



PRODUCTIVIDAD DE MAÍZ, SORGO, AVENA Y GIRASOL EN TEMPORAL EN CLIMA SEMISECO DE MÉXICO

PRODUCTIVITY OF RAINFED CORN, SORGHUM, OATS AND SUNFLOWER IN THE SEMI-DRY CLIMATE OF MEXICO

**Fidel Villagrana-Soto^{1a}, Héctor Gutiérrez-Bañuelos^{1b*}, Francisco Guadalupe Echavarría-Cháirez^{2a},
Ricardo Alonso Sánchez-Gutiérrez^{2b}, Daniel García-Cervantes^{1c}, Alejandro Espinoza-Canales^{1d},
Luis Cuauhtemoc Muñoz-Salas^{1e}, Carlos Enrique Aguirre-Calderón³ y Javier Martínez-Gómez⁴**

^{1a} Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas”, Carretera Zacatecas-Fresnillo km 31.5, General Enrique Estrada, 98500 Zacatecas, México

<https://orcid.org/0000-0006-9254-6060>

^{1b} Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas”, Carretera Zacatecas-Fresnillo km 31.5, General Enrique Estrada, 98500 Zacatecas, México

<https://orcid.org/0000-0002-9204-4291>

^{1c} Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas”, Carretera Zacatecas-Fresnillo km 31.5, General Enrique Estrada, 98500 Zacatecas, México

<https://orcid.org/0000-0002-8988-621X>

^{1d} Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas”, Carretera Zacatecas-Fresnillo km 31.5, General Enrique Estrada, 98500 Zacatecas, México

<https://orcid.org/0000-0002-5031-4791>

^{1e} Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Zacatecas “Francisco García Salinas”, Carretera Zacatecas-Fresnillo km 31.5, General Enrique Estrada, 98500 Zacatecas, México

<https://orcid.org/0000-0002-6561-7111>

^{2a} Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental Zacatecas. Carretera Zacatecas-Fresnillo km 24.5, Calera de Víctor Rosales, 98500 Zacatecas, México

<https://orcid.org/0000-0002-4910-5677>

^{2b} Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental Zacatecas. Carretera Zacatecas-Fresnillo km 24.5, Calera de Víctor Rosales, 98500 Zacatecas, México

<https://orcid.org/0000-0003-4113-2520>

³ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de El Salto, Calle Tecnológico 101. Col. La Forestal, El Salto, 34942 Durango, México

<https://orcid.org/0000-0003-4226-359X>

⁴ Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No 167. Camino a Agua Fría km 1 Valparaíso, 99200 Zacatecas, México

<https://orcid.org/0009-0007-7587-4262>

* Autor de correspondencia: hgutierrez@uaz.edu.mx

RESUMEN

La evaluación productiva y bromatológica de especies forrajeras de temporal en climas semisecos es esencial para la toma de decisiones de agricultores y el mantenimiento de los sistemas mixtos de producción. El objetivo de este estudio fue evaluar las características agronómicas y bromatológicas de maíz, sorgo, avena y girasol de temporal en clima semiseco de México. Las siembras se realizaron durante el 2021 y 2022. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en donde las variables evaluadas fueron altura de planta (AP), materia seca (MS), forraje seco (FS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS). Todas las variables presentaron diferencias significativas. El sorgo presentó mayor AP (2,67 m) y FS (12,1 t ha⁻¹) que el maíz, girasol y avena que promediaron AP 2,36, 2,15, y 1,27; y FS 9,63, 6,14, y 4,14, respectivamente. La PC (%) fue mayor en el girasol que promedió 12,82, seguido de la avena (9,2), maíz (7,5) y el sorgo (5,7). La FDN fue menor en girasol, promediando 41%. El sorgo promedió 25% más rendimiento t ha⁻¹ que el maíz, y presentó un ciclo de dos años por rebrote, disminuyendo prácticas agronómicas. El girasol generó 70% más PC que el maíz, lo cual lo hace una opción para aumentar el valor nutricional de los forrajes.

Palabras clave: Temporal, cultivos alternativos, rendimiento, calidad forrajera, sequía.

ABSTRACT

The productive and bromatological evaluation of rainfed forage species in semi-dry climates is essential for farmers' decision-making and the maintenance of mixed production systems. The objective of this study was to evaluate the agronomic and bromatological characteristics of rainfed corn, sorghum, oats, and sunflower in the semi-dry climate of Mexico. Plantings were carried out during 2021 and 2022. A randomized complete block design with four repetitions was used, where the variables evaluated were plant height (AP), dry matter (MS), dry forage (FS), crude protein (PC), neutral detergent fiber (FDN) and *in vitro* digestibility (DIVMS). All variables presented significant differences. Sorghum presented higher AP (2.67 m) and FS (12.1 t ha⁻¹) than corn, sunflower, and oats, which averaged AP values of 2.36, 2.15, and 1.27; and FS values of 9.63, 6.14, and 4.14, respectively. Sunflower recorded the highest PC (%), which averaged 12.82, followed by oats (9.2), corn (7.5), and sorghum (5.7). FDN was lower in sunflower, averaging 41%. Sorghum averaged 25% more t ha⁻¹ yield than corn and presented a two-year regrowth cycle, reducing agronomic practices. Sunflower generated 70 % more PC than corn, and thus constitutes an option for increasing the nutritional value of forages.

Keywords: Rainfed, alternative crops, yield, forage quality, drought.

INTRODUCCIÓN

La producción de forrajes es importante en sistemas de producción ganaderos mixtos, donde se practica la ganadería y la agricultura en la misma unidad de producción. En estos sistemas, el ganado en pastoreo es suplementado y complementado con forrajes cultivados y residuos de cosechas (FAO, 2014). Los sistemas de producción mixtos son vulnerables a la escasez de forrajes, están siendo limitados por la sequía, dado por la alta demanda de agua requerida para sus procesos (Valdés-Rodríguez, 2022), lo cual se ve reflejado en una reducción significativa en la producción agrícola y una baja disponibilidad de forraje para el ganado. Lo anterior, impacta en la salud de los animales, produciendo desnutrición y bajos parámetros reproductivos, y limitada competitividad de los sistemas ganaderos en los

mercados (Aréchiga et al., 2008). Los sistemas mixtos en México se caracterizan por sobrecarga animal y baja calidad del pasto, sobre todo en épocas de estiaje y sequía; lo que ocasiona graves problemas, como un aumento en la erosión, sobrepastoreo, desertificación, disminución en los parámetros de producción del ganado e inclusive la muerte de los animales (López Reyes et al., 2009).

México es un país con vocación agrícola, en donde 27,8 millones de hectáreas son destinadas a esta actividad, representando aproximadamente el 15% de la superficie (INEGI-SAGARPA, 2015). La siembra estimada de maíz fue de 7,86 millones de hectáreas, 36% del total cultivable, y el 82% se sembró bajo condiciones de temporal (Damián-Huato et al., 2013). Los rendimientos de maíz son bajos con respecto a los potenciales, y muy sensibles al estrés hídrico (Márquez-Sánchez

et al., 2009). Por costumbre y productividad, la siembra de temporal para la producción de forrajes en el centro-norte de México se basa en maíz. Sin embargo, debido a las condiciones climatológicas, sequías recurrentes, y plagas, ha disminuido su productividad, sobre todo en regiones de clima seco y semiseco, por lo que es necesario evaluar alternativas forrajeras (SIAP, 2022).

El sorgo es una opción forrajera ideal en condiciones semiáridas y de escasez de agua, superando al maíz en rendimiento debido a su adaptabilidad, eficiencia en el uso de la humedad del suelo, y ventajas fisiológicas como su sistema radicular y resistencia al estrés hídrico (McCary et al., 2020; Oliver et al., 2004; Osuna-Ceja y Martínez-Gamiño, 2017). Es especialmente efectivo en suelos salinos y bajo manejo intensivo de cortes (Rouf et al., 2018). Variedades como el sorgo nervadura café, diseñadas para ensilado, presentan una mayor digestibilidad gracias a su menor contenido de lignina, lo que lo hace una excelente opción en ambientes desafiantes (Aydin et al., 1999; Legarto, 2000).

La avena se considera un cultivo emergente, ya sea cuando otros cultivos se siniestran o cuando el tiempo óptimo de siembra de otros cultivos ha sido rebasado, además es un cultivo de transición y estratégico en la reconversión productiva de las tierras agrícolas a pastizales. La avena puede adaptarse a diferentes condiciones climáticas, y es una opción en condiciones semiáridas, al crecer en regiones con precipitación pluvial limitada e irregular, se acomoda a suelos de baja calidad y presenta variedades de ciclo corto (Sánchez Gutiérrez et al., 2014). El 93% de la avena que se siembra en México es forrajera y el 80% de la producción es en condiciones de temporal (SIAP, 2022).

El girasol es una planta anual de rápido crecimiento, que puede alcanzar hasta 3 m de altura, tolerante a la sequía, a bajas temperaturas, resiste altas temperaturas, se adapta a distintos tipos de suelo y presenta un ciclo vegetativo más corto que el maíz (Tan et al., 2014). Además, por su contenido nutricional emerge como una alternativa para los ganaderos. Presenta dos ciclos, variedades precoces de 90 y variedades tardías de 110-120 días.

La evaluación nutricional y productiva de alternativas forrajeras es fundamental para diversificar las fuentes de alimento para el ganado, lo que fortalece la resiliencia de la producción forrajera ante diferentes escenarios climáticos. Esto es especialmente crucial en la gestión de riesgos relacionados con la variabilidad climática y la escasez de agua. Al mejorar la nutrición del ganado mediante la rotación y diversificación

de cultivos, se promueven prácticas agrícolas más sostenibles. Cultivos como el maíz, la avena, el sorgo y el girasol son comúnmente utilizados como fuentes forrajeras. Al analizar la productividad y los costos asociados con estos cultivos, los agricultores pueden tomar decisiones más informadas sobre la rentabilidad de sus operaciones. Además, evaluar la productividad bajo condiciones de temporal es esencial para identificar y seleccionar variedades resistentes o tolerantes a la escasez de agua, lo cual es especialmente relevante en las regiones de clima seco y semiárido que predominan en el centro-norte de México (Márquez-Sánchez et al., 2009).

Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar el rendimiento y perfil nutricional de maíz, sorgo, girasol y avena en temporal en clima semiseco de Zacatecas, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El trabajo de campo se llevó a cabo en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario número 167 (CBTa No. 167), durante los años 2021 y 2022, localizado en la longitud 103° 34' 16,9'', latitud 22° 46' 56,6'' con una altitud de 1933 msnm, ubicado en el Municipio de Valparaíso, en el estado de Zacatecas, México. El área de estudio es considerada como clima seco-semiseco (INEGI, 2023), con una precipitación promedio anual de 423 mm y mayores lluvias en verano, una temperatura promedio de 17 °C (Medina et al., 2023).

Características del suelo, material genético y sistema de labranza

El suelo presentó textura media (franco arcillo-arenoso), 17,2% de humedad a capacidad de campo, 10,2% de humedad a punto de marchitamiento permanente, con un punto de saturación de 32,6%, una densidad aparente de 1,42 g/cm³, pH de 7,33 y 1,85% de materia orgánica. Libre de carbonatos y libre de sales.

La preparación del suelo se llevó a cabo en los meses de febrero, en donde se realizó rotura del suelo con arado de cinceles. Dos días antes de la siembra sobre suelo húmedo se efectuó el paso de rastra con una rastra de discos, para reducir el tamaño del terrón. Se niveló el terreno con el paso de un riel, el cual se acopló en la parte trasera de la rastra. En la siembra, se utilizó material de cuatro especies vegetales (Tabla 1) las cuales fueron: maíz (variedad Cafime), con una densidad de siembra equivalente a 70,000 plantas por ha; sorgo nervadura café (híbrido Pampa Centurión), a razón de 20 kg de semilla por ha; girasol (variedad Victoria), con densidad

Tabla 1. Material genético evaluado bajo condiciones de temporal en clima semiseco de México.
Table 1. Genetic material evaluated under rainfed conditions in the semi-dry climate of Mexico.

Características	Maíz (Cafime)	Sorgo nervadura		
		café (Pampa centurión)	Girasol (Victoria)	Avena (Saia)
Tipo de material	Cruza libre	Hibrido	Cruza libre	Cruza libre
Altura de planta	150-250 cm	150-250 cm	2,5 m	1,2-1,5 m
Altura de mazorca	80-120 cm	No aplica	No aplica	No aplica
Uso principal	Grano	Grano	Aceite	Grano
Uso alternativo	Forraje	Forraje	Forrajes	Forraje
Color del grano	Blanco	Café	Negro	Negro
Días a floración	50-60	50-60	50-60	60-80
Días a cosecha (FS)	140- 150	80-90	90-100	90-100
Densidad de siembra	80-90 mil p/ha	15-20 kg ha ⁻¹	5-6 kg ha ⁻¹	50-60 kg ha ⁻¹
Tipos de siembra	Temporal	Temporal	Temporal	Temporal
Tolerancia a sequía	Alta	Alta	Alta	Alta

FS= Forraje seco; p/ha= plantas por hectárea.

de 65.000 plantas por ha; y avena (*Avena strigosa*; variedad Saia), a razón de 150 kg ha⁻¹. Las siembras se realizaron el 27 de junio del 2021 y el 29 de julio del 2022, después de las primeras lluvias. Se abrieron los surcos con una cultivadora y se realizó siembra manual. La primera escarda se realizó a los quince días después de la siembra, y la segunda escarda se llevó a cabo quince días después de la primera.

El sorgo, en el segundo año de estudio (2022), se permitió el desarrollo del rebrote que este cultivo produce en el año siguiente a su siembra, por lo que las prácticas agronómicas de rotura del suelo, rastra y siembra se omitieron. Pero después, recibió el mismo manejo agronómico de control de malezas, control de plagas, y nutricional vegetal de los demás cultivos, previamente descritos. El maíz, girasol y avena, en el segundo año de prueba se sembraron en la misma área agrícola que ocuparon el primer año.

Manejo de la planta

Para la fertilización se utilizó la fórmula 100-40-00 (Medina et al., 2003). Como fuentes de fertilizantes se utilizaron los productos comerciales fosfato diamónico (18-46-00) y urea como fuente de nitrógeno. Al momento de la siembra, se aplicó todo el fósforo y la mitad del nitrógeno, en la primera escarda el 25% del nitrógeno y en la segunda escarda el otro 25% de nitrógeno. En el caso de la avena, se aplicó el 100% del fósforo y nitrógeno al momento de la siembra al no realizarse escardas en este cultivo. El control de malezas se realizó de forma mecánica mediante las escardas. Para la

identificación de plagas se realizaron revisiones visuales dos veces por semana. A los ocho días después de la emergencia de la planta, en el maíz y sorgo se observó daño en la hoja y presencia de larvas de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), por lo que se aplicó cipermetrina 200 CE a 300 mL/ha por aspersión, y a los 7 días se aplicó Clorpirifos-Etil 480 con dosis de 500 mL/ha para control de larvas de gusano cogollero en los cultivos de maíz y sorgo, y pulgón amarillo (*Melanaphis sachari*) en sorgo. En ninguno de los cuatro cultivos se observaron enfermedades de importancia económica.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Debido a que el terreno presenta una pendiente menor al 2%, se decidió bloquear en dirección de la pendiente, para disminuir el incremento que esta variación pudiera tener en el error experimental. La unidad experimental para los tratamientos de maíz, sorgo y girasol fue de 8 surcos de 0,80 m de ancho por 15 m de largo, la parcela útil para las mediciones fue de 8 m² de los dos surcos centrales. En el caso de la avena, la unidad experimental fue de 15 m de largo por 6,4 m de ancho, que son 96 m², y la parcela útil fue 1 m² de la parte central. La cosecha se realizó manualmente en estado de madurez fisiológica, a los 76 y a los 93 días después de la siembra, para 2021 y 2022, respectivamente.

Técnicas y procedimientos

La evaluación bromatológica se realizó en el laboratorio de Nutrición Animal de la Unidad

Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Los estudios de suelo se realizaron en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Zacatecas.

La planta de maíz, sorgo y girasol se cosechó a una altura de 10 cm sobre el nivel del suelo; en el caso de la avena fue a 5 cm del suelo. Se procedió a pesar la muestra de forraje verde; posteriormente, se cortaron en pequeños pedazos de 3 cm de longitud, se colocaron dentro de bolsas de papel y se deshidrataron en una estufa a 60 °C por 48 h, o hasta obtener peso constante. Con estos datos se determinó el porcentaje y rendimiento de materia seca, extrapolando a $t \text{ ha}^{-1}$. Las muestras de cada tratamiento se molieron en un molino Wiley con una criba de 1 mm y se almacenaron en bolsas de plástico con cierre hermético para su posterior análisis bromatológico.

El análisis bromatológico incluyó la determinación de proteína cruda (PC, %), mediante la cuantificación del nitrógeno total por análisis de combustión usando el equipo Leco®, utilizando como gas acarreador el Helio ultrapuro (Leco, 2009), y multiplicando el contenido de nitrógeno por el factor de corrección de 6,25. La fibra detergente neutra se obtuvo usando el equipo Ankom200® (Ankom, 2017), utilizando bolsas F57, solución de fibra detergente neutro y enzima alfa amilasa termoestable de la misma empresa. Para la digestibilidad *in vitro* (DIVMS) se utilizaron 0,5 g de muestra por duplicado y se almacenaron en bolsas F57. Adicional al blanco (muestra sin forraje), se tomaron muestras de alfalfa y rastrojo de maíz como referencia, de las cuales se tienen registros previos de digestibilidad. El líquido ruminal se recolectó de vaquillas con dietas altas en forrajes que fueron sacrificadas en el rastro municipal. Se llevaron a cabo los procedimientos con la incubadora Daisy® (Ankom, 2023). Todos los análisis de laboratorio se realizaron por duplicado.

Análisis estadístico

El análisis estadístico consistió en un análisis

de varianza factorial combinado, donde un factor fueron los años y el otro factor fueron las especies bajo estudio y la interacción de ambos factores (Morillo-Velarde, 2008). Se utilizó el "PROC GLM" del SAS, y las medias se separaron utilizando el criterio de Tukey ($P < 0,05$). Se usó el paquete estadístico SAS (2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas

En el año 2021, durante los meses de siembra, se obtuvo una precipitación acumulada de 564 mm; sin embargo, en el 2022 se registraron sólo 417 mm, representando el 74% de lluvia del año previo. El promedio histórico (a 20 años) es de 359 mm en los meses de estudio (Medina et al., 2023). La distribución de las lluvias en los meses de manejo agrícola de temporal (Tabla 2), generó variaciones en el comportamiento productivo de los cultivos. La falta de lluvia en junio del 2022 obligó a que la siembra fuera hasta julio, lo cual redujo el ciclo del cultivo, que es considerado ciclo corto (90 a 110 días).

Efecto del año y especie en variables agronómicas y bromatológicas

La Tabla 3 muestra las medias por especie y su interacción con los años. No se observó un efecto significativo del año ($p > 0,05$) en la altura de planta (AP), materia seca (MS) y proteína cruda (PC), lo que indica que estas variables no fueron influenciadas por las condiciones ambientales de los años estudiados. Los promedios generales fueron 2,1 m para AP, 31,7% para MS y 8,81% para PC.

Aunque las siembras se realizaron en junio de 2021 y julio de 2022, los días hasta la cosecha fueron 76 en 2021 y 93 en 2022, un incremento del 22% en el segundo año. Sin embargo, el aumento en la producción de forraje se observó en 2021, lo que sugiere que la fecha de inicio de siembra tuvo un impacto más significativo que la duración del ciclo hasta la cosecha. El ciclo vegetativo y el tiempo necesario para que los cultivos alcancen la madurez están directamente relacionados con los

Tabla 2. Distribución de lluvia (mm) en cultivos forrajeros de temporal en clima semiseco de México.
Table 2. Rainfall distribution (mm) in rainfed forage crops in the semi-dry climate of Mexico.

Tiempo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
2021	85	191	146	97	45
2022	4	134	192	65	22
Histórico	54	94	76	101	34

Datos obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el CBTa No. 167, reportados por el INIFAP (Medina et al., 2023).

Tabla 3. Prueba de medias y coeficientes de variación de sorgo, maíz, girasol y avena de temporal en clima semiseco de México.**Table 3. Test of means and coefficients of variation of rainfed sorghum, corn, sunflower and oats in the semi-dry climate of Mexico.**

Factor de variación	AP (m)	MS (%)	FS (t ha ⁻¹)	PC (%)	FDN (%)	DIVMS (%)
Año 2021	2,16	36,38	9,56a	8,81	52,01a	72,44a
Año 2022	2,07	37,85	6,48b	8,81	52,56b	75,92b
Especie	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Año*especie	0,48	0,05	0,86	0,483	0,003	0,0001
R2	0,85	0,82	0,86	0,87	0,91	0,87
CV	12,02	12,32	19,88	13,11	5,75	1,66

AP= Altura de planta; MS= Materia seca; FS= Forraje seco; PC= Proteína cruda; FDN= Fibra detergente neutra; DIVMS= Digestibilidad *in vitro*. Diferente letra dentro de cada columna indica diferencia estadística con prueba de Tukey <0,05.

días y las unidades de calor acumuladas (Tadeo-Robledo et al., 2015).

Según los resultados del efecto año (Tabla 3), se observó una disminución significativa ($P<0,05$) en la producción de forraje seco en 2022, con reducciones del 32%. El retraso de las lluvias resultó en una escasez de agua para los cultivos, lo que provocó alteraciones en diversas etapas fenológicas, afectando negativamente el rendimiento y sus componentes (NeSmith y Ritchie, 1992). La falta de agua durante los periodos críticos del ciclo de crecimiento, desde la germinación hasta el llenado de grano, puede llevar a una reducción en el rendimiento, afectando tanto la calidad como la cantidad de la cosecha (Villalobos-González et al., 2016), puesto que cada etapa de crecimiento presenta demandas específicas de agua (Sifuentes-Ibarra et al., 2021).

La fibra detergente neutro (FDN) y digestibilidad *in vitro* (DIVMS) aumentaron ($P<0,05$) en 1 y 4,8% en el 2022, respecto al año previo. No se observó efecto del año ($P<0,05$) en la proteína, promediando 8,8%.

El efecto de la especie mostró significancia estadística ($P<0,001$) en todas las variables analizadas. En cuanto a la interacción entre año y especie, solo se observó diferencia estadística significativa ($P<0,01$) en FDN y DIVMS, por lo que estas variables se discutieron por separado.

VARIABLES AGRONÓMICAS Y BROMATOLÓGICAS DE CULTIVOS FORRAJEROS

En la Tabla 4 se observan los cultivos forrajeros evaluados, los cuales muestran diferencia estadística ($P<0,05$) en todas las variables reportadas. En la altura de la planta (AP) el sorgo presentó 31 cm más que el maíz; el maíz y el

girasol muestran alturas similares; y la avena tiene la menor altura de los forrajes evaluados, con 1,09 m menos que el maíz. El sorgo se destacó como el cultivo con mayor productividad en forraje seco (FS), superando al maíz en un 26% en términos de rendimiento. Por otro lado, el girasol mostró una disminución del 36% en FS en comparación con el maíz, mientras que la avena fue el cultivo con la menor producción, registrando un 57% menos en FS respecto al maíz. En cuanto a la proteína cruda (PC), el girasol presentó la mayor concentración, con un 70% más que el maíz, seguido de la avena con un 23% más. En contraste, el sorgo mostró un 24% menos de proteína cruda en comparación con el maíz.

El cultivo del maíz presenta una demanda hídrica entre los 500 y 800 mm, sin embargo, la sequía y la escasez de agua son los factores predominantes que limitan su producción en regiones áridas y semiáridas del mundo (Chen et al., 2019). La altura de planta en maíces nativos ha sido reportada hasta en 1,80 (Godina Rodríguez et al., 2020). La productividad de maíz cafime es muy variable, y es afectada por las condiciones agrícolas y ambientales. Se han reportado producciones de forraje seco de 3,49 a 4,2 t ha⁻¹, con cosecha a los 97 días después de siembra, en estado lechoso-masoso (Osuna-Ceja y Martínez-Gamiño, 2017), también rendimientos de 1,5 t ha⁻¹ a 90 d después de siembra (Velázquez-Martínez et al., 2018). Los valores citados estuvieron por debajo de lo observado en el presente experimento (9,6 t ha⁻¹). El estrés hídrico en maíz durante etapas vegetativas y de floración, reduce el número de granos e incrementa la cantidad de plantas sin mazorcas. Cuando la deficiencia de agua ocurre en el llenado de grano de la mazorca genera granos de menor tamaño y reduce

Tabla 4. Variables agronómicas y bromatológicas de cultivos forrajeros en temporal en clima semiseco de México.**Table 4. Agronomic and bromatological variables of rainfed forage crops in the semi-dry climate of Mexico.**

	AP (m)	MS (%)	FS (t ha ⁻¹)	PC (%)
Sorgo	2,67a	35,87b	12,15a	5,72a
Maíz	2,36b	36,31b	9,63b	7,50b
Girasol	2,15b	26,98c	6,14c	12,82c
Avena	1,27c	49,13a	4,14d	9,20d

Promedios con diferente literal en filas difieren con Tukey (0,05). AP=Altura de planta; MS=Materia seca; FS=Forraje seco; PC=Proteína cruda.

rendimiento (Campos et al., 2006; Avendaño et al., 2008). La proteína observada en cafime fue similar a la obtenida en previos experimentos (datos no publicados).

El sorgo requiere 450-650 mm de precipitación por ciclo de cultivo (Cordovés y Grizel, 2009). En el presente experimento, se observó mayor productividad del sorgo en comparación al maíz (12,1 vs 9,6 t ha⁻¹ de FS), y al usarlo un segundo año mediante el rebrote, se genera menor erosión al evitar arado y rastra. Aunque el arado usado fue de cinceles y se ha reportado que su uso reduce la erosión del suelo en comparación con las prácticas de agricultura tradicional, la rastra de discos genera gran pérdida de suelo y humedad (Ocaña-Reyes, 2020). Los sistemas de labranza impactan en la retención de humedad y permiten el desarrollo radicular (Demuner-Molina et al., 2014). La planta de sorgo, al establecerse, en el primer año desarrolla su sistema radicular y en el segundo año, el rebrote utiliza la humedad derivada de la precipitación pluvial de forma más eficiente, aprovechando lluvias tempranas. Además, al no sembrar en el segundo año, se evitó el uso de la sembradora, se ahorró en la compra de la semilla, y en labores de mecanización para su establecimiento.

El sorgo es una buena alternativa de alimentación bovina, por medio del silo o henificado, además muestra buena adaptación a condiciones de sequía, presenta alta producción y tiene una buena capacidad de rebrote (Rios Moyano et al., 2021). No obstante, las ventajas de la siembra de sorgo, la adopción de los ganaderos de este cultivo es baja, ya que algunas variedades de sorgo presentan alta cantidad de taninos condensados y baja digestibilidad respecto a otros cereales (Ochoa et al., 2005). Además, debido a la carencia de información de las nuevas variedades, los agricultores son reacios al cambio.

Las prácticas agronómicas que pueden aumentar el rendimiento de sorgo son,

incrementar el número de plantas dentro de cada surco y disminuir la distancia entre surcos, aunque esto pudiera disminuir la digestibilidad y la proteína (Bolaños Aguilar y Emile, 2011; Bolaños Aguilar et al., 2013).

Variedades de sorgo han reportado mayor cantidad de proteína, 7,3% (Hernández et al., 2010), que la observada en el presente experimento (5,7%). Bolaños-Aguilar y Emile (2011) mencionan que el área foliar es la principal fuente de variación en calidad del sorgo, al presentarse mayor cantidad de proteína en hojas que en tallos. Además, encontraron que, a menor concentración de materia seca en la planta entera, mayor concentración de la proteína. Sorgos con y sin nervadura café mostraron niveles proteicos de 7,5 hasta 10,4% (Bolaños Aguilar et al., 2013).

Variedades de avena han reportado rendimientos de 2,7 hasta 4,7 t ha⁻¹, con alturas de 95 a 121 cm, y de 86 a 106 días a cosecha bajo temporal en Zacatecas (Sanchez Gutiérrez et al., 2014). La avena variedad Saia es una planta de alta rusticidad, de tallo delgado, de panícula abierta, grano color negro, porte de crecimiento de 1,2 a 1,5 m, con un potencial de rendimiento de 7 a 9 t ha⁻¹ (Parson, 1989). El parámetro de altura fue muy similar a lo observado en el presente estudio (1,3 m). Sin embargo, el forraje seco estimado sólo fue de 4 t ha⁻¹, rendimiento por debajo de lo reportado. Espitia Rangel et al. (2012), reportan en avena que las etapas de corte con mayor cantidad de forraje seco fueron el estado lechoso y masoso del grano, y en cuanto a calidad la etapa fue embuche. Los mismos autores reportan valores de proteína de 7,5 hasta 16%, dependiendo de la etapa de corte. Ramírez-Ordóñez et al. (2013), reportaron valores de 12% de PC en estado masoso y 19% en embuche.

En girasol se han reportado valores de PC desde 2,3 hasta 20%, promediando 8% de PC y de 22 hasta 74% en FDN promediando 43% (Pereira-Crespo et al., 2023). La fecha de corte

en el girasol es muy importante, al observar un descenso rápido de nutrientes a medida que la planta madura (Sainz-Ramírez et al., 2020).

Valores de FDN y DIVMS de la interacción Año por Especie

En la Fig. 1 se presentan los valores de FDN. Se observa un aumento en el sorgo del 17% en el 2022 en comparación con el 2021. En los demás cultivos no se muestran diferencias estadísticas ($P < 0,05$), promediando 49,8, 41,2 y 59,6%, respectivamente, para maíz, girasol y avena. El valor de la FDN está relacionado a la pared celular, que incluye celulosa, hemicelulosa y lignina, y está ligado nutricionalmente con la cantidad de forraje que puede consumir el animal, en donde a mayor FDN menor consumo esperado (García-Cervantes et al., 2023).

Valores de FDN para sorgo (42 a 43%) y maíz (51 %) fueron reportados por Osuna-Ceja y Martínez-Gamiño (2017). Sánchez Gutiérrez et al. (2014) reportaron rangos de FDN en avena de 51 hasta 61%, similar a lo obtenido en el presente estudio. Otros autores reportaron 42% en estado grano masoso y 55% en embuche (Ramírez-Ordóñez et al., 2013).

En la Fig. 2 se presenta la digestibilidad *in vitro*, en la que se observa diferencia estadística ($P < 0,05$) entre años en los cultivos de sorgo, maíz y girasol, pero no en avena ($P > 0,05$), promediando en esta última 74,3%. El aumento

en el 2022 en digestibilidad fue del 5,8, 5,0 y 6,4% para sorgo, maíz y girasol, respectivamente, en comparación con el 2021. Aunque las siembras en el 2022 fueron tardías (Julio), los días a cosecha también se extendieron y la productividad en FS se incrementó, obteniendo también aumentos en FDN y DIVMS.

Valores de digestibilidad en sorgo han sido reportados entre 60 y 72% (Bolaños Aguilar y Emile, 2011; Bolaños Aguilar et al., 2013). En avena, la digestibilidad fue de 63, 66 y 68% en embuche, grano masoso y madurez fisiológica del grano, respectivamente (Ramírez-Ordóñez et al., 2013). Digestibilidad en maíz de temporal varió de 68 hasta 72% (Flores Ancira et al., 2018).

La avena es un cultivo con gran adaptabilidad a ambientes de sequía. De los cultivos evaluados fue el único en el que no se observó efecto del año en la digestibilidad, además de no presentar efecto en la FDN, por lo que sus requerimientos hídricos fueron satisfechos en cualquiera de los años en estudio.

La disminución en la cantidad de forraje generado por los efectos de la sequía y la distribución de las lluvias, observado en el presente estudio, puede tener consecuencias económicas significativas para los agricultores, y para la seguridad alimentaria de la región, en donde a corto y mediano plazo se puede afectar la sostenibilidad financiera.

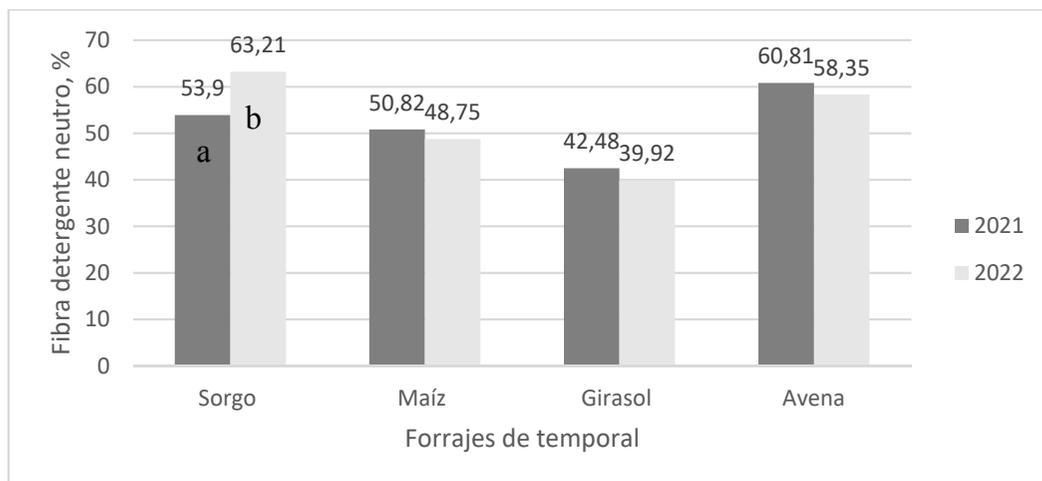


Fig. 1. Contenido de Fibra detergente neutro en cultivos forrajeros en temporal en clima semi-seco de México. Diferente letra en barra dentro de cada cultivo indica diferencia estadística con prueba de Tukey $< 0,05$.

Fig. 1. Neutral detergent fiber content in rainfed forage crops in the semi-dry climate of Mexico. Different bar letters within each crop indicate statistical difference with Tukey's test < 0.05 .

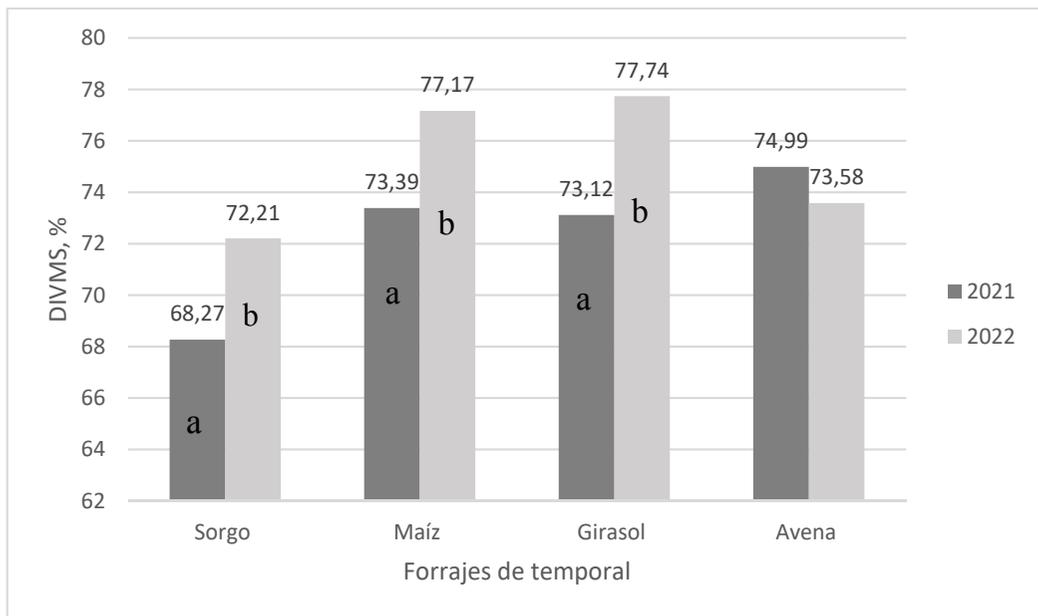


Fig. 2. Digestibilidad *in vitro* de cultivos forrajeros de temporal en clima semi-seco de México. Diferente letra en barra dentro de cada cultivo indica diferencia estadística con prueba Tukey <0,05.

Fig 2. *In vitro* digestibility in rainfed forage crops in the semi-dry climate of Mexico. Different bar letters within each crop indicate statistical difference with Tukey's test <0.05.

CONCLUSIONES

El sorgo fue el cultivo con mayor rendimiento, alcanzando un promedio de 12 t ha⁻¹, un 25% más que el maíz. Además, su ciclo de vida de dos años, gracias al rebrote, permitió reducir las prácticas agronómicas de manejo del suelo en el segundo año, disminuyendo así los riesgos de erosión y daño al suelo. El girasol, con un promedio de 12,8% de proteína cruda (PC), generó un 70% más de PC que el maíz, lo que lo convierte en una opción viable para aumentar el valor nutricional de los forrajes. Bajo las condiciones ambientales y de manejo del estudio, los productores pueden diversificar sus cultivos, tradicionalmente centrados en el maíz, hacia el sorgo o el girasol, logrando así incrementar tanto la producción como la calidad del forraje.

Contribución de autores

Todos los autores participaron activamente en la revisión bibliográfica, elaboración de la metodología, discusión de los resultados, revisión y aprobación final de la versión final del artículo. El trabajo y recolección de datos en campo lo realizó el autor Fidel Villagrana-Soto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías de México (CONAHCYT) por la beca otorgada al alumno de doctorado Villagrana-Soto Fidel (1186856).

LITERATURA CITADA

- Ankom. 2017. Neutral detergent fiber in Feeds – Filter bag technique (for A200 and A200I). <https://www.ankom.com/product-catalog/ankom-200-fiber-analyzer>
- Ankom. 2023. *In vitro* true digestibility using the ANKOM Daisy Incubator. <https://www.ankom.com/product-catalog/daisy-incubator>
- Aréchiga, C. F., J. I. Aguilera, R. M. Rincón, S. M. De Lara, V. R. Bañuelos y C. A. Meza-Herrera. 2008. Situación actual y perspectivas de la producción caprina ante el reto de la globalización. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 9(1):1-14.
- Avendaño, A. C. H., G. J. D. Molina, L. C. Trejo, C. C. López y I. J. Cadena. 2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. *Agronomía Mesoamericana* 19(1):27-37.

- Aydin, G., R. J. Grant, and J. O'Rear. 1999. Brown midrib sorghum in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:2127-2135.
- Bolaños Aguilar, E. D. y J. C. Emile. 2011. Distancia entre surcos en el rendimiento y calidad de la materia seca de maíz y de sorgo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 2(3):299-312.
- Bolaños Aguilar, E. D. y J. C. Emile. 2013. Efecto de la distancia entre surcos y densidad de siembra en el rendimiento y calidad del forraje de sorgo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4(2):161-176.
- Campos, H., M. Cooper, G. O. Edmeades, C. Loffler, J. R. Schussler, and M. Ibanez. 2006. Changes in drought tolerance in maize associated with fifty years of breeding for yield in the U.S. Corn Belt. *Maydica* 51(2):369-381.
- Chen, Y., G. W. Marek, T. H. Marek, P. H. Gowda, Q. Xue, J. E. Moorhead, D. K. Brauer, R. Srinivasan, and K. R. Heflin. 2019. Multisite evaluation of an improved SWAT irrigation scheduling algorithm for corn (*Zea mays* L.) production in the U.S. Southern Great Plains. *Environmental Modelling & Software* 118:23-34. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.04.00>
- Cordovés, B. G. y M. D. Grizel. 2009. Sorgo dulce: sus potencialidades productivas. *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar* 43(3):15-21.
- Damián-Huato, M. A., A. Cruz-Leon, B. Ramirez-Valverde, O. Romero-Arenas, S. moreno-Limón, y L. Reyes-Muro. 2013. Maíz, alimentación y productividad: Modelo tecnológico para productores de temporal de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 10: 157-176.
- Demuner-Molina, G., M. Cadena-Zapata, S. G. Campos-Magaña, A. Zermeño-González y F. de J. Sánchez-Pérez. 2014. Efecto de labranza y mejoradores de suelo en humedad y desarrollo radicular. *Tecnología y Ciencias del Agua* 5(2): 123-130.
- Espitia Rangel, E., H. E. Villaseñor Mir, R. Tovar Gómez, M. de la O Olán y A. Limón Ortega. 2012. Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(4): 771-783.
- FAO. 2014. Definición de Sistemas Mixtos. Caja de Herramientas sobre ganadería y M.A. <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/es/lead/toolbox/Grazing/DefMixSy.htm>
- Flores Ancira, Ernesto., A. Díaz Romo, C. Haubi Segura y M. A. López Gutiérrez. 2018. Producción y calidad nutritiva de maíz bajo condiciones de secano en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(8):1615-1625. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1718>
- García-Cervantes, D., H. Gutiérrez-Bañuelos, L. R. Reveles-Torres, A. Muro-Reyes, F. J. Gutiérrez-Piña, F. G. Echavarría Chairez, A. Espinoza-Canales y R. A. Sánchez Gutiérrez. Perfil bromatológico y nutricional de *Dalea bicolor* (Willdenow) en regiones semiáridas de Zacatecas, México. 2023. *Revista Fitotecnia Mexicana* 46(3):321-325. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.3.321>
- Godina Rodríguez, J. E., J. R. Garay Martínez, S. I. Mendoza Pedroza, S. J. Cancino, M. Rocandio Rodríguez y F. L. Ruiz. 2020. Rendimiento de forraje y composición morfológica de maíces nativos en condiciones semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11(spe24): 59-68. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2358>
- Hernández, E. L. A., G. T. Moreno, M. A. Loaiza y J. J. E. Reyes. 2010. Gavatero-203, nueva variedad de sorgo forrajero para el estado de Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(5):727-731.
- INEGI, 2023. Instituto Nacional de Geografía e Historia. Información por entidad. Zacatecas. <https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/zac/default.aspx?tema=me&e=32>
- INEGI-SAGARPA. 2015. Nota técnica Encuesta nacional agropecuaria 2014, en Conociendo el campo de México, Instituto Nacional de Estadística Geografía y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Aguascalientes, México, pp. 20. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015_08_8.pdf
- Leco, 2009. FP-528 Protein/nitrogen determinant. Instruction Manual. Leco Corporation, St. Joseph, MI.
- Legarto, J. 2000. L'utilisation en ensilage plante entière des sorghos grains et sucriers: intérêts et limites pour les régions sèches. *Fourrages* 163:323-338.
- López Reyes, M., G. Solís Garza, J. Murrieta Saldívar y R. López Estudillo. 2009. Percepción de los ganaderos respecto a la sequía. Viabilidad de un manejo de los agostaderos que prevenga sus efectos negativos. *Estudios sociales* 17:221-241.

- Márquez-Sánchez, F., L. Sahagún-Castellanos y E. Barrera-Gutiérrez. 2009. Nuevo método de mejoramiento genético para resistencia a sequía en maíz. *Revista de Geografía Agrícola* 42:9-14.
- McCary, C. L., D. Vyas, A.P. Faciola, and L.F. Ferraretto. 2020. Graduate Student Literature Review: Current perspectives on whole-plant sorghum silage production and utilization by lactating dairy cows, *Journal of Dairy Science* 103(6):5783-5790. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18122>.
- Medina, G. G., F. J. I. Casas, M.V.M. Rodríguez y C. N. Y. Z. Ramírez. 2023. Estadísticas climatológicas horarias del estado de Zacatecas (Periodo 2002-2022). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Zacatecas, Calera, Zacatecas, México. Publicación Especial No. 24. 803 pp. http://zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/estClima_Zac.pdf
- Medina, G. G., R. A. Rumayor, C. B. Cabañas, F. M. Luna, C. J. A. Ruiz, V. C. Gallegos, T. J. Madero, S. R. Gutiérrez, D. S. Rubio y L. A. G. Bravo. 2003. Potencial productivo de especies agrícolas en el estado de Zacatecas. Libro técnico No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Forstales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Zacatecas, Calera de V. R., Zacatecas, México. 157 p. http://zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/Pot_Prod_de_Especies_Agricolas_en_Zacatecas.pdf
- Morillo-Velarde, P. P. 2008. Agrupamiento de ensayos. Análisis combinado. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Secretaría General Técnica. 119 pp. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337161059Agrupamiento_de_ensayos.pdf
- NeSmith, D. S and Ritchie, J. T. 1992. Maize (*Zea mays* L.) response to a severe soil water-deficit during grain-filling. *Field Crops Research* 29:23-35.
- Ocaña-Reyes, J. A. 2020. Impactos en corto tiempo de la agricultura de conservación y tradicional sobre los recursos naturales y el rendimiento de maíz. *Revista Investigación Agraria* 2(2):27-36. <https://doi.org/10.47840/ReInA.2.2.841>
- Ochoa, S. L. P., G. Montoya y A. Ceballos. 2005. Efectos de los taninos sobre la digestión, el metabolismo y la producción en rumiantes. *Fondo Editorial Biogénesis*, 181-206.
- Oliver, A.L., R. J. Grant, J. F. Pedersen, and J. O'Rear. 2004. Comparison of brown midrib-6 and -18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage in diets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 87(3):637-644.
- Osuna-Ceja, E. S. y M. A. Martínez-Gamiño. 2017. Rendimiento y calidad de forraje de maíz y sorgo de temporal a cuatro y seis hileras en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8(6):1259-1272.
- Parson, D. 1989. Trigo, Cebada, Avena. Manuales para Educación Agropecuaria. Producción Vegetal. Edit. DGETA. SEP. México. D.F. 58 pp.
- Pereira-Crespo, S., A. Botana, M. Veiga, L. González, C. Resch, R. Lorenzana, M. del P. Martínez-Díaz, D. A. Plata-Reyes, and G. Flores-Calvete. 2023. Prediction of the nutritive value of whole plants and morphological fractions of forage sunflower by near-infrared reflectance spectroscopy and empirical equations. *International journal of agriculture and natural resources* 50(2): 46-57. <https://dx.doi.org/10.7764/ijanr.v50i2.2470>
- Ramírez-Ordóñez, S., D. Domínguez-Díaz, J. J. Salmerón-Zamora, G. Villalobos-Villalobos, y J. A. Ortega-Gutiérrez. 2013. Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(4): 395-403.
- Ríos Moyano, D. K., A. Conde Pulgarín, y C. F. Ríos Moyano. 2021. Productividad y sostenibilidad del cultivo de sorgo forrajero como alternativa para la alimentación de rumiantes. *Revista del Centro de Investigación de la Universidad La Salle*. 14(56):163-190. <http://doi.org/10.26457/recein.v14i56.2807>
- Rouf, A. D., A. D. Eajaz, K. Ajit, and G. P. Urmila. 2018. Sweet sorghum-a promising alternative feedstock for biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82(3):4070-4090.
- Sainz-Ramírez, A., A. Botana, S. Pereira-Crespo, L. González-González, M. Veiga, C. Resch, J. Valladares, C. M. Arriaga-Jordán y G. Flores-Calvete. 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 Gutiérrez R. A., H. Gutiérrez Bañuelos, A. Serna Pérez, R. Gutiérrez Luna y A. Espinoza Canales. 2014. Producción y calidad de forraje de variedades de avena en condiciones de temporal en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 5(2):131-142.
- SAS. 2021. Institute Inc, "SAS software 9.3", en SAS Institute, Cary, NC, USA. <https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/base/procstat93m1.pdf>
- SIAP. 2022. Sistema de información agroalimentario y pesquero. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sifuentes-Ibarra, E., W. Ojeda-Bustamante, J. Macías-Cervantes, C. Mendoza-Pérez y P. Preciado-Rangel. 2021. Déficit hídrico en maíz al considerar fenología, efecto en rendimiento y eficiencia en el uso del agua. *Agrociencia* 55(3):209–226. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/2414>
- Tadeo-Robledo, M., B. Zamudio-González, A. Espinosa-Calderón, A. Turrent-Fernández, A. L., Cárdenas-Marcelo, C. López-López, I. Arteaga-Escamilla y R. Valdivia-Bernal. 2015. Rendimiento de maíces nativos e híbridos en diferente fecha de siembra y sus unidades calor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(1):33-43.
- Tan, M., H. Yolcu, and Z. Dumlu Gul. 2014. Nutritive value of sunflower silages ensiled with corn or alfalfa at different rate. *Animal Feed Science and Technology* 21:184-191.
- Valdés-Rodríguez, O. A. 2022. Desastre compuesto: sequía y Covid-19 en Veracruz, México. *Interconectando Saberes* 14:15-27.
- Velázquez-Martínez, M., S. Mendoza-Guzmán, F. J. Hernández-Guzmán, P. Landa-Salgado, R. Nieto-Aquino y M. A. Mata-Espinosa. 2018. Producción forrajera de mijo perla y maíz en el altiplano potosino de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41(4):477-482. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4.477-482>
- Villalobos-González, A., C. López-Castañeda, S. Miranda-Colín, V. H. Aguilar-Rincón y M. B. López-Hernández. 2016. Relaciones hídricas en maíces de Valles Altos de la Mesa Central de México en condiciones de sequía y fertilización nitrogenada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(7):1651-1665.