



PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y COMPOSICIÓN QUÍMICA EN TRITICALE PRIMAVERAL (x *Triticosecale* Wittmack) EN EL SUR DE SONORA, MÉXICO

FORAGE PRODUCTION AND CHEMICAL COMPOSITION IN SPRING TRITICALE (x *Triticosecale* Wittmack) IN SOUTHERN SONORA, MEXICO

Gilberto Rodríguez-Pérez¹, Luis Latournerie-Moreno², Miguel Angel Avila-Perches^{3a} Martín Quintana-Camargo⁴ y Alfredo Josué Gámez-Vázquez^{3b*}

¹ Tecnológico Nacional de México-Valle del Yaqui, Av. Tecnológico, Block 611, Valle del Yaqui Bácum, C.P. 85276, Ciudad Obregón Sonora, México
<https://orcid.org/00000-0003-2297-8598>

² Tecnológico Nacional de México-Conkal, Av. Tecnológico s/n Conkal, C.P. 97345, Yucatán, México
<https://orcid.org/0000-0002-7684-2111>

^{3a} Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Bajío. Km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende. C.P. 38110, Celaya, Guanajuato, México
<https://orcid.org/0000-0001-6050-9990>

^{3b} Campo Experimental Bajío, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Bajío. Km 6.5 Carretera Celaya-San Miguel de Allende. C.P. 38110, Celaya, Guanajuato, México
<https://orcid.org/0000-0002-2453-0570>

⁴ Centro Nacional de Recursos Genéticos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Blvd. de la Biodiversidad #400 Rancho las Cruces, C.P. 47610, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México
<https://orcid.org/0000-0002-5432-8891>

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

RESUMEN

El híbrido triticales se caracteriza por poseer un importante contenido de proteína, con alrededor de 20% más que el trigo. Por ello, surge la necesidad de investigar y evaluar la alternativa de producir triticales primaverales, de manera particular, en el sur de Sonora, e incorporarlos a la cadena agroalimentaria en la elaboración de alimentos y obtención de forraje. El objetivo de esta investigación fue evaluar la producción de forraje en líneas avanzadas de triticales y sus propiedades químicas. El estudio se realizó en el ciclo agrícola otoño-invierno 2022-2023, en el Tecnológico Nacional de México-Valle del Yaqui, Sonora (México), usando un diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones; cada unidad experimental estuvo conformada por cuatro surcos de cinco metros de longitud. Las variables medidas fueron: producción de forraje verde, forraje seco, altura de planta y número de tallos. Además, se evaluaron las siguientes propiedades químicas: materia seca (MS), proteína cruda (PC), proteína digestible (PD), grasa, fibra ácido detergente (FAD), fibra neutro detergente (FND), carbohidratos no estructurales (CNE), total de nutrientes digestibles (TND), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de mantenimiento (ENM), energía neta de ganancia (ENG), materia seca digestible (MSD) y consumo de materia seca (CMS). Los resultados mostraron diferencias estadísticas entre líneas para todas las variables evaluadas. La línea L-8 mostró mayor

producción de forraje verde y seco, así como en las propiedades químicas más elementales como MS, FAD, FND, TND, MS y cenizas. Sin embargo, el testigo Bicentenario y las L-11, L-7, L-10, L-6, L-9, L-4 se asociaron a altura de planta, grasa, consumo de materia seca, proteína y número de tallos.

Palabras clave: x *Triticosecale* Wittmack, propiedades químicas, producción de forraje.

ABSTRACT

Hybrid triticale is rich in protein content, with values around 20% higher than in wheat. Therefore, there is a need to investigate and evaluate producing spring triticale in southern Sonora, in order to incorporate this crop into the agri-food chain for the production of food and forage. The objective of this research was to evaluate forage production in advanced lines of spring-habit triticales and their chemical properties. The study was carried out in the fall-winter 2022-2023 agricultural cycle at Tecnológico Nacional de México-Valle del Yaqui, Sonora (Mexico), using a randomized block experimental design with three repetitions; each experimental unit consisted of four furrows of five meters in length. The measured variables were: green forage, dry forage, plant height and number of stems. In addition, the following chemical properties were evaluated: dry matter (MS), crude protein (PC), digestible protein (DP), fat, acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF), nonstructural carbohydrates (NSC), total digestible nutrients (TDN), net lactation energy (NLE), net maintenance energy (NME), net energy gain (NEG), digestible dry matter (DDM), and dry matter intake (DMI). The results showed statistical differences between lines for all the variables evaluated; the L-8 line showed a higher production of green and dry forage, as well as in the most basic chemical properties such as DDM, ADF, NDF, TDN, DM and ash. However, the Bicentenario control and the L-11, L-7, L-10, L-6, L-9, L-4 were associated with plant height, fat, DMI, CP and number of stems.

Keywords: x *Triticosecale* Wittmack, chemical properties, forage production.

INTRODUCCIÓN

En Sonora, en el periodo invernal, se requiere de opciones forrajeras con calidad nutritiva que permitan obtener y mantener producción de forraje con buena calidad, en el sur de la entidad, donde recurrentemente se presentan drásticas variaciones climáticas en invierno, como heladas registradas periódicamente en los meses de diciembre y enero, que han causado estragos en la agricultura regional (CONAGUA, 2022). Los cereales como el triticale (x *Triticosecale* Wittmack) representan importantes alternativas para sostener la producción ganadera, poseen tolerancia a heladas durante el desarrollo vegetativo y su uso se ha extendido en los últimos años, utilizándolos en pastoreo, verdeo, henificado, picado y ensilado (Mancipe et al., 2021).

El triticale, es un cereal artificial producto de la hibridación de trigo y centeno, se utiliza principalmente como alimento para animales; en los últimos años se ha incrementado el interés en utilizarlo para la producción de alimentos (Zhu, 2018). Debido a la variabilidad genética y composición química que contiene la planta, se han realizado estudios referentes a la composición nutricional y los diversos usos (Velasco et al., 2020).

De acuerdo a su valor nutricional, el triticale puede convertirse en un cultivo de suma importancia para la alimentación de ganado; sus factores nutricionales como proteínas, materia seca, fibras detergentes y energías de lactancia son deseables para la alimentación de especies herbívoras (Ferrari et al., 2018; Riasat, 2019). Por su parte, Oliete et al. (2010), mencionan que este cereal puede considerarse para el uso en la alimentación humana y animal, lo cual dependerá del genotipo a utilizar. En México, la selección de genotipos con buena producción de forraje y propiedades químicas son adecuados como una alternativa viable en aquellas zonas que carecen de alimentos para animales de buena calidad en periodos críticos (Aisawi et al., 2015).

El cultivo tiene buen comportamiento en regiones con déficit hídrico o suelos salinos; es un gran aliado para la alimentación animal como forraje y obtención de grano. El grano, presenta excelente calidad para su industrialización, ya sea, para la elaboración de harinas para galletas de consumo humano, como su transformación en alimentos balanceados para la nutrición animal (Perales et al., 2020). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar la producción de forraje y las propiedades químicas de líneas de triticale primaveral en el sur de Sonora, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético y desarrollo del experimento

El experimento se estableció en el campo experimental del Tecnológico Nacional de México-Valle del Yaqui durante el ciclo otoño-invierno 2022-2023, ubicado en avenida Tecnológico, Block 611, Valle del Yaqui Bácum, Sonora (México), situado en el sur de la entidad, entre la Sierra Madre Occidental y el Mar de Cortés, entre 27°24'49" latitud norte y 110°7'47" longitud oeste a una altitud de 13 m. El material genético incluyó 12 líneas élite de triticale de hábito primaveral, de generación F₈ que fueron seleccionadas en el campo experimental del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Norman E. Borlaug en Ciudad Obregón, Sonora del vivero PC-YTCL en abril de 2022 más la variedad comercial Bicentenario como testigo (Tabla 1).

Las líneas fueron sembradas en el campo experimental del Tecnológico Nacional de México-Valle del Yaqui en noviembre de 2022. Se establecieron cuatro surcos por genotipo; a la cosecha se consideraron los dos surcos centrales de la parcela experimental para estimar la producción de forraje verde (FV), forraje seco (FS) en estado lechoso-masoso, número de tallos (NT) y altura de planta (AP); el área útil fue de 8,5 m². Al momento del corte se registró el peso de forraje verde (FV), haciendo un corte con una hoz a una altura de 10 cm del suelo de los dos surcos centrales, posteriormente las muestras se pusieron a secar a temperatura ambiente (26 ± 4 °C) por dos días, extrayendo una submuestra de 250 g por unidad experimental, que se secó en estufa a (60 °C) durante 72 horas para estimar

el peso seco. Ambos rendimientos de forraje se expresaron en t ha⁻¹.

Posteriormente se consideraron 500 gramos por línea para realizar los análisis químicos en el laboratorio de Control de Calidad Servicios GAQ S.A. de C.V. en Querétaro, México. La calidad del forraje, se estimó mediante análisis de laboratorio, utilizando el método NIRS (Espectrofotómetro de rayo cercano al infrarrojo) de acuerdo por Shenk y Westerhaus (1995), midiendo: materia seca (MS), grasa, carbohidratos no estructurales (CNE), total de nutrientes digestibles (TND), materia seca disponible (MSD) y consumo de materia seca (CMS); la concentración de proteína cruda (PC) por el método de Kjeldahl como nitrógeno x 6,25 (AOAC, 1997), fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD) se determinaron mediante espectrofotometría de infrarrojo utilizando un espectrofotómetro, de acuerdo con Soest (1970).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza mediante el procedimiento PROC GLM del paquete estadístico SAS versión 9.4. bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones para variables de forraje y químicas. Al encontrar diferencias estadísticas significativas se realizó la comparación de medias mediante la prueba de diferencia mínima significativa LSD (P≤0,05). Para el agrupamiento de las líneas se generó una matriz promediando los datos de todas las variables en estudio para realizar el análisis de componentes principales, con la finalidad de relacionar las líneas con las variables evaluadas, basado en la matriz de distancias y así generar la dispersión en un plano cartesiano. Se utilizó

Tabla 1. Triticale de hábito primaveral evaluados en el sur de Sonora, México, 2022-2023.
Table 1. Spring-habit triticale evaluated in southern Sonora, Mexico, 2022-2023.

Origen	Línea	Genealogía
PC-YTCL 2022	1	CTSS99Y00246S-1Y-0M-0Y-5B-1Y-0B
PC-YTCL 2022	2	CTSS02B00380S-6Y-3M-4Y-2M-1Y-0M
PC-YTCL 2022	3	CTSS02B00413S-22Y-2M-3Y-2M-1Y-0M
PC-YTCL 2022	4	CTSS03Y00100T-050TOPY-49M-1Y-06Y-2M-4Y-0M
PC-YTCL 2022	5	CTSS05Y00094S-020Y-8M-4Y-0M-1Y-0M
PC-YTCL 2022	6	CTSS04B00008S-020Y-24M-2Y-0M-2Y-0M
PC-YTCL 2022	7	CTSS04B00035S-020Y-29M-4Y-0M-2Y-0M
PC-YTCL 2022	8	CTSS07Y00001S-17Y-010M-6Y-3M-3Y-0B
PC-YTCL 2022	9	CTSS07Y00009S-26Y-010M-9Y-1M-3Y-0B
PC-YTCL 2022	10	CTSS07Y00056S-27Y-010M-6Y-3M-1Y-0B
PC-YTCL 2022	11	CTSS07Y00076S-12Y-010M-26Y-1M-4Y-0B
PC-YTCL 2022	12	CTSS07Y00103S-23Y-010M-4Y-1M-2Y-0B
Testigo	13	Bicentenario

el programa Statistica (versión 6.0), generando una matriz de datos X (IXJ) mediante los vectores $a_1, a_2, a_3, \dots, a_i$ para filas y $b_1, b_2, b_3, \dots, b_j$ para las columnas de X, de forma tal que el producto interno aproxime el elemento X_{ij} de la matriz de partida lo mejor posible, el cual considera el análisis para el biplot.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Tabla 2) mostró diferencias significativas ($P \leq 0,01$) entre las líneas para todas las variables evaluadas, debido a la constitución genética de las líneas; se observa que los cuadrados medios mostraron mayores valores en los efectos de líneas, por ello, se produce una

amplia diferencia; por otra parte, los coeficientes de variación fluctuaron entre 10,38 a 14,25%, lo que representa el 89,38 y 85,75% de confiabilidad de que el experimento fue conducido de manera eficiente.

El rendimiento de forraje se incrementó más en la línea L-8 y el testigo Bicentenario quienes mostraron mayores promedios en la producción de forraje verde y forraje seco (Tabla 3), dado a que, a mayor número de tallos y mayor altura por unidad de superficie, es mayor biomasa forrajera, respuesta que permite observar en el coeficiente de variación (12,02%). Esto indica que la línea 8 es una alternativa viable para considerarse a futuro, con un promedio de 46,49 t de forraje verde, mostrando el testigo

Tabla 2. Análisis de varianza (cuadrados medios) en la producción de forraje verde y seco en triticale de hábito primaveral evaluados en el sur de Sonora, México, 2022-2023.

Table 2. Analysis of variance (mean squares) in the production of green and dry forage in spring-habit triticale evaluated in southern Sonora, Mexico, 2022-2023.

Fuentes de variación	GL	Altura de planta (m)	Forraje verde (t ha ⁻¹)	Forraje seco (t ha ⁻¹)	Tallos (número)
Repetición	2	48,16	2805,77	151,32	88,16
Línea	11	145,2**	4177,74**	2380,42**	2842,54**
Error	22	0,16	67,4	7,31	2,53
Total	35	71,62	30,7	1148,53	1364,52
CV ¹ (%)		13,35	12,02	14,25	10,38

** $P \leq 0,0001$. ¹CV: Coeficiente de variación.

Tabla 3. Comparación de medias (DMS) de triticale de hábito primaveral evaluados en el sur de Sonora, México, 2022-2023.

Table 3. Comparison of means (DMS) of spring-habit triticale evaluated in southern Sonora, Mexico, 2022-2023.

Línea	Altura de planta (m)	Forraje verde (t ha ⁻¹)	Forraje seco (t ha ⁻¹)	Tallos (número m ²)
1	1,08 i	38,18 ef	9,61 gh	401,5 g
2	1,11 g	36,99 f	10,41 f	395,6 h
3	1,12 g	34,34 g	9,03 hi	380,2 j
4	1,06 h	36,87 f	9,25 hi	383,5 i
5	1,14 f	42,10 c	15,18 c	420,6 d
6	1,19 d	39,97 de	10,01 fg	390,3 h
7	1,15 e	41,07 cd	11,68 e	414,3 e
8	1,31 a	48,21 a	19,12 a	464,5 b
9	1,05 h	34,91 g	8,69 i	386,5 i
10	1,12 g	41,17 cd	10,47 f	405,5 f
11	1,22 c	46,04 b	13,54 d	446,2 c
Bicentenario	1,29 b	46,49 ab	17,07 b	504,8 a
DMS (0,05)	0,89	18,08	5,95	3,5

Letras diferentes dentro de cada variable indican diferencias significativas.

Bicentenario una ligera ventaja de 1,72 t (Robles et al., 2018; Mancipe et al., 2021); sin embargo, en forraje seco la línea 8 presentó mayor promedio, superando a Bicentenario con 2,05 t; el número de tallos por unidad de superficie, está muy ligada para alcanzar los rendimientos finales de forraje, coincidiendo con Paccapelo et al. (2017), quienes reportaron, que el número de tallos por m² fue el determinante directo del rendimiento de forraje por unidad de superficie, y que este componente depende del macollamiento y de la supervivencia de estos.

La Tabla 4 evidenció diferencias estadísticas ($P \leq 0,01$) en la mayoría de las variables de estudio, excepto en grasa; de acuerdo con el modelo de efectos en los cuadrados medios se observa que materia seca disponible (MSD), energía neta de lactancia (ENL) y materia seca (MS) obtuvieron valores superiores en los cuadrados medios, lo refiere a la estimación de la varianza de las líneas en estudio; sin embargo, tanto los efectos en grasa, proteína digestible (PD), energía neta de mantenimiento (ENM) y proteína cruda (PC), sus valores fueron inferiores, esto fue debido a la que las líneas manifestaron amplia diferencia genética (Fraš et al., 2016), los coeficientes de variación fluctuaron entre 4,91 a 16,45, significando un 95,09 y 83,55% de confiabilidad, respectivamente en los datos generados en esta investigación.

En la Tabla 5 se muestran los resultados de las determinaciones químicas, observándose que en materia seca (MS) las líneas 2, 9 y 11 obtuvieron bajos porcentajes, con 3,3, 3,5 y 3,4%, respectivamente, mientras que el resto tuvieron porcentajes por sobre el 3,6%. Glamočlija et al. (2018), mencionaron que el consumo de materia seca es de gran importancia para la nutrición animal, especialmente en animales en pastoreo, ya que establece la cantidad de nutrientes disponibles para la salud, reproducción y producción animal. A menor edad, el animal consume menos materia seca y, por cada 100 kg de peso, el animal debe comer un equivalente de materia seca de 1,8 a 3,5 kg, es decir, de 1,8 a 3,5% de materia seca; los resultados mostraron que las líneas L-2, L-9 y L-11 tuvieron porcentajes menores a 3,5%, lo que indica que son adecuados para el consumo animal. Para PC, L-8, el testigo Bicentenario, L-11 y L-6 los porcentajes tendieron a ser mayores, con 8,69, 8,38, 8,34 y 8,25%, respectivamente; sin embargo, el resto de las líneas presentaron porcentajes entre 6,91 a 7,97%, estas líneas y el testigo mostraron un comportamiento superior en proteína digestible (PD).

La determinación de la proteína cruda (PC) y (PD) en el alimento es uno de los análisis más importantes, ya que las proteínas no pueden ser reemplazadas por ninguno de los otros

Tabla 4. Análisis de varianza de triticale de habito primaveral evaluados en el sur de Sonora, México, 2022-2023.
Table 4. Analysis of variance of spring-habit triticale evaluated in southern Sonora, Mexico, 2022-2023.

Fuentes variación	GL	MS (%)	PC (%)	PD (%)	Grasa (%)	FAD (%)	FND (%)	CNE (%)	TND (%)	ENL (Mcal/Kg)	ENM (Mcal/Kg)	ENG (Mcal/Kg)	MSD (%)	CMS (%)
Repetición	2	14,5	0,07	0,02	0,32	1,44	0,38	7,16	14,88	5,72	2,65	0,38	56,25	0,83
Línea	11	108,6**	3,5**	2,96**	0,31	58,22**	11,55**	28,93**	8,75**	196,1**	2,97**	10,81**	212,92**	10,19**
Error	22	23,4	0,7	0,99	0,14	0,46	0,25	1,71	3,95	2,54	1,06	0,07	19,42	0,04
Total	35	47,4	1,49	1,45	0,21	17,56	3,59	10,35	6,65	59,78	2,04	5,29	114,46	5,11
CV1 (%)		15,52	10,91	9,22	10,62	4,91	11,97	6,23	16,45	7,14	15,77	13,14	6,15	8,22

GL: grados de libertad; MS: materia seca; PC: proteína cruda; FAD: fibra ácido detergente; FND: fibra neutro detergente; CNE: carbohidratos no estructurales; TND: total de nutrientes digestibles; ENL: energía neta de lactancia; ENM: energía neta de mantenimiento; ENG: energía neta de ganancia; MSD: materia seca disponible; CMS: consumo de materia seca; CV1: coeficiente de variación.

Tabla 5. Composición química de triticale de hábito primaveral con las propiedades químicas evaluadas en el sur de Sonora, México, 2022-2023.

Table 5. Chemical composition of spring-habit triticale with chemical properties evaluated in southern Sonora, Mexico, 2022-2023.

Parámetro	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-6	L-7	L-8	L-9	L-10	L-11	Bic.	DMS (0,05)
MS (%)	3,7 b	4,1 a	3,9 b	3,8 b	3,7 b	3,9 a	4,3 a	3,4 c	4,1 a	3,7 b	3,5 c	3,3 c	0,7
PC (%)	7,97d	7,71d	7,01c	7,79d	7,78d	8,25c	7,2c	8,69 a	6,9c	7,72d	8,34ab	8,38ab	0,32
PD (%)	3,47c	2,77d	3,32cd	2,61d	3,29cd	3,72ab	2,49e	3,84ab	3,24cd	3,23cd	3,85ab	4,12a	0,28
Grasa (%)	3a	3a	3a	3a	3a	3a	3a	3a	3a	3a	3a	3a	0,21
FAD (%)	37,23b	40,12ab	36,39f	39,63ab	37,25b	33,06d	39,73ab	29,17f	35,96c	43,23a	35,46c	31,85e	3,14
FND (%)	54,33c	60,58b	59,22b	55,51c	55,78c	53,12c	62,43a	50,94d	54,43c	59,49b	49,1d	48,38e	3,25
CNE (%)	24,95b	25,08b	18,58c	18,56c	19,56c	22,28bc	25,89b	33,22a	31,12a	33,23a	26,21ab	28,08ab	8,29
TND (%)	58,72ab	57,54ab	56,28b	56,07b	59,06ab	57,21ab	59,2ab	59,71ab	55,55b	61,17a	62,03a	60,99a	6,51
ENL (Mcal kg ⁻¹)	1,33ab	1,26bc	1,24bc	1,28bc	1,33ab	1,29bc	1,32bc	1,38ab	1,26bc	1,38ab	1,35ab	1,42a	0,24
ENM (Mcal kg ⁻¹)	1,62b	1,49cd	1,49cd	1,47e	1,59bc	1,54c	1,61b	1,69ab	1,53c	1,68ab	1,72a	1,63b	0,11
ENG (Mcal kg ⁻¹)	0,99c	0,92d	0,94d	0,94d	0,95d	1,00c	1,02c	1,13a	0,88e	1,07b	1,01c	1,07b	0,12
MSD (%)	58,03c	60,55bc	64,09b	59,88c	59,88c	57,95c	63,15b	61,28e	66,18a	59,9b	57,65c	55,22d	2,12
CMS (%)	2,15e	2,26c	2,44a	2,21d	2,16e	2,03f	2,36b	1,92fg	2,48a	2,21d	2,02f	1,98f	0,14

MS=materia seca, PC=proteína cruda, PD=proteína digestible, FAD=fibra ácido detergente, FND=fibra neutro detergente, CNE=carbohidratos no estructurales, TND=total de nutrientes digestibles, ENL=energía neta de lactancia, ENM=energía neta de mantenimiento, ENG=energía neta de ganancia, MSD=materia seca digestible y CMS=consumo de materia seca.

componentes del alimento (Fan, 2018). Por lo tanto, el contenido de proteína cruda tiene una influencia significativa en el crecimiento de los animales, dado que pueden proporcionar energía cuando es necesario, en muchas de las estructuras del tejido animal como los músculos y algunas reacciones metabólicas, por ejemplo, las enzimas y las hormonas, las cuales son catalizadas por proteínas. Las proteínas no solo ayudan a reparar y mantener el tejido del tracto gastrointestinal, sino que también son esenciales para la producción de las enzimas digestivas y los jugos gástricos necesarios para la correcta digestión y absorción de nutrientes (Wang et al., 2021; Wu et al., 2019).

En proteína cruda (PC), proteína digestible (PD), materia seca disponible (MSD) y consumo de materia seca disponible (CMS), las líneas L-8, testigo Bicentenario, L-11 y L-6 obtuvieron porcentajes deseables de 8,69, 8,38, 834 y 8,25% de PC; 3,84, 4,12, 3,85 y 3,72% de PD; 61,28, 55,22, 57,65 y 57,95% de MSD; 1,92, 1,98, 2,02 y 2,03% de CMS, respectivamente; los porcentajes anteriores puede ser benéficos para el consumo animal, dado que el alimento es uno de los análisis más importantes, además que las proteínas no pueden ser reemplazadas por ninguno de los otros componentes del alimento (Robles et al., 2018). Por lo tanto, el contenido de proteína cruda tiene una influencia significativa en el crecimiento de los animales, debido a las características y beneficios descritos por Mancipe et al. (2021), Fraś et al. (2016) y Fan (2018).

En fibra de ácido detergente (FAD) y fibra neutro detergente (FND), las líneas Bicentenario, L-12, L-8, L-6, L-11 y L-9 presentaron menores niveles en ambos parámetros, los cuales pueden influir en la ingesta de materia seca del animal, la cual tiene como función crucial en el proceso digestivo de los animales rumiantes, ya que afecta la ingesta de alimento, la fermentación ruminal y la utilización de nutrientes. Los niveles altos de (FAD) y (FND) afectan el comportamiento alimentario, la fermentación ruminal y el rendimiento productivo durante el período de máxima lactancia en las vacas lecheras, como pudiese ser el caso de L-2, L-7 y L-10, quienes obtuvieron rangos mayores; por su parte, Guinta et al. (2017) mencionan que valores mayores de FAD y FND en las dietas para ganado vacuno de carne que carecen de la fibra adecuada, pueden dañar la pared del rumen. La eficacia de las fibras para favorecer la salud del rumen está relacionada positivamente con el tamaño de partícula de la fibra y, a menudo, se la denomina fibra eficaz (Zhang et al., 2016).

En los carbohidratos no estructurales (CNE), las líneas L-11, Bicentenario, L-6, L-8 y L-10

mostraron mayores porcentajes, con 33,23, 33,22, 31,12, 28,08 y 26,21%, respectivamente, mientras que las líneas L-1, L-4 y L-9 tuvieron porcentajes inferiores (18,56, 18,58 y 19,56% respectivamente). Los carbohidratos aseguran el crecimiento equilibrado de los diferentes grupos microbianos en el rumen, que les permite a los animales un programa nutricional eficiente y saludable con la producción de energía, el almacenamiento de energía, la construcción de macromoléculas, el ahorro de proteínas y la asistencia en el metabolismo de los lípidos (Glamočlija et al., 2018; Holman et al., 2018).

La energía neta de lactancia (ENL), en el testigo Bicentenario y las líneas L-8, L-10, L-11, L-1 y L-5, mostraron mayores valores con 1,42, 1,38, 1,38, 1,35, 1,33 y 1,33 Mcal kg⁻¹, respectivamente. En energía neta de mantenimiento (ENM), las líneas L-11, L-8 y L-10 presentaron valores superiores con 1,72, 1,69, y 1,68 Mcal kg⁻¹; por lo que refiere a energía neta de ganancia (ENG), la línea L-8 se ubicó en el primer grupo estadístico, seguido de L-10 (1,13 Mcal kg⁻¹) y el testigo Bicentenario, obteniendo valores de 1,07, y 1,07 Mcal kg⁻¹, respectivamente.

Estas tres energías tienen relevancia para la nutrición animal, ya que se refiere a la ingestión de cualquier alimento que genera calor de origen bioquímico al desdoblarse los nutrientes en el aparato digestivo e incorporándose dentro del organismo; los triticales pueden aportar cantidades utilizables de energía de alta calidad disponible que necesita un herbívoro a partir de una cantidad dada de un recurso energético; sin las energías se podría estar desarrollando y utilizando fuentes que cuestan más energía que la que se proporciona; Billman et al. (2021) y Holman et al. (2018) mencionan que una relación de energía neta mayor a uno, significa que hay una ganancia neta de energía utilizable para el animal; sin embargo, una relación de energía neta menor a uno, significa que hay una pérdida total de energía para el consumo animal. Debido a lo anterior, en este estudio las líneas anteriormente mencionadas obtuvieron valores mayores a uno, las cuales se sugiere considerar en futuras investigaciones.

Componentes principales

En la Fig. 1 se muestra el biplot correspondiente al análisis de componentes principales entre líneas, producción de forraje y propiedades químicas. El plano conformado por las dos primeras componentes principales explicó un 91,20% de la variabilidad total. Se considera un porcentaje adecuado para representar confiablemente las relaciones entre líneas y las variables analizadas de acuerdo a las cifras descritas por Aquino y

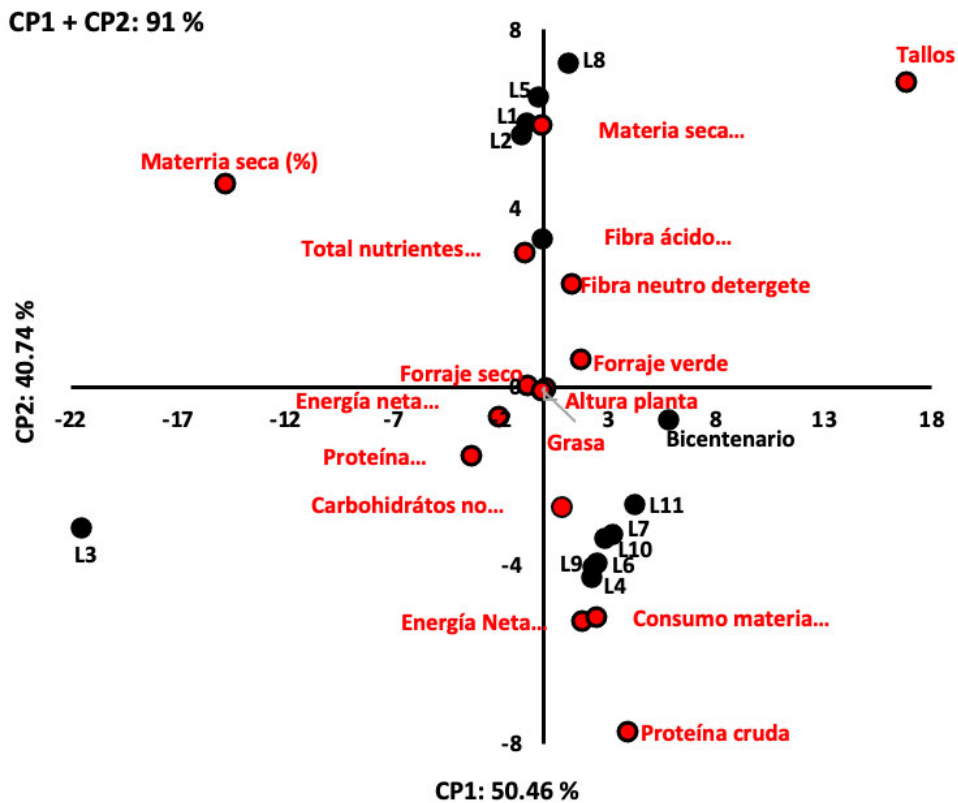


Fig 1. Biplot del análisis de componentes principales, entre líneas, variables físicas y químicas en triticale primaveral evaluadas en el sur de Sonora, México.

Fig 1. Biplot of principal component analysis, between physical and chemical variable lines in spring triticale evaluated in southern Sonora, Mexico.

Gómez (2019). Respecto a la ubicación de los genotipos en el biplot se observa que el testigo Bicentenario y las líneas L-11, L-7, L-10, L-6, L-9, L-4 se asociaron a consumo de materia seca, proteína cruda, energía neta consumo de materia seca. Estas líneas se agruparon por tener mayor proteína, porcentajes mayores de 3% en grasa, por ende, estas líneas son una opción viable, según lo señalado por Robles et al. (2018).

Por otra parte, la línea L-8, presentó una respuesta similar a las líneas L-5, L-2 y L-2, que presentaron mayor producción de materia seca digestible, número de tallos, fibra ácido detergente, fibra neutro detergente, total de nutrientes digestibles y materia seca; en especial, L-8, obtuvo valores menores del 60% en digestibilidad de la FDN, menor al 30% de fibra ácido detergente, menor porcentaje de fibra neutro detergente, mayor porcentaje total de nutrientes digestibles (Harper et al., 2017; Zhu, 2018). Estos resultados son favorables en esta línea, haciéndola viable como una alternativa de cereales de grano

pequeño. El triticale, al igual que otros cereales son parte estándar de la alimentación balanceada en animales, especialmente cuando estos necesitan más energía. Dado que se encontraron valores aceptables en sus propiedades químicas, pueden satisfacer una proporción significativa de las necesidades de forraje en periodos de escasez para subsanar la alimentación en distintos animales domésticos y de granja (Glamočlija et al., 2018).

CONCLUSIONES

En las condiciones de campo en el sur de Sonora, la línea L-8 y el testigo Bicentenario mostraron mejor producción de forraje verde y seco, así como en las propiedades químicas como materia seca, proteína cruda, proteína digestible, y las energías neta de lactancia, mantenimiento y de ganancia; en fibra ácido y neutro detergente, en el total de nutrientes digestibles, materia seca y cenizas, las líneas L-10 y L-11 sobresalieron; sin

embargo, el testigo Bicentenario y las L-11, L-7, L-10, L-6, L-9, L-4 se asociaron a mayor altura de planta, grasa, consumo de materia seca, proteína y número de tallos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del Estado de Sonora A.C., México (PIEAES), por su financiamiento durante el desarrollo del experimento.

Contribución de autores:

Gilberto Rodríguez Pérez, participación activa en la metodología; Luis Latournerie Moreno, participación activa en la revisión bibliográfica; Miguel Angel Avila Perches, participación activa en la revisión bibliográfica; Martín Quintana Camargo, participación activa en la discusión de los resultados y Alfredo Josué Gámez Vázquez, participación activa en la discusión de resultados y aprobación final del artículo.

LITERATURA CITADA

- AOAC, 1997. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 15th ed. Arlington V.A.
- Aisawi, K., M. Reynolds., R. Singh., and M. Foulkes. 2015. The physiological basis of the genetic progress in yield potential of CIMMYT spring wheat cultivars from 1966 to 2009. *Crop Science* 55(4): 1749-1764.
- Aquino, V. C., y V. N. I. Gómez. 2019. Triticale (*X Triticosecale Wittmack*): bioestimulantes orgánicos y fertilización nitrogenada sobre los componentes de rendimiento forrajero en campaña chica - Valle del Mantaro. *Scientia Agropecuaria* 10(4): 469-477.
- Billman, E. D., I. A. Souza., R.G. Smith., K.J. Soder., N. Warren., F.A. Teixeira, and A.F. Brito. 2021. Winter annual forage mass-nutritive value trade-offs are affected by harvest timing. *Crop Forage and Turfgrass Mgmt.* 7: 1-9. <https://doi.org/10.1002/cft2.20113>.
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua 2022. Normales climatológicas por estado. Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx> (21 de mayo 2022).
- Fan, Z. 2018. Nutritional composition and food use. *Food Chemistry* 14, 241:468-479.
- Ferrari, E. D., V.A. Ferreira., E.M. Grassi., A.M.T. Picca., and H.A. Paccapelo, 2018. Genetic parameters estimation in quantitative traits of a cross of triticale (*X Triticosecale Wittmack*). *Open Agriculture* 3(1):25-31.
- Fraś, A., K. Gołębiewska, K. Gołębiewski, D.R. Mańkowski, D. Boros, and P. Szcówka. 2016. Variability in the chemical composition of triticale grain, flour and bread. *Journal Cereal Science* 71:66-72.
- Guinta, F., R. Motzo, A. Viridis, and A. Cabiglieria, 2017. The effects of forage removal on biomass and grain yield of intermediate and spring triticales. *Field Crops Research* 200: 47-57.
- Glamočlija, N., J. Ćirić, D. Šefer, M. Glišić, M.Z. Baltić, and M. Marković. 2018. The importance of triticale in animal nutrition. *Veterinary Journal of Republic of Srpska (Baňa Luka-Banja Luka)*. Vol. XVIII, No.1, 73 -94. <https://doi.org/10.7251/VETJEN1801073G>
- Harper, M. T., J. Oh, F. Giallongo, G. W. Roth, and A. N. Hristov. 2017. Inclusion of wheat and triticale silage in the diet of lactating dairy cows. *Journal Dairy Science* 100:1-13.
- Holman, J.D., A. K. J. Dille., S. Maxell., A. Obour., R.T. Roozeboom., and A. Schlegel. 2018. Can cover or forage crops replace fallow in the semiarid central Great Plains? *Crop Science* 58:932-944. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.05.0324>.
- Mancipe, M. E. A., V. J. E. Vásquez, S. J. Castillo, C. R. E. Ortiz, A. Y. Avellaneda y M. J. D. J. Vargas. 2021. Productividad y valor nutricional de forraje de cebada y trigo del trópico alto colombiano. *Agronomía Mesoamericana* 32 (1): 271-292.
- Oliete, B., G. Pérez, M. Gómez, P. Ribotta, M. Moiraghi, and A. León. 2010. Use of wheat, triticale and rye flours in layer cake production. *Journal Food Science and Technology* 45(4):697- 706.
- Paccapelo, H., V. Ferreira, A. Picca, E. Ferrari, R. Domínguez, E. Grassi, A. Ferreira, H. Di Santo y E. Castillo. 2017. Triticale (*X Triticosecale Wittmack*): Rendimiento y sus componentes en un ambiente semiárido de la Argentina. *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia* 33(1): 45-58.
- Perales, G. M. V., M.L.F. Alvarado., S.L. Hermosillo, S.F. Vega y A.M.C. Hermosillo. 2020. Impacto de la agricultura de conservación y la aplicación de zinc en la rentabilidad sostenible de forraje de maíz-triticale en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Agronegocios* 47:617-617.
- Riasat, M., S. Kiaani, M.A. Saed, and P. Mohamed. 2019. Oxidant related biochemical traits are significant indices in triticale grain yield under drought stress condition. *Journal of Plant Nutrition* 42(2): 111-126.

- Robles, J. L. E., O. A. Morales, M. M. G. Gutiérrez, A. J. Osorio, O. O. A. Castelan, and R. González. 2018. Forage yield, chemical composition and in vitro gas production of triticale varieties (*X Triticosecale* Wittmack) preserved by silage or hay. *Revista Acta Agronómica* 67(3): 431-437.
- Shenk, J.S., and M. Westerhaus. 1995. The application of near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS) to forage analysis. En: *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. Eds. Fahey, G.C. Madison, USA. WI. p. 406.
- 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.
- Velasco, L. J. L., O. R. Soto, C. C. E. Ail, J. O. Grimaldo, M. S. M. Avilés, and A. J. Lozano del Río, 2020. Rendimiento de biomasa y grano en variedades de triticale en el valle de Mexicali. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 11(5): 1097-1109.
- Wang, K., Y. Wang, Z. Liu, and Y. Ni. 2021. Effects of extraction methods on the structural characteristics and functional properties of dietary fiber extracted from kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Food Hydrocolloids* 110. 106162. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106162>.
- Wu, D. T., W. Liu, Q. H. Han, G. Du, H.Y. Li, and Q.Q.W Yuan. 2019. Physicochemical characteristics and antioxidant activities of non-starch polysaccharides from different kiwifruits. *International Journal of Biological Macromolecules* 136: 891-900.
- Zhang, X., S. Noda, R. Huimeno, and H. Liu. 2016. Cardiovascular disease-induced thermal responses during passive heat stress: an integrated computational study, *International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering* 32(11):2-23 p.
- Zhu, F. 2018. Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chemistry* 241: 468-479 p.