie como fuente de forraje en diferentes condiciones edáficas y climatológicas. Por lo que conviene reducir esta ausencia con investigaciones en diferentes ámbitos (Aragadvay-Yungán et al., 2015; Pereira-Crespo et al., 2014). El cultivo del girasol puede ofrecer mayor cantidad y calidad de forraje que otras entradas forrajeras, sobre todo en ambientes de escasa y errática precipitación y suelos de fertilidad baja, esto por su tolerancia a la sequía, competitividad en suelos pobres y ciclo corto (Alessi, Power, & Zimmerman, 1977; Amador & Boschini, 2000).

Algunos autores han encontrado que el forraje de girasol ha superado al de maíz en calidad, con 10 y 44 % de proteína cruda y fibra soluble en detergente neutro (FDN), respectivamente, contra 6.2 y 55 % registrados en el de maíz (Aragadvay-Yungán et al., 2015; Elizondo & Boschini, 2001; Pereira-Crespo et al., 2014). En forraje ensilado, el girasol mostró 10 y 53 % de proteína cruda y FDN, respectivamente, mientras que el de maíz registró 8.6 y 56 % para estos mismos componentes, respectivamente (Leite et al., 2017; Ruíz et al., 2009).

Mejía, Sánchez, Noguera y Ochoa (2012) encontraron perfiles metabólicos similares en cabras alimentadas con dietas a base de ensilado de girasol o de maíz. En otro estudio se registró que el impacto sobre la producción de leche por la inclusión de ensilado de girasol en la alimentación de las cabras dependió de la raza de la cabra (Noguera, Bedoya-Mejía, & Posadas, 2011). Vacas lecheras mantuvieron un mismo nivel de producción y calidad de leche en dietas basadas en ensilado de maíz o de girasol (Leite et al., 2017). Similarmente, Sainz-Ramírez, Velarde-Guillén, Estrada-Flores y Arriaga-Jordán (2021) encontraron que dietas con ensilado de maíz o de girasol no implicaron una diferencia en cantidad de leche; sin embargo, el ensilado de girasol promovió una leche con mayor concentración de grasa que el de maíz, y mayor cantidad de leche corregida a 3.5 % de grasa.

1.1 Objetivo general

Modelar las oportunidades de inclusión del girasol como fuente de forraje en los sistemas de producción de rumiantes en apacentamiento, a través de revisiones sistemáticas de estudios sobre forrajeras perennes y anuales e investigación experimental, para generar una tecnología que apoye en la producción de rumiantes y en el mejor uso de los recursos naturales.

1.1.1 Objetivos particulares

1. Analizar problemáticas de los sistemas de producción de rumiantes en apacentamiento, en los componentes forraje y rumiantes, así como las estrategias para afrontar dichas problemáticas.
2. Analizar la distribución de la oferta de forraje de especies perennes y sus consecuencias en la productividad de las empresas ganaderas en apacentamiento.
3. Compendiar las oportunidades para integrar forrajeras anuales con perennes, para mitigar consecuencias negativas por la distribución heterogénea a través del año de estas últimas.
4. Determinar componentes de la gestión agronómica para promover una mayor, sostenible y pertinente producción de forraje a partir de forrajeras anuales.

5. Determinar aspectos agronómicos promotores para hacer del girasol un cultivo forrajero alternativo.

1.2 Estructura de la tesis

La tesis se divide en cuatro capítulos, el primero fue una introducción que aborda una de las necesidades principales de los sistemas de producción de rumiantes y abre una línea de investigación dirigida hacia una especie de reciente interés para ser incluida a las especies forrajeras de uso frecuente.

El segundo capítulo es una revisión bibliográfica sobre impactos de la variación estacional de la oferta de forraje a partir de praderas permanentes cosechadas por apacentamiento; el texto consolida los múltiples efectos de la estacionalidad en la oferta de forraje de especies perennes y en los rumiantes que se alimentan de ella.

El tercer capítulo es una revisión bibliográfica sobre la gestión agronómica de tres forrajeras anuales; el texto analiza el impacto de componentes de la gestión agronómica en la productividad de las forrajeras anuales: maíz, sorgo y girasol.

El cuarto capítulo es un manuscrito cuyo objetivo fue conocer el potencial productivo del girasol forrajero, comparado con el maíz y en el cual se midieron variables productivas, para analizar la respuesta entre los dos cultivos cuando su gestión agronómica está enfocada a maximizar su rendimiento de forraje.

1.3 Literatura citada

Acevedo, I., Sánchez, A., & Mendoza, B. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor. II. Calidad del suelo. *Bioagro*, 33(2), 127-134. <https://doi.org/10.51372/bioagro332.6>

Alessi, J., Power, J. F., & Zimmerman, D. C. (1977). Sunflower yield and water use as influenced by planting date, population, and row spacing. *Agronomy Journal*, 69, 465-469. <https://doi.org/10.2134/agronj1977.00021962006900030033x>

Amador, A. L., & Boschini-Figueroa, C. (2000). Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía*

- Aragadvay-Yungán, R. G., Rayas, A. A., Heredia-Nava, A. D., Estrada-Flores, J. G., Martínez-Castañeda, F. E., & Arriaga-Jordán, C. M. (2015). Evaluación *in vitro* del ensilaje de girasol (*Helianthus annuus* L.) solo y combinado con ensilaje de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 6, 315-327. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265643100006>
- Chávez-Espinoza, M., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., & Montañez-Valdez, O. D. (2022). Sistemas de producción de pequeños rumiantes en México y su efecto en la sostenibilidad productiva. *Revista Medicina Veterinaria y Zootecnia Córdoba*, 27(1), e2246. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2246>
- Elizondo, J., & Boschini, C. (2001). Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 12, 181-187. <https://www.redalyc.org/pdf/437/43712208.pdf>
- Ferreira, D. S. W., Costa, K. A. D. P., Guarnieri, A., Severiano, E. D. C., Silva, J. T. D., Teixeira, D. A. A., Oliveira, S. S., & Dias, M. B. D. C. (2019). Production and quality of the silage of corn intercropped with Paiaguas palisadegrass in different forage systems and maturity stages. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48. <https://doi.org/10.1590/rbz4820180222>
- Leite, L. A., Reis, R. B., Pimentel, P. G., Saturnino, H. M., Coelho, S. G., & Moreira, G. R. (2017). Performance of lactating dairy cows fed sunflower of corn silages and concentrate based on citrus pulp or ground corn. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 56-64. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000100009>
- Mejía, O. B., Sánchez, F. A., Noguera, R. R., & Ochoa, S. P. (2012). Efecto de la suplementación de ensilajes sobre perfiles metabólicos en cabras lactantes. *Journal of Agriculture and Animal Sciences*, 1(1). <http://hdl.handle.net/10567/647>
- Noguera, R. R., Bedoya-Mejía, O., & Posada, S. L. (2011). Producción, composición de la leche y estatus metabólico de cabras lactantes suplementadas con ensilajes. *Livestock Research for Rural Development*, 23(11). <http://www.lrrd.org/lrrd23/11/nogu23233.htm>
- Omokanye, A., Hernandez, G., Lardner, H. A., Al-Maqtari, B., Gill, K. S., & Lee, A. (2021). Alternative forage feeds for beef cattle in Northwestern Alberta, Canada: forage yield and nutritive value of forage brassicas and forbs. *Journal of Applied Animal Research*, 49(1), 203-210. <https://doi.org/10.1080/09712119.2021.1933990>
- Osuna-Ceja, E. S., Arias-Chávez, L. E., Núñez-Hernández, G., & González-Castañeda, F. (2015). Producción de forrajes de temporal con estiércol bovino y captación de agua en siembra a triple hilera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1743-1756. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i8.492>

- Pereira-Crespo S., Flores-Calvete, G., González-Arráez, A., Fernández-Lorenzo, B., Valladares-Alonso, J., Díaz-Díaz, N., & Resch-Zafra, C. (2014). Rendimiento y valor nutricional del girasol (*Helianthus annuus*, L.) aprovechado para forraje tras la floración. 53a Reunión Científica de la SEEP. Realizada del 9 al 12 de junio de 2014. 357-364. <http://ciam.gal/uploads/publicacions/868archivo.pdf>
- Ras, C. H., Marra, R. M. A., & Tettamanti, M. F. A. (2020). Cambios en el uso del suelo entre agricultura y ganadería en un establecimiento típico en General Pinto, Pradera Pampeana, Argentina, analizado con programación lineal. *Agronomía & Ambiente*, 40(2). <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/114>
- Resendiz, C. V., Hernández, O., Guerrero, I., Gallegos, J., Martínez, P. A., & Sánchez, C. (2013). Engorda de corderos Pelibuey con diferente nivel de alfalfa en la dieta. *Archivos de Zootecnia*, 62(239), 457-467. <https://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v62n239/art14.pdf>
- Ruíz, B. O., Castillo, Y., Anchondo, A., Rodríguez, C., Beltran, R., La O, O., & Payán, J. (2009). Efectos de enzimas e inoculantes sobre la composición del ensilaje de maíz. *Archivos de Zootecnia*, 58, 163-172. <https://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v58n222/art1.pdf>
- Sainz-Ramírez, A., Velarde-Guillén, J., Estrada-Flores, J. G., & Arriaga-Jordán, C. M. (2021). Productive, economic, and environmental effects of sunflower (*Helianthus annuus*) silage for dairy cows in small-scale systems in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 53(2), 256.

2. Impactos de la variación estacional de forraje en oferta a partir de praderas permanentes cosechadas por apacentamiento

Forrajeras perennes

González-Reyes F. J.¹, Martínez- Hernández P.A.^{1*}, Zaragoza-Ramírez J. L.¹ y Cortés-Díaz E.¹

¹Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5, C.P. 56250, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: pmartinezh@chapingo.mx

Resumen

El apacentamiento de rumiantes es una oportunidad para usar recursos vegetales no aprovechados por otros giros de producción agropecuaria, ni para consumo directo por el humano, además de ser una opción para el mantenimiento de la biodiversidad; sin embargo, la estacionalidad de la oferta de forraje pone en riesgo la alimentación de los animales y la persistencia de las plantas. El objetivo de la revisión fue analizar el impacto de la estacionalidad en la oferta de forraje de especies perennes sobre la estabilidad productiva de empresas ganaderas, así como de estrategias usadas para afrontar la situación y asegurar oferta de forraje empatada con la demanda a lo largo del año. La revisión fue con base en artículos científicos publicados. La estacionalidad en la oferta de forraje de especies perennes es una de las principales debilidades que atentan contra la estabilidad productiva de empresas ganaderas por tener una demanda mayor a la oferta, afectar negativamente la persistencia de las especies forrajeras y permitir la invasión de especies de pobre o nulo valor nutritivo. En las especies forrajeras perennes la tasa de rebrote puede afectarse negativamente por cosechas frecuentes y severas, lo que origina la muerte de estas y baja o nula competencia en contra de la invasión por especies no apacentadas. El ganado enfrenta a través del año

periodos de sobre abundancia y otros de escasez de forraje, ambas situaciones afectan su comportamiento productivo, en el primer caso por forraje de bajo valor nutritivo por sobre maduración y en el segundo, por escasa oferta de forraje. Se concluye que, para el mejor aprovechamiento de la oferta de forraje de especies perennes, se debe complementar con forraje adicional en tiempo de escasez.

Palabras clave: forrajes perennes, tasa diaria de acumulación, intensidad de cosecha, frecuencia de cosecha, estacionalidad.

Abstract

Grazing ruminants are an opportunity as they feed on plant resources not used by other agriculture activities, neither for human consumption and allow for biodiversity; however, seasonal variation of forage-on offered, puts at risk animal feeding and pasture persistence. The objective of the review was to analyze the impact of forage on offer seasonal variation on animal and pasture performance, along with strategies to face negative impacts and match forage on offer with animal demand year-long. Review was based on published scientific papers. Seasonal variation of forage on offer is among the major weakness of grazing animal productions units, since animal demand could be higher than forage on offer, negative impact on pasture persistent and allowing weed invasion. The regrowth rate of perennial forages is reduced by improper harvest frequency and intensity, which in turns promotes plant death or poor competitive ability against weed invasion. Livestock face along the year times of excessive and shortage of forage on offer, both are detrimental to animal performance due to low quality and limited amount of forage in the first and second scenarios, respectively. It was concluded that the most effective pasture used requires to feed animals with supplemental forage at the time pasture shows a low accumulation rate.

Key words: perennial forage, growth rate, harvest intensity, harvest frequency, seasonal.

Introducción

La producción de rumiantes en pastoreo puede fomentar la biodiversidad y resiliencia de agroecosistemas, aprovechando terrenos de baja productividad agrícola no aptos para cultivos de consumo directo por el humano (Chávez-Espinoza et al., 2022). La alimentación de rumiantes en pastoreo con forrajeras perennes enfrenta cambios a lo largo del año en cantidad y calidad del forraje en oferta, debido a la estacionalidad en las tasas de acumulación de biomasa en respuesta a la variación en la temperatura ambiental, disponibilidad de agua, duración del fotoperiodo y composición de la radiación solar, entre otros factores climáticos (Álvarez-Vázquez et al., 2017; Flores et al., 2015; García-Ferrera et al., 2015; Otero & Castro, 2019; Quiroga, 2013; Rojas et al., 2016).

La variación en las tasas de acumulación de biomasa a lo largo del año puede ser de 30 a 100 % (Cruz-Hernández et al., 2017; Rojas et al., 2016; Vargas et al., 2018; Zaragoza et al., 2009) expone a los rumiantes en pastoreo a épocas con alta oferta de forraje por arriba de la capacidad de cosecha y otras con escasa oferta de forraje, insuficiente para cubrir la demanda de los animales (Cruz-Sánchez et al., 2018). La escasez de forraje puede llegar al extremo de ocasionar la muerte de los animales por inanición (Espinosa et al., 2020) y a una cosecha inapropiada del forraje que pone en riesgo la supervivencia de las especies perennes (Kloster y Zurbriggen, 2019).

La oferta de forraje varía a través del año a consecuencia de que la tasa de acumulación no es constante a lo largo del mismo; en periodos secos o de menor temperatura, la tasa de acumulación registra valores mínimos, lo que obliga a otorgar tiempos de

reposo (frecuencia de cosecha) más largos en comparación a los periodos con humedad y temperatura más favorables al crecimiento vegetal en donde la tasa de acumulación alcanza valores máximos y por tanto tiempos de reposo más cortos. La variación en las tasas de acumulación y como consecuencia en los tiempos de reposo, compromete directamente la oferta de forraje para los animales. Esta situación de variación obliga a la búsqueda de estrategias que a la vez que permiten cubrir la demanda de forraje por los animales asegura la supervivencia de las especies perennes al evitar un perfil inapropiado de cosecha, pero el máximo aprovechamiento por pastoreo cuando la oferta de forraje es máxima (Aguirre et al., 2016; Castro-Rincón et al., 2020; Cruz et al., 2017; Cruz-Sánchez et al., 2018; Lemus-Ramírez et al., 2020).

Para diseñar estrategias eficaces en ofrecer forraje en cantidad y calidad en todo el año, es necesario entender la naturaleza de la estacionalidad y como afecta la tasa de acumulación de forraje, dado que la frecuencia e intensidad de cosecha se realizan a razón de esta, por ello las estrategias deben contemplar la variación en la oferta de forraje y el tiempo en que se requiere.

El objetivo de la revisión fue analizar los impactos de la variación estacional en las tasas de acumulación de biomasa aérea de especies forrajeras perennes sobre el comportamiento productivo de animales y las praderas que apacentan, a través de información presentada en artículos científicos publicados para generar un banco de información apropiado para la toma de decisiones conducentes al mejor uso de las forrajeras perennes.

El pastoreo como medio de producción de rumiantes

La producción de rumiantes en pastoreo es un sistema ampliamente distribuido en áreas templadas muy frías a tropicales y de húmedas a semidesérticas (World Bank,

2021), por lo que se usan especies forrajeras adaptadas al clima, suelo, disponibilidad de humedad, entre otros factores ambientales (Escareño et al., 2011; Hernández-Guzmán et al., 2015; Pérez et al., 2011) y estas especies tienen en común, a lo largo del año, el presentar épocas de alta y de baja o nula acumulación de forraje. La variación a través del año, en la oferta de forraje ocasiona que el animal en pastoreo enfrente deficiencias y excesos de forraje en relación a su demanda de consumo.

La especie forrajera, las estrategias de siembra, prácticas culturales y cosechas aplicadas en un ambiente específico influyen sobre la magnitud relativa en la cantidad acumulada de forraje. Rivas-Jacobo et al. (2005) encontraron que alfalfa acumuló 60 % más forraje en el verano con respecto del invierno, 9810 y 6105 kg MS / ha, respectivamente, aun cuando en invierno se le proporcionó riego y la temperatura ambiental se mantuvo por arriba de los 0 °C. El raigrás concentró 70 % del forraje anual en los seis meses más cálidos, 4135 y 1772 kg MS / ha en la otra mitad del año, con un mínimo de 798 kg MS / ha obtenida en los tres meses de invierno, estación en que ocurren las temperaturas más bajas, el fotoperiodo más corto y mínima precipitación durante todo el año (Velasco et al., 2005).

Un acercamiento para lograr una menor estacionalidad en la producción de forraje en condiciones templadas ha sido el recurrir a praderas conformadas con dos o más especies, involucrando gramíneas y leguminosas. Sin embargo, en muchos de los casos la estacionalidad en la producción de forrajes se mantiene, por ejemplo, una pradera de trébol blanco-ovillo concentró 70 % de su producción de forraje en las estaciones de primavera-verano, donde se registró la temperatura más alta, fotoperiodo más largo y abundancia en precipitaciones (Ventura et al., 2020).

En una pradera de composición botánica más compleja: festuca alta-trébol blanco-trébol rojo, se obtuvo hasta 46 % del rendimiento anual en la mitad del año más fría y de fotoperiodo más corto (Álvarez-García et al., 2020). Si bien los autores incrementaron el forraje producido en la mitad más fría del año, no lograron una distribución homogénea de la producción de forraje a través de todo el año. Castro-Rivera et al. (2012) en una pradera conformada por ovillo-raigrás-trébol blanco solamente registraron que 39 % del rendimiento anual se obtuvo en la mitad del año más fría. En condiciones templadas, por tanto, la conformación de praderas con dos a tres especies no necesariamente reduce la estacionalidad en la producción de forraje.

Hernández et al. (2020) coincidieron con los estudios anteriores en registrar una alta estacionalidad en la producción de forraje en gramíneas tropicales. Guinea variedad Tanzania rindió 3.2 veces más forraje en el verano con respecto al invierno, estación en la que obtuvieron 1580 kg MS / ha. Los autores explicaron esta gran variabilidad en la distribución del rendimiento anual de forraje a las diferentes condiciones de temperatura ambiental, radiación solar, precipitación y fotoperiodo a través del año.

Un conjunto de gramíneas de los géneros *Urochloa* y *Penissetum* en un ambiente con mayor variación en la precipitación recibida mostraron en promedio rendir entre 10 y 13 % del total anual en los seis meses más secos del año. Esta fuerte variación en la distribución anual de forraje en oferta, la explicaron los autores con base en la cantidad de precipitación recibida (Garay-Martínez et al., 2018). Núñez et al. (2019) concluyeron que la distribución anual del rendimiento de guinea (*Megathyrsus maximus*) podría ubicarse en tres épocas: seca, de transición hacia las lluvias y la lluviosa; en las dos últimas el rendimiento fue 1.4 a 2.8 veces mayor con respecto del rendimiento en la seca. Muñoz -González et al. (2016) coincidieron en registrar, con

diferentes gramíneas tropicales, que la distribución anual del rendimiento se concentra hasta en 45 % en la época de lluvias y no más del 21 % en la seca.

Comportamiento productivo del ganado

La oferta de forraje repercute en el comportamiento productivo de los animales, Detmann et al. (2014) concluyeron a partir de diferentes experiencias que el comportamiento productivo de bovinos en pastoreo fue determinado por la oferta estacional de forraje, en la época con menor cantidad y calidad de forraje los animales en pastoreo mostraron el menor comportamiento productivo. Mantener una oferta de forraje constante en cantidad y calidad es un factor fundamental para mantener y mejorar la productividad de bovinos en pastoreo.

Vilaboa-Arroniz et al. (2009) concluyeron que para fomentar la producción de leche por ordeña por vaca ante la variabilidad en cuanto cantidad y calidad ofertada del forraje en pastoreo, el productor debía complementar la alimentación de sus vacas con algún tipo de concentrado, esta práctica podría implicar un incremento de hasta 70 % en la cantidad de leche ordeñada por vaca por día. Sin embargo, a nivel rancho poco se ha investigado en el impacto sobre producción de leche, la incorporación de forraje de especies anuales como el maíz conservado como ensilado.

Ovinos en pastoreo variaron 13 y 84 % el tiempo de pastoreo y de ingesta diarias, respectivamente, al variar la cantidad de forraje por unidad de superficie a través del año. Cuando se registró la mayor cantidad de forraje por unidad de superficie, el tiempo de pastoreo fue mínimo, pero la ingesta fue máxima; con la de menor cantidad de forraje por unidad de superficie se dio el máximo tiempo de pastoreo y la mínima ingesta. Los ovinos se desplazaron en una mayor superficie para cubrir su demanda de consumo, sin lograrlo, en la época de menor cantidad de forraje. Estas diferencias en

la oferta de forraje pueden determinar variaciones en el comportamiento productivo del animal, por lo que deben validarse opciones para evitar la caída en el comportamiento productivo (Candelaria-Martínez et al., 2017).

También en ovinos en pastoreo se registró la mínima ganancia de peso diaria, que fue 83 g / cabeza, en la estación de mínima cantidad de forraje por unidad de superficie y aumentó 19 y hasta 61 % en las épocas de mayor y máxima cantidad de forraje por unidad de superficie, respectivamente. Para mantener una ganancia diaria de peso estable a través del año se debe reducir el impacto en la variación de la cantidad de forraje ofrecida por unidad de superficie (Ma et al., 2014).

El método de pastoreo, sin y con rotación programada de los animales en el área de pastoreo influyó sobre la variación en la ganancia de peso en ovinos a través de las épocas seca y lluviosa del lugar. En la época seca el pastoreo con rotación programada promovió 125 g / cabeza / d mientras que el pastoreo sin rotación programada promovió una ganancia de 45 g / cabeza / d. La magnitud de la variabilidad estacional por diferente producción de forraje puede verse limitada con el uso de pastoreo con descansos planificados (Lalampa et al., 2016).

Los pesos al nacer y al destete, así como la ganancia diaria de peso en la lactancia de corderos fue 28, 25 y 24 % mayores en corderos cuyas madres pastorearon en la época de mayor producción de forraje, en comparación a los corderos provenientes de madres que pastorearon en la época de menor producción de forraje por unidad de superficie. Esta variación se explicó con base en una mejor alimentación de las borregas cuando fueron expuestas a una mayor cantidad de forraje por unidad de superficie (González-Garduño et al., 2010).

Amendola et al. (2018) registraron los menores pesos vivos y condición corporal de los borregos en pastoreo en la época del año que se dio la menor cantidad de forraje por unidad de superficie en la pradera. Concluyendo que la reducción en la acumulación de forraje por unidad de superficie fue empatada con una caída en el peso y condición corporal del rebaño.

Con carga de 2.2 vacas / ha, en la primavera, época con la máxima oferta de forraje por unidad de superficie se registró la máxima ingesta de forraje, 14.4 kg MS / vaca, que se redujo 37.5 % en el invierno, época con la mínima oferta de forraje por unidad de superficie, esta tendencia a menor ingesta diaria en la época con la mínima oferta de forraje por unidad de superficie se mantuvo en otras tres cargas animales evaluadas. Por tanto, la ingesta diaria no solo dependió de la cantidad total de forraje ofrecida, sino también de la cantidad de forraje por unidad de superficie, por lo que se deben de buscar opciones que afronten los impactos en el comportamiento animal del cambio en la cantidad de forraje por unidad de superficie a través del año (MacDonald et al., 2008).

En vacas en pastoreo, la incidencia de los partos y la duración de la gestación en un seguimiento del primero al quinto parto mostraron cambios que se asociaron a la oferta de forraje por unidad de superficie. En la época de mayor oferta de forraje por unidad de superficie se dio la mayor incidencia de partos con una menor duración de la gestación. Para la época de menor oferta de forraje por unidad de superficie se dio la menor incidencia de partos y aumentó la duración de la gestación hasta 34 días adicionales (Martínez-Rocha et al., 2021).

La condición corporal de vacas en pastoreo fue determinada por la oferta de forraje por unidad de superficie, en la época del año con la máxima oferta, la condición

corporal varió de 2.6 a 3.2, mientras que en la época con la mínima oferta de forraje el intervalo de condición corporal fue de 1.8 a 2.5, ambos en una escala de 1 a 5. La condición corporal respondió a la oferta de forraje por unidad de superficie a la que fueron expuestas las vacas (Simón et al., 2010).

Romero et al. (2007) registraron que el patrón de cambio de peso de vacas maduras en pastoreo se asoció a la oferta de forraje por unidad de superficie. A mayor oferta de forraje por unidad de superficie (primavera-verano) así lo fue el peso de las vacas; en otoño-invierno, con menor cantidad de forraje por unidad de superficie, el peso de las vacas también fue menor. En producción de leche, Magaña-Monforte et al. (2013) encontraron que en la época de menor oferta de forraje por unidad de superficie la producción de leche fue 5.58 kg / vaca / d, que se incrementó 14 % en la época de mayor oferta de forraje por unidad de superficie. Sin embargo, los autores advierten que otros factores además de la oferta de forraje pudieron influir en ese comportamiento de la producción de leche.

Mora-Luna et al. (2014) señalaron que la complementación con alimento concentrado para afrontar la variación en la producción animal, por efecto de cambios en la oferta de forraje por unidad de superficie, no siempre es oportuno si no se tiene información suficiente sobre las características del concentrado en relación con la demanda de los animales.

En un seguimiento anual de la presencia de folículos en vacas en pastoreo se encontró una asociación entre la cantidad de forraje en oferta por unidad de superficie y la presencia de folículos en ovarios. La presencia de folículos fue hasta 48 % mayor en la estación del año con mayor cantidad de oferta de forraje por unidad de superficie en

comparación a la estación con menor cantidad de forraje por unidad de superficie (Domínguez et al., 2007).

La oferta de forraje por unidad de superficie (kg MS / ha) influye sobre la magnitud de componentes del comportamiento productivo de rumiantes en pastoreo; cuando la oferta de forraje por unidad de superficie es abundante, el rumiante en pastoreo alcanza una ingesta alta de forraje recorriendo una superficie menor en comparación a un escenario con oferta escasa de forraje, que obliga al rumiante en pastoreo a explorar una mayor superficie para alcanzar la ingesta diaria demandada, derivando así energía para esta exploración y reduciendo la encaminada al comportamiento productivo.

Comportamiento productivo de forrajeras perennes

El comportamiento productivo de forrajeras perennes es el resultado de un conjunto de componentes que lo definen, entre éstos: rapidez del rebrote, número de cosechas en un tiempo determinado, rendimiento anual de forraje por unidad de superficie, persistencia, razón hoja: tallo. La cosecha de forrajeras perennes se define fundamentalmente a partir de dos componentes, que son la frecuencia y severidad de cosecha.

La frecuencia de cosecha es el intervalo que existe entre dos cosechas consecutivas, este intervalo puede ser controlado a través de la rotación de los rumiantes en pastoreo, con asignaciones a superficies pequeñas y por periodos cortos de tiempo. Cuando no se aplica la rotación de los rumiantes en pastoreo la frecuencia de cosecha es difícil de controlar ya que descansa en cada rumiante el intervalo en las cosechas consecutivas. La severidad de cosecha comúnmente es referida como la altura con respecto del nivel del suelo a la que se ejecuta la cosecha, de nueva cuenta la aplicación de la rotación de

los rumiantes en pastoreo permite un mayor control sobre la severidad de cosecha realmente ejercida (Borrelli y Oliva, 2001).

Una cosecha inapropiada es cuando la frecuencia, severidad o ambas no permiten que la forrajera manifieste la máxima magnitud de los factores que determinan en su conjunto el comportamiento productivo de la misma. Por lo que deben procurarse estrategias aplicadas a rumiantes en pastoreo que reduzcan o eviten la posibilidad de aplicar una cosecha inapropiada.

El efecto de la severidad de cosecha en el rebrote de *Brachiaria* híbrida (pasto Cobra) mostró 12 % menos forraje al cosecharse a 10 cm en comparación con 15 cm (Rojas-García et al., 2018). Torres et al. (2020) también encontraron que, en cosechas a mayor severidad, la cantidad de forraje en el rebrote fue menor en comparación con cosecha menos severa. Patton et al. (2007) registraron que el rebrote con mayor acumulación de forraje ocurrió a una cosecha a severidad intermedia en comparación a las extremas, muy intensa o laxa. Por lo que enfatizaron que debe validarse la severidad de cosecha que fomente un rebrote vigoroso y de alta acumulación de forraje en el menor tiempo posible.

Algunas gramíneas como el raigrás presentan una plasticidad durante su crecimiento vegetativo con baja respuesta a cambios en la severidad de cosecha. En la región Pampeana, Planisich et al. (2017) encontraron que la severidad de cosecha a cuatro niveles: alta, media alta, media baja y baja, no ocasionó variaciones en la cantidad acumulada de forraje por unidad de superficie, en un seguimiento de un año. Sin embargo, el no aplicar ninguna cosecha ocasionó que la acumulación total de forraje fuera menor a la obtenida en cualquiera de las cuatro severidades evaluadas.

La tasa diaria de acumulación de forraje es otra característica afectada por la severidad de cosecha, en raigrás varió entre severidades de cosecha de 3 a 8 cm. Los promedios de acumulación diaria para las épocas de mayor y menor precipitación fueron 3 y 33 % mayores en la severidad de 3 cm en comparación con la de 8 cm. Por lo que los autores resaltan la importancia de controlar la severidad de cosecha para alcanzar las máximas tasas de acumulación de forraje (Rawnsley et al., 2014).

Una pradera de raigrás-trébol blanco, cosechada a dos severidades y medida como forraje residual, registraron 600 y 1200 kg MS / ha, con similar rapidez de rebrote y por tanto de rendimiento. Resultado que llevó a concluir que existe un umbral de severidad de cosecha que puede implicar una influencia en el comportamiento productivo (Thompson et al., 2017).

En la gramínea Guinea, la severidad de cosecha influyó de forma distinta en cantidad residual y tasa de acumulación de forraje. Cuando las condiciones climáticas como precipitación, temperatura, radiación solar y humedad fueron favorables al crecimiento vegetal, cosechar a 10 ó 15 cm la cantidad de forraje residual fue similar, pero la tasa de acumulación fue 52 % mayor al cosechar a 15 en comparación de 10 cm; cuando las condiciones fueron poco favorables al crecimiento vegetal, cosechar a 15 cm promovió 28 % más forraje residual sin cambio en la tasa de acumulación al compararse con la cosecha a 10 cm (Zanini et al., 2012).

En praderas de Mombaza cosechadas cada vez que alcanzaban 90 cm de altura, se encontró que cuando la severidad fue a 50 cm requirió 29 % menos tiempo que la severidad a 30 cm. Además de menor tiempo en el rebrote, la primera severidad originó un forraje de mejor calidad y mayor número de cosechas en comparación de la segunda (Euclides et al., 2015). Praderas de un dosel vegetal herbáceo compuesto por diferentes

gramíneas, cosechar a 10 cm rindió 2.2 veces más forraje que cosechar a 3.5 cm (Pavlů et al., 2019). Gramíneas rastreras pueden ser poco sensibles a la variación en la severidad, dependiendo su rendimiento de variar la frecuencia, kikuyo, una gramínea postrada mostró igual comportamiento a cuatro severidades, pero varió su comportamiento productivo con la frecuencia (Medeiros-Neto et al., 2020).

Portugal et al. (2021) concluyeron que la frecuencia de cosecha no necesariamente compensa la severidad aplicada, la máxima acumulación diaria de forraje se registró a la severidad más holgada, pero con la mayor frecuencia, combinación que mostró una tasa diaria 56 % mayor a la combinación de la severidad más intensa con la menor frecuencia.

En forrajeras de clima templado la frecuencia de cosecha determina el rendimiento anual o estacional; sin embargo, la frecuencia específica para el máximo rendimiento de forraje varía través del año y de los años, en respuesta a variaciones climatológicas como son presencia de temperaturas extremas, exceso o escasez de precipitación, ráfagas de viento extraordinarias, entre otras, por lo que se recomienda tomar en cuenta que la frecuencia puede variar y para afrontar esta variación en la frecuencia conviene tener estrategias como contar con forraje conservado o alimento complementario (Quinby et al., 2020).

Atis et al. (2019) confirman que la frecuencia aplicada en un año para máximo forraje no necesariamente va a ser igual a años posteriores debido a variaciones a través de los años en la disponibilidad de humedad, temperaturas extremas, entre otras. El productor interesado en lograr siempre el máximo rendimiento de forraje debe contar con opciones tecnológicas que le permitan afrontar esta variabilidad en la frecuencia de cosecha a través de los años.

Un acercamiento para dar respuesta a la variación en la frecuencia de cosecha a través del año y de los años ha sido hacer uso de las diferentes variedades de una misma forrajera o forrajeras de especies distintas; sin embargo, no ha sido suficiente para afrontar variaciones en las condiciones climáticas a través del año y de los años, por lo que se concluyó que aun cuando estas estrategias pueden disminuir el impacto negativo de las condiciones climatológicas sobre la frecuencia, no lo resuelve del todo (Rushing et al., 2019).

El impacto de la frecuencia de cosecha para lograr el máximo rendimiento anualizado de forraje puede ser mayor en algunas épocas del año, siendo crucial entonces que el productor deba recurrir a opciones de ofrecer forraje externo a sus animales, que permitan aplicar la frecuencia más adecuada en estas épocas del año (Pequeño et al., 2015).

Tasas diarias de acumulación de forraje

Las tasas diarias de acumulación de forraje varían entre épocas del año, a través de los años, tipos de crecimiento y especie, entre otros factores. En forrajeras perennes el promedio anual de la tasa diaria de acumulación de forraje presenta un intervalo de 13.9 a 57.4 kg MS / ha / d, según sea el largo de la estación de crecimiento y de la frecuencia de cosecha, en términos generales, en frecuencias más laxas la tasa diaria de acumulación tiende a ser menor (Quinby et al., 2020).

En praderas tropicales con una estación de crecimiento superior a los seis meses, las forrajeras perennes se enfrentan a condiciones climatológicas (temperatura, humedad, radiación solar, nubosidad) muy variables, a lo cual responden con variaciones en las tasas diarias de acumulación de forraje, por lo que la frecuencia de cosecha debe ser diferente a través de la estación de crecimiento. Ante ello, existe la demanda de

alternativas tecnológicas que permitan la combinación de frecuencias estrechas y laxas en la cosecha de estas praderas tropicales, para alcanzar los máximos rendimientos de forraje (Vendramini et al., 2013).

Algunas forrajeras perennes tropicales muestran en ciertas estaciones del año una alta tasa diaria de acumulación de forraje por periodos largos, el máximo rendimiento de forraje entonces proviene de aplicar frecuencias más amplias de cosecha, alargar el tiempo de reposo demanda contar con forraje complementario para cubrir la demanda de forraje por los animales entre cosechas consecutivas (Quila et al., 2019; Tessema et al., 2010).

En alfalfa, la variación de la tasa diaria de acumulación de forraje a través del año puede ser de hasta 35 % menor en la época menos favorable para el crecimiento vegetal respecto a la favorable, lo que implica cantidades muy distintas en la oferta de forraje de una época a la otra. De no existir una estrategia pertinente para el aprovechamiento de la alfalfa podrá tenerse una época de sobreoferta y otra de escasez de forraje, con el consecuente pobre régimen alimenticio para el animal o pobre aprovechamiento del forraje producido (Sánchez et al., 2019).

El raigrás mostró 70, 4 a 25 y 1 a 7 kg MS / ha / d en las estaciones más favorable, seca e invernal, respectivamente. Estas tasas diarias de acumulación de forraje tan variables implican que no puede mantenerse una misma frecuencia de cosecha a través de todo el año, la variación en la frecuencia de cosecha origina variación en la carga animal, por tanto, el aprovechamiento del raigrás debe contemplar que opciones tomar cuando la tasa de acumulación es tan baja que no podría mantener a los animales necesarios para cosechar el forraje en la época de la más alta tasa de acumulación (Garduño et al., 2009).

La gramínea ovillo mostró efecto de la época del año sobre la tasa diaria de acumulación de forraje, la máxima fue 53 kg MS / ha/ d en primavera y que se redujo hasta en 90 % en otoño, con respecto de este valor máximo. También se registró un efecto de la frecuencia de cosecha, en el promedio anual, cosechar cada 28 días implicó hasta 25 % menor tasa diaria de acumulación de forraje con respecto a la de 35 días; sin embargo, esta variación en la tasa diaria de acumulación de forraje entre las frecuencias no fue constante a través de las estaciones del año, por lo que se propone que las frecuencias para máxima cantidad de forraje deben ser variables según sean las condiciones climáticas del año (Hernández-Guzmán et al., 2015).

En praderas conformadas con dos o más especies no asegura mantener una tasa diaria de acumulación de forraje constante a través de todo el año, por lo que recurrir a este tipo de praderas quizás pueda mitigar la extensión en la variación de la tasa diaria de acumulación de forraje, pero no la nula, por lo que el productor debe buscar otras opciones complementarias y los investigadores buscar y validar opciones adicionales a las praderas asociadas (dos o más especies) para anular el impacto negativo sobre el comportamiento productivo de los animales de la variación en la tasa diaria de acumulación de forraje (Sánchez et al., 2019; Ventura et al., 2020).

Conclusión

Para mantener un comportamiento productivo alto a través de todo el año en animales apacentados sobre especies forrajeras perennes debe asegurarse un empate en la oferta y demanda de forraje. Cualquier desbalance entre la oferta y la demanda afecta negativamente el comportamiento productivo de los animales y de las praderas. Para afrontar esta situación debe integrarse al aprovechamiento de las especies forrajeras anuales el producir forraje adicional que deberá ser usado para alimentar los animales

en las épocas del año en que las especies forrajeras perennes muestran su más baja o menor tasa diaria de acumulación de biomasa aérea.

Agradecimientos

Los autores le agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo otorgado al primer autor, para desarrollar sus estudios de doctorado.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no tienen conflicto de interés.

Literatura citada

Aguirre, L., Cevallos, Y., Herrera, R., & Escudero, G. (2016). Utilización de ensilaje de maíz y alfalfa en la alimentación de ovinos mestizos en pastoreo. CEDAMAZ, 6(1).

<https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/64/63>

Álvarez-García, C. D., Arriaga-Jordán, C. M., Estrada-Flores, J. G. & López-González, F. (2020). Evaluation of soil amendments in perennial ryegrass pastures associated with white and red clover in small-scale milk production systems. Agro Productividad, 13(11).

<https://doi.org/10.32854/agrop.v13i11.1771>

Álvarez-Vázquez, P., Hernández-Garay, A., Mendoza-Pedroza, S. I., Rojas-García, A. R., Wilson-García, C. Y., & Alejos-de la Fuente, J. I. (2018). Producción de diez variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a cuatro años de establecidas. Agrociencia, 52(6), 841-851.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v52n6/2521-9766-agro-52-06841-en.pdf>

- Améndola-Massiotti, R. D., Rojas-López, O., Tórtora-Pérez, J. L., Burgueño-Ferreira, J. A., Huerta-Bravo, M., & Hernández-Garay, A. (2018). Estacionalidad de la alimentación bajo pastoreo en la cría ovina: estudio de una unidad de producción. *Agro Productividad*, 11(5), 113-119. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/384/270>
- Atis, I. S., Celiktas, N., Ersin, C. A. N., & Yilmaz, S. (2019). The effects of cutting intervals and seeding rates on forage yield and quality of alfalfa. *Turkish Journal of Field Crops*, 24(1), 12-20. <https://doi.org/10.17557/tjfc.562632>
- Borrelli, P., & Oliva, G. (2001). Efectos de los animales sobre los pastizales. *Ganadería ovina sustentable en la Patagonia austral. Tecnología de Manejo Extensivo*, 99-128. https://www.researchgate.net/profile/Gabriel-Oliva/publication/242658835_Efectos_de_los_animales_sobre_los_pastizales/links/00b4952c5fc16b9b44000000/Efectos-de-los-animales-sobre-los-pastizales.pdf
- Candelaria-Martínez, B., Rivera-Lorca, J. A., & Flota-Bañuelos, C. (2017). Disponibilidad de biomasa y hábitos alimenticios de ovinos en un sistema silvopastoril con *Leucaena leucocephala*, *Hibiscus rosa-sinensis* y *Cynodon nlemfuensis*. *Agronomía Costarricense*, 41(1), 121-131. <https://doi.org/10.15517/rac.v41i1.29759>
- Castro-Rincón, E., Cardona-Iglesias, J. L., Hernández-Oviedo, F., & Valenzuela-Chiran, M. (2020). Efecto del ensilaje de Avena sativa L. en la productividad de vacas lactantes en pastoreo. *Pastos y Forrajes*, 43(2), 150-158. <https://www.redalyc.org/journal/2691/269164290009/269164290009.pdf>

- Castro Rivera, R., Hernández Garay, A., Vaquera Huerta, H., Hernández Girón, J., Quero Carrillo, A. R., Enríquez Quiroz, J. F., & Martínez Hernández, P. A. (2012). Comportamiento productivo de asociaciones de gramíneas con leguminosas en pastoreo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(1), 87-95. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v35n1/v35n1a12.pdf>
- Chávez-Espinoza, M., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., & Montañez-Valdez, O. D. (2022). Sistemas de producción de pequeños rumiantes en México y su efecto en la sostenibilidad productiva. *Revista MVZ Córdoba*, 27(1), e2246. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2246>
- Cruz-Hernández, A., Hernández-Garay, A., Vaquera-Huerta, H., Chay-Canul, A., Enríquez-Quiroz, J., & Ramirez-Vera, S. (2017). Componentes morfogenéticos y acumulación del pasto mulato a diferente frecuencia e intensidad de pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 101-109. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i1.4310>
- Cruz-Sánchez, O. E., Cruz-Hernández, A., Gómez-Vázquez, A., Chay-Canul, A. J., Joaquín-Cansino, S., De la Cruz-Lázaro, E., Márquez-Quiroz, C., Osorio-Osorio, R. & Hernández-Garay, A. (2018). Producción de forraje y valor nutritivo del pasto mulato II (*bracharia* híbrido 36087) a diferentes régimen de pastoreo. *Agro Productividad*, 11(5), 18–23. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/36>
- Detmann, E., Paulino, M. F., de Campos Valadares Filho, S., & Huhtanen, P. (2014). Nutritional aspects applied to grazing cattle in the tropics: a review based on Brazilian results. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(4), 2829-2854. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n4Suplp2829>

- Domínguez, C. E., Garmendia, J., & Martínez, N. (2007). Influencia de la época de parto, la condición corporal y la suplementación sobre la actividad ovárica postparto de vacas mestizas bajo pastoreo mixto en el norte del estado Guárico, Venezuela. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias, UCV*, 48(1), 37-50. <http://ve.scielo.org/pdf/rfcv/v48n1/art05.pdf>
- Escareño Sánchez, L. M., Wurzinger, M., Pastor López, F., Salinas, H., Sölkner, J., & Iñiguez, L. (2011). La cabra y los sistemas de producción caprina de los pequeños productores de la Comarca Lagunera, en el norte de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(SPE), 235-246. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.10.087>
- Espinosa R, A. P., Rosado V, J. R., & Rodríguez M., J. P. (2020). Estrategias adaptativas en comunidades rurales debido a la variabilidad climática. *Revista Espacios*, 41(50), 409-425. <http://www.revistaespacios.com/a20v41n50/a20v41n50p28.pdf>
- Euclides, V. P. B., da Conceição Lopes, F., do Nascimento Junior, D., da Silva, S. C., dos Santos Difante, G., & Barbosa, R. A. (2015). Steer performance on *Panicum maximum* (cv. Mombaça) pastures under two grazing intensities. *Animal Production Science*, 56(11), 1849-1856. <https://doi.org/10.1071/AN14721>
- Flores Santiago, E. D. J., Hernández Garay, A., Guerrero Rodríguez, J. D. D., Quero Carrillo, A. R., & Martínez Hernández, P. A. (2015). Productividad de asociaciones de pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.), ballico perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.). *Revista Mexicana de*

<https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v6n3/v6n3a8.pdf>

Garay-Martínez, J. R., Joaquín-Cancino, S., Estrada-Drouaillet, B., Martínez-González, J. C., Joaquín-Torres, B. M., Limas-Martínez, A. G., & Hernández-Meléndez, J. (2018). Acumulación de forraje de pasto buffel e híbridos de *Urochloa* a diferente edad de rebrote. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(15), 573-581. <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1634>.

García-Ferrera, L., Bolaños-Aguilar, E. D., Ramos-Juárez, J., Osorio Arce, M., & Lagunes-Espinoza, L. D. C. (2015). Rendimiento y valor nutritivo de leguminosas forrajeras en dos épocas del año y cuatro edades de rebrote. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 6(4), 453-468. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v6n4/2448-6698-rmcp-6-04-00453-en.pdf>

Garduño, V. S., Pérez, J. P., Garay, A. H., Haro, J. G. H., Hernández, P. A. M., & Torres, B. M. J. (2009). Rendimiento y dinámica de crecimiento estacional de ballico perenne, pastoreado con ovinos a diferentes frecuencias e intensidades. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 47(2), 189-202. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1477>

González-Garduño, R., Torres-Hernández, G., & Arece-García, J. (2010). Comportamiento productivo y reproductivo de ovinos Pelibuey en un sistema de pariciones aceleradas con tres épocas de empadre al año. *Zootecnia Tropical*, 28(1), 51-56. <http://ve.scielo.org/pdf/zt/v28n1/art07.pdf>

- Hernández-Guzmán, F. J., Hernández-Garay, A., Ortega-Jiménez, E., Enríquez-Quiroz, J. F., & Velázquez-Martínez, M. (2015). Comportamiento productivo del pasto ovilla (*Dactylis glomerata* L.) en respuesta al pastoreo. *Agronomía Mesoamericana*, 33-42. <https://doi.org/10.15517/am.v26i1.16889>
- Hernández Hernández, M., López Ortiz, S., Jarillo Rodríguez, J., Ortega Jiménez, E., Pérez Elizalde, S., Díaz Rivera, P., & Crosby Galván, M. M. (2020). Rendimiento y calidad nutritiva del forraje en un sistema silvopastoril intensivo con *Leucaena leucocephala* y *Megathyrsus maximus* cv. Tanzania. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(1), 53-69. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4565>
- Ibarguren, L., Reborá, C., Bertona, A., & Antonini, C. (2020). Sorghum silage production in the northern oasis of Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 52(1), 121-127. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCFA/article/view/2983/2614>
- Kloster, A. M., & Zurbriggen, G. (2019). Producción y persistencia de una mezcla de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y festuca alta (*Festuca arundinacea* Schreb.) bajo intensidades y frecuencias de pastoreo contrastantes. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 45(1), 44-51. <https://www.redalyc.org/journal/864/86458941003/86458941003.pdf>
- Lalampaa, P. K., Wasonga, O. V., Rubenstein, D. I., & Njoka, J. T. (2016). Effects of holistic grazing management on milk production, weight gain, and visitation to grazing areas by livestock and wildlife in Laikipia County, Kenya. *Ecological Processes*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s13717-016-0061-5>

- Lemus Ramírez, V., Guevara Escobar, A., García Rodríguez, J. A., Gaspar Sánchez, D., García Muñoz, J. G., & Pacheco Ríos, D. (2020). Producción de leche de vacas en pastoreo de alfalfa (*Medicago sativa*) en el altiplano mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(1), 1-18. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4814>
- Ma, L., Yuan, F., Liang, H., & Rong, Y. (2014). The effects of grazing management strategies on the vegetation, diet quality, intake and performance of free grazing sheep. *Livestock Science*, 161, 185-192. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.12.025>
- Macdonald, K. A., Penno, J. W., Lancaster, J. A. S., & Roche, J. R. (2008). Effect of stocking rate on pasture production, milk production, and reproduction of dairy cows in pasture-based systems. *Journal of Dairy Science*, 91(5), 2151-2163. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0630>
- Magaña-Monforte, J. G., Osorio, E., Centurión-Castro, F., Segura-Correa, J. C., Aké-López, R., & Aguilar-Pérez, C. F. (2013). Producción de leche y tasa de gestación de vacas de doble propósito en el Sureste de México. *Livestock Research for Rural Development*, 26. <http://www.lrrd.org/lrrd26/4/maga26075.html>
- Martínez-Rocha, R. E., Ramírez-Valverde, R., Núñez-Domínguez, R., García-Muñoz, J. G., & Parra-Bracamonte, G. M. (2021). Comportamiento de crecimiento y reproductivo en hembras bovinas Romosinuano. *Revista MVZ Córdoba*, 26(1), e2033-e2033. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2033>

- Medeiros-Neto, C., Schmitt, D., Martins, C. D. M., Diavão, J., & Sbrissia, A. F. (2020). Defoliation Dynamics in Kikuyugrass Pastures Subjected to Intensities of Defoliation. *Agronomy*, 10(12), 1939. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121939>
- Mendoza, A., & Acosta¹, Y. (2020). Suplementación de vacas a pastoreo con ensilado de grano húmedo de maíz o concentrado comercial. *Veterinaria (Montevideo)*, 56(214). <https://doi.org/10.29155/vet.56.214.1>
- Muñoz-González, J. C., Huerta-Bravo, M., Lara-Bueno, A., Rangel-Santos, R., & Rosa-Arana, J. L. (2016). Producción y calidad nutrimental de forrajes en condiciones del Trópico Húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(SPE16), 3315-3327. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i16.399>
- Mora-Luna, R. E., Chicco, C. F., Herrera-Angulo, A. M., Godoy, S., & Garmendia, J. (2014). Suplementación con fuentes de proteína degradable y no degradable en el rumen en vacas alimentadas con *Urochloa humidicola*. I. Cambios de peso vivo, condición corporal, preñez y química sanguínea en vacas Brahman de primer parto a pastoreo. *Revista Científica*, 24(6), 563-576. <https://www.redalyc.org/pdf/959/95932690007.pdf>
- Núñez Delgado, J., Ñaupari Vásquez, J., & Flores Mariazza, E. (2019). Comportamiento nutricional y perfil alimentario de la producción lechera en pastos cultivados (*Panicum maximum* Jacq). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(1), 178-192. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i1.15681>

- Otero, A., & Castro, M. (2019). Variability of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Seasonal forage production in the southwest of Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 23(1), e65-e65. <https://doi.org/10.31285/agro.23.1.9>
- Patton, B. D., Dong, X., Nyren, P. E., & Nyren, A. (2007). Effects of grazing intensity, precipitation, and temperature on forage production. *Rangeland Ecology & Management*, 60(6), 656-665. <https://doi.org/10.2111/07-008R2.1>
- Pavlů, K., Kassahun, T., Nwaogu, C., Pavlů, L., Gaisler, J. A. N., Homolka, P., & Pavlů, V. (2019). Effect of grazing intensity and dung on herbage and soil nutrients. *Plant, Soil and Environment*, 65(7), 343-348. <https://doi.org/10.17221/177/2019-PSE>
- Pequeño, D. N., Pedreira, C. G., Sollenberger, L. E., de Faria, A. F., & Silva, L. S. (2015). Forage accumulation and nutritive value of brachiariagrasses and Tifton 85 bermudagrass as affected by harvest frequency and irrigation. *Agronomy Journal*, 107(5), 1741-1749. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0115>
- Pérez, H. P., Arroniz, J. V., Molina, H. C., Martínez, B. C., Rivera, P. D., & Ortiz, S. L. (2011). Análisis descriptivo de los sistemas de producción con ovinos en el estado de Veracruz, México. *Revista Científica*, 21(4), 327-334. <https://www.redalyc.org/pdf/959/95918727007.pdf>
- Planisich, Alejandra; Larripa, Marcelo; Galli, Julio. (2017). Evaluación de raigrás anual bajo pastoreo. *Agromensajes*, 47, 14-19. <https://fcagr.unr.edu.ar/wp-content/uploads/2017/05/3AM47.pdf>
- Portugal, T. B., Szymczak, L. S., de Moraes, A., Fonseca, L., Mezzalira, J. C., Savian, J. V., Zubieta, A. S., Bremm, C., Carvalho, P. C. F., & Monteiro, A. L. G.

- (2021). Low-Intensity, High-Frequency Grazing Strategy Increases Herbage Production and Beef Cattle Performance on Sorghum Pastures. *Animals*, 12(1), 13. <https://doi.org/10.3390/ani12010013>
- Quila, N. J. V., Dorado, M. Z. C., & Gómez, M. C. C. (2019). Frecuencia de corte de pasto elefante morado *Pennisetum purpureum* Schumach. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 17(1), 45-55. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v17n1.1203>
- Quinby, M. P., Nave, R. L., Bates, G. E., & McIntosh, D. (2020). Harvest interval effects on the persistence and productivity of alfalfa grown as a monoculture or in mixtures in the southeastern United States. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 6(1), e20018. <https://doi.org/10.1002/cft2.20018>
- Quiroga Garza, H. M. (2013). Tasa de acumulación de materia seca de alfalfa en respuesta a variables climatológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(4), 503-516. <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i4.1183>
- Rawnsley, R. P., Langworthy, A. D., Pembleton, K. G., Turner, L. R., Corkrey, R., & Donaghy, D. J. (2014). Quantifying the interactions between grazing interval, grazing intensity, and nitrogen on the yield and growth rate of dryland and irrigated perennial ryegrass. *Crop and Pasture Science*, 65(8), 735-746. <https://doi.org/10.1071/CP13453>
- Rivas-Jacobo, M. A., López-Castañeda, C., Hernández-Garay, A., & Pérez-Pérez, J. (2005). Efecto de tres regímenes de cosecha en el comportamiento productivo de cinco variedades comerciales de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Técnica*

Pecuaria en México, 43(1), 79-92.

<https://www.redalyc.org/pdf/613/61343110.pdf>

Rojas García, A. R., Hernández Garay, A., Quero Carrillo, A. R., Guerrero Rodríguez, J. D. D., Ayala, W., Zaragoza Ramírez, J. L., & Trejo López, C. (2016). Persistencia de *Dactylis glomerata* L. solo y asociado con *Lolium perenne* L. y *Trifolium repens* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), 885-895.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.262>

Rojas García, A. R., Maldonado Peralta, M. D. L. A., Sánchez Santillán, P., García Balbuena, A., Mendoza Pedroza, S. I., Álvarez Vázquez, P., Herrera Pérez, J., & Hernández Garay, A. (2018). Curva de crecimiento y calidad del pasto cobra (*Brachiaria* HIBRIDO BR02/1794) a dos intensidades de corte. *Agroproductividad*, 7(5), 34-38.

<https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/368/256>

Romero, E. M., Gutiérrez, E., Bernal, H., Morales, H., Colin, J., Olivares, E., Gutiérrez, O., Torres, V., & Dennis, H. (2007). Estacionalidad en la concentración de metabolitos sanguíneos de vacas Charolais y Beefmaster en pastoreo de zacate Buffel en el noreste de México. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41(3), 237-242.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017693006>

Rushing, J. B., Lemus, R. W., White, J. A., Lyles, J. C., & Thornton, M. T. (2019). Yield of native warm- season grasses in response to nitrogen and harvest frequency. *Agronomy Journal*, 111(1), 193-199.

<https://doi.org/10.2134/agronj2018.01.0009>

- Sánchez Santillán, P., Maldonado Peralta, M. D. L. Á., Rojas García, A. R., Torres Salado, N., Herrera Pérez, J., Bottini Luzardo, M. B., Wilson García, C. Y., & Quero Carrillo, A. R. (2019). Productividad de variedades de alfalfa en el Valle de México. *Acta Universitaria*, 29, 11 p.
<https://doi.org/10.15174/au.2019.2202>
- Simón, L., López, O., & Álvarez, D. (2010). Evaluación de vacas de doble propósito de genotipos Holstein x Cebú en sistemas de pastoreo arborizado: I. Primíparas. *Pastos y Forrajes*, 33(1), 1-1.
<https://www.redalyc.org/pdf/2691/269119691005.pdf>
- Tessema, Z. K., Mihret, J., & Solomon, M. (2010). Effect of defoliation frequency and cutting height on growth, dry-matter yield and nutritive value of Napier grass (*Pennisetum purpureum* (L.) Schumach). *Grass and Forage Science*, 65(4), 421-430. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00761.x>
- Thompson, B. R., Stevens, D. R., Wall, A. J., Moss, R. A., O'Neill, K. T., & Cox, N. R. (2017). Winter grazing and dead material effects on early spring pasture production. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 60(2), 131-139.
<https://doi.org/10.1080/00288233.2017.1283633>
- Ticona Guanto, O., Céspedes, R., Martínez, Z., & Chipana, G. (2016). Aplicación de Biol y riego por aspersion en la producción de cebada forrajera (*Hordeum vulgare*) en el municipio de Viacha. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3(1), 39-47.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182016000100006&script=sci_arttext

- Torres Salado, N., Moctezuma Villar, M., Rojas García, A. R., Maldonado Peralta, M. D. L. Á., Gómez Vázquez, A., & Sánchez Santillán, P. (2020). Comportamiento productivo y calidad de pastos híbridos de *Urochloa* y estrella pastoreados con bovinos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(SPE24), 35-46. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2356>
- Velasco-Zebadúa, M. E., Garay, A. H., & Hernández, V. A. G. (2005). Rendimiento y valor nutritivo del ballico perenne (*Lolium perenne* L.) en respuesta a la frecuencia de corte. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 43(2), 247-258. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61343211.pdf>
- Vendramini, J. M., Sollenberger, L. E., Blount, A. R., Aguiar, A. D., Galzerano, L., Valente, A. L., Alves, E., & Custodio, L. (2013). Bahiagrass cultivar response to grazing frequency with limited nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*, 105(4), 938-944. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0404>
- Ventura Ríos, J., Hernández Moreno, E., Santiago Ortega, M. A., Wilson García, C. Y., Maldonado Peralta, M. D. L. Á., & Rojas García, A. R. (2020). Rendimiento de trébol blanco asociado con pasto ovido a diferentes frecuencias de pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(SPE24), 1-12. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2353>
- Vilaboa-Arroniz, J., Díaz-Rivera, P., Ruiz-Rosado, O., Platas-Rosado, D. E., González-Muñoz, S., & Juárez-Lagunes, F. (2009). Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 53-62. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243005.pdf>

World Bank. (17 de febrero de 2021). Moving Towards Sustainability: The Livestock Sector and the World Bank.

<https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/brief/moving-towards-sustainability-the-livestock-sector-and-the-world-bank>

Zanini, G. D., Santos, G. T., & Sbrissia, A. F. (2012). Frequencies and intensities of defoliation in Aruana Guineagrass swards: accumulation and morphological composition of forage. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(4), 905-913.

<https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000800007>

Zaragoza-Esparza, J., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., López-López, C., García-Espinosa, J. C., Zamudio-González, B., Turrent F., A., & Rosado-Núñez, F. (2019). Yield and quality of forage of corn hybrids in High Valleys of Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 101-111.

<http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403>

Zaragoza E., J., Hernández-Garay, A., Pérez P., J., Herrera H., J. G., Osnaya G., F., Martínez H., P. A., González M., S. S., & Quero C., A. R. (2009). Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto ovillo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 47(2), 173-178.

<https://www.redalyc.org/pdf/613/61312116005.pdf>

3. REVISIÓN: GESTIÓN AGRONÓMICA DE TRES FORRAJERAS ANUALES

REVIEW: AGRONOMIC MANAGEMENT OF THREE ANNUAL FORAGE SPECIES

Francisco Javier González-Reyes, Pedro Arturo Martínez- Hernández *, José Luis Zaragoza-Ramírez y Enrique Cortés-Díaz

Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5, C.P. 56250, Texcoco, Estado de México, México.

*Corresponding author: pmartinezh@chapingo.mx

SUMMARY

Background: Annual forage species are an important link in different forage chains to face demands from livestock enterprises. **Objective:** To analyze proposed protocols from published research on agronomic management of corn, sorghum and sunflower as sources of annual forages to provide information that will allow appropriate decision-making in livestock enterprises demanding forage for their animals. **Methodology:** A bibliographic search was made based on keywords in scientific journals within digital repositories: Scopus, Redalyc, SciELO and Google academic, preference was given to articles published between 2005 and 2022. **Results:** A total of 74 scientific articles were analyzed on their proposals on agronomic management of the three species of interest. Most of the articles analyzed concluded that to achieve the highest forage yield in all three species high plant densities should be applied, regarding topology the best ones were those that allowed high plant density. Plant nutrition level and sources should be evaluated on terms of efficient nutrient use, not only based on forage yield and after nutrient efficient use determination, cost of extra forage yield should be added to the evaluation. Variations in soil, climatic and forage quantity and quality demand open a window of opportunity to the development of new varieties in all three species. **Implications:** The agronomic management of corn, sorghum and sunflower to obtain the quantity and quality of forage appropriate to the demands of livestock enterprises becomes an important component, so research and validation on this topic must be maintained. **Conclusion:** The agronomic management of maize, sorghum, and sunflower as forage sources is a relevant research topic of continuing interest.

Keywords: Corn, sorghum, sunflower, agronomic management, plant density, plant nutrition.

RESUMEN

Antecedentes: Las especies forrajeras anuales son un eslabón muy importante en la cadena forrajera encaminada a atender la demanda por forraje de una empresa ganadera. Identificar los protocolos de gestión de este tipo de especies permitirá una producción de forraje pertinente a la demanda por el mismo dentro de las empresas ganaderas. **Objetivo:** Analizar protocolos utilizados para la gestión agronómica de maíz, sorgo y girasol como fuentes de forraje. Estos protocolos son tomados de propuestas publicadas de artículos de revistas científicas, para generar un banco de información que permita la toma de decisiones para el mejor uso de los recursos agrícolas. **Metodología:** Se hizo una búsqueda bibliográfica a través de palabras claves en revistas científicas incluidas en los repositorios digitales: Scopus, Redalyc, SciELO y Google Academic, se dio preferencia a artículos publicados entre 2005 a 2022. **Resultados:** Se logró un acervo de 74 artículos científicos sobre los temas de gestión agronómica de las tres especies de interés. Para las tres especies la mayoría de los artículos consultados proponen como una medida para aumentar la cantidad de forraje cosechado el preferir densidades altas en asociación con topologías que permitieran poner en campo estas densidades altas. El aporte de nutrimentos también se ubica como un medio para promover un rendimiento alto de forraje, con atención a que el rendimiento de forraje debe estar calificado por la eficiencia en el uso de los nutrimentos aplicados y esta eficiencia a su vez calificada con base en el costo de producción. La variación edáfica, climática y de demanda en cantidad y calidad del forraje hace que se mantenga una ventana de oportunidad para una producción pertinente de forraje el desarrollo de nuevas variedades. **Implicaciones:** La gestión agronómica de maíz, sorgo y girasol para la obtención en cantidad y calidad de forraje apropiada a las demandas de empresas ganaderas se torna en un componente importante, por lo que debe mantenerse la investigación y validación en este tema. **Conclusión:** La gestión agronómica de maíz, sorgo y girasol como fuentes de forraje es un tema de investigación relevante y de interés continuo.

Palabras clave: Maíz, girasol, sorgo, gestión agronómica, densidad de siembra, nutrición vegetal.

Introducción

Las forrajeras anuales se caracterizan por una tasa alta de acumulación diaria de forraje, por lo que en un lapso de siembra a cosecha de tres a cinco meses se puede obtener una cantidad alta de forraje. Dentro de las especies anuales más utilizadas está el maíz, por mostrar un rendimiento alto de forraje; el sorgo por proveer un rendimiento alto de forraje en condiciones edáfico-climatológicas diversas (Ibarguren *et al.*, 2020; Olalde *et al.*, 2000; Zaragoza-Esparza *et al.*, 2019); y, girasol que por su rendimiento de forraje con características nutrimentales semejantes al maíz ha ganado lugar como una forrajera anual de interés (Aragadvay-Yungán *et al.*, 2015).

Las tasas de acumulación de forraje que presentan estas especies pueden alcanzar en maíz por arriba de 165 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ (Jirmanová *et al.*, 2016); en sorgo de 100 a 240 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, entre los 25 y 50 días después de la siembra (Pérez *et al.*, 2018); y, en girasol de hasta 201 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ (Barbosa *et al.*, 2020). En consecuencia, a estas tasas altas de acumulación de forraje se pueden alcanzar rendimientos de forraje superiores a las de 22 t MS ha⁻¹ (Barbosa *et al.*, 2020; Iburguren *et al.*, 2020; Zaragoza-Esparza *et al.*, 2019).

La gestión agronómica de estas tres forrajeras anuales para obtener rendimientos y calidad del forraje altos es un tema de relevancia en la administración de empresas ganaderas que basan la alimentación de sus animales en el ofrecimiento de forraje. Componentes de la gestión agronómica de estas especies como son: la selección de la especie o variedad forrajera, protocolos preventivos y curativos contra plagas y enfermedades, aplicación de promotores de crecimiento, densidad de siembra, época y método de siembra deben ser analizados a la luz de los nuevos hallazgos en la investigación sobre la producción de forraje en atención a las demandas económicas y ambientales de las empresas ganaderas (Apáez *et al.*, 2016; Baghdadi *et al.*, 2014; Cerliani *et al.*, 2018).

El objetivo de este artículo de revisión es analizar protocolos utilizados para la gestión agronómica de maíz, sorgo y girasol como fuentes de forraje. Estos protocolos son tomados de propuestas publicadas de artículos de revistas científicas, para generar un banco de información que permita la toma de decisiones para el mejor uso de los recursos agrícolas.

Metodología

La búsqueda y compilación de bibliografía para esta revisión se realizó de noviembre de 2022 a marzo de 2023. Los repositorios utilizados fueron Scopus, Redalyc, SciELO y Google Academic, en donde se priorizaron artículos publicados de 2011 a 2022, para algunos temas se extendió la fecha de publicación de los artículos hasta 2001. Las palabras claves empleadas en los cuatro repositorios fueron: maíz, sorgo, girasol, forraje, fertilización, densidad de siembra, topología, variedades, edad de cosecha y rendimiento, las cuales se conjugaron entre sí en español e inglés para obtener la mayor cantidad de información disponible.

Los artículos acumulados fueron sujetos a una selección que implicó el desecho de aquellos que se centraban en la producción de grano y además para los casos de maíz y sorgo se desecharon artículos cuya ubicación en campo no correspondiera al continente americano. Con esta primera selección se obtuvieron 87 artículos en Scopus, 58 en Redalyc, 81 en SciELO y 255 en Google Academic, con un total de 481. De estos artículos se eliminaron 22 por duplicidad, el gran total de artículos quedó en 459. Estos artículos se organizaron por especie forrajera y dentro de cada especie por: densidad de siembra, fertilización, variedades, topología y edad a la cosecha. Un mismo artículo podía quedar en dos o más clasificaciones distintas según fueran los temas tratados en el mismo.

El criterio siguiente de desecho fue que el artículo analizara la o las respuestas de la especie (densidad de siembra, fertilización, variedades, topología o edad de cosecha) en al menos tres niveles de la o las variables independientes aplicadas, con este nuevo criterio se obtuvieron 74 artículos de los 459 inicialmente seleccionados y es con base en ellos que se desarrolló el contenido de este artículo.

Para los artículos finalmente seleccionados se registraron en una base de Microsoft Excel: título, año de publicación, especie estudiada, componente evaluado de gestión agronómica (densidad de siembra, fertilización, variedades, topología, o edad de cosecha), DOI/URL y tipo de publicación (artículo, revisión, resumen). De los artículos finalmente seleccionados: 76, 21 y 3 % se publicaron entre 2011-2022, 2001-2010 y 2000 o antes, respectivamente.

La estrategia de procesamiento de información fue mediante la descripción de la tendencia observada en los resultados de cada artículo, así como corroboración con la discusión de los autores, con lo que se evitó sesgo de interpretación.

Los alcances del artículo consistieron en la presentación de información actualizada sobre la gestión agronómica de maíz, sorgo y girasol como fuentes de forraje a partir de una amplia variedad de escenarios edafoclimatológicas, además de un acercamiento que permitió en la mayoría de los casos visualizar si la o las respuestas presentan una tendencia lineal al aumento del o de los insumos en evaluación. En cuanto a la limitación debe resaltarse que la mayoría de los estudios no implicaron una evaluación de las tres especies en un mismo ambiente.

Resultados y discusión

Los resultados se presentan en un primer momento considerando la importancia de la gestión agronómica y posteriormente por cada una de las especies en estudio y dentro de las especies, por componentes específicos de la gestión agronómica.

Implicaciones de algunos componentes de la gestión agronómica de especies forrajeras

Lograr el máximo rendimiento de forraje con una calidad nutricional apropiada al giro de producción de la empresa ganadera es una de las metas de la gestión agronómica de las forrajeras. Varios son los componentes que conforman la gestión agronómica, entre ellos densidad de siembra, fertilización, variedades, topología y momento de la cosecha del forraje, partiendo de que la densidad y fertilización son las dos prácticas más estudiadas (Cox y Cherney, 2001; Maddonni *et al.*, 2001) y por ello se abordarán generalidades en un inicio y posteriormente se precisarán por cultivo.

En cultivos forrajeros anuales la densidad de siembra es la cantidad de semilla colocada o número de plantas, ambas por unidad de superficie, comúnmente en una hectárea. La importancia de la densidad de siembra es tanto

biológica asociada a rendimiento, como económica asociada al costo de semilla colocada en campo. Pero inicialmente debe considerarse que el impacto biológico y económico de la densidad de siembra varía con las condiciones edáficas, climatológicas y de incidencia de especies espontáneas, plagas y enfermedades, como lo señalan Adams *et al.* (2015). Aplicar una densidad de siembra que no asegure el máximo rendimiento de forraje es un uso biológico ineficiente de los recursos agua, suelo, nutrientes, radiación, aún cuando el costo de semilla sea bajo, por lo que se enfatiza que la densidad de siembra debe estar encaminada a obtener el máximo rendimiento de forraje bajo las condiciones edáficas y climáticas del sitio en particular (Rodríguez-Montalvo *et al.*, 2021; Sánchez-Hernández *et al.*, 2011).

La fertilización es la adición de nutrientes al suelo para que el cultivo pueda hacer uso de ellos durante su crecimiento. Tiene dos objetivos: aportar nutrimentos minerales para cubrir deficiencias de las plantas; el otro es lograr el máximo crecimiento de un cultivo (Obour *et al.*, 2019).

Los requerimientos de nutrientes a través de fertilizantes varían entre especies vegetales, composición del suelo, humedad del suelo y objetivo de la producción, sin duda el nitrógeno es el nutriente más utilizado. El nitrógeno, es un nutriente que estimula el crecimiento de la planta, además tiene el beneficio de mitigar el estrés hídrico en situaciones de sequía. Este efecto se atribuye a que el nitrógeno promueve la síntesis de antioxidantes que reducen la fotooxidación, mantiene la membrana de los cloroplastos e incrementa la tasa fotosintética (Ahmad *et al.*, 2014). La estrategia de aplicación debe procurar que los nutrimentos minerales agregados sean recuperados en el tejido vegetal cosechado, para evitar la acumulación de minerales, en el sitio u otros lugares conectados por movimiento hídrico superficial o subterráneo, que altere negativamente el desarrollo de otros organismos de forma directa (toxicidad) o indirecta por incrementar la capacidad competitiva de otros organismos (López *et al.*, 2010). Para reducir el impacto negativo sobre la salud del ecosistema por agregar nutrimentos minerales al suelo, la investigación ha tomado dos caminos: uno es validar estrategias de aplicación en cantidad, momento, forma química y de aplicación, que aseguren la incorporación total de lo agregado en el tejido vegetal de interés (Ayvar-Serna *et al.*, 2020; Nguyen y Kant, 2018; Ramírez y Soto, 2017); el otro, es agregar nutrimentos minerales en compuestos orgánicos con y sin tratamiento previo a su colocación en el suelo (López *et al.*, 2010; Nguyen y Kant, 2018).

Respuesta del maíz al manejo agronómico

Densidad

La población de plantas de maíz por hectárea (pl ha^{-1}) se ha considerado como un factor determinante en la cantidad de forraje cosechado de este cultivo. El perfil de respuesta en rendimiento de forraje de maíz a la variación en la densidad de población está mediado por cambios en el área e índice foliar, coeficiente de extinción de luz, altura de la planta y concentración de clorofila (Han *et al.*, 2020; Mandić *et al.*, 2015; Montemayor *et al.*, 2006). El efecto de la población se ha registrado que es lineal y positivo hasta cierto límite. La fase lineal y positiva se ha encontrado de las 50 a 70 mil pl ha^{-1} , en este intervalo la cantidad de forraje cosechado ha variado de 12.6 a 17 t MS ha^{-1} (Han *et al.*, 2020).

El ángulo de inserción de las hojas al tallo presenta una fuerte relación con la densidad de plantas. Particularmente ha permitido que en maíces con inserción de hoja en un ángulo agudo se pueda incrementar la densidad por arriba de las 100 mil pl ha^{-1} y que la respuesta en cantidad de forraje cosechado sea positiva (Sánchez-Mendoza *et al.*, 2017). Este comportamiento se debe a que existe una modificación en el patrón de agotamiento de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) dentro del perfil del dosel, especialmente hojas con una inserción en ángulo agudo permiten un mayor paso de RFA hacia la parte cercana del suelo del dosel, lo que a su vez permite que las hojas inferiores o cercanas al suelo puedan mantenerse vivas (Maddonna *et al.*, 2001; Sánchez-Mendoza *et al.*, 2017).

Otro trabajo concuerda que en variedades de maíz con una inserción de la hoja en ángulo agudo el rendimiento máximo de forraje se registró a densidades superiores a las 100 mil pl ha^{-1} , la posibilidad de llegar a mayores rendimientos con una mayor población se originó de que el balance óptimo entre peso por planta y peso por superficie se alcanzó a una mayor cantidad de plantas (Rahouma, 2021). La posibilidad de aumentar rendimientos de forraje a partir de incrementar la densidad es dependiente del ángulo de inserción de la hoja.

Usando densidades cercanas a las 80 mil pl ha^{-1} , en un conjunto de variedades similares en ángulo de inserción de hoja, se encontró que originaban la máxima acumulación de forraje de maíz; sin embargo, en un intervalo de densidades mayores, el rendimiento se mantenía constante. Los autores concluyeron que incrementar la densidad hasta cierto punto promovía un balance entre los pesos por planta y unidad de superficie, que llevaba al máximo rendimiento, a densidades mayores y menores la ganancia en uno de estos componentes no compensaba por la pérdida en el otro y por ello no se lograba el rendimiento máximo (Rodríguez-Montalvo *et al.*, 2021; Yescas *et al.*, 2015).

Solamente aplicar mayor densidad para buscar mayor rendimiento no es suficiente, esto debido a que a mayores densidades se establece una fuerte competencia interespecífica por recursos como minerales y agua del suelo, que de no ser debidamente cubiertos originará que las plantas no acumulen biomasa aérea a una tasa adecuada y en consecuencia el rendimiento total de forraje puede no ser incrementado como se esperaba (Ferreira y Teets, 2017; Zhai *et al.*, 2017).

Fertilización

En la fertilización del maíz, Zhai *et al.* (2017) encontraron que para lograr la máxima respuesta en rendimiento al aplicar 300 kg N ha⁻¹ se requirió de un incremento de casi dos veces en la densidad de población; sin embargo, al no aplicar fertilización nitrogenada, el máximo rendimiento se obtuvo a una densidad menor. Explicaron esta respuesta que a mayor densidad se requiere mayor aporte de nutrimentos, por lo que, si no se aplica fertilización y se pretende incrementar el rendimiento, la densidad de siembra debe disminuirse a la mitad.

La fertilización nitrogenada del maíz no solo se debe basar en la cantidad total de forraje cosechado, sino se deben de incluir dos aspectos fundamentales; uno es el costo por kilogramo de forraje adicional por kg de N aplicado; y el otro corresponde a la cantidad de N recuperado en el forraje cosechado, considerando estos dos puntos en conjunto, los autores Han y Liu (2022) encontraron que fertilizar entre 0 y 400 kg N ha⁻¹ aun cuando implicó incrementos en el forraje, la mejor opción económica quedó entre los 180 y 200 kg N ha⁻¹. Concluyeron que el rendimiento de forraje no es un criterio suficiente para extender una recomendación práctica del nivel de fertilización nitrogenada.

El uso de la combinación de fertilizante químico con un inóculo biológico de micorriza y bacteria fijadora de nitrógeno solamente incrementó el rendimiento de grano en la cosecha, los otros atributos se mantuvieron constantes con adición o no del inóculo biológico, para cosechas dirigidas a ensilado con alto contenido de grano podría ser una ventaja la fertilización nitrogenada con un inóculo biológico (Ayvar-Serna *et al.*, 2020).

La elección de la tasa de fertilización nitrogenada en maíz debe basarse en lograr la eficiencia más alta, esto es cantidad de forraje adicional por kg de N aplicado, incrementar la tasa de fertilización para lograr el máximo rendimiento total de forraje no necesariamente implica la eficiencia más alta del uso del N para promover mayor cantidad de forraje.

Variedades

El maíz ha tenido un fuerte trabajo de mejoramiento genético a través de la selección de individuos superiores y cruzamientos entre líneas formadas buscando lograr propósitos específicos de rendimiento y calidad en lugares específicos (Wellhausen, 1966; Tucuch-Cauch *et al.*, 2011).

La riqueza en razas, cruzamientos e híbridos característicos del cultivo de maíz ha hecho que cuando se evalúa con base en el rendimiento de forraje, se tenga una amplia respuesta que va desde no encontrar diferencias hasta diferencias de 6 t MS ha⁻¹ o más, entre las diferentes entradas de maíz. También debe considerarse el aporte de componentes botánicos como hoja, tallo y mazorca (Elizondo y Boschinni, 2001; Tucuch-Cauch *et al.*, 2011). En algunos casos el máximo rendimiento registrado se asoció con un mayor aporte del componente tallo, lo que implicó una menor calidad del forraje, enfatizando la importancia de evaluar las entradas de maíz incorporando el aporte al rendimiento de los diferentes componentes botánicos (Elizondo y Boschinni, 2001; Rivas *et al.*, 2020).

Ante variedades con una estructura externa similar, el rendimiento de forraje mostró influencia de la densidad sin mayor efecto de la variedad o entrada de maíz, la similitud en altura, ángulo de inserción de hoja entre las variedades derivó a que fuera la densidad una mayor determinante del rendimiento de forraje asociado a la utilización eficiente de la radiación solar (Mandić *et al.*, 2015). Cuando el origen genético es diferente entre variedades de maíz, pero presentan fenotipo semejante, en cuanto a estructura de la planta y ángulo de inserción de la hoja, la producción de forraje es similar, sin embargo, la interacción de los genotipos con la densidad de siembra sí fue un factor que afectó el rendimiento de forraje, a mayor densidad mayor producción de forraje. Esto lo explican los autores a que son variedades desarrolladas para utilizarse en altas densidades, por lo que la inserción de las hojas tiene impacto mínimo en la penetración de la radiación solar al estrato más bajo (Rodríguez-Montalvo *et al.*, 2021). Cuando la organización de la planta en relación hoja:tallo e inserción de hoja fueron diferentes entre las variedades en evaluación sí se registró que algunas variedades mostraban un rendimiento mayor al de otras, fundamentalmente a densidades altas de población (Ayvar-Serna *et al.*, 2020). Como reflejo del grado de adaptación a un clima, suelo y altura sobre el nivel del mar pueden encontrarse diferencias en rendimiento de forraje entre variedades de maíz, la mejora en la adaptación a un sitio puede implicar una mayor expansión foliar y de ahí las posibilidades del mayor rendimiento de unas variedades sobre otras (Sánchez *et al.*, 2019).

Topologías

El uso de diferente topología o arreglo del cultivo tiene como finalidad incrementar homogéneamente la disponibilidad de nutrientes o radiación solar a cada planta, pero su diseño está fuertemente relacionado con la densidad de siembra que se utiliza. A densidades de 44,460 a 103,740 pl ha⁻¹, la separación entre hileras de maíz tuvo un efecto en el rendimiento de ocho híbridos estudiados, reducir la distancia de 90 a 40 cm implicó un incremento en el rendimiento de forraje promedio de 9%, por lo que los autores concluyeron que en híbridos con un menor coeficiente de extinción de luz, reducir la distancia entre hileras es una práctica recomendable ya que el aumento en rendimiento no implicó una reducción en los parámetros de calidad (Cox y Cherney, 2001).

A densidades de 100 a 125 mil pl ha⁻¹, la siembra a hileras estrechas (38 cm) favoreció un incremento en el rendimiento de forraje de maíz en comparación con hileras anchas (76 cm), por lo que los autores señalan que para el manejo del maíz a densidades de 100 mil o más convenga el uso de hileras estrechas (Baron *et al.*, 2006).

La siembra de maíz a doble hilera (0.19/0.76 m), hilera angosta (0.38 m) e hilera ancha (0.76 m), determinó el rendimiento de forraje de maíz, el máximo rendimiento se registró con hilera angosta (17.6 ton MS ha⁻¹) seguido estrechamente por la siembra a doble hilera con una reducción de 2% con respecto del rendimiento máximo. La

siembra a hilera angosta o doble hilera deberá decidirse con base en la posibilidad de uso de maquinaria para una u otra topología de siembra. La siembra en hilera ancha significó una reducción del 6% en el rendimiento, por lo que los autores concluyen que la topología de hilera ancha no asegura llegar a los máximos rendimientos posibles (Cox *et al.*, 2006).

A densidades entre 60 y 80 mil pl ha⁻¹ el arreglo de la siembra mostró efecto sobre el rendimiento, la siembra a doble hilera en promedio sobre tres espaciamentos entre hileras incrementó en 26% el peso por planta, lo que se reflejó en 24% más forraje que la siembra a hilera sencilla (Ramezani *et al.*, 2011).

La siembra en hileras a una distancia corta implica la posibilidad también de aumentar la densidad de siembra, de forma tal que topologías que permiten incrementar la densidad pueden estar asociadas a un mayor rendimiento, pero siempre asociado al efecto de densidad (Licht *et al.*, 2019).

Cosecha

El momento de cosecha del maíz influye en la cantidad y calidad del forraje cosechado, conforme el momento de cosecha se acerca a la etapa fenológica conocida como grano con línea de leche, la cantidad de forraje cosechado puede aumentar; sin embargo, la calidad del forraje medida como concentración de proteína, fibras y cenizas tiende a disminuir (Maguiña-Maza *et al.*, 2021).

El forraje de maíz para lograr una rápida, eficiente y efectiva conservación por el proceso de ensilado se recomienda cosecharlo cuando el tejido vegetal o el grano contengan 30 o 56-60% MS respectivamente; ambos parámetros intentan identificar un estado de desarrollo del maíz que procurará un balance entre aspectos de calidad como alimento para rumiantes y el proceso de ensilado con cantidad de forraje por unidad de superficie (Chaudhary *et al.*, 2014). En este sentido Khan *et al.* (2015) enfatizan la importancia del momento de cosecha de maíz para ensilarse basado en el impacto en características de producción animal, cultivo de maíz cosechado a 30% de MS registró la mayor producción de leche y de concentración de proteína, comparado con cultivo de maíz cosechado a menor porcentaje de humedad.

Al dar seguimiento al momento más oportuno para la cosecha de cultivo de maíz destinado al proceso de ensilaje, se encontró al comparar nueve momentos de cosecha, que el mejor balance entre cantidad y calidad del forraje fue cuando el cultivo tenía una concentración de entre 34 y 40% de MS, aunque a mayor humedad el contenido de proteína del forraje alcanzó hasta el 8%, los autores se inclinan por una cosecha a mayor contenido de materia seca con base en el rendimiento nutricional por unidad de superficie (Jiménez-Leyva *et al.*, 2016).

Respuesta del sorgo al manejo agronómico

Densidad

El cultivo del sorgo puede involucrar una densidad mayor a la del maíz por formar un dosel de menor competencia intraespecífica (Getachew *et al.*, 2016), entre densidades desde 234 hasta 400 mil pl ha⁻¹, la tendencia general fue aumentar el rendimiento conforme se aumentó la densidad (Ibarguren *et al.*, 2020; Shahrajabian y Soleymani, 2017), este intervalo tan amplio es reflejo de la gran adaptación a variedad de suelos y climas que presenta el sorgo, quizás de mayor amplitud que la del maíz y ahí también puede explicarse la capacidad de responder en rendimiento a altas densidades de siembra (Adams *et al.*, 2015; Pérez *et al.*, 2018).

Fertilización

El sorgo forrajero (*Sorghum bicolor* L.) ha registrado incrementos en el rendimiento de forraje a niveles de fertilización de 0 a 144 kg N ha⁻¹, siempre que se asegure que los aportes de fósforo y potasio no limiten la respuesta al nitrógeno. Esta respuesta alta a la fertilización nitrogenada es una de las razones por las que este cultivo se ha recomendado como una fuente de forraje para fines de conservación (Hussein y Alva, 2014).

En un estudio en el que se aplicó de 60 a 100 kg N ha⁻¹, la respuesta fue ascendente, obteniendo hasta 20 % más rendimiento entre estas dos dosis, la cantidad de N en la planta fue otra cualidad que se registró con la misma tendencia, esta respuesta la explican los autores que se debe a una mayor expansión de área foliar y en menos tiempo, promovida por una más rápida división celular (Chaudhary *et al.*, 2018).

Afzal *et al.* (2012) registraron que, bajo condiciones favorables para el crecimiento de sorgo, el intervalo de respuesta de aumento en el rendimiento de forraje fue de 0 a 247 kg N ha⁻¹, en este resultado los autores enfatizaron que las condiciones edáficas y climáticas son medulares para definir el intervalo de niveles de fertilización a los que el sorgo responde con incremento de forraje. Paralelamente el incremento en el rendimiento de forraje también puede implicar un incremento en el rendimiento de proteína por hectárea. Otro estudio que coincide en la tendencia registró que en un primer año el máximo rendimiento de forraje por unidad de superficie se alcanzó cuando se aplicó 150 kg N ha⁻¹, pero en un segundo año se registró cuando se fertilizó con 224 kg N ha⁻¹ (Maughan *et al.*, 2012). Es importante considerar que la respuesta a una tasa de fertilización puede ser variable de acuerdo con el sitio donde se cultive y las condiciones climatológicas (Maughan *et al.*, 2012).

Variedades

En las variedades de sorgo, la formación de tallos vástagos se torna en una variable que puede explicar diferencias en rendimiento entre variedades, esto hace que las diferencias en rendimiento puedan ser de magnitudes totales y relativas muy amplias de entre 10 y hasta 15 t MS ha⁻¹ (Getachew *et al.*, 2016; Pérez *et al.*, 2018). La amplia

adaptación del sorgo forrajero a suelos y clima lleva a que la adaptación no sea suficiente para ubicar la mejor variedad con base a rendimiento para un lugar en particular. Para determinar la superioridad o no de una variedad necesariamente debe determinarse el rendimiento total y por componentes (Nava *et al.*, 2017). El sorgo forrajero puede presentar fuertes variaciones en el rendimiento total de un año a otro, es por lo que la evaluación de entradas o variedades de sorgo debe incluir de dos a cuatro ciclos de siembra (Zhao *et al.*, 2009).

Topologías

En maíz y sorgo forrajeros, las topologías que facilitan el contar con una mayor población de individuos tienden a mostrar un mayor rendimiento, por lo que los autores concluyeron que el impacto positivo de las topologías se puede alcanzar porque estas permiten la mayor concentración de individuos por superficie (Osuna-Ceja y Martínez-Gamiño, 2017).

En sorgo sembrado a hilera sencilla con 19, 38 y 76 cm de separación se registró efecto sobre el rendimiento total de forraje, la tendencia fue a reducir el rendimiento conforme se aumentó la distancia entre hileras, a 19 cm de separación entre hileras se alcanzó hasta 80% más forraje en comparación a las otras dos distancias entre hileras, los autores explican el mejor resultado en rendimiento a la menor separación entre hileras a una mayor eficiencia en el uso de la radiación fotosintéticamente activa (Snider *et al.*, 2012). Posteriormente Patil *et al.* (2018) encontraron que el sorgo sembrado a hilera sencilla a separación de 30 cm alcanzó un mayor rendimiento de forraje en comparación a las siembras en hilera sencilla a 45 o 60 cm.

A partir de las investigaciones revisadas se puede concluir que arreglos topológicos que dispongan de distancias cortas entre surcos permiten un mejor acomodo de las plantas, en las que la RFA se distribuye más homogéneamente y a su vez promueve el crecimiento de éstas, generando una mayor acumulación de forraje que arreglos topológicos comunes de 75 cm de distancia entre surcos. Cabe mencionar que la reducción en la distancia entre surcos debe implementarse en la medida que haya disposición de la maquinaria y el costo que conlleva.

Cosecha

El momento oportuno para la cosecha de sorgo forrajero debe basarse en el equilibrio entre rendimiento de nutrimentos y cantidad de biomasa por unidad de superficie (Miron *et al.*, 2006). A mayor madurez puede esperarse mayor rendimiento de forraje y una baja concentración de nutrimentos, pero en cosechas a menor madurez presenta mayor concentración de nutrimentos con menor rendimiento de forraje (Chattha *et al.*, 2017)

Conforme el sorgo avanza en edad puede lograr un mayor contenido energético, por la presencia del grano, sin embargo, el follaje reduce su calidad por lo que se recomienda cosechar el sorgo entre la floración completa y grano lechoso masoso (mitad de la línea de leche), en estos estados se logra un mejor balance entre la calidad del tejido vegetal y el aporte energético del grano (Lyons *et al.*, 2019).

Otro parámetro para determinar el momento de cosecha es el cambio en el contenido de la materia seca. Hassan *et al.* (2018) encontraron que sorgo cosechado a 30% de materia seca presentaba un forraje con alta concentración en proteína cruda, azúcares y cenizas; sin embargo, cuando alcanza 44% de materia seca la concentración de estos nutrimentos bajó, pero en este último caso el rendimiento por unidad de superficie aumentó, debido a la mayor cantidad de forraje por unidad de superficie. La edad a la que encontraron que el sorgo presentó 44% de materia seca fue de 105 días luego de la siembra, relativamente cercana a la edad de 90 días registrada por Chattha *et al.* (2017).

Es importante señalar que para cosechar el cultivo de sorgo debe tomarse en cuenta la severidad o altura de corte con respecto del nivel del suelo, ya que el tejido vegetal cercano al suelo está conformado casi exclusivamente por tallos, cuya calidad es menor al de las hojas, por tanto cosechas muy severas o cercanas al suelo aportarán más tallo que cosechas menos severas y la calidad del forraje será distinta en uno y otro caso, tendiendo a que la calidad sea mayor a la menor severidad (Granados-Niño *et al.*, 2021).

Para realizar una cosecha oportuna del sorgo se tiene que buscar una mayor cantidad de grano, que se reflejará en una mayor disponibilidad de energía para el ganado, además una proporción de MS alrededor de 40%, así como altura de corte.

Respuesta del girasol al manejo agronómico

El girasol es un cultivo de ciclo anual con potencial para ser usado como forraje en forma directa o después de un proceso de conservación por ensilado (Mafakher *et al.*, 2010; Schittenhelm, 2010). La investigación sobre el impacto de variación en el manejo agronómico del cultivo de girasol sobre la cantidad y calidad del forraje cosechado es escasa, posiblemente a que el girasol presenta un nicho de adaptación muy particular con relación a otros cultivos forrajeros de ciclo anual como el maíz y sorgo (Schittenhelm, 2010).

Densidad

Para el girasol, Barros *et al.* (2004) registraron que, con densidades bajas de 17, 35 y 46 mil pl ha⁻¹, la producción de forraje es limitada, además con 17 y 35 mil pl ha⁻¹ se obtuvieron plantas que pesaron 43 y 56% menos de las que se obtuvieron con 46 mil pl ha⁻¹. Al estimar la cantidad de forraje en base seca, se observó que ésta se distribuyó de 1.7 a 2 t MS ha⁻¹, por lo cual la diferencia entre las densidades es limitada.

En cultivos de girasol con fines de producción de semilla se encontró que, para un primer año, el uso de densidades de 60 y 90 mil pl ha⁻¹ produjeron similar cantidad de forraje, mientras que 30 mil pl ha⁻¹ redujo más del 18 % del rendimiento. En un segundo año, se registró similar rendimiento entre 30 y 60 mil pl ha⁻¹, los autores mencionan que estos resultados se debieron a que las plantas con mayor espacio rindieron en mayor cantidad de semilla, de forma que una menor cantidad de semilla por planta no compensó el incremento en la densidad de plantas en ambos años (Echarte *et al.*, 2011).

Por otra parte, Estrada *et al.* (2008) evaluaron girasol para conocer su potencial en producción de forraje y semilla, mencionan que una densidad de 150,000 pl ha⁻¹ es más productiva que densidades de 75, 100 o 125 mil pl ha⁻¹, debido a que el número de plantas por unidad de superficie supera la relación con el peso que acumulan individualmente las plantas.

Fertilización

En girasol forrajero hay información limitada acerca de fertilización o suministro de nutrientes, sin embargo, en girasol para producción de semilla y aceite se ha encontrado que sí existe una mayor respuesta en el rendimiento por unidad de superficie conforme se incrementa la fertilización de nitrógeno y fósforo, esta respuesta depende de factores como fertilidad del suelo, cantidad de precipitación del lugar y otras características ambientales. Las dosis de nitrógeno más rentables van de 110 a 168 kg N ha⁻¹, inclusive se podría superar esas cantidades cuando el acame no sea problema en el sitio de cultivo (Schultz *et al.*, 2018).

Las aplicaciones crecientes de fertilización nitrogenada en girasol, con 0, 60, 120, 180 y 240 kg N ha⁻¹, registraron que en varios genotipos la máxima acumulación de forraje se alcanzó con 180 kg N ha⁻¹, sin embargo, los autores concluyen que en diferentes condiciones agroclimáticas la respuesta puede ser diferente, pero con una tendencia similar a la antes mencionada (Nasim *et al.*, 2016).

Variedades

El interés de utilizar el girasol como forraje requiere de la identificación de variedades con potencial productivo. Dentro de 13 variedades cultivadas a baja densidad (34 mil plantas por hectárea) se registraron rendimientos de forraje de 4.7 a 7.7 t MS ha⁻¹, los autores mencionan que el rendimiento promedio encontrado es aceptable para utilizarse como recurso forrajero, sin embargo, existen variedades superiores y con características benéficas, como son resistencia al acame y a la ruptura de los tallos (Tomich *et al.*, 2003).

Sousa *et al.* (2021) al estudiar 18 variedades comerciales de girasol, encontraron que no todas tienen aptitud forrajera, los rendimientos de forraje encontrados fueron de 6.7 a 11.7 t MS ha⁻¹. Las variedades que se identificaron con potencial forrajero fueron aquellas que registraron mayor altura, pero la característica de estas es que producen gran cantidad de tallo, además, dentro de las variedades de interés forrajero la mayoría presentan aptitudes de doble propósito, pueden producir grano y forraje.

Las variedades de girasol que pueden utilizarse para producir forraje aún no son específicas, este fenómeno no es único en esta especie, otras como el maíz presentan el mismo vacío. Cabe mencionar que, aunque la cantidad de forraje es un parámetro inicial para decidir que variedad utilizar se recomienda tomar otras características como calidad del forraje, resistencia al acame, plagas y enfermedades, así como eficiencia en el uso de nutrientes y RFA.

Topologías

En relación con la forma de cultivar el girasol forrajero, se encontró que su rendimiento de forraje es mayor a una distancia de 30 cm entre surcos, respecto a espacios de 15 cm, sin embargo, si se incrementa a 45 cm el espacio entre surcos no se incrementa la producción de forraje (Dhakar *et al.*, 2022).

En girasol para producción de semilla y aceite se registró que con distancias de 45 x 25 cm se produjo 59.6 y 52.9% más de semilla y aceite, respectivamente, que a arreglos de 70 x 40 cm. Estas dimensiones de los arreglos topológicos están estrechamente relacionadas con la densidad de siembra, dado que los arreglos con dimensiones menores permiten incrementar la densidad de plantas por unidad de superficie (Demir, 2020).

Baghdadi *et al.* (2014) al evaluar arreglos topológicos con una misma densidad registraron que el máximo rendimiento de forraje se obtuvo con un espaciamiento de 50 x 30 cm entre plantas, alcanzando hasta 15.3 t MS ha⁻¹, mientras que con espacios de 70 x 20 y de 35 x 43 cm, este rendimiento disminuyó hasta en 5.2 t MS ha⁻¹. El espaciamiento óptimo depende de las condiciones climáticas del lugar, en climas cálidos puede ser mejor opción utilizar espaciamientos de 70 x 20 cm.

Cosecha

Demirel *et al.* (2006) encontraron que el girasol es una alternativa en la alimentación de rumiantes, su forraje puede conservarse a través del ensilaje. La etapa de crecimiento para ser cosechado debe ser al inicio de la floración, dado que al cosechar en esa etapa se promueve en el ensilado mayor digestibilidad, el pH es más bajo y la cantidad de ácidos grasos volátiles como el acético y propiónico se producen en mayor cantidad, respecto a los estados lechoso y masoso, o conocido como la mitad de la línea de leche.

En un ensayo, donde se parte del inicio de la floración, se evaluaron cosechas a una, tres y cinco semanas después, se observó que al menos la cosecha debe realizarse cinco semanas después, dado que en ese momento se alcanza

un mayor contenido de energía neta de lactancia, de 1.83 Mcal kg⁻¹ MS, sin embargo, el contenido de MS es aún muy bajo (18%), pero superior a una y tres semanas después de floración (Sainz-Ramírez *et al.*, 2020).

Semejante a otras especies forrajeras, la edad del girasol para su cosecha debe tener una excelente relación entre la calidad y cantidad del forraje. Cosecha a temprana edad implica forraje de buena calidad, pero con bajo contenido de MS, por contraparte cosecha a edad avanzada implica forraje con mayor cantidad de MS, mayor cantidad de fibra, pero baja calidad. Por lo que la edad en que las plantas presentan un tercio de la línea de leche puede ser el momento donde las variables antes mencionadas alcanzan la mejor interacción en calidad y cantidad (Toruk *et al.*, 2010).

En este mismo sentido, Erdoğan *et al.* (2016) encontraron que el forraje cosechado en tres estados de crecimiento, inicio de floración (R5), estado lechoso y estado masoso, no afectaron la calidad del ensilado, sin embargo, conforme maduraron las plantas se incrementó el rendimiento de forraje, determinando con base en la relación cantidad y calidad de forraje que la cosecha debe realizarse en estado masoso.

Conclusión

El uso de las forrajeras anuales permite obtener un forraje en cantidad y calidad deseada cuando se le aplica una gestión agronómica oportuna que además de estimular la acumulación del forraje deseado es un medio de mantenimiento del suelo y la biodiversidad existente en él. La planificación oportuna de cada práctica de la gestión agronómica del maíz, sorgo y girasol será vital para mejorar la producción y calidad nutricional del forraje.

Acknowledgments

Universidad Autónoma Chapingo and Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

Funding

CONACyT

Conflict of interest

The authors do not have any conflict of interest.

Compliance with ethical standards

Not applicable to this study.

Author contribution statement

F. J. González-Reyes – Resources, writing-review & editing., P. A. Martínez- Hernández – Conceptualization, writing-review & editing., J. L. Zaragoza-Ramírez – Resources, validation., E. Cortés-Díaz – Resources, supervision.

Literatura citada

- Adams, C. B., Erickson, J. E., Campbell, D. N., Singh, M. P., & Rebolledo, J. P. (2015). Effects of row spacing and population density on yield of sweet sorghum: Applications for harvesting as billets. *Agronomy Journal*, 107(5), 1831-1836. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0295>
- Afzal, M., Ahmad, A., & Ahmad, A. H. (2012). Effect of nitrogen on growth and yield of sorghum forage (*Sorghum bicolor* (L.) Moench cv.) under three cuttings system. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 45(4), 57-64. <https://repository.uaiaasi.ro/xmlui/handle/20.500.12811/2322>
- Ahmad, R., Waraich, E. A., Ashraf, M. Y., Ahmad, S., & Aziz, T. (2014). Does nitrogen fertilization enhance drought tolerance in sunflower? A review. *Journal of Plant Nutrition*, 37(6), 942-963. <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.868480>
- Apáez Barrios, M., Escalante Estrada, J. A. S., Rodríguez Gonzalez, M. T., Sosa Montes, E., & Apáez Barrios, P. (2016). Distancia entre hileras, nitrógeno y producción de garbanzo en humedad residual. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 223-234. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i2.339>
- Aragadvay-Yungán, R. G., Rayas A., A. A., Heredia-Nava, D., Estrada-Flores, J. G., Martínez-Castañeda, F. E., & Arriaga-Jordán, C. M. (2015). Evaluación *in vitro* del ensilaje de girasol (*Helianthus annuus* L.) solo y combinado con ensilaje de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 6: 315-327. DOI: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v6i3.4094>
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M. A., & Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 9-16. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>
- Baghdadi, A., Halim, R. A., Nasiri, A., Ahmad, I., & Aslani, F. (2014). Influence of plant spacing and sowing time on yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 12(2), 688-691. <http://psasir.upm.edu.my/id/eprint/34198>
- Barbosa, D. S., C. B., Costa, K. A. D. P., Souza, W. F. D., Oliveira, I. P. D., Teixeira, D. A. A., & Costa, J. V. C. P. (2020). Production and quality of sunflower and Paiaguas palisadegrass silage in monocropped and

- intercropping in different forage systems. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 42. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v42i1.48304>
- Baron, V. S., Najda, H. G., & Stevenson, F. C. (2006). Influence of population density, row spacing and hybrid on forage corn yield and nutritive value in a cool-season environment. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(4), 1131-1138. <https://doi.org/10.4141/P05-136>
- Barros, J. F., de Carvalho, M., & Basch, G. (2004). Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to sowing date and plant density under Mediterranean conditions. *European Journal of Agronomy*, 21(3), 347-356. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.10.005>
- Cerliani, C., Esposito, G. P., Morla, F. D., Balboa, G. R., & Naville, R. A. (2018). Relación entre la densidad óptima agronómica y el número de granos por planta en maíz (*Zea mays* L.). *European Scientific Journal*, 14(9), 1857-7881. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n9p29>
- Chattha, M. U., Iqbal, A., Hassan, M. U., Chattha, M. B., Ishaque, W., Usman, M., Khan, S., Fayyaz, M. T., & Ullah, M. A. (2017). Forage yield and quality of sweet sorghum as influenced by sowing methods and harvesting times. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 13, 301-306. <https://doi.org/10.6000/1927-5129.2017.13.49>
- Chaudhary, D. P., Jat, S. L., Kumar, R., Kumar, A., & Kumar, B. (2014). Fodder quality of maize: Its preservation. In *Maize: Nutrition Dynamics and Novel Uses*. Springer, New Delhi. pp. 153-160. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1623-0_13
- Chaudhary, J. D., Pavaya, R. P., Malav, J. K., Dipika, G., Chaudhary, N., Kuniya, N. K., Vina, A., Patel, I., & Jat, J. R. (2018). Effect of nitrogen and potassium on yield, nutrient content and uptake by forage sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) on loamy sand. *International Journal of Chemical Studies*, 6(2), 761-765. <https://www.chemjournal.com/archives/?year=2018&vol=6&issue=2&ArticleId=2004&si=>
- Cox, W. J., & Cherney, D. J. (2001). Row spacing, plant density, and nitrogen effects on corn silage. *Agronomy Journal*, 93(3), 597-602. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.933597x>
- Cox, W. J., Hanchar, J. J., Knoblauch, W. A., & Cherney, J. H. (2006). Growth, yield, quality, and economics of corn silage under different row spacings. *Agronomy journal*, 98(1), 163-167. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0133>
- Dhakar, R. L., Patel, A. G., Saini, Y., Nagar, B. L., & Devika, P. (2022). Effect of sowing dates and row spacing on forage yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 11(4), 1842-1845 <https://www.thepharmajournal.com/archives/2022/vol11issue4/PartZ/11-4-42-784.pdf>
- Demir, I. (2020). Improving seed and oil yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by using different inter and intra row space combinations. *Journal of Global Innovations in Agricultural and Social Sciences*, 8, 147-153. DOI: <https://doi.org/10.22194/JGIASS/8-909>
- Demirel, M., Bolat, D., Çelik, S., Bakici, Y., & Çelik, S. (2006). Quality of silages from sunflower harvested at different vegetational stages. *Journal of Applied Animal Research*, 30(2), 161-165. <https://doi.org/10.1080/09712119.2006.9706610>
- Echarte, L., Della M., A., Cerrudo, D., Gonzalez, V. H., Abbate, P., Cerrudo, A., Sadras, V. O., & Calvino, P. (2011). Yield response to plant density of maize and sunflower intercropped with soybean. *Field Crops Research*, 121(3), 423-429. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.01.011>
- Elizondo, J., & Boschini, C. (2001). Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 12: 181-187. <https://doi.org/10.15517/am.v12i2.17231>
- Erdoğan, S., & Demirel, M. (2016). Conservation characteristics and nutritive value of sunflower silages as affected by the maturity stages and fibrolytic enzymes. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4(6), 464-469. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v4i6.464-469.652>
- Estrada, L. E. E., Estrada, Y. I. E., & Linzaga-Elizalde, C. (2008). Densidad de siembra del girasol forrajero. *Agronomía Costarricense: Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 177-182. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43632213>
- Ferreira, G., & Teets, C. L. (2017). Effect of planting density on yield, nutritional quality, and ruminal in vitro digestibility of corn for silage grown under on-farm conditions. *The Professional Animal Scientist*, 33(4), 420-425. <https://doi.org/10.15232/pas.2017-01621>
- Getachew, G., Putnam, D. H., De Ben, C. M., & De Peters, E. J. (2016). Potential of sorghum as an alternative to corn forage. *American Journal of Plant Sciences*, 7(7), 1106-1121. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2016.77106>

- Granados-Niño, J. A., Reta-Sanchez, D. G., Santana, O. I., Reyes-González, A., Ochoa-Martínez, E., Diaz, F., & Sanchez-Duarte, J. I. (2021). Efecto de la altura de corte de sorgo a la cosecha sobre el rendimiento de forraje y el valor nutritivo del ensilaje. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(3), 958-968. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5724>
- Han, K., Liu, B., Liu, P., & Wang, Z. (2020). The optimal plant density of maize for dairy cow forage production. *Agronomy Journal*, 112(3), 1849-1861. <https://doi.org/10.1002/agj2.20004>
- Han, K., & Liu, P. (2022). Optimizing the N Rate for Maize Forage to Balance Profits and N Ecological Stress. *Agronomy*, 12(3), 718. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030718>
- Hassan, M. U., Chattha, M. U., Chattha, M. B., Mahmood, A., & Sahi, S. T. (2018). Impact of harvesting times on chemical composition and methane productivity of sorghum (*Sorghum bicolor* Moench L.). *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(3), 2267-2276. http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1603_22672276
- Hussein, M. M., & Alva, A. K. (2014). Growth, yield and water use efficiency of forage sorghum as affected by NPK fertilizer and deficit irrigation. *American Journal of Plant Sciences*, 2014. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.513225>
- Ibarguren, L., Rebora, C., Bertona, A., & Antonini, C. (2020). Sorghum silage production in the northern oasis of Mendoza, Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 52(1), 121-127. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCA/article/view/2983>
- Jirmanová, J., Fuksa, P., Hakl, J., Brant, V., & Šantrůček, J. (2016). Effect of different plant arrangements on maize morphology and forage quality. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 62(2), 62-71. <https://doi.org/10.1515/agri-2016-0007>
- Jiménez-Leyva, D., Romo-Rubio, J., Flores-Aguirre, L., Ortiz-López, B., & Barajas-Cruz, R. (2016). Edad de corte en la composición química del ensilado de maíz blanco asgrow-7573. *Abanico Veterinario*, 6(3), 13-23. <https://doi.org/10.21929/abavet2016.63.1>
- Khan, N. A., Yu, P., Ali, M., Cone, J. W., & Hendriks, W. H. (2015). Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(2), 238-252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6703>
- Licht, M. A., Parvej, M. R., & Wright, E. E. (2019). Corn yield response to row spacing and plant population in Iowa. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 5(1), 1-7. <https://doi.org/10.2134/cftm2019.05.0032>
- López Martínez, J. D., Vázquez Vázquez, C., Salazar Sosa, E., Zúñiga Tarango, R., & Trejo Escareño, H. I. (2010). Sistemas de labranza y fertilización en la producción de maíz forrajero. *Phyton (Buenos Aires)*, 79(1), 47-54. <http://www.scielo.org.ar/pdf/phyton/v79n1/v79n1a08.pdf>
- Lyons, S. E., Ketterings, Q. M., Godwin, G. S., Cherney, D. J., Cherney, J. H., Van Amburgh, M. E., Meisinger, J. J., & Kilcer, T. F. (2019). Optimal harvest timing for brown midrib forage sorghum yield, nutritive value, and ration performance. *Journal of Dairy Science*, 102(8), 7134-7149. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16516>
- Maddoni, G. A., Otegui, M. E., & Cirilo, A. G. (2001). Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. *Field Crops Research*, 71(3), 183-193. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00158-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00158-7)
- Mafakher, E., Meskarbashee, M., Hassibi, P., & Mashayekhi, M. R. (2010). Study of chemical composition and quality characteristics of corn, sunflower and corn-sunflower mixture silages. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 5(2), 175-179. <https://scialert.net/abstract/?doi=ajava.2010.175.179>
- Maguiña-Maza, R. M., Perez, S. C. F., Cárdenas, G. L. P., Dávila, E. S., Ameri, N. H. C., Abad, H. N. P., & Bautista, F. E. A. (2021). Potencial agronómico, productivo, nutricional y económico de cuatro genotipos de maíz forrajero en el valle de Chancay, Perú. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 22(3), e1931-e1931. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:1931
- Mandić, V., Krnjaja, V., Bijelić, Z., Tomić, Z., Simić, A., Stanojković, A., Petričević, M., & Caro-Petrović, V. (2015). The effect of crop density on yield of forage maize. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 31(4), 567-575. <https://r.istocar.bg.ac.rs/handle/123456789/457>
- Maughan, M., Voigt, T., Parrish, A., Bollero, G., Rooney, W., & Lee, D. (2012). Forage and energy sorghum responses to nitrogen fertilization in central and southern Illinois. *Agronomy Journal*, 104(4), 1032-1040. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0408>

- Miron, J., Solomon, R., Adin, G., Nir, U., Nikbachat, M., Yosef, E., Carmi, A., Weinberg, Z. G., Kipnis, T., Zuckerman, E., & Ben-Ghedalia, D. (2006). Effects of harvest stage and re-growth on yield, composition, ensilage and in vitro digestibility of new forage sorghum varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(1), 140-147. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2269>
- Montemayor Trejo, J. A., Zermeño González, A., Olague Ramirez, J., Aldaco Nuncio, R., Fortis Hernández, M., Salazar Sosa, E., & Vázquez-Vázquez, C. (2006). Efecto de la densidad y estructura del dosel de maíz en la penetración de la radiación solar. *Phyton* (Buenos Aires), 75, 47-53. <https://www.biodiversitylibrary.org/part/113834>
- Nasim, W., Ahmad, A., Ahmad, S., Nadeem, M., Masood, N., Shahid, M., Mubeen, M., & Fahad, S. (2016). Response of sunflower hybrids to nitrogen application grown under different agro-environments. *Journal of Plant Nutrition*, 40(1), 82-92. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1201492>
- Nava Berumen, C. A., Rosales Serna, R., Jiménez Ocampo, R., Carrete Carreón, F. Ó., Domínguez Martínez, P. A., & Murillo Ortiz, M. (2017). Rendimiento y valor nutricional de tres variedades de sorgo dulce cultivadas en cuatro ambientes de Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(2), 147-155. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i2.4426>
- Nguyen, G. N., & Kant, S. (2018). Improving nitrogen use efficiency in plants: effective phenotyping in conjunction with agronomic and genetic approaches. *Functional Plant Biology*, 45(6), 606-619. <https://doi.org/10.1071/FP17266>
- Obour, A. K., Holman, J. D., & Schlegel, A. J. (2019). Seeding rate and nitrogen application effects on oat forage yield and nutritive value. *Journal of Plant Nutrition*, 42(13), 1452-1460. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1617311>
- Olalde, G. V. M., Estrada, J. A. E., García, P. S., Chávez, L. T., Lagunas, A. A. M., & Román, E. C. (2000). Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra Latinoamericana*, 18(4), 313-323. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318405>
- Osuna-Ceja, E. S., & Martínez-Gamiño, M. Á. (2017). Yield and quality of rainfed maize and sorghum forage at four and six rows in Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1259-1272. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2020.10.070>
- Patil, B., Kumar, V., & Merwade, M. N. (2018). Effect of inter row spacing and fertilizer levels on crop growth, seed yield and seed quality of perennial fodder sorghum cv. CoFS-29. *Range Management and Agroforestry*, 39(1), 59-64. <https://publications.rmsi.in/index.php/rma/article/view/172>
- Pérez Hernández, A., Quero Carrillo, A. R., Escalante Estrada, J. A. S., Rodríguez González, M. T., Garduño Velázquez, S., & Miranda Jiménez, L. (2018). Fenología, biomasa y análisis de crecimiento de cultivares de sorgo forrajero en valles altos. *Agronomía Costarricense*, 42(2), 107-117. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v42i2.33782>
- Rahouma, M. A. (2021). Effect of plant density on silage yield and quality of some maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Alexandria Science Exchange Journal*, 42(1), 89-94. <https://dx.doi.org/10.21608/asejaiqsae.2021.151909>
- Ramezani, M., Ab, R. R. S., Mobasser, H. R., & Amiri, E. (2011). Effects of row spacing and plant density on silage yield of corn (*Zea mays* L. cv. sc704) in two plant pattern in North of Iran. *African Journal of Agricultural Research*, 6(5), 1128-1133. <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/3DC785A36453>
- Ramírez Víquez, C., & Soto Bravo, F. (2017). Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía Costarricense*, 41(2), 79-91. <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v41i2.31301>
- Rivas Jacobo, M. A., Mendoza Pedroza, S. I., Sangerman-Jarquín, D. M., Sánchez Hernández, M. Á., Herrera Corredor, C. A., & Rojas García, A. R. (2020). Evaluación forrajera de maíces de diversos orígenes de México en la región semiárida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(SPE24), 93-104. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2361>
- Rodríguez-Montalvo, F. A., Sierra-Macías, M., Espinosa-Calderón, A., Vázquez-Hernández, M. V., Barrón-Freyre, S., Andrés-Meza, P., & Rosario-Arellano, J. L. D. (2021). Productividad de forraje en maíces híbridos bajo diferentes densidades de población y dosis de fertilización. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.676>
- Sainz-Ramírez, A., Botana, A., Pereira-Crespo, S., González-González, L., Veiga, M., Resch, C., Valladares, J., Arriaga-Jordán, C. M., & Flores-Calvete, G. (2020). Efecto de la fecha de corte y del uso de aditivos en

- la composición química y calidad fermentativa de ensilado de girasol. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(3), 620-637. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.5092>
- Sánchez-Hernández, M. Á., Aguilar-Martínez, C. U., Valenzuela-Jiménez, N., Sánchez-Hernández, C., Jiménez-Rojas, M. C., & Villanueva-Verduzco, C. (2011). Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 281-295. <https://doi.org/10.15517/am.v22i2.11801>
- Sánchez Hernández, M. Á., Cruz Vázquez, M., Sánchez Hernández, C., Morales Terán, G., Rivas Jacobo, M. A., & Villanueva Verduzco, C. (2019). Rendimiento forrajero de maíces adaptados al trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 699-712. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1546>
- Sánchez-Mendoza, S. M., Escalante-Estrada, J. A. S., & Rodríguez-González, M. T. (2017). Área y ángulo foliar, coeficiente de extinción de luz y su relación con la biomasa y rendimiento en genotipos de maíz. [En] Pérez-Soto, F., Figueroa-Hernández, E., Godínez-Montoya, L., & García-Núñez, R. M. *Ciencias de la economía y agronomía*. Handbook T-II. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México, 1-15. https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20de%20la%20Economía%20y%20Agronomía%20T-II/HCEA_TII_1.pdf
- Schittenhelm, S. (2010). Effect of drought stress on yield and quality of maize/sunflower and maize/sorghum intercrops for biogas production. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196(4), 253-261. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00418.x>
- Schultz, E., DeSutter, T., Sharma, L., Endres, G., Ashley, R., Bu, H., Markell, S., Kraklau, A., & Franzen, D. (2018). Response of sunflower to nitrogen and phosphorus in North Dakota. *Agronomy Journal*, 110(2), 685-695. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.04.0222>
- Shahrajabian, M. H., & Soleymani, A. (2017). Responses of physiological indices of forage sorghum under different plant populations in various nitrogen fertilizer treatments. *International Journal of Plant & Soil Science*, 15(2), 1-8. <http://dx.doi.org/10.9734/IJPSS/2017/32460>
- Snider, J. L., Raper, R. L., & Schwab, E. B. (2012). The effect of row spacing and seeding rate on biomass production and plant stand characteristics of non-irrigated photoperiod-sensitive sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Industrial Crops and Products*, 37(1), 527-535. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.07.032>
- Sousa, S. A., Leite, V. M., de Oliveira Almeida, V., dos Santos Pina, D., de Almeida Rufino, L. M., Santos, A. V., Perazzo, A. F., da Silva, T. C., Cirne, L. G. A., & de Carvalho, G. G. P. (2021). Agronomic characterization of sunflower cultivars for animal feeding in tropical conditions. *Bioscience Journal*, 37(e37050), 1981-3163. <https://doi.org/10.14393/BJ-v37n0a2021-53618>
- Tomich, T. R., Rodrigues, J. A. S., Gonçalves, L. C., Tomich, R. G. P., & Carvalho, A. U. (2003). Forage potential of sunflower cultivars produced in double-cropping system for silage. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 55, 756-762. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352003000600013>
- Toruk, F., Gonulol, E., Kaysoglu, B., & Koc, F. (2010). Effects of compaction and maturity stages on sunflower silage quality. *African Journal of Agricultural Research*, 5(1), 055-059. https://academicjournals.org/journal/AJAR/edition/4_January_2010
- Tucuch-Cauich, C. A., Rodríguez-Herrera, S. A., Reyes-Valdés, M. H., Pat-Fernández, J. M., Tucuch-Cauich, F. M., & Córdova-Orellana, H. S. (2011). Índices de selección para producción de maíz forrajero. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 123-132. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43721202015>
- Wellhausen, E. J., & Carballo, A. (1966). Germoplasma exótico para el mejoramiento del maíz en los Estados Unidos. Recuperado en <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/3571/18044.pdf?sequence=1&isAllowed=y>,
- Yescas, C. P., Segura, C., Martínez, C., Álvarez, R., Montemayor, T., Orozco, V., & Frías, R. (2015). Rendimiento y calidad de maíz forrajero (*Zea mays* L.) con diferentes niveles de riego por goteo subsuperficial y densidad de plantas. *Phyton* (Buenos Aires), 84(2), 272-279. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-56572015000200003&script=sci_arttext&tlng=pt
- Zaragoza-Esparza, J., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., López-López, C., García-Espinosa, J. C., Zamudio-González, B., Turrent-Fernández, A., & Rosado-Núñez, F. (2019). Yield and quality of forage of corn hybrids in High Valleys of Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 101-111. <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403>

- Zhai, L., Xie, R., Li, S., & Zhang, Z. (2017). Effects of nitrogen and plant density on competition between two maize hybrids released in different eras. *Agronomy Journal*, 109(6), 2670-2679. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.03.0176>
- Zhao, Y. L., Dolat, A., Steinberger, Y., Wang, X., Osman, A., & Xie, G. H. (2009). Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. *Field Crops Research*, 111(1-2), 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.10.006>

ORCID

F.J. González-Reyes: <https://orcid.org/0000-0002-1429-0331>

P.A. Martínez- Hernández: <https://orcid.org/0000-0003-2197-3736>

J.L. Zaragoza-Ramírez: <https://orcid.org/0000-0002-1478-004X>

E. Cortés-Díaz: <https://orcid.org/0000-0003-1676-0402>

4. RENDIMIENTO DE FORRAJE DE MAÍZ Y GIRASOL CULTIVADOS EN SECANO

Francisco Javier González-Reyes, Pedro Arturo Martínez- Hernández*, José Luis Zaragoza-Ramírez y Enrique Cortés-Díaz

Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco km 38.5, C.P. 56250, Texcoco, Estado de México, México.

*Corresponding author: pmartinezh@chapingo.mx

SUMMARY

Background: Among the annual forage species, maize is the most used; under poor soil conditions and unfavorable weather conditions, maize rapidly reduces its capacity to produce forage; however, under these conditions its use continues to be common by farmers. For this reason, multiple alternatives have been studied that can improve forage production in the conditions and among these options there are alternative species such as sunflower forage. **Objective:** To analyze the growth of corn and sunflower, grown under temperate weather conditions, to increase the availability of forage per surface unit. **Methodology:** The study was conducted in Texcoco, Mexico. Four treatments were used, two maize cultivars (Cenzontle, and Costero), a cultivar of sunflower (x-2010) and an association between sunflower and maize cv Costero. Planting was carried out on June 18 at 2020, with a density of 130,000 pl ha⁻¹ in corn and 177,250 pl ha⁻¹ in sunflower. The experimental design corresponded to randomized blocks with four repetitions. Height, number of leaves of the plants, total intercepted radiation, fresh weight, and dry weight of the forage were measured for each plot. The data were analyzed with the statistical program R, through an ANOVA and comparison of means using the Tukey test. **Results:** With the help of statistical analysis, it was possible to identify that sunflower and the association between sunflower and corn cv Costero produced the highest yields of fresh forage and dry base. The height of the plants at the moment of greatest maturity was similar between the sunflower and the corn cv Cenzontle, which was around 236 cm. The total intercepted radiation measured on different days of growth was generally not different between the species on each day that it was measured, however, on the days that differences were found between the treatments, it was corn cv Cenzontle that registered the lowest total intercepted radiation. (p<0.05). **Implications:** The sunflower crop has similar characteristics to corn in terms of height and total intercepted radiation, but in terms of forage yield, this may be higher and therefore require less space to produce the amount commonly required. **Conclusion:** By analyzing the growth of sunflower and corn, it was possible to generate the necessary information to conclude that the forage yields of these species are adequate to be used as forage sources. In addition to the fact that sunflower can be an alternative to corn, due to its dry base forage yield.

Keywords: Annual forage, number of leaves, forage association, total intercepted radiation.

RESUMEN

Antecedentes: Entre las especies forrajeras anuales, el maíz es la más utilizada; en condiciones de suelos pobres y condiciones climatológicas desfavorables el maíz reduce drásticamente su capacidad de producir forraje, aunque en esas condiciones su uso sigue siendo común por los agricultores. Por ello se han estudiado múltiples alternativas que puedan mejorar la producción de forraje en las condiciones mencionadas y entre esas opciones está el girasol forrajero. **Objetivo:** Analizar el crecimiento de maíz y girasol como fuentes de forraje, cultivados en condiciones de temporal en clima templado, para incrementar la disponibilidad de forraje por unidad de superficie. **Metodología:** El estudio se realizó en Texcoco, México. Se utilizaron cuatro tratamientos, dos cultivares de maíz (Cenzontle y Costero), un cultivar de girasol (x-2010) y una asociación girasol-maíz Costero. La siembra se realizó el 18 de junio de 2020 a una densidad de 130,000 pl ha⁻¹ en el maíz y de 177,250 pl ha⁻¹ en el girasol. El diseño experimental correspondió a bloques al azar con cuatro repeticiones. A cada parcela se le midió altura, número de hojas de las plantas, radiación solar interceptada, peso fresco y peso seco del forraje. Los datos fueron analizados con el programa estadístico R, mediante un ANOVA y comparación de medias mediante la prueba de Tukey, y análisis de regresión con polinomios de segundo grado. **Resultados:** Con ayuda del análisis estadístico se pudo identificar que el girasol y la asociación girasol-maíz Costero se produjeron los mayores rendimientos de forraje base húmeda y base seca. La altura de las plantas al momento de mayor madurez fue similar entre el girasol y el maíz Cenzontle, que fue alrededor de 236 cm. La radiación total interceptada medida a diferentes días de crecimiento generalmente no fue diferente entre las especies en cada día que fue medida, sin embargo, en los días que se encontraron diferencias entre los tratamientos, fue el maíz cv Cenzontle quien registró la menor radiación total interceptada (p<0.05). **Implicaciones:** El cultivo de girasol presenta características similares al maíz en cuanto a altura y radiación total interceptada, pero en cuanto al rendimiento de forraje, este puede ser mayor y por tanto requerir menos espacio para producir la cantidad requerida. **Conclusión:** Al analizar el crecimiento del girasol y el maíz se pudo generar la información necesaria para concluir que los rendimientos de forraje de estas especies son adecuados para ser utilizados como fuentes de forraje. Además de que el girasol puede ser una alternativa al maíz, por su rendimiento de forraje en base seca.

Palabras clave: Forrajeras anuales, número de hojas, asociación de forraje, radiación total interceptada.

Introducción

La producción de forrajes ocurre en climas en cambio constante y frecuentemente en suelos degradados. Por su alto rendimiento y facilidad de conservación como ensilado, el maíz (*Zea mays* L.) es la especie más utilizada en las unidades de producción pecuaria e investigación (Freeman *et al.*, 2007; Sunaga *et al.*, 2015). El forraje de maíz tiene bajo contenido de proteína cruda (80 g kg⁻¹ MS), su rendimiento oscila de 2.9 a 27.7 t MS ha⁻¹, dependiendo principalmente de las condiciones edáficas y climáticas (Bhattarai *et al.*, 2020; Raskin *et al.*, 2017). A pesar de que el maíz en condiciones limitantes de fertilidad de suelos y bajas temperaturas produce baja cantidad de materia seca (MS), los productores lo consideran la principal alternativa para alimentar su ganado. De acuerdo con Ferreira *et al.* (2019) y Osuna-Ceja *et al.* (2015), las estrategias utilizadas para mejorar la producción de forraje en dichas condiciones son: el mejoramiento genético para mayor producción de forraje, resistencia a salinidad, mayor eficiencia en la utilización de recursos y el uso de plantas forrajeras alternativas que complementen al maíz, o que produzcan mayor cantidad de materia seca por unidad de superficie, mayor contenido de nutrientes como es proteína y energía, o que se puedan cosechar en menor tiempo.

Dentro de las especies alternativas para la alimentación de animales, el girasol (*Helianthus annuus* L.) es una planta con potencial forrajero que comienza a ser de interés, principalmente para ensilado. En algunas investigaciones como las de Aragadvay-Yungán *et al.* (2015), Barbosa *et al.* (2016), Gholami-Yangije *et al.* (2019) y Santos *et al.* (2020) se documentó que en condiciones edáficas y climáticas limitantes para el maíz, el girasol superó al maíz como fuente de forraje, al registrar un aporte de 22.2 t MS ha⁻¹, con 86 g kg⁻¹ MS de proteína cruda.

En el estudio de plantas forrajeras, el análisis de crecimiento es un método que permite estimar la producción o rendimiento de los cultivos y compararlos entre ellos (Hunt, 1982). Con el fin de evaluar el potencial de crecimiento de una planta o cultivo es preciso medir rendimiento de forraje en base seca, altura de plantas, diámetro del tallo, composición morfológica, duración del ciclo productivo, así como su composición nutrimental (Ferreira *et al.*, 2019; Santos *et al.*, 2020). Dado que algunos estudios han demostrado cierta variabilidad en la producción de materia seca en el girasol, de 2.2 a 25.9 t MS ha⁻¹ (Escalante-Estrada *et al.*, 2008; Mafakher *et al.*, 2010; Santos *et al.*, 2020), es importante determinar en condiciones de México el comportamiento de esta especie. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue analizar el crecimiento de maíz y girasol como fuentes de forraje, cultivados en condiciones de temporal en clima templado, para proveer de información sobre rendimientos potenciales de forraje por unidad de superficie.

Metodología

Localización

El experimento se realizó del 18 de junio al 03 de octubre de 2020 en Texcoco, Estado de México, ubicado en 19° 29' N, 98° 54' O, a una altitud de 2250 m. El clima es Cb(w_o)(w)(i)g, con medias anuales de 18.4 °C y 527.7 mm para temperatura y precipitación, respectivamente (INEGI, 2009).

Tratamientos

En el ensayo se compararon cuatro tratamientos: girasol cv X2010; maíz cv Cenzontle, ASGROW; maíz eco-tipo Costero; y, la asociación girasol-maíz Costero. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones, la parcela experimental (repetición) fue de 5 × 5.5 m para lograr seis surcos, la parcela útil fue de los tres surcos centrales y en el caso de la asociación girasol-maíz Costero fueron los cuatro surcos centrales (dos surcos de maíz y dos de girasol); el bloqueo fue por pendiente del terreno.

Gestión agronómica

Se sembró a 130,000 y 177,250 plantas ha⁻¹ para los maíces y girasol, respectivamente, en la asociación girasol-maíz Costero se mantuvieron estas densidades, pero en hileras alternas maíz-girasol. Previo a la siembra, se hizo una prueba de germinación para ajustar la cantidad de semilla y lograr la densidad establecida. La siembra fue en surcos a 80 cm de separación.

Luego de la siembra se hicieron dos escardas manuales para controlar el crecimiento de las especies espontáneas, se practicó fertilización nitrogenada con una dosis de 60 kg N ha⁻¹ y la aportación de agua fue por precipitación natural (cultivo de secano). La cosecha se realizó a los 107 días luego de la siembra (DDS) por haberse presentado una helada temprana, lo que finiquitó el crecimiento posterior de las especies en evaluación.

VARIABLES MEDIDAS Y CALCULADAS

Para determinar el desempeño agronómico de las especies forrajeras en evaluación se midió: rendimientos de forraje total y por componente, en base húmeda (RFBH) y base seca (RFBS); índice de cosecha (IC); razón hoja:tallo; altura de planta; hojas por planta; y radiación total interceptada (RTI). Las mediciones y estimaciones para RFBH, RFBS, IC y razón hoja:tallo se realizaron a los 107 DDS, momento en que se realizó la cosecha de

forraje. Las mediciones de altura de planta y número de hojas se realizaron a 31, 38, 47, 53, 59, 67, 74, 80, 87, 94 y 101 DDS. Las mediciones de RTI se realizaron a 31, 38, 47, 53, 59, 67, 74, 80 y 87 DDS.

Los rendimientos total y por componente morfológico se determinaron mediante el procedimiento siguiente: de la parcela útil se cortaron tres plantas a severidad de 5 cm; luego, se separaron en los componentes morfológicos tallo, hoja e inflorescencia. Los componentes fueron pesados antes y después de secado a 60 °C durante 72 h. Los pesos por componente se sumaron para generar rendimiento total. Para expresar estos pesos, total y por componente en kilogramo de forraje por hectárea, se aplicó la ecuación (1) derivada de la ecuación de Rahouma (2021).

$$RF = \left(\frac{p_1 + p_2 + p_3}{3} \right) \times (d) \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

RF = Rendimiento de forraje total y por componente, bases húmeda o seca (kg ha⁻¹)

p_{1,2,3} = Peso individual de tallo, hoja e inflorescencia por planta antes y después del secado (kg). El peso total se obtuvo a partir de la suma para cada planta de los pesos de los componentes. En el caso de la asociación se tomaron cuatro mediciones, correspondientes a dos del girasol y a dos del maíz Costero.

d = Densidad de plantas (pl ha⁻¹). En el caso de la asociación, la densidad de plantas correspondió al promedio de las dos especies, 130,000 y 177,250 para los maíces y girasol, respectivamente.

Para calcular el índice de cosecha (IC) se aplicó la ecuación (2), a partir de la ecuación de Cárdenas *et al.* (2019). En maíz las inflorescencias masculina y femenina se consideraron como producto de cosecha; para el girasol fue el capítulo.

$$IC = \left(\frac{\left(\frac{pInfBS_1}{ptotBS_1} \right) + \left(\frac{pInfBS_2}{ptotBS_2} \right) + \left(\frac{pInfBS_3}{ptotBS_3} \right)}{3} \right) \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

IC = Índice de cosecha, expresado como proporción del peso total de la planta

pInfBS_{1,2,3} = Peso base seca de las inflorescencias o capítulo de cada planta (kg). En el caso de la asociación se tomaron cuatro mediciones de las inflorescencias o capítulos, correspondientes a dos plantas del girasol y a dos plantas del maíz Costero.

ptotBS_{1,2,3} = Peso total en base seca de la planta (kg). En el caso de la asociación se tomaron cuatro mediciones, correspondientes a dos plantas del girasol y a dos plantas del maíz Costero.

La razón hoja:tallo se calculó con la aplicación de la ecuación (3), derivada de la que utilizó Liendo *et al.* (2019).

$$\text{Razón hoja:tallo} = \left(\frac{\left(\frac{phS_1}{ptBS_1} \right) + \left(\frac{phS_2}{ptBS_2} \right) + \left(\frac{phS_3}{ptBS_3} \right)}{3} \right) \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

Razón hoja:tallo expresada como proporción

phBS_{1,2,3} = Peso base seca de hojas por planta (kg). En el caso de la asociación se tomaron cuatro mediciones de las hojas, correspondientes a dos plantas del girasol y a dos plantas del maíz Costero.

ptBS_{1,2,3} = Peso base seca de tallo por planta (kg). En el caso de la asociación se tomaron cuatro mediciones de los tallos, correspondientes a dos plantas del girasol y a dos plantas del maíz Costero.

La altura de planta se midió del nivel del suelo a la máxima altura de cada planta y se calculó el promedio de las tres muestras. En el caso de la asociación, se tomaron cuatro mediciones, dos en las plantas del girasol y dos en las plantas del maíz Costero.

El número de hojas fue contabilizado en cada ocasión y correspondió a la cantidad de hojas verdaderas que presentó cada planta; los valores obtenidos de las tres muestras se promediaron para calcular la tasa de aparición de hojas. En el caso de la asociación, se tomaron cuatro mediciones, dos en las plantas del girasol y dos en las plantas del maíz Costero.

Para medir la radiación total interceptada (RTI) se utilizaron dos métodos: el primero consistió en colocar longitudinalmente por arriba del dosel vegetal un metro de madera graduado en 100 cm y contabilizar los cm iluminados o no sombreados (RTsd), después se colocó el mismo metro por debajo del dosel (a ras del suelo) y se contabilizaron los cm iluminados (RTad); El segundo método se realizó con el equipo AFF21-00 (Solar power meter, SM206-SOLAR, Made in China), midiendo la radiación total por arriba y abajo del dosel, en los mismos sitios que con el método de metro de madera y los valores obtenidos del equipo fueron registrados. Posteriormente se aplicó la ecuación (4), modificada de la ecuación para calcular radiación fotosintéticamente activa de Escalante-Estrada *et al.* (2015).

$$RTI(\%) = \left(\frac{\left(\frac{RTsd_1 - RTad_1}{RTsd_1} \right) + \left(\frac{RTsd_2 - RTad_2}{RTsd_2} \right) + \left(\frac{RTsd_3 - RTad_3}{RTsd_3} \right)}{3} \right) \times (100) \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

RTI (%) = radiación total interceptada (%)

RTsd_{1,2,3} = Radiación total sobre el dosel por sitio de muestreo. En el caso de la asociación se tomaron cuatro mediciones, dos sobre las plantas del girasol y dos sobre las plantas del maíz Costero.

RTad_{1,2,3} = Radiación total abajo del dosel por sitio de muestreo. En el caso de la asociación se tomaron cuatro mediciones, dos abajo de las plantas del girasol y dos abajo de las plantas del maíz Costero.

Análisis estadístico

La información de rendimiento de forraje BH y BS, IC, razón hoja:tallo, altura y RTI se analizó mediante análisis de varianza (ANOVA) y cuando se determinaron diferencias entre tratamientos se aplicó la comparación de medias mediante la prueba Tukey usando $p \leq 0.05$; en el caso de las variables altura y RTI, el ANOVA y la prueba de Tukey se realizó en cada día de medición. A la información del número de hojas se le aplicó un análisis de regresión con polinomios de segundo grado, para calcular la tasa de aparición de hojas de cada tratamiento. Ambos análisis se realizaron con el paquete estadístico R 3.4.4 (R, 2017).

Resultados

En cuanto a RFBH total, fue mayor en el girasol en monocultivo respecto a la asociación girasol-maíz Costero, el maíz Cenzontle y el maíz Costero en 45, 60 y 75 %, respectivamente (Cuadro 1). Para el componente tallo se obtuvo una tendencia similar que el RFBH total, siendo el girasol el de mayor rendimiento de forraje. Para los componentes hoja e inflorescencia (inflorescencias masculina y femenina en maíz, o capítulo en girasol) el RFBH fue diferente entre los tratamientos ($p < 0.05$); el girasol produjo mayor cantidad ($p < 0.05$) que el maíz Cenzontle y maíz Costero, en más de 22,707 y 19,803 kg ha⁻¹, para hoja e inflorescencia. Los maíces en monocultivo tuvieron producción similar de RFBH total y en cada componente morfológico ($p > 0.05$), mientras que entre el girasol y la asociación girasol-maíz Costero los rendimientos de forraje fueron similares en los componentes hoja e inflorescencia ($p > 0.05$).

Cuadro 1. Rendimiento de forraje en base húmeda (kg ha⁻¹) total y por componente morfológico de dos entradas de maíz, girasol y de la asociación girasol-maíz Costero a 107 días después de la siembra.

Cultivo	Rendimiento			
	Total	Tallo	Hoja	Inflorescencia
Maíz Cenzontle	84,321 ^b	38,560 ^b	9,759 ^{bc}	36,001 ^{bc}
Maíz Costero	53,243 ^b	27,560 ^b	5,255 ^c	20,427 ^c
Girasol	209,554 ^a	121,283 ^a	32,466 ^a	55,804 ^a
Girasol-maíz Costero	116,169 ^b	55,011 ^b	21,317 ^{ab}	38,941 ^{ab}

^{a,b,c} Medias en cada columna que comparten literal son estadísticamente similares ($p > 0.05$).

El rendimiento de forraje base seca (RFBS) se muestra en el Cuadro 2. Para RFBS total el girasol fue superior al menos en 15.4 t ha⁻¹ respecto a los demás tratamientos estudiados ($p < 0.05$) y no hubo diferencia entre los maíces ($p > 0.05$). El RFBS para tallo y hojas fue mayor en girasol ($p < 0.05$), en al menos 11.2 y 2.4 t ha⁻¹ que el resto de los cultivos, pero entre la asociación girasol-maíz Costero y los monocultivos de maíz no se observaron diferencias estadísticas ($p > 0.05$). El RFBS de las inflorescencias del girasol, la asociación girasol-maíz Costero y el maíz Cenzontle no presentaron diferencias ($p > 0.05$), únicamente la inflorescencia del girasol fue 4.4 t MS ha⁻¹ mayor que la del maíz Costero ($p < 0.05$). La asociación girasol-maíz Costero produjo RFBS similar en cada componente

morfológico respecto a las dos variedades de maíz utilizadas ($p>0.05$), pero en el RFBS total presentó mayor producción que el maíz Costero ($p<0.05$), 8.9 t ha^{-1} más de forraje.

Cuadro 2. Rendimiento de forraje en base seca (kg MS ha^{-1}) total y de sus componentes morfológicos de dos entradas de maíz, girasol y de la asociación girasol-maíz Costero a 107 días después de la siembra.

Cultivo	Rendimiento			
	Total	Tallo	Hoja	Inflorescencia
Maíz Cenzontle	18,579 ^{bc}	8,271 ^b	3,176 ^b	7,132 ^{ab}
Maíz Costero	12,459 ^c	5,243 ^b	2,968 ^b	4,249 ^b
Girasol	36,714 ^a	20,924 ^a	7,077 ^a	8,713 ^a
Girasol-maíz Costero	21,314 ^b	9,770 ^b	4,631 ^b	6,914 ^{ab}

^{a,b,c} Medias en cada columna que comparten literal son estadísticamente similares ($p>0.05$).

En el Cuadro 3 se muestra el índice de cosecha (IC) y la razón hoja: tallo de cada tratamiento. Para la variable de IC, el maíz Cenzontle, maíz Costero y el girasol asociado fueron mayores al del girasol ($p<0.05$), en 36, 29 y 29%, respectivamente. En tanto que el IC del girasol y el maíz Costero asociado no difirieron estadísticamente ($p>0.05$). En cuanto a la razón hoja:tallo, la mayor razón se observó en el maíz Costero de la asociación, y las menores fueron con maíz Cenzontle y girasol en monocultivo ($p<0.05$).

Cuadro 3. Índice de cosecha (IC) y razón hoja:tallo en plantas de maíz y girasol a 107 días después de la siembra.

Cultivo	IC	Hoja:tallo
Maíz Cenzontle	0.38 ^a	0.38 ^{cd}
Maíz Costero	0.34 ^a	0.57 ^b
Girasol	0.24 ^b	0.34 ^d
Maíz Costero Asoc.	0.18 ^b	0.67 ^a
Girasol Asociado	0.34 ^a	0.45 ^c

^{a,b,c} Medias en cada columna que comparten literal son estadísticamente similares ($p>0.05$).

La altura de las plantas de girasol y maíz varió de 24.8 a 250 cm (Cuadro 4). En los primeros 31 DDS el maíz Cenzontle, girasol en monocultivo y el girasol asociado presentaron semejante altura ($p>0.05$), pero mayor altura que el maíz Costero asociado ($p<0.05$), en 10.2, 7.9 y 6.7 cm, respectivamente. Después, a los 47 DDS el girasol fue el de mayor altura ($p<0.05$), principalmente que los maíces, en al menos 21.2 cm. A 74 y 87 DDS el girasol en monocultivo y asociado presentaron similar altura al maíz Cenzontle y mayor al maíz Costero ($p<0.05$), en 78 cm a los 74 DDS y 67 cm a los 87 DDS. A los 101 DDS el maíz Cenzontle fue el de mayor altura, respecto a al maíz costero, maíz Costero asociado y al girasol asociado (en 70, 88 y 63 cm, respectivamente), pero semejante al girasol en monocultivo ($p>0.05$). Por su parte, el maíz Costero, siempre tuvo las menores alturas, con 24.8, 62.4, 97.5, 134.0, 156.0 y 162.0 cm a los 31, 47, 59, 74, 87 y 101 DDS (Cuadro 4). Los cultivos asociados (girasol, maíz Costero) presentaron alturas semejantes a sus especies sembradas en monocultivo ($p>0.05$), esto indica que para estas especies y cultivares utilizados no se ven afectados en altura al utilizarse en asociación de cultivos.

Cuadro 4. Altura (cm) de las plantas de girasol y dos variedades de maíz a diferentes días después de la siembra.

Cultivo	Días después de la siembra					
	31	47	59	74	87	101
Maíz Cenzontle	35.0 ^a	89.8 ^b	104 ^b	193 ^a	246 ^a	250 ^a
Maíz Costero	27.7 ^b	69.4 ^c	103 ^b	146 ^b	173 ^b	180 ^{bc}
Girasol	32.7 ^{ab}	111 ^a	168 ^a	224 ^a	240 ^a	222 ^{ab}
Maíz Costero Asoc.	24.8 ^c	62.4 ^c	97.5 ^b	134 ^b	156 ^b	162 ^c
Girasol Asociado	31.5 ^{ab}	99.8 ^{ab}	156 ^a	213 ^a	225 ^a	187 ^b

^{a,b,c} Medias en cada columna que comparten literal son estadísticamente similares ($p>0.05$).

La Figura 1 muestra el número de hojas que presentaron las plantas de los cuatro tratamientos evaluados durante el periodo de estudio, en donde se observó que a 31 DDS las plantas ya se encontraban con ocho hojas para el girasol y seis hojas en los maíces, aproximadamente. En cuanto a la tasa de aparición de hojas se observó que el girasol produjo hojas más rápidamente, de acuerdo con las ecuaciones de la Figura 1, produjo 1.44 hojas d⁻¹ por planta, mientras que el maíz Costero produjo 0.28 hojas d⁻¹ por planta y el maíz Cenzontle produjo 0.26 hojas d⁻¹ por planta. De acuerdo con este estudio, los maíces produjeron de 13 a 14 hojas verdaderas durante su crecimiento, mientras que el girasol produjo de 35 a 36 hojas.

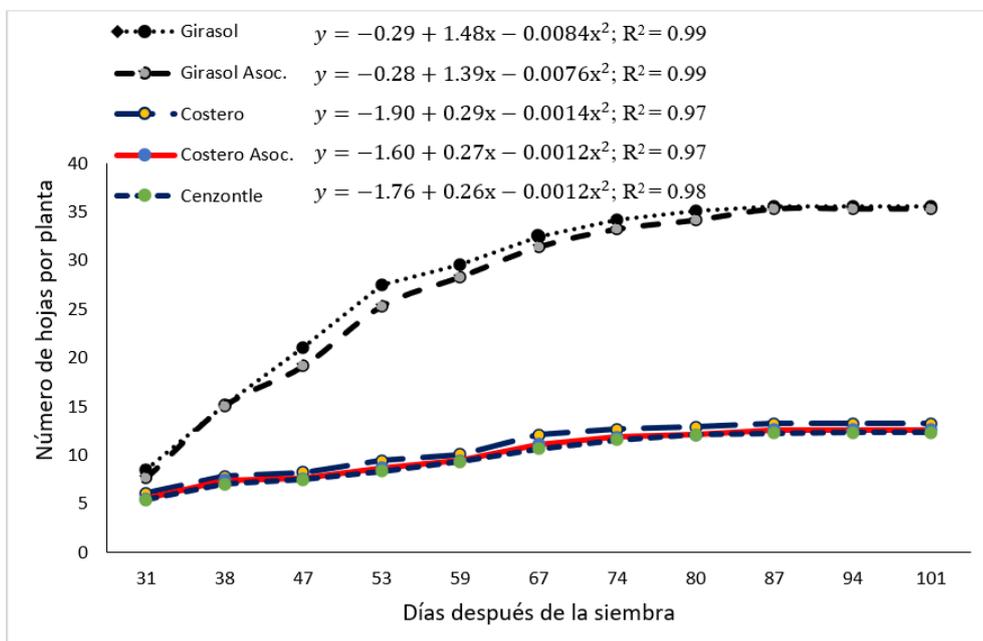


Figura 1. Número de hojas en plantas de dos entradas de maíz, girasol y plantas de la asociación girasol-maíz Costero, cultivadas en Texcoco, México.

La Figura 2 muestra la RTI medida con el metro de madera, donde se observa que el girasol inicia con mayor interceptación de radiación al día 31, respecto a los cultivos de maíz y a la asociación girasol-maíz Costero ($p < 0.05$). Posteriormente al día 47 solo fue superior a los maíces ($p < 0.05$). Al día 59 la única diferencia en la RTI fue entre el girasol en monocultivo y el maíz Cenzontle. Posteriormente, a 74 y 87 d la RTI no varió entre los cuatro tratamientos ($p > 0.05$). El girasol, alcanzó una máxima RTI al día 47 (DDS), después, debido al peso del capítulo, el tallo se inclinó aleatoriamente y cambió la posición de sus hojas dejando que la radiación penetrara en mayor magnitud al suelo. Por su parte, el maíz inicia con baja RTI y va en aumento hasta los 74 DDS, cuando inicia su etapa reproductiva y detiene la aparición de hojas. Ambas especies incrementan la RTI (%) conforme incrementan en edad, hasta un punto máximo en donde se detiene y posteriormente tiende a disminuir.

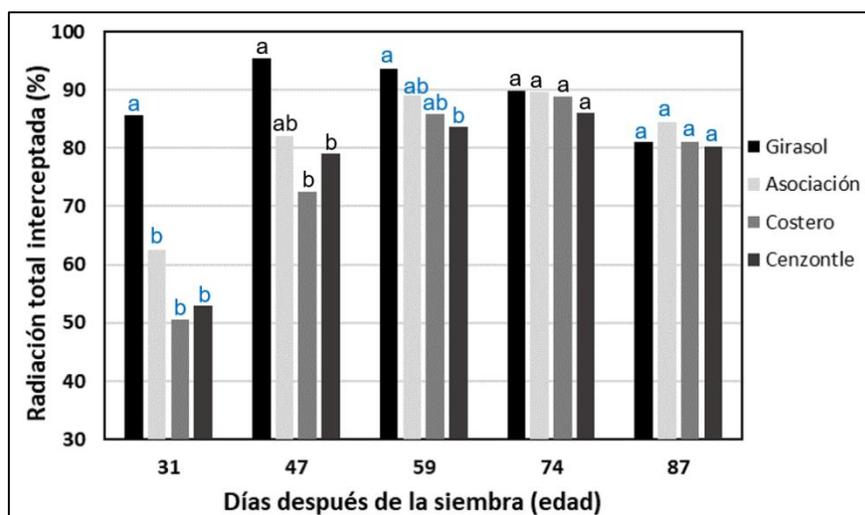


Figura 2. Radiación total interceptada por las plantas de dos entradas de maíz, girasol y las plantas de la asociación girasol-maíz Costero, medida con el método de metro de madera. Barras en un mismo día con letras en común, son semejantes ($p > 0.05$).

La Figura 3 muestra la RTI medida con el equipo AFF21-00, donde se observa que las especies tienen una tendencia general similar, a los 47 DDS la cobertura del dosel intercepta más del 77% de radiación total que llega al dosel vegetal y continúan hasta cerca del 90% de intercepción a 87 DDS. Únicamente el maíz Cenzontle tuvo menor RTI respecto al girasol a los 31, 74 y 87 DDS ($p < 0.05$).

A los 57 días se presentó una granizada que afectó gravemente las láminas foliares de los maíces y en el caso de girasol, afectó láminas foliares y tallos. Las especies con mayor altura en ese momento fueron las más afectadas (girasol y maíz Cenzontle). Se observó que el maíz Cenzontle, debido a la posición de sus hojas fue el que recibió un daño más agudo, de modo que permaneció como la especie con menor intercepción de radiación solar a los 74 y 87 DDS.

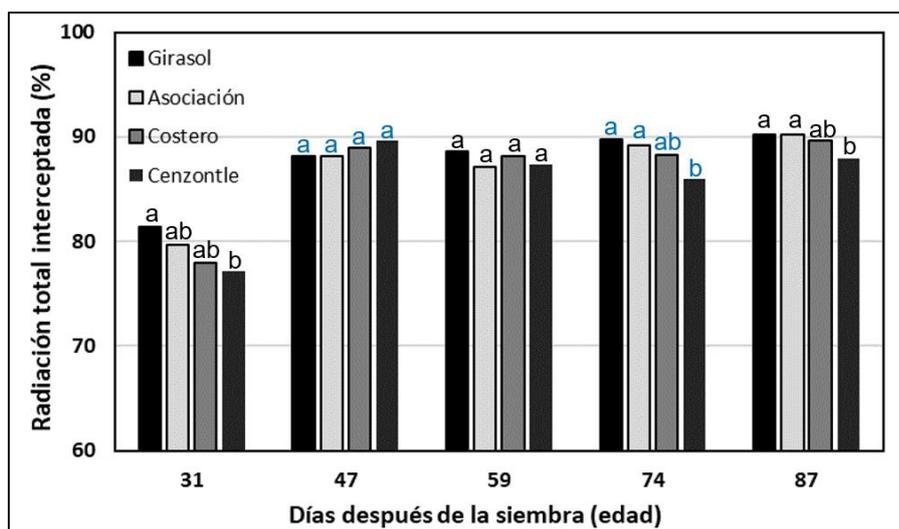


Figura 3. Radiación total interceptada por las plantas de dos entradas de maíz, girasol y las plantas de la asociación girasol-maíz Costero, medida con el equipo AF21-00. Barras en un mismo día con letras en común, son semejantes ($p > 0.05$).

Discusión

El RFBS total del maíz en el presente estudio fue de 18.5 y 12.4 t MS ha⁻¹, para los cv. Cenzontle y Costero, respectivamente. En estudios recientes como el de Ayvar-Serna *et al.* (2020), se han registrado rendimientos máximo y mínimo de 20.7 y 15.1 t MS ha⁻¹, similares a este estudio. Bhattarai *et al.* (2020) registraron 26.7 y 27.7 t ha⁻¹ para 2018 y 2019, respectivamente, estos rendimientos superaron el rendimiento máximo del presente estudio en más de 8.2 t MS ha⁻¹. Estas diferencias entre estudios se pueden explicar por la diferente densidad de plantas por hectárea utilizadas en cada estudio (Cañadas *et al.*, 2016), a los genotipos utilizados, a la fertilización realizada (Ayvar-Serna *et al.*, 2020), e inclusive el año de experimentación influye en el rendimiento de forraje del maíz (Bhattarai *et al.*, 2020).

El RFBS que produjo el girasol en la presente investigación resultó mayor que la obtenida en estudios previos, p. ej. 18.7 t MS ha⁻¹ más que Abu *et al.* (2018) quienes utilizaron una densidad de siembra de 28,566 pl ha⁻¹, 28.3 t MS ha⁻¹ más a la reportado por Souza *et al.* (2019) quienes utilizaron 280,000 pl ha⁻¹ e inclusive más de 30 t de lo reportado por Vega *et al.* (2001), quienes utilizaron 114,000 pl ha⁻¹. Mientras que la densidad utilizada en este estudio fue de 177,250 pl ha⁻¹. A partir de estos estudios observados se puede inferir que la densidad de siembra no siempre explica la variabilidad en la producción de forraje, dado que en estudios con bajas densidades se observaron altos rendimientos y en estudios con altas densidades la producción de forraje no ha sido la más alta. Al respecto, Escalante-Estrada *et al.* (2008) concluyeron que las diferencias son principalmente causadas por la diferente densidad de siembra y la interacción de esta con las condiciones edafoclimáticas del sitio en donde se establecen los cultivos. Por otro lado, Rahouma (2021) mencionó que la relación entre peso por planta y densidad tiende a un equilibrio en el rendimiento de forraje por unidad de superficie, a bajas densidades las plantas acumulan mayor peso y a altas densidades el peso por planta es menor, pero es compensado por la cantidad de plantas.

En cuanto al RFBS de los componentes morfológicos del girasol, se registró que 7.1 y 20.9 t MS ha⁻¹ fue lo acumulado en hojas y tallos al sembrarse en monocultivo, cantidades superiores a las 2.6 y 3.8 t MS ha⁻¹ registrado por Escalante-Estrada *et al.* (2008) para los mismos componentes, y superior a los 1000 y 1800 kg MS ha⁻¹ registrados por Souza *et al.* (2019) para hoja y tallo. La cantidad de estos componentes morfológicos que producen las plantas pueden comprometer la calidad del forraje que se ofrece para la alimentación de rumiantes, dado que

altas cantidades de tallo promueven la proporción de fibra y por tanto comprometen su digestibilidad (Sousa *et al.*, 2019).

La altura máxima registrada en el maíz fue de 250 cm con el cv Cenzontle, 30 cm superior a lo reportado por Bhattarai *et al.* (2020). Sin embargo, Collazos *et al.* (2018) reportaron que, en cuatro variedades de maíz, la altura varió de 220.87 a 264.52 cm, lo cual coincide con los resultados obtenidos en la presente investigación. Es relevante mencionar que el cv Cenzontle alcanzó su altura máxima a los 101 DDS, 59 d antes que el estudio de Collazos *et al.* (2018), quienes cosecharon a 160 DDS. En cuanto al girasol, Santos *et al.* (2016) reportaron altura de plantas de 28.7, 184.5 y 194.0 cm a 30, 60 y 90 DDS, sin diferencias ($p>0.05$) al cultivarse en monocultivo o en asociación, mientras que en el presente trabajo se encontró mayor altura, 32.7, 168 y 240 cm, para 31, 59 y 94 DDS, también sin diferencias significativas ($p>0.05$) entre girasol en monocultivo y al asociarse a maíz. Régis *et al.* (2015) registraron que en su estudio la altura máxima fue de 119 cm a los 105 DDS, mientras que la máxima altura de las plantas registrada en la presente investigación fue de 222 cm a una edad similar. Estas diferencias entre los estudios se deben a diferentes factores, entre los más conocidos son el cultivar utilizado, la época en que se cultiva y la interacción entre ellos (Capone *et al.*, 2011).

En cuanto al número de hojas, Collazos *et al.* (2018) determinaron que en maíz la producción máxima de hojas es de 12 a 13 por planta, lo cual concuerda con el promedio de hojas encontrado en el presente estudio (12.8). Ayvar-Serna *et al.* (2020) también informaron que, para algunas variedades de maíz, la cantidad de hojas por planta varía de 12.7 a 14.3. Estos autores concluyen con que la cantidad de hojas producidas depende de la variedad utilizada principalmente, ya que la fertilización no promueve mayor producción de estas. El número de hojas del girasol a 30, 60 y 90 DDS fue de 8, 28 y 36 hojas, respectivamente, lo cual coincide con lo reportado por Santos *et al.* (2016) para los primeros 30 d, pero fue mayor la cantidad de hojas a los 60 y 90 d respecto al mismo estudio (21.26 y 19.46 hojas). Abu *et al.* (2018) encontraron que la cantidad de hojas total que pudieron producir las plantas fue de 20.8 a 21.8 y atribuyen esta variación en el número de hojas entre cultivares a la genética de cada cultivar; esto es reafirmado por Melnyk *et al.* (2020) quienes concluyen que el número de hojas responde a la variedad. Cabe mencionar que la cantidad de hojas de cada especie es un mecanismo propio como estrategia de crecimiento y aprovechamiento de los recursos; en el caso del girasol incrementa la cantidad de hojas para compensar el tamaño de estas y en el caso del maíz incrementa el tamaño de las hojas para compensar el número reducido de hojas que posee.

La radiación total interceptada se midió con el equipo AF21-00 y se registró un rango de 79 a 83% en el girasol a los 31 DDS y posteriormente, del día 47 al 87 la RTI se mantuvo aproximadamente a 90%. De acuerdo con Rachidi *et al.* (1993), al cultivar el girasol con 59,000 pl ha⁻¹, registraron 40 % de la RTI a los 35 DDS, continuando con un crecimiento exponencial hasta 92% a 55 DDS, que posteriormente se mantuvo y comenzó a disminuir hasta 80% a los 95 DDS. En el caso del maíz, Albino-Garduño *et al.* (2015) registraron que las plantas de este cultivo interceptaron 58.7, 81.7 y 91.7 % de la radiación total incidente en el cultivo, a los 57, 78 y 111 DDS, y posteriormente disminuyó al día 141 (86.7%). Mientras que, en el presente estudio, la RTI al día 31 se encontró entre 77 y 78%, posteriormente se mantuvo entre 87 y 89.5%. Otro estudio realizado por Liu *et al.* (2017) reportaron que el maíz a 25 DDS registró 10 % de intercepción que fue en incremento hasta el 95% a los 78 DDS y después disminuyó a 80% a los 100 DDS. Por otra parte, Andrade (1995) estudió ambos cultivos y observó que se comportaron de manera similar; la intercepción aumenta rápidamente hasta el día 65, con cerca de 100% de la radiación total interceptada, luego tendieron a disminuir esa intercepción, el girasol comenzó a disminuir hasta 40% a 110 DDS, mientras que el maíz se mantuvo constante hasta 100 DDS, a partir de ahí disminuyó hasta 80% a los 130 DDS. De acuerdo con Albino-Garduño *et al.* (2015), el comportamiento del maíz en cuanto a la RTI se debió a la altura y estructura del dosel que posee.

Conclusiones

Los rendimientos de forraje de las especies de maíz y girasol son adecuados para ser utilizados fuentes de forraje. Además, el girasol puede ser una alternativa al maíz, ya que sus características de crecimiento en rendimiento de forraje a base seca total y por componente morfológico fueron superiores.

Acknowledgments

Universidad Autónoma Chapingo and Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

Funding

CONACyT

Conflict of interest

The authors do not have any conflict of interest.

Compliance with ethical standards

Not applicable to this study.

Author contribution statement

F. J. González-Reyes – Resources, writing-review & editing., P. A. Martínez- Hernández – Conceptualization, writing-review & editing., J. L. Zaragoza-Ramírez – Resources, validation., E. Cortés-Díaz – Resources, supervision.

Literatura citada

- Abu Obaid, A. M., Melnyk, A. V., Onychko, V. I., Usmael, F. M., Abdullah, M. J., Rifae, M. K., & Tawaha, A. M. (2018). Evaluation of six sunflower cultivar for forage productivity under salinity condition. *Advances in Environmental Biology*, 12(7): 13-15. <http://dx.doi.org/10.22587/aeb.2018.12.7.3>
- Albino-Garduño, R., Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J. I., Livera-Muñoz, M., & Mendoza-Castillo, M. C. (2015). Distribución de raíces y de radiación solar en el dosel de maíz y frijol intercalados. *Agrociencia*, 49(5), 513-531. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v49n5/v49n5a4.pdf>
- Andrade, F. H. (1995). Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Research*, 41(1), 1–12. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)00107-N](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)00107-N)
- Aragadvay-Yungán, R. G., Rayas A., A. A., Heredia-Nava, D., Estrada-Flores, J. G., Martínez-Castañeda, F. E., & Arriaga-Jordán, C. M. (2015). Evaluación in vitro del ensilaje de girasol (*Helianthus annuus* L.) solo y combinado con ensilaje de Maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 6: 315-327. DOI: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v6i3.4094>
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M. A., & Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de Maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Revista Terra Latinoamericana*, 38(1), 9-16. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>
- Barbosa, C. D., Pinho, K. D. C., Pereira, I. de O., da Costa, E. S., Fonseca, R. R. G. C., Guerra, A. da S., Guarnieri, A., & Torres, J. da S. (2016). Production and nutritional characteristics of sunflowers and Paiaguas palisadegrass under different forage systems in the off season. *Bioscience Journal*, 32(2), 460-470. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163159313>
- Bhattarai, B., Singh, S., West, C. P., Ritchie, G. L., & Trostle, C. L. (2020). Effect of deficit irrigation on physiology and forage yield of forage sorghum, pearl millet, and corn. *Crop Science*, 60:2167–2179. <https://doi.org/10.1002/csc2.20171>
- Cañadas, Á., Molina, C., Rade, D., & Fernández, F. (2016). Interacción época/densidad de siembra sobre la producción de ocho híbridos de Maíz forrajeros, Ecuador. *Revista MVZ Córdoba*, 21(1). <https://www.redalyc.org/journal/693/69343172003/>
- Capone, A., Barros, H. B., Santos, E. R., Santos, A. F., Ferraz, E. C., & Fidelis, R. R. (2011). Épocas de semeadura de girassol safrinha após milho, em plantio direto no cerrado tocantinense. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 6(3), 460-466. <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i3a1151>
- Cárdenas V., B., Escalante E., J. A. S., & Rodríguez G., M. T. (2019). Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y radiación interceptada en ajo en función del nitrógeno, en clima templado. *Terra Latinoamericana*, 37(3), 223-230. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.424>
- Collazos S., R., Chavez, J. C. N., Huamán, E. H., & Contreras, L. D. P. J. (2018). Cultivo de Maíz forrajero (*Zea mays* L.) en el distrito de Molinopampa-Chachapoyas-Amazonas. *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable*, 2(3), 23-29. <http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDESDOS/article/view/400>
- Escalante-Estrada, J. A., Rodríguez-González, M. T., & Escalante-Estrada, Y. I. (2015). Nitrógeno, distancia entre surcos, rendimiento y productividad del agua en dos cultivares de frijol. *Bioagro*, 27(2), 75-82. <http://ve.scielo.org/pdf/ba/v27n2/art03.pdf>
- Escalante-Estrada, L. E., Estrada, Y. I. E., & Linzaga-Elizalde, C. (2008). Densidad de siembra del girasol forrajero. *Agronomía costarricense: Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 177-182. <https://www.redalyc.org/pdf/436/43632213.pdf>
- Ferreira, D.S. W., Costa, K. A. D. P., Guarnieri, A., Severiano, E. D. C., Silva, J. T. D., Teixeira, D. A. A., Oliveira, S. S., & Dias, M. B. D. C. (2019). Production and quality of the silage of corn intercropped with Paiaguas palisadegrass in different forage systems and maturity stages. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48. <https://doi.org/10.1590/rbz4820180222>
- Freeman, K. W., Girma, K., Arnall, D. B., Mullen, R. W., Martin, K. L., Teal, R. K., & Raun, W. R. (2007). By□ plant prediction of corn forage biomass and nitrogen uptake at various growth stages using remote sensing and plant height. *Agronomy Journal*, 99(2), 530-536. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0135>

- Gholami-Yangije, A., Pirmohammadi, R., & Khalilvandi-Behroozyar, H. (2019). The potential of sunflower (*Helianthus annuus*) residue silage as a forage source in Mohabadi dairy goats. *In Veterinary Research Forum* (Vol. 10, No. 1, pp. 59-65). Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University. <https://doi.org/10.30466/vrf.2019.34318>
- Hunt, R. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold publishers. London, England. 248 p. https://books.google.com.mx/books?id=99HwPgAACAAJ&hl=es&source=gbs_book_other_versions
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Texcoco, México. <http://www3.inegi.org.mx>.
- Liendo, M. E., Coletti, A. A., Olea, L. E., Alegre, A., Suarez, L., Guérineau, M., Martín, G. O., & Toll Vera, J. R. (2019). Relación hoja-tallo en el estado fenológico de floración, en gramíneas naturales y cultivadas del chaco occidental semiárido del departamento trancas, Tucumán, Argentina. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 39(1), 45-51. <http://www.scielo.org.ar/pdf/ranar/v39n1/v39n1a05.pdf>
- Liu, X., Rahman, T., Yang, F., Song, C., Yong, T., Liu, J., Zhang, C., & Yang, W. (2017). PAR Interception and Utilization in Different Maize and Soybean Intercropping Patterns. *PLoS*, 12(1): e0169218. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169218>
- Mafakher, E., Meskarbashee, M., Hassibi, P., & Mashayekhi, M. R. (2010). Evaluation of sunflower silage in different developmental stages. *Asian Journal of Crop Science*, 2(1), 20-24. <https://scialert.net/abstract/?doi=ajcs.2010.20.24>
- Melnyk, A., Akuaku, J., Melnyk, T., & Makarchuk, A. (2020). Influence of photosynthetic apparatus on the productivity of high-oleic sunflower depending on climatic conditions in the left-bank forest-steppe of Ukraine. *Bulgarian Journal of Agriculture Science*, 26, 800-808. <http://www.agrojournal.org/26/04-14.pdf>
- Osuna-Ceja, E. S., Arias-Chávez, L. E., Núñez-Hernández, G., & González Castañeda, F. (2015). Producción de forrajes de temporal con estiércol bovino y captación de agua en siembra a triple hilera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1743-1756. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i8.492>
- R Core Team 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Rachidi, F., Kirkham, M. B., Stone, L. R., & Kanemasu, E. T. 1993. Use of Photosynthetically Active Radiation by Sunflower and Sorghum. *European Journal of Agronomy*, 2(2), 131-139. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(14\)80143-3](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(14)80143-3)
- Rahouma, M. A. (2021). Effect of plant density on silage yield and quality of some maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Alexandria Science Exchange Journal*, 42(1), 89-94. <https://dx.doi.org/10.21608/asejaiqjsae.2021.151909>
- Raskin, D., Wells, M. S., Grossman, J. M., Coulter, J. A., & Sheaffer, C. C. (2017). Yield and Economic Potential of Spring-Planted, Pea-Barley Forage in Short-Season Corn Double-Crop Systems. *Agronomy Journal*, 109(6), 2486-2498. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.01.0029>
- Régis, Fábio, D. S., Silva, I. M. D., Pellin, D. M. P., Bergamin, A. C., & Silva, R. P. D. (2015). Características agronômicas do cultivo de girassol consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. *Revista Ciência Agronômica*, 46(1), 110-116. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902015000100013>
- Santos, C. B. D., Costa, K. A. D. P., Souza, W. F. D., Oliveira, I. P. D., Teixeira, D. A. A., & Costa, J. V. C. P. (2020). Production and quality of sunflower and Paiaguas palisadegrass silage in monocropped and intercropping in different forage systems. *Acta Scientiarum, Animal Sciences*, 42. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v42i1.48304>
- Santos, C. B., Costa, K. D. P., de Oliveira, I. P., Severiano, E. D. C., Costa, R. R. G. F., da Silva, A. G., Guarnieri, A., & da Silva, J. T. (2016). Production and nutritional characteristics of sunflowers and Paiaguas palisadegrass under different forage systems in the off season. *Bioscience Journal*, 32(2), 460-470. <https://doi.org/10.14393/BJ-v32n2a2016-29753>
- Sousa, D. A., Edvan, R. L., Nascimento, R. R. D., Bezerra, L. R., Araújo, M. J., Silva, A. L. D., Diogénes, L. V., & Oliveira, R. L. D. (2019). Sesame production and composition compared with conventional forages. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79(4), 586-595. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392019000400586>

- Sunaga, Y., Harada, H., & Kawachi, T. (2015). Potassium fertilization and soil diagnostic criteria for forage corn (*Zea mays* L.) production contributing to lower potassium input in regional fertilizer recommendation. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(6), 957-971. <https://doi.org/10.1080/00380768.2015.1086957>
- Vega, M., R., Estrada, J. A. E., García, P. S., Ayala, C. R., & Adame, E. C. (2001). Asignación de biomasa y rendimiento de girasol con relación al nitrógeno y densidad de población. *Terra Latinoamericana*, 19(1), 75-81. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319109.pdf>

ORCID

F.J. González-Reyes: <https://orcid.org/0000-0002-1429-0331>

P.A. Martínez- Hernández: <https://orcid.org/0000-0003-2197-3736>

J.L. Zaragoza-Ramírez: <https://orcid.org/0000-0002-1478-004X>

E. Cortés-Díaz: <https://orcid.org/0000-0003-1676-0402>

5. CONCLUSIONES GENERALES

La estacionalidad en la oferta de forraje a partir de especies perennes origina efectos negativos en la disponibilidad de forraje y en los parámetros productivos de los rumiantes, por lo que se deben siempre validar alternativas que complementen y superen el problema de la variación en la disponibilidad de forraje en los sistemas basados en aprovechamiento de forrajeras perennes mediante apacentamiento. Dentro de las estrategias de apoyo para complementar la alimentación de rumiantes en pastoreo, el uso de forrajeras anuales es una estrategia viable que permite la persistencia y productividad de las praderas, y fomenta el máximo comportamiento productivo de los rumiantes.

Las especies forrajeras anuales como el maíz, sorgo y girasol permiten disponer de altas cantidades de forraje con la calidad deseada al producirse bajo una gestión agronómica adecuada a cada especie. El girasol para uso forrajero ha sido poco estudiado, sin embargo, la información sobre las mejores prácticas agronómicas en este cultivo con otro destino distinto al forraje pueden ser la base de nuevas investigaciones en este cultivo.

El maíz y el girasol presentaron alto rendimiento de forraje, lo cual permitió corroborar en el caso del maíz y sugerir en el caso del girasol, que son dos especies con potencial para ser utilizados como forrajes conservados mediante el ensilado e incluirse en la alimentación de rumiantes.