

## Alternativas de cultivo para la producción de forraje en el sur de Sonora

Gilberto Rodríguez-Perez<sup>1</sup>

Miguel Angel Avila-Perches<sup>2</sup>

María Isela Flores-Reyes<sup>3</sup>

Netzahualcóyotl Mayek-Pérez<sup>4</sup>

Martín Quintana-Camargo<sup>5</sup>

Alfredo Josué Gámez-Vázquez<sup>2,§</sup>

1 Tecnológico Nacional de México-Valle del Yaqui. Av. Tecnológico, Block 611, Valle del Yaqui, Sonora. CP. 85276. Tel. 644 4082476. (gilberto.rp@vyaqui.tecnm.mx).

2 Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato. CP. 38110. (avila.miguel@inifap.gob.mx).

3 Tecnológico Nacional de México-Roque. Carretera Juventino Rosas-Celaya km 8, Celaya, Guanajuato. CP. 38110. (isela-flores-r261985@hotmail.com).

4 Universidad Autónoma de Tamaulipas. Matamoros S/N, Zona Centro, Ciudad Victoria, Tamaulipas. CP. 87000. (nmayeklp@yahoo.com.mx).

5 Centro Nacional de Recursos Genéticos-INIFAP. Blvd. de la Biodiversidad # 400, Rancho las Cruces, Tepatlán de Morelos, Jalisco. CP. 47610. (quintana.martin@inifap.gob.mx).

Autor para correspondencia: gamez.josue@inifap.gob.mx.

### Resumen

En el sur de Sonora, México el valor nutricional del forraje para los herbívoros no se ha establecido durante un largo periodo de tiempo mientras que las opciones tecnológicas se han diversificado, por lo que se presenta la necesidad de evaluar cultivos anuales como una opción para la producción de forraje, con el fin de integrar-las a la cadena agroalimentaria. El objetivo de esta investigación fue evaluar la producción de forraje y propiedades químicas de distintas especies anuales en condiciones semiáridas del sur de Sonora. Se evaluaron en campo y laboratorio nueve líneas élite de triticale, de hábito primaveral, cinco variedades de avena, dos de maíz de color, amarillo y morado, en el ciclo otoño-invierno 2023-2024. Las variables agronómicas fueron: forraje verde (FV), forraje seco (FS) y altura de planta (AP), además de sus propiedades químicas. Los resultados mostraron diferencias estadísticas entre especies para las variables de forraje, donde los maíces mostraron mayor producción de forraje verde (FV) y seco (FS), mientras que las líneas de triticale TCL3, TCL7 y TCL9 se conformaron como una segunda opción en producción de FV y FS, las líneas TCL5, TCL2 y TCL4 aportaron mejores propiedades químicas, seguidos de los maíces, la avena experimental 3 y la variedad de avena Turquesa.

### Palabras clave:

avena, maíz, triticale



## Introducción

En 2023 se establecieron 58 823 ha de especies forrajeras en Sonora, el 59.1% lo aportaron tres especies perennes: alfalfa (45.67%), pastos y praderas (13.43%) y en el 40.9%, se establecieron cultivos anuales como avena, cebada, maíz, sorgo y trigo (SIAP, 2023). De acuerdo con el consumo forrajero, el sur de Sonora requiere otras especies como el triticale, que contribuya en la alimentación de distintos tipos de ganado, ya que proporcionan un alto valor nutritivo, además de producción de forraje.

Especies forrajeras como triticale, avena y maíz se cultivan en invierno en el estado de Sonora, lo que depende de los requerimientos de forraje en cada estación (Lee *et al.*, 2018). Estas plantas forrajeras contienen diferentes cantidades de fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro detergente (FND), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG), grasas y proteínas, entre otros parámetros de calidad que varían su contenido en proporción del tejido vegetal, que es digerido por los herbívoros. Estos componentes nutritivos son determinantes en el crecimiento de la especie que los consume, su éxito reproductivo, comportamiento y producción de carne (French, 2017).

El triticale proporciona mayor propiedad nutrimental comparado con trigo, avena y maíz (Zhu, 2018; Velasco *et al.*, 2020). Debido a la variabilidad genética y composición química que contienen las hojas, tallos, espigas y grano (Velasco *et al.*, 2020). El triticale puede ser una opción viable para la alimentación del ganado, por sus propiedades nutritivas (Riasat *et al.*, 2019).

La avena y el maíz son adecuados para la producción de forraje, ambas especies producen cantidades sustanciales de masa forrajera y son cultivos complementarios de especies de cereales (Thapa *et al.*, 2018). La avena y el maíz, ofrecen forraje con valor nutritivo y durante los meses de invierno donde pueden ser aprovechados por ganaderos en el sur de Sonora (Billman *et al.*, 2021). Las condiciones estacionales y geográficas de Sonora son favorables para la agricultura y la ganadería; sin embargo, la producción de forraje no es suficiente, además de desconocer la calidad de forraje de las diferentes especies (Lemaire *et al.*, 2019).

El objetivo de esta investigación fue determinar la producción de forraje y propiedades químicas de diferentes genotipos, en tres especies forrajeras anuales para las condiciones semiáridas del sur de Sonora durante el ciclo otoño invierno.

## Materiales y métodos

### Desarrollo del experimento y material genético evaluado

El experimento se estableció en el Tecnológico Nacional de México-Valle del Yaqui ubicado en 27° 24' 41" latitud norte y 111° 24' 47" longitud oeste, con altitud de 13 m, durante el ciclo otoño-invierno 2023-2024, en riego. La temperatura promedio fue de 18 °C y sin registro de lluvias en la estación de crecimiento; con clima semiárido-semicálido BS1hw(e') según García (2004).

Se sembró en un suelo tipo franco arcilloso, el 21 de noviembre de 2023, con un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, con una parcela experimental de ocho surcos de 5 m de longitud, con una separación de 0.8 m entre surcos, la parcela útil, consistió de seis surcos centrales con un área de 24 m<sup>2</sup>. La densidad de siembra en triticale fue de 150 kg ha<sup>-1</sup> de semilla, en avena fue 90 kg ha<sup>-1</sup>, mientras en maíz la densidad de población fue de 110 000 plantas ha<sup>-1</sup>, se aplicó la fórmula de fertilización 140-70-00 (NPK).

Se evaluaron nueve líneas de triticale provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), cinco genotipos de avena (dos variedades comerciales y tres experimentales), dos maíces criollos de color, amarillo y azul (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Especies anuales forrajeras evaluadas por su valor nutritivo en condiciones semiáridas del sur de Sonora, OI 2023-2024.**

Núm.	Genealogía	Siglas	Núm.	Genealogía	Siglas
1	TCL-19M-03Y-2M-0Y	TCL1	9	T20YTCL-9	TCL9
2	TCL -8M-03Y-4M-0Y	TCL2	10	Avena Chihuahua	Chihuahua
3	TCL -20M-03Y-3M-0Y	TCL3	11	Avena Turquesa	Turquesa
4	TCL -15M-03Y-1M-0Y	TCL4	12	AT-03-23-01	AE1
5	TCL -6M-03Y-3M-0Y	TCL5	13	AO-03-19-04	AE2
6	TCL -2M-03Y-3M-0Y	TCL6	14	AC-03-14-09	AE3
7	TCL -8M-02Y-4M-0Y	TCL7	15	Maiz Onaveño	Maíz amarillo
8	TCL -19M-03Y-2M-0Y	TCL8	16	Maiz Tuxpeño	Maíz azul

Se aplicó una lámina de riego de 10 cm para avena y triticale y de 15 cm para maíz, se continuó con cuatro riegos de auxilio en avena y triticale y cinco en maíz. La maleza se controló en maíz, con 1.5 L ha<sup>-1</sup> de Nicosulfuron, mientras que en triticale y avena, se utilizó Arylex active mezclado con Fluroxipir meptil, en una dosis de 1 L ha<sup>-1</sup>. Las fechas de corte fueron el 8 de febrero para avena, 22 de febrero en triticale y 29 de marzo en maíz.

## Establecimiento y variables evaluadas

En campo, cuando el cultivo se encontraba en la etapa de grano lechoso masoso, se hizo un corte a una altura de 10 cm del suelo de todas las plantas de la parcela útil y se registró el peso de forraje verde (FV), posteriormente, las muestras se secaron a temperatura ambiente (26 ±4 °C) por dos días, se extrajo una sub-muestra de 250 g por unidad experimental, misma que se secó en estufa a 60 °C durante 72 h para estimar el rendimiento de forraje seco (FS), ambos rendimientos de forraje (FV y FS) se expresaron en t ha<sup>-1</sup>, además se determinó la altura de planta (AP).

Posteriormente, en laboratorio se estimó la calidad del forraje, mediante análisis de laboratorio, con el método NIRS (Espectrofotómetro de rayo cercano al infrarrojo) de acuerdo por Shenk y Westerhaus (1995). Se evaluó: porcentaje de ceniza (%), total de nutrientes digestibles (TND), consumo de materia seca (CMS), materia seca digestible (MSD), energía neta de mantenimiento (ENM), energía neta de ganancia (ENG), energía neta de lactancia (ENL), fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD), estas variables se determinaron de acuerdo con Soest (1970).

## Análisis estadístico

Las variables agronómicas: FV, FS y AP, se sometieron a un análisis de varianza bajo el diseño bloques al azar con tres repeticiones, en presencia de diferencias significativas, se hizo la comparación de medias con la diferencia mínima significativa (DMS,  $p \leq 0.05$ ). Las variables de calidad: cenizas, TND, CMS, MSD, ENM, ENG, ENL, FND y FAD se analizaron con un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Para conocer la relación entre genotipos, variables evaluadas en campo y laboratorio, se hicieron análisis de componentes principales (ACP). Todos los análisis se hicieron con SAS (2016).

## Resultados y discusión

El análisis de varianza (Cuadro 2) identificó diferencias significativas entre genotipos para las diferentes variables de producción de biomasa. Los factores de estudio que contribuyeron más a la variación total de acuerdo a la magnitud de los cuadrados medios fueron los genotipos, esto debido a la expresión genética de cada especie.

**Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza en la producción de forraje entre especies anuales en condiciones semiáridas del sur de Sonora.**

Fuentes de variación	Grados libertad	Cuadrados medios		
		Forraje verde	Forraje seco	Altura de planta
Bloques	2	5.7		2.7
Genotipos	14	427.4	*	45.8
Error	28	2.7		0.9
Total	44	138		15.3
Coeficiente variación (%)		14.6		16.9
				0.049
			**	0.46
				0.01
				0.1
				9.3

La variación fue mayor en FV, seguida del FS, esto fue debido a la capacidad de retención de agua y diferencias en el ciclo de cultivo de cada una de las especies. Los coeficientes de variación fluctuaron desde un 9.3 hasta 16.9%, lo que indica que la confiabilidad de los datos varió del 83.1 y 90.7% (Fraš *et al.*, 2016).

Entre las especies con mayor promedio de FV y FS (Cuadro 3) se encontraron los maíces azul y amarillo, que superaron a las líneas de triticale TCL3, TCL7 y TCL9. Los genotipos de avena ocuparon los últimos sitios en producción lo que coincide con lo reportado por Lee *et al.* (2018); López-Jara *et al.* (2025), donde refieren que la producción de forraje entre especies varía con respecto a la temperatura durante el desarrollo del ciclo vegetativo.

**Cuadro 3**

**Prueba múltiple de medias de especies anuales para producción de forraje en condiciones semiáridas en el sur de Sonora.**

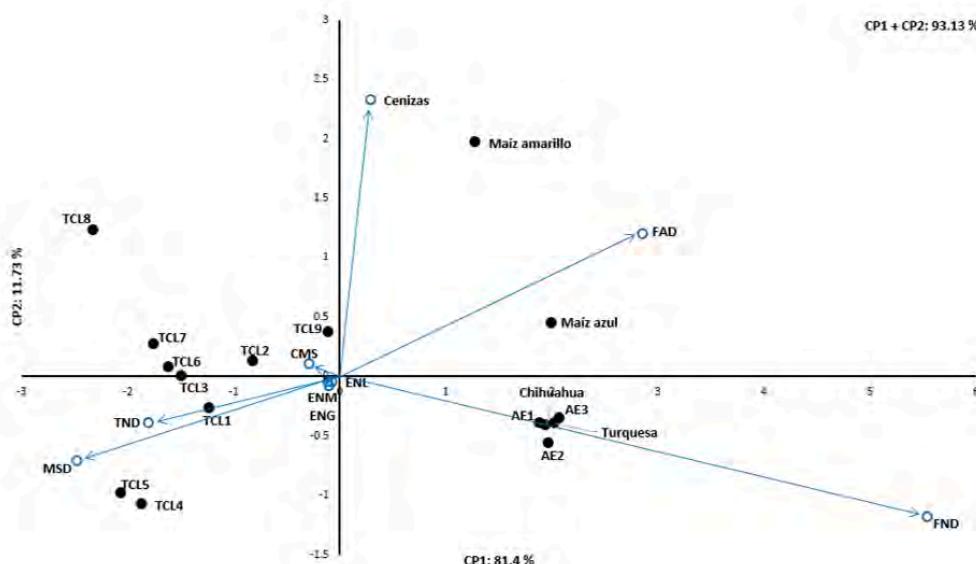
Genotipo	Forraje verde (t ha <sup>-1</sup> )	Forraje seco (t ha <sup>-1</sup> )	Altura de planta (m)
Maíz azul	64.3 a	22.7 a	2.2 a
Maíz amarillo	61.4 b	23.9 a	2 a
TCL3	37.6 c	14.2 b	1.2 b
TCL7	37.5 c	13.8 bc	1.2 b
TCL1	36.9 cd	12.7 bc	1.2 bc
TCL9	36.7 cd	13.5 bc	1.2 bc
TCL2	34.3 de	12.7 bc	1.1 bc
TCL4	33.2 e	12.4 cd	1.1 bc
TCL5	33.2 e	12.5 cd	1.2 b
TCL8	32.5 e	12.1 d	1.2 bc
TCL6	32.2 e	11.9 de	1.2 bc
AE2	26.5 f	12.2 cd	0.7 e
AE3	26.2 f	12.4 cd	1 d
Chihuahua	26.2 f	12 de	1 d
Turquesa	25.7 f	12.5 cd	0.7 e
AE1	21.5 g	10.4 e	1.1 bcd
DMS ( $p \leq 0.05$ )	2.7	1.6	0.1

DMS= diferencia mínima significativa. Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales dentro de cada columna.

## Análisis de componentes principales (ACP) para calidad química

En contenido de FAD y FND (Figura 1), los valores medios fueron 36.8% y 56.7%, respectivamente. En FAD se observaron los mayores valores en los maíces, amarillo y azul, con digestibilidades de 43.1%; la AE3, AE2 y AE1 mostraron valores de 42.8, 41.7 y 40.2%, mientras que en FND fueron de 69.3, 68.2 y 67.1% respectivamente.

**Figura 1. Dispersión de la calidad química de especies forrajeras evaluadas en condiciones semiáridas en el sur de Sonora, OI 2023-2024.**



En el contenido de TND, las líneas de triticale TCL5, TCL4, TCL6 y TCL7 presentaron promedios superiores (62.2, 62.5, 61.3 y 60%, respectivamente); seguidos de los genotipos de maíz, mientras que los de avena mostraron promedios inferiores, por lo que, la digestibilidad que aportan las especies de cereales, con otras fuentes de azúcares o almidones puede ser favorable en distintas especies de animales.

Los nutrientes digestibles son indicadores del nivel de energía digestible que aporta un forraje al ser consumido, mientras tengan valores altos, significa que el alimento es fácilmente digerido por el animal, de otra forma no podrán obtener suficiente energía y nutrientes para mantener una buena producción (Billman *et al.*, 2021).

En cuanto a ENG, ENL y ENM, el triticale presentó valores por arriba del promedio (0.8, 1.2 y 1.5 Mcal kg<sup>-1</sup>, respectivamente), donde las líneas TCL8, TCL5, TCL4, TCL7, TCL6, TCL3, TCL1 y TCL3 con las más altas concentraciones, los genotipos de avena y maíz presentaron las menores concentraciones de energía; importante producir leche.

Las ganancias en energía, entre consumida y generada para el crecimiento del animal, así como la energía neta de lactancia y de mantenimiento son cruciales para la alimentación del ganado, especialmente para las vacas lecheras, ya que determinó la cantidad de energía disponible para la producción de leche y el mantenimiento corporal. Un adecuado nivel de estas aseguró una alta producción de leche, previene problemas metabólicos y mantiene la salud del animal (Fraš *et al.*, 2016; Lemaire *et al.*, 2019; Riasat *et al.*, 2019; Billman *et al.*, 2021).

Los valores de MSD tuvieron un promedio de 58.7%, entre ellos, los genotipos de triticale presentaron los mayores porcentajes, seguido de las variedades de avena, donde los maíces presentaron los menores valores, lo que coincide con French (2017); Wood *et al.* (2018); Lauzon *et al.* (2019); Hanoglu (2024), quienes mencionaron que en la materia seca es donde se concentran todos los nutrientes esenciales: proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales, fundamentales en la alimentación del ganado.

En CMS, se observó un promedio general de 2%, los triticales tuvieron porcentajes entre 1.9% y 2.7%, mientras los genotipos de maíz y avena tuvieron promedios inferiores. La mayor concentración de CMS se obtuvo con TCL8, TCL5, TCL7 y TCL4, seguidos de TCL9, maíz azul y avena turquesa, para finalmente con menores valores ubicarse el genotipo de la AE2, la variedad Chihuahua, así como AE1 y AE3.

El consumo de materia seca indica la cantidad total de nutrientes que potencialmente pueden ser aprovechados por el animal para ganar peso, dependiendo de la calidad de la dieta, la raza de animal, el tamaño y su gasto energético, una vaca para carne, puede consumir entre el 1% y el 3% de su peso corporal, mientras que una vaca lechera consumirá entre el 2.5% y el 4.5%; la materia seca proporciona carbohidratos, proteínas, lípidos (grasas), minerales y vitaminas para un mayor rendimiento en el consumo nutricional en animales (Wood *et al.*, 2018; Mancipe *et al.*, 2021).

Los porcentajes de cenizas fueron mayores en el maíz amarillo con 13.7%, el maíz azul 11.5%, seguido de TCL8 y la AE3 que, obtuvieron 10.7 y 8.1% respectivamente, estos cuatro genotipos se posicionaron por arriba de la media general (8.4%); sin embargo, el 78% de las variedades de triticale presentaron bajos valores de cenizas al igual que cuatro genotipos de avena, entre ellas las comerciales Turquesa y Chihuahua.

El consumo de cenizas en el forraje es importante para la alimentación del ganado porque aporta nutrientes para su crecimiento, desarrollo y funciones fisiológicas, estos valores de cenizas representan la cantidad total de minerales en el forraje, con elementos como calcio, fósforo, magnesio y potasio. Con estos resultados, las dos variedades de maíz y la línea TCL8 se pueden considerar para la alimentación animal por sus mayores valores, lo anterior puede atribuirse principalmente a las características taxonómicas de las especies de acuerdo con Zhu (2018); Lemaire *et al.* (2019); Hanoglu (2024).

### **Análisis de componentes principales para variables agronómicas y de calidad.**

El ACP (Cuadro 4) explicó el 93.13% de la varianza total, donde el primer componente (CP1) explicó 81.4% de dicha varianza, y con base en las variables originales de mayor importancia identificadas por aportar en el mismo, los mayores auto vectores fueron MSD, ENL, ENM FND. El CP1 se puede definir como un eje de calidad energética.

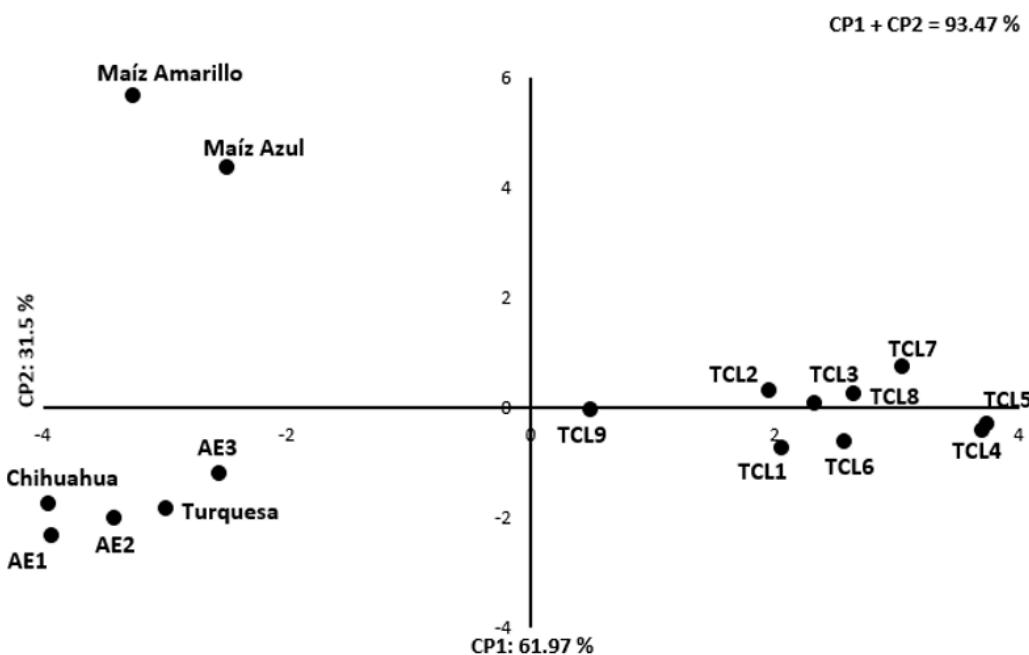
**Cuadro 4. Autovectores de variables agronómicas y químicas en los dos componentes principales de especies forrajeras anuales y varianza explicada.**

Parámetro	CP1	CP2
(%) fibra ácido detergente (FAD)	-0.315	0.068
(%) fibra neutro detergente (FND)	-0.319	0.009
(%) total de nutrientes digestibles (TND)	0.298	0.149
Energía neta de lactancia (Mcal kg <sup>-1</sup> , ENL)	0.321	-0.048
Energía neta de mantenimiento (Mcal kg <sup>-1</sup> , ENM)	0.319	-0.079
Energía neta de ganancia (Mcal kg <sup>-1</sup> , ENG)	0.317	-0.034
(%) materia seca digestible (MSD)	0.325	-0.006
(%) consumo de materia seca (CMS)	0.319	0.045
(%) cenizas (%)	-0.104	0.38
Forraje verde (t ha <sup>-1</sup> , FV)	-0.003	0.45
Forraje seco (t ha <sup>-1</sup> , FS)	-0.085	0.436
Altura planta (m, AP)	-0.019	0.43
(%) varianza explicada	61.97	31.5

El segundo componente (CP2) explicó 11.73% de la varianza total e involucró los efectos de las variables originales FV, FS, AP y cenizas, por lo que este puede identificarse como el eje de producción de forraje, dentro del cual dichas características presentaron mayor interdependencia entre sí, pero no con las del CP1 (Lee *et al.* (2018); Mancipe *et al.* (2021)).

En la Figura 2, se presenta la dispersión de especies y genotipos, en la que se observan tres patrones de respuesta, cada uno caracterizado por sola especie y la variación dentro de cada grupo representa la variabilidad genética entre los genotipos de cada especie.

**Figura 2. Dispersión de las especies y genotipos forrajeros, por sus caracteres agronómicos y químicos evaluados en el sur de Sonora, OI 2023-2024.**



En el primer patrón de respuesta, ubicado en los cuadrantes I y IV y al extremo derecho del CP1, están incluidas las líneas de triticale que se caracterizaron por presentar la mayor calidad energética debido a sus contenidos de ENL, ENM y el CMS, especialmente TCL5 y TCL4, por lo que pueden ser consideradas aptas para consumo animal, con la ventaja de que las variedades de triticale presentaron mayor porcentaje de MSD. Las cuales, de ser aprovechadas en la rotación de forrajes, proporcionan la posibilidad de una mayor seguridad en la producción de leche y carne, por su aporte energético para el desarrollo de los animales, además de que el triticale presenta mayor rusticidad, tolerancia a bajas temperaturas, enfermedades y estrés hídrico (Thapa *et al.*, 2018).

Por otra parte, el segundo patrón de respuesta, se caracterizó por una mayor producción de biomasa, donde se observó una estrecha interdependencia entre las variables de producción de FV, FS, cuya base fue la AP, que caracterizaron al maíz amarillo y azul, que aparecen separados de las dos especies restantes, ubicados en el cuadrante II del plano cartesiano, lo que indica que el maíz presentó la mayor producción de biomasa, especialmente el maíz amarillo, pero esta especie, también presentó los menores potenciales de producción energética, con base en sus menores contenidos de ENL, ENM y CMT, datos similares a lo reportado por Thapa *et al.* (2018); Lauzon *et al.* (2019).

Las variedades de avena, ubicadas en el cuadrante III, conformaron el tercer patrón de respuesta, al presentar menor calidad energética, por lo que son menos recomendables para obtener producción de leche y carne, pero son una opción; no obstante, disminuir su contenido de ENL, ENM, CMT y producción de biomasa (FV, FS y AP), mantuvieron altos contenidos de FND y FAD, lo que coincide con lo reportado por Reta *et al.* (2023); Hanoglu (2024). Entre las avenas se observaron diferencias,

especialmente la AE3, superó a la variedad testigo Turquesa y sobre todo a Chihuahua, por lo que el mejoramiento genético de avena y triticale, también ha permitido elevar la calidad energética de ambas especies.

## Conclusiones

El maíz amarillo aportó mayor cantidad de biomasa, mientras las líneas de triticale TCL5 y TCL4 aportaron mayor energía, en tanto que la avena AE3, aportó la misma cantidad de biomasa que el triticale y el mayor registro energético para alimentar un hato. Las tres especies, triticale, avena y maíz, tienen competencia para producir forraje de calidad y son una alternativa para sustituir la producción de alfalfa, porque presentaron menores requerimientos hídricos. La evaluación de estos cultivos identificó diferencias en la producción de forraje y valor nutricional, estos análisis darán opciones para la explotación específica de genotipos en la región semiárida del sur de Sonora.

## Bibliografía

- 1 Billman, E. D.; Souza, I. A.; Smith, R. G.; Soder, K. J.; Warren, N.; Teixeira F. A. and Brito A. F. 2021. Winter annual forage mass-nutritive value trade-offs are affected by harvest timing. *Crop, Forage and Turfgrass Management*. 7(e20113):1-9. <https://doi.org/10.1002/cft2.20113>.
- 2 Fraś, A.; Gołębiewska, K.; Gołębiewski, D.; Mańkowski, D. R.; Boros, D. and Szecówka, P. 2016. Variability in the chemical composition of triticale grain, flour and bread. *Journal of Cereal Science*. 71:66-72.
- 3 French, K. E. 2017. Species composition determines forage quality and medicinal value of high diversity grasslands in lowland England. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 241:193-204. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.03.012>.
- 4 García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 97 p.
- 5 Hanoglu, O. H. 2024. Forage yields and nutritive values of oat and triticale pastures for grazing sheep in early spring. *Peer Journal*. 12:e17840. <https://doi.org/10.7717/peerj.17840>.
- 6 Lauzon, J.; Tremblay, G. F.; Bélanger, G.; Seguin, P.; Lajeunesse, J. and Gervais, R. 2019. Alfalfa and timothy nutritive value in contrasting agroclimatic regions. *Agronomy Journal*. 111(3):1371-1380.
- 7 Lee, M. A.; Davis, A. P.; Chagunda, M. G. G. and Manning, P. 2017. Forage quality declines with rising temperatures, with implications for livestock production and methane emissions. *Biogeosciences*. 14:1403-1417. <https://doi.org/10.5194/bg-14-1403-2017>.
- 8 Lemaire, G.; Sinclair, T.; Sadras, V. and Bélanger, G. 2019. Allometric approach to crop nutrition and implications for crop diagnosis and phenotyping. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 39:27-43.
- 9 López-Jara, A. G.; Reta-Sánchez, D. G.; Santana, O. I.; Reyes-González, A.; Rodríguez-Hernández, K.; Granados-Niño, J. A.; López-Calderón, M. J. y Sánchez-Duarte, J. I. 2025. Rendimiento de forraje y valor nutritivo del ensilado de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 16(1):208-223.
- 10 Mancipe, M. E. A.; Vásquez, V. J. E.; Castillo, S. J.; Ortiz, C. R. E.; Avellaneda, A. Y. y Vargas, M. J. D. J. 2021. Productividad y valor nutricional de forraje de cebada y trigo del trópico alto colombiano. *Agronomía Mesoamericana*. 32(1):271-292.
- 11 Reta, S. D. G.; Sánchez, D. J. I.; Ochoa, M. E.; González, C. A. I.; Reyes, A. G. y Rodríguez, H. K. 2023. Rendimiento y valor nutritivo de bráscas forrajeras en comparación con forrajes tradicionales. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 14(1):237-247.

- 12 Riasat, M.; Kiaani, S.; Saed-Mouchehs, A. and Pessarakli, M. 2019. Oxidant related biochemical traits are significant indices in triticale grain yield under drought stress condition. *Journal of Plant Nutrition.* 42(2):111-126. <https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1549675>.
- 13 SAS Institute. 2016. User's Guide of SAS. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 550 p.
- 14 Shenk, J. S. and Westerhaus, M. O. 1995. The application of near Infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis. In: forage quality, evaluation, and utilization. Ed. Fahey, G. C. Madison, USA. 406-449 pp.
- 15 SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- 16 Soest, V. P. J. 1970. The chemical basis for nutritive evaluation of forages. Proc. Nat. Conf. On forage quality evaluation and utilization. Lincoln, Nebraska, USA. 78 p.
- 17 Thapa, R.; Poffenbarger, H.; Tully, K. L.; Ackroyd, V. J.; Kramer, M. and Mirsky, S. B. 2018. Biomass production and nitrogen accumulation by hairy vetch cereal rye mixtures: a meta-analysis. *Agronomy Journal.* 110(4):1197-1208. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.09.0544>.
- 18 Velasco, L. J. L.; Soto, O. R.; Ail, C. C. E.; Grimaldo, J. O.; Avilés, M. S. M. y Lozano-Río, A. J. 2020. Rendimiento de biomasa y grano en variedades de triticale en el Valle de Mexicali. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 11(5):1097-1109.
- 19 Wood, S.; Seguin, P.; Tremblay, G. F.; Bélanger, G.; Lajeunesse, J.; Martel, H.; Berthiaume, R. and Claessens, A. 2018. Validation of predictive equations of pre-harvest forage nutritive value for alfalfa grass mixtures. *Agronomy Journal.* 110(3):950-960.
- 20 Zhu, F. 2018. Triticale: nutritional composition and food uses. *Food Chemistry.* 241:468-479.



## Alternativas de cultivo para la producción de forraje en el sur de Sonora

Journal Information	Article/Issue Information
Journal ID (publisher-id): remexca	Date received: 1 September 2025
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas	Date accepted: 1 November 2025
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc	Publication date: 6 December 2025
ISSN (print): 2007-0934	Publication date: Nov-Dec 2025
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias	Volume: 16
	Issue: 8
	Electronic Location Identifier: e3886
	DOI: 10.29312/remexca.v16i8.3886

### Categories

Subject: Artículo

### Palabras clave:

#### Palabras clave:

avena  
maíz  
triticale

### Counts

Figures: 2

Tables: 4

Equations: 0

References: 20