

Rendimiento y valor nutritivo de cereales y cártamo forrajero en la Comarca Lagunera

Yield and nutritional value of cereals and safflower forage in the Comarca Lagunera

Ochoa-Espinoza XM¹, Reta-Sánchez DG^{2*}, Cano-Ríos P³, Sánchez-Duarte JI², Ochoa-Martínez E², García-Martínez JE⁴, Reyes-González A², Quiroga-Garza HM⁵

¹ Campo Experimental Norman E. Borlaug. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Calle Dr. Norman E. Borlaug km. 12, Col. Valle del Yaqui, CP 85000, Cd. Obregón, Sonora, México.

² Campo Experimental Delicias. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales. CP 33000. Centro, Cd. Delicias, Chihuahua, México.

³ Campo Experimental La Laguna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Boulevard José Santos Valdez 1200 pte. CP 27440. Matamoros, Coahuila, México.

⁴ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calz. Antonio Narro 1923, Buenavista. C.P. 25315. Saltillo, Coahuila, México.

⁵ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Carretera a Santa Fé y Periférico Raúl López Sánchez s/n. Col. Valle Verde. CP 27054. Torreón, Coahuila, México.

ABSTRACT

Safflower and cereals sowing as an alternative to oat allow to increase the forage potential in late sowings during fall-winter season. The objective of the study was to compare the forage potential and nutritive value of cereals and safflower with those observed in oat late sowings during fall-winter season. The study was conducted during the fall-winter season of 2017-2018 and 2018-2019 in Matamoros, Coahuila, Mexico. Cultivars of oat, barley, wheat, triticale and safflower with or without spines were evaluated. A randomized complete block design with four replications was used. Forage nutritive value, dry matter (DM) and nutrients yields were determined. Late sowing of barley and wheat increased the forage potential with or without incidence of foliar disease in oat. The increments reached from 26.3 % to 39 % in DM yields, 34.8% in Crude protein yields, 34.2 % in net energy for lactation yields and 29.4 % to 34.8 % in digestible DM yield. The species triticale, wheat, barley and spineless safflower also were good alternatives, but only when dry forage yields were reduced by foliar diseases. The forage potential may be increased using alternative species to oat in late sowings of fall-winter season.

Key words: Dry matter; crude protein; fiber; digestibility; foliar diseases.

RESUMEN

El cártamo y los cereales como alternativas a la avena permiten incrementar el potencial forrajero en siembras tardías de otoño-invierno. El objetivo del estudio fue comparar el potencial forrajero y el valor nutritivo de cereales y cártamos con y sin espinas con los observados en avena en siembras tardías de otoño-invierno. El estudio se realizó en los ciclos otoño-invierno de 2017-2018 y 2018-2019 en Matamoros, Coahuila, México. Se evaluaron cultivares de avena, cebada, trigo, triticale y cártamos con y sin espinas. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Se determinó el valor nutritivo del forraje y los rendimientos de nutrientes. La cebada y el trigo aumentaron el potencial forrajero con la incidencia o no de enfermedades foliares en avena. Los incrementos fueron en producción de materia seca (MS) (26.3 a 39.0 %), proteína cruda (34.8 %), energía neta para lactancia (34.2 %) y MS digestible (29.4 a 34.8 %). Las especies triticale, trigo, cebada y cártamo también fueron buenas alternativas, pero sólo cuando los rendimientos de forraje en avena fueron reducidos por enfermedades foliares. El potencial forrajero puede incrementarse con especies alternativas a la avena en siembras tardías de otoño-invierno. **Palabras claves:** Materia seca; proteína cruda; fibra; digestibilidad; enfermedades foliares.

INTRODUCCIÓN

En 2020, la producción de leche de vaca en México fue de 12'564,000 millones de litros, de los cuales 20.51 % se produjo en los sistemas de producción especializados de la Comarca Lagunera (SIAP, 2021). En esta región, los principales patrones de forrajes usados para alimentar el ganado están compuestos de maíz y/o sorgo en primavera o verano y avena en otoño-invierno (Sánchez *et al.*, 2018). Uno de los principales problemas para producir estos forrajes es la escasez de agua para riego (Reta *et al.*, 2017b). Además, la producción de forrajes, sobre todo durante la primavera y el verano, está siendo afectada por los efectos del cambio climático como la elevada temperatura y por los periodos de sequía prolongados (Sanderson *et al.*, 2011). Esta situación se agravará en las próximas décadas. Por lo tanto, es necesario encontrar especies forrajeras alternativas como cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) sin espinas, triticale, cebada y trigo que ayuden a sostener la producción de leche bajo las condiciones limitadas de agua de riego en un futuro en el norte-centro de México.

Una alternativa para incrementar el potencial forrajero en la región es la siembra de cártamo en siembras tardías,

como cultivo con características apropiadas para regiones áridas y semiáridas con limitada disponibilidad de agua (Bar-Tal *et al.*, 2008; Leshem *et al.*, 2000), y con moderada tolerancia a la salinidad (Maas *et al.*, 1986). Otra alternativa es la siembra de cereales forrajeros alternativos como triticale, cebada y trigo; los cuales tienen mayor tolerancia a bajas temperaturas (Snyder y Melo-Abreu, 2005) y salinidad (Santamaría *et al.*, 2006) que la avena. Además, en comparación con avena, estos cultivos no han mostrado daños por enfermedades foliares en siembras tardías en esta región (Reta *et al.*, 2018). El objetivo de este estudio fue comparar el potencial forrajero y la composición nutritiva de cereales de grano pequeño y cártamos con y sin espinas con los observados en avena en siembras tardías de otoño-invierno. El estudio está diseñado para evaluar la hipótesis de que existen genotipos de cereales de grano pequeño y cártamo con características adecuadas para incrementar la composición nutritiva del forraje y los rendimientos de materia seca y nutrientes por hectárea, respecto a la avena en siembras tardías de otoño-invierno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

Los experimentos se realizaron en los ciclos de producción de otoño-invierno 2017/2018 y 2018/2019, en el Campo Experimental La Laguna, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Matamoros, Coahuila, México (25° 32' N, 103° 14' O y 1150 m sobre el nivel del mar). El suelo en el sitio experimental presenta una textura franco arcillosa, con una profundidad mayor a 1.8 m, valores de disponibilidad de agua de 150 mm m^{-1} (Santamaría *et al.*, 2008), contenido de carbono orgánico de 0.75% y un pH de 8.14 (Santamaría *et al.*, 2006).

Tratamientos evaluados

La investigación consistió en comparar el comportamiento de cinco especies forrajeras como: avena (*Avena sativa* L.), cebada (*Hordeon vulgare* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), triticale (*xTriticosecale* Wittmack) y cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los cultivares fueron: Avena (Cuauhtémoc y Karma), cebada (Cántabra, Narro95 y Valencia), trigo (AN265 y Salamanca), triticale (AN105 y Rio Nazas) y cártamo (CD686, Selkino y Guayalejo).

Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió en un paso de arado, seguido de doble rastreo y nivelación con escropa. La dosis de fertilización para N y P, se calculó considerando la capacidad de extracción del cultivo: 250 y 80 kg de N, P_2O_5 ha^{-1} respectivamente. La fuente de nitrógeno fue urea (46% de N) y la de fósforo, fosfato monoamónico (52% de P_2O_5). Para este último la dosis completa se aplicó a la siembra, la del N se distribuyó en porcentaje de 20, 40, 40 a la siembra, primero y segundo riegos de auxilio, respectivamente. La

preparación del terreno y fertilización fue la misma en ambos ciclos del cultivo. No se aplicó fertilizante potásico debido a que los suelos en la región presentan un alto contenido de potasio disponible, con valores promedio de 3030 kg ha^{-1} a 0.30 m de profundidad (Santamaría *et al.*, 2006).

Siembra y manejo agronómico del cultivo

En ambos experimentos la siembra se realizó en seco de forma manual, el 21 de diciembre de 2017 (Experimento 1) y el 23 de diciembre de 2018 (Experimento 2); el riego de siembra se aplicó el día siguiente. La densidad de siembra de los cereales fue de 80 kg ha^{-1} de semilla con 85% de germinación. Cada parcela experimental se estableció en 12 hileras con una distancia entre surcos de 18 cm y 6 m de longitud (12.96 m^2). La parcela útil fue de 5 m de longitud de los 10 surcos centrales (9 m^2). Cuando la planta del cultivo de cártamo alcanzó una altura de 15 cm se realizó un aclareo en toda la parcela experimental con la finalidad de dejar una densidad de 1,2 millones de plantas por hectárea. El cultivo del cártamo y los cereales recibieron un total de tres riegos de auxilio durante todo el ciclo; a los 34, 56 y 74 días después de la siembra (dds). Las etapas fenológicas de los cereales al aplicar los riegos luego de la siembra fueron: amacollamiento, encañe y embuche. La lamina en el riego de siembra fue de 150 mm en los otros tres riegos fueron de 130 mm.

Variables respuesta

El índice de área foliar (IAF) se midió semanalmente durante el desarrollo del cultivo usando un ceptómetro AccuPAR PAR/LAI modelo LP-80 (Decagon Devices, Inc., Pullman WA), se tomaron seis lecturas por parcela entre las 1200 y 1400 h tiempo solar. En la cosecha se determinaron los rendimientos de forraje fresco y de MS. El contenido de MS se determinó en una muestra de 0.4 m^2 tomada al azar en la parcela útil. Para ello, se muestrearon 0.74 m de tres de los surcos centrales de cada parcela. Las plantas muestreadas fueron pesadas en fresco, luego se realizó un pre-secado bajo la protección de un invernadero por cinco días, y posteriormente las muestras fueron secadas a 65 °C en una estufa de aire forzado por 48 a 72 horas hasta alcanzar peso constante (Novotny *et al.*, 2018; Buthelezi *et al.*, 2019). El rendimiento de MS se estimó multiplicando el rendimiento de forraje fresco por el porcentaje de MS del forraje en cada parcela útil. Las plantas muestreadas para estimar el contenido de MS fueron utilizadas para analizar el valor nutritivo del forraje. Las muestras de forraje en base seca se molieron en un molino Wiley® (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, USA) con malla de 1 mm. En cada muestra se determinó el contenido de nitrógeno utilizando el método de combustión Dumas número 990.03 de AOAC mediante el equipo Thermo Scientific Flash 2000 y el resultado se multiplicó por 6.5 para obtener el porcentaje de proteína cruda (PC) de la muestra (AOAC, 2005). La fibra neutro detergente (FND) y la fibra ácido detergente (FAD) se analizaron de acuerdo a Georing y Van Soest (1970). La

digestibilidad “*in vitro*” de la MS (DIVMS) se obtuvo utilizando una muestra del forraje seco y molido en la incubadora (Ankom Technology) Daisy (Ankom Technology, 2017). El contenido de energía neta para lactancia (EN_L) se determinó mediante la metodología propuesta por Weiss *et al.* (1992). Los rendimientos de PC y EN_L por hectárea se obtuvieron al multiplicar los contenidos de PC y EN_L por el rendimiento de MS por hectárea estimado en cada parcela experimental. El rendimiento de MS digestible (MSD) por hectárea se obtuvo al multiplicar DIVMS por el rendimiento de MS por hectárea.

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos para las variables en estudio se presentan por ciclo. Se realizaron análisis de varianza ($P < 0.05$) para las siguientes variables: rendimientos de MS, PC, EN_L , MSD y concentraciones de PC, FND, FAD y DIVMS. Para comparar las medias se utilizó la prueba de la diferencia mínima significativa protegida de Fisher ($P \leq 0.05$). El análisis de la información se efectuó con el programa estadístico SAS (SAS Institute, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clima y desarrollo del cultivo

Las temperaturas durante los dos ciclos de producción tuvieron un comportamiento diferente. La temperatura media del ciclo 2018-2019 fue más alta en diciembre y enero respecto a la ocurrida en 2017-2018, debido a las mayores temperaturas máximas y mínimas registradas en ese período (Figura 1). En enero ocurrió la emergencia de plántulas, posteriormente, en febrero y marzo durante la elongación del tallo y el crecimiento rápido de las plantas, la temperatura media del ciclo 2018-2019 fue menor, debido principalmente a una más baja temperatura mínima.

En relación a las temperaturas promedio de 30 años, las temperaturas medias de los dos ciclos del estudio fueron superiores, principalmente debido a que las temperaturas máximas fueron mayores durante todo el ciclo de crecimiento de los cereales y el cártamo. La precipitación ocurrida durante el desarrollo del cultivo fue mayor en el ciclo 2017-2018 (60,2 mm) respecto a la registrada en el ciclo 2018-2019 (21,30 mm) y en el promedio de 30 años (28,43 mm) (Figura 1).

El crecimiento y desarrollo de la cebada, el trigo y el triticale fue normal en los dos ciclos de crecimiento, mientras que la avena en 2017-2018 presentó problemas de enfermedades como roya (*Puccinia coronata*), cenicilla (*Erysiphe graminis*) y síntomas asociados al virus del enanismo amarillo de la cebada (bydv, por sus siglas en inglés) transmitido por pulgones. El virus del enanismo amarillo de la cebada (VEAC) es transmitido por áfidos *Sitobion avenae* (Fab), *Metopolophium dirhodum* (Wlk) y *Rhopalosiphum padi* L. (Herrera y Quiroz, 1983). En estudios realizados por (Navarro, 2017) menciona que la especie *Sitobion avenae* (Fab), puede llegar a producir entre 15 a 20 generaciones al año con una temperatura media de 20°C y una humedad relativa entre 75-80 %.

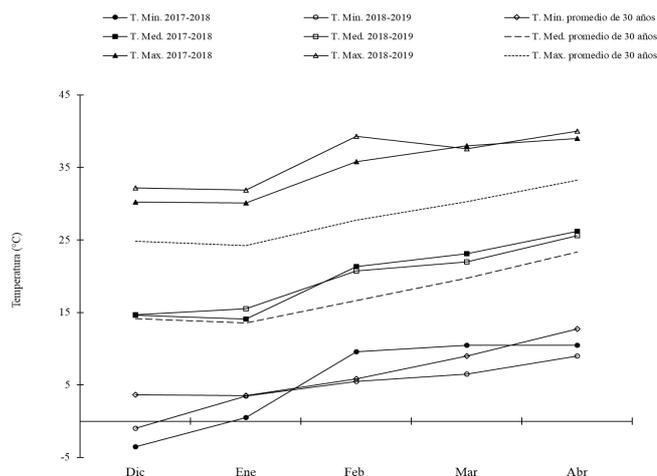


Figura 1. Temperatura (a) y precipitación (b) mensual durante el ciclo de desarrollo del cártamo en los dos años de estudio y los valores promedio de 30 años (1990-2019) en el Campo Experimental La Laguna, México.
Figure 1. Monthly temperature (a) and precipitation (b) during the safflower development cycle in the two years of study and the average values of 30 years (1990-2019) in the La Laguna Experimental Field, Mexico.

El crecimiento y desarrollo de la cebada, el trigo y el triticale fue normal en los dos ciclos de crecimiento, mientras que la avena en 2017-2018 presentó problemas de enfermedades como roya (*Puccinia coronata*), cenicilla (*Erysiphe graminis*) y síntomas asociados al virus del enanismo amarillo de la cebada (bydv, por sus siglas en inglés) transmitido por pulgones. El virus del enanismo amarillo de la cebada (VEAC) es transmitido por áfidos *Sitobion avenae* (Fab), *Metopolophium dirhodum* (Wlk) y *Rhopalosiphum padi* L. (Herrera y Quiroz, 1983). En estudios realizados por (Navarro, 2017) menciona que la especie *Sitobion avenae* (Fab), puede llegar a producir entre 15 a 20 generaciones al año con una temperatura media de 20°C y una humedad relativa entre 75-80 %.

La ocurrencia de enfermedades foliares en avena durante el ciclo 2017-2018 se asoció a una mayor precipitación respecto a 2018-2019, con días nublados y precipitación de 13 mm en febrero. Además, en 2017-2018 se presentaron temperaturas mínimas y medias más altas durante febrero e inicios de marzo (Figura 1), condiciones que propiciaron la aparición de áfidos cuando el cultivo estaba en la etapa de elongación del tallo. Estas enfermedades causaron una reducción del crecimiento de la planta y el secado de hojas durante la elongación del tallo e inicio de espigado de las avenas. Los resultados del ataque de las enfermedades foliares fueron una disminución de la altura de planta y el IAF de los dos cultivares de avena, respecto a los valores obtenidos en el ciclo 2018-2019 (Tabla 1), cuando no se observaron síntomas de enfermedades.

Tabla 1. Altura de planta e índice de área foliar (IAF) máximo de cultivares de cártamo y cereales de grano pequeño en dos ciclos de producción.

Table 1. Plant height and maximum leaf area index (LAI) of safflower and small grain cereal cultivars in two production cycles.

Especie/cultivar	2017-2018		2018-2019	
	Altura planta (cm)	IAF máximo	Altura planta (cm)	IAF máximo
Cártamo CD868	115.4	4.86	102.4	5.59
Cártamo Guayalejo	115.4	5.37	97.8	6.07
Cártamo Selkino	93.8	5.23	92.0	5.99
Avena Cuauhtémoc	75.0	4.71	97.7	5.45
Avena Karma	88.8	3.98	96.8	5.34
Triticale Río Nazas	112.5	3.56	115.3	7.12
Triticale AN105	93.3	4.55	105.0	7.64
Trigo Salamanca	89.2	3.76	82.2	6.50
Trigo AN265	91.7	4.01	100.2	7.95
Cebada Cantabria	92.5	4.14	105.8	6.75
Cebada Valencia	83.3	3.03	93.2	6.67
Cebada Narro 95	90.0	4.30	103.1	7.38

Composición nutritiva del forraje

En el ciclo 2017-2018, las enfermedades foliares no afectaron la composición nutricional de la avena, la cual fue similar ($P < 0.05$) a la observada en los otros cereales en cuanto a contenidos de PC, EN_L y la DIVMS. Los cultivares de triticale, trigo y las cebadas Cantabria y Narro 95 presentaron mayores contenidos ($P < 0.05$) de FDN y FDA que la avena, pero el contenido de EN_L y DIVMS solo fue menor ($P < 0.05$) en el triticale Río Nazas. También la composición nutricional de la avena fue igual ($P > 0.05$) o mayor ($P < 0.05$) a la de los cártamos, los cuales solamente fueron superiores a los cereales en el contenido de PC ($P < 0.05$). En los cultivares de cártamo se observó mayores contenidos ($P < 0.05$) de FDA, pero sólo en el cultivar CD868 fue menor ($P < 0.05$) la concentración de EN_L y la DIVMS (Tabla 2).

Tabla 2. Composición nutricional de cultivares de cártamo y cereales de grano pequeño en el ciclo de producción 2017-2018.

Table 2. Nutritional composition of safflower cultivars and small grain cereals in the 2017-2018 production cycle.

Especie/cultivar	[†] PC (g kg ⁻¹)	FDN (g kg ⁻¹)	FDA (g kg ⁻¹)	DIVMS (g kg ⁻¹)	EN _L (MJ kg ⁻¹ MS)
Cártamo CD868	220.2 b [‡]	507.6 d	427.2 ab	535.8 de	4.37 de
Cártamo Guayalejo	231.0 ab	509.1 d	433.4 ab	554.2 cde	4.54 cde
Cártamo Selkino	243.5 a	504.6 d	440.4 a	559.8 bcd	4.60 cde
Avena Cuauhtémoc	167.0 cde	542.0 d	340.0 e	606.0 abc	5.12 abc
Avena Karma	158.5 de	609.4 bc	381.6 d	576.1 abcd	4.92 abcd
Triticale Río Nazas	156.8 e	615.1 bc	400.5 bcd	520.8 de	4.27 e
Triticale AN105	178.5 cd	640.5 ab	421.4 abc	556.9 cd	4.75 bcde
Trigo Salamanca	152.5 e	601.4 bc	390.1 cd	582.8 abcd	4.97 abcd
Trigo AN265	154.0 e	657.9 a	449.5 a	493.4 e	4.13 e
Cebada Cantabria	168.0 cde	589.4 c	380.3 d	634.2 a	5.49 a
Cebada Valencia	171.0 cde	531.6 d	337.8 e	619.8 ab	5.27 ab
Cebada Narro 95	182.2 c	582.6 c	381.0 d	634.0 a	5.47 a

[†]PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido; DIVMS = digestibilidad de la materia seca; EN_L = energía neta para lactancia.

[‡] Medias en cada columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes (DMS $P \leq 0.05$).

En el ciclo 2018-2019 los resultados fueron similares a los observados en 2017-2018 en cuanto que la avena obtuvo contenidos de PC, EN_L y DIVMS similares ($P < 0.05$) a los otros cereales. Respecto a la respuesta del cártamo, también los tres cultivares alcanzaron mayores concentraciones ($P < 0.05$) de PC que los cereales, sin embargo, también presentaron menor contenido ($P < 0.05$) de EN_L que la avena. El cultivar sin espinas CD868 también obtuvo menor valor ($P < 0.05$) de DIVMS (Tabla 3).

Tabla 3. Composición nutricional de cultivares de cártamo y cereales de grano pequeño en el ciclo de producción 2018-2019.

Table 3. Nutritional composition of safflower cultivars and small grain cereals in the 2018-2019 production cycle.

Especie/cultivar	[†] PC (g kg ⁻¹)	FDN (g kg ⁻¹)	FDA (g kg ⁻¹)	DIVMS (g kg ⁻¹)	EN _L (MJ kg ⁻¹ MS)
Cártamo CD868	177.9 abc [‡]	500.6 f	425.1 a	557.9 c	4.58 c
Cártamo Guayalejo	189.6 ab	494.6 f	401.4 ab	585.8 abc	4.87 bc
Cártamo Selkino	197.8 a	500.2 f	398.2 ab	581.0 bc	4.81 bc
Avena Cuauhtémoc	145.0 de	620.3 abc	437.9 a	665.7 ab	5.85 a
Avena Karma	147.3 cde	632.0 ab	391.6 ab	669.0 ab	5.88 a
Triticale Río Nazas	149.8 cde	617.6 abcd	373.7 abc	645.4 abc	5.63 ab
Triticale AN105	164.3 bcd	650.5 a	401.4 ab	658.5 ab	5.80 a
Trigo Salamanca	152.5 cde	566.0 e	332.6 bc	670.2 ab	5.82 a
Trigo AN265	138.2 def	598.1 bcde	369.8 abc	620.3 abc	5.34 abc
Cebada Cantabria	128.6 ef	604.5 abcde	354.0 bc	646.2 abc	5.62 ab
Cebada Valencia	111.5 f	571.8 de	320.6 c	674.6 a	5.86 a
Cebada Narro 95	146.4 cde	577.9 cde	346.8 bc	617.1 abc	5.28 abc

[†]PC = proteína cruda; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido; DIVMS = digestibilidad de la materia seca; EN_L = energía neta para lactancia.

[‡] Medias en cada columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes (DMS $P \leq 0.05$).

Los resultados del estudio en los dos ciclos de producción indican que ninguna de las especies evaluadas como alternativa a la avena, presentaron ventajas en su composición nutricional, con excepción del cártamo que obtuvo más altas concentraciones de PC. Sin embargo, el cártamo mostró valores menores de EN_L y MS digestible, especialmente el cultivar CD868. La mayor concentración de PC en cártamo respecto a la avena también fue observada por Reta *et al.* (2017) en tres edades de cosecha. Pero en concentración de fibras y energía, estos autores no coinciden con los resultados del presente estudio, ya que ellos observaron en cártamo contenidos de FDN (394 a 445 g kg⁻¹), FDA (314 a 385 g kg⁻¹) y de ENL (5.15 a 5.82 g kg⁻¹) similares o mejores a los de la avena (FDN = 547 a 552 g kg⁻¹; FDA = 349 a 391 g kg⁻¹; ENL = 4.98 a 5.40 MJ kg⁻¹ MS).

En cereales, las especies triticale, trigo y cebada presentaron una composición nutricional similar a la observada en avena Cuauhtémoc, con una tendencia a un mayor de contenido fibroso en triticale y trigo. Este mismo comportamiento entre cereales fue observado por Reta *et al.* (2018) al comparar la composición nutricional de avena, triticale, trigo y cebada en siembras tardías de otoño-invierno en la Comarca Lagunera. Los contenidos de FDN en el presente estudio, fueron similares a los obtenidos por Núñez *et al.* (2007) en la

etapa de embuche (552 a 618 g kg⁻¹) y a los observados para cereales cosechados en inicio de floración (587 a 614 g kg⁻¹) (Núñez y Faz, 2005).

Rendimiento de nutrientes

En el ciclo de crecimiento 2017-2018, los cultivares de triticale, trigo, cebada y el cártamo CD868 presentaron mayores rendimientos de MS (20.6 a 40.4 %) que la avena Cuauhtémoc (P < 0.05); la cual presentó problemas con enfermedades foliares (Tabla 4). En el segundo ciclo con un desarrollo normal de la avena, sólo las cebadas Valencia y Narro 95; y los trigos fueron superiores (P < 0.05) en rendimientos de MS (23.8 a 39.0 %) (Tabla 5).

Tabla 4. Rendimiento de nutrientes de cultivares de cártamo y cereales de grano pequeño en el ciclo de producción 2017-2018.

Table 4. Nutrient yield of safflower and small grain cereal cultivars in the 2017-2018 production cycle.

Especie/cultivar	MS (kg ha ⁻¹)	PC (kg ha ⁻¹)	EN _L (MJ ha ⁻¹)	MSD (kg ha ⁻¹)
Cártamo CD868	8277 ab [†]	1828 a	36293 abcde	4448 abcd
Cártamo Guayalejo	6981 cdef	1610 ab	31742 e	3865 cd
Cártamo Selkino	6467 ef	1566 abc	29980 e	3635 d
Avena Cuauhtémoc	6081 f	1017 f	31415 e	3708 d
Avena Karma	6876 def	1086 ef	33948 cde	3984 cd
Triticale Río Nazas	7798 abcd	1228 def	33234 de	4062 bcd
Triticale AN105	7334 bcde	1306 cde	35122 cde	4112 bcd
Trigo Salamanca	8104 abc	1237 def	40183 abcd	4717 abc
Trigo AN265	8539 a	1316 cde	35235 bcde	4218 abcd
Cebada Cántabra	7958 abcd	1332 cde	43511 ab	5040 a
Cebada Valencia	7900 abcd	1368 bcd	41587 abc	4902 ab
Cebada Narro 95	8032 abcd	1458 bcd	43848 a	5087 a

[†]MS = Materia Seca; PC = proteína cruda; EN_L = energía neta para lactancia; MSD = Materia seca digestible.

*Medias en cada columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes (DMS P ≤ 0.05)

Tabla 5. Rendimiento de nutrientes de cultivares de cártamo y cereales de grano pequeño en el ciclo de producción 2018-2019.

Table 5. Nutrient yield of safflower and small grain cereal cultivars in the 2018-2019 production cycle.

Especie/cultivar	MS (kg ha ⁻¹)	PC (kg ha ⁻¹)	EN _L (MJ ha ⁻¹)	MSD (kg ha ⁻¹)
Cártamo CD868	7347 de [†]	1308 abc	33924 cde	4120 def
Cártamo Guayalejo	6536 ef	1252 abc	31765 de	3826 ef
Cártamo Selkino	5675 f	1127 abc	27472 e	3308 f
Avena Cuauhtémoc	7433 de	1068 bc	43338 bcd	4942 cde
Avena Karma	8339 bcd	1232 abc	49099 ab	5582 abc
Triticale Río Nazas	8517 bcd	1292 abc	48045 ab	5509 abcd
Triticale AN105	8083 cd	1335 abc	46970 abc	5332 abcd
Trigo Salamanca	9385 abc	1440 a	54501 ab	6282 abc
Trigo AN265	10336 a	1427 ab	55078 ab	6396 ab
Cebada Cántabra	7645 de	986 c	43016 bcd	4947 bcde
Cebada Valencia	9697 ab	1081 abc	58149 a	6664 a
Cebada Narro 95	9202 abc	1329 abc	48790 ab	5694 abc

[†]MS = Materia Seca; PC = proteína cruda; EN_L = energía neta para lactancia; MSD = Materia seca digestible.

* Medias en cada columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes (DMS P ≤ 0.05).

Debido a que la composición nutritiva entre cereales no fluctuó fuertemente, en el ciclo 2017-2018 los mayores rendimientos de MS (P < 0.05) en cebada y trigo respecto a la avena Cuauhtémoc, resultaron también en mayores rendimientos (P < 0.05) de EN_L (27.9 a 39.6 %) y MS digestible (27.2 a 37.2 %) en las cebadas y el trigo Salamanca, además de rendimientos más grandes de PC (P < 0.05) en las cebadas (31.0 a 43.4 %), triticale AN105 (28.4 %) y el trigo AN265 (29.4 %). De los cártamos sólo el cultivar sin espinas CD868 superó en rendimiento de MS (36.1%) a la avena Cuauhtémoc, mientras que los tres cultivares fueron superiores en el rendimiento de PC (54.0 a 79.7 %). Todos los cártamos produjeron rendimientos de EN_L y MS digestible similares a los observados en avena Cuauhtémoc (Tabla 4).

En el ciclo 2018-2019 también hubo especies alternativas que superaron a la avena Cuauhtémoc, pero debido a que este cultivo fue más competitivo, las opciones fueron menores. En rendimiento de MS, los trigos y las cebadas obtuvieron rendimientos mayores a los de la avena Cuauhtémoc. En producción de nutrientes, el trigo Salamanca produjo más rendimientos de PC, la cebada Valencia superó a la avena tanto en producción de EN_L como de MS digestible, mientras que el trigo AN265 obtuvo mayor producción de MS digestible. El cártamo por su parte, produjo rendimientos de MS y nutrientes similares a los obtenidos por avena Cuauhtémoc (Tabla 5).

En los cereales alternativos a la avena, los mayores rendimientos de MS obtenidos en el presente estudio (8083 a 10336 kg ha⁻¹), fueron similares a los observados por Reta *et al.* (2018) en otro estudio donde se evaluaron cultivares de avena, cebada, trigo y triticale en siembras tardías de otoño-invierno (9104 a 10986 kg ha⁻¹). En este trabajo la cebada, el trigo y el triticale produjeron mayores rendimientos de MS, PC y EN_L por hectárea que la avena.

En otros trabajos realizados en la Comarca Lagunera con cultivares de cártamo tradicionales (con espinas) cosechados en las etapas 50 y 55 (Flemmer *et al.*, 2015), los rendimientos fluctuaron de 6016 a 7760 kg ha⁻¹ de MS, 1044 a 1380 kg ha⁻¹ de PC y de 32677 a 44526 MJ ha⁻¹ en EN_L (Reta *et al.*, 2014; Reta *et al.*, 2015; Reta *et al.*, 2017). En el presente estudio, el nivel de rendimiento de MS del cártamo cosechado en la etapa 59 fue similar o ligeramente mayor (6467 a 8277 kg ha⁻¹) a los observados en los trabajos previos; sin embargo, fue menor al encontrado por Reta *et al.* (2017) en siembras tardías con cultivares tradicionales y sin espinas cosechados en la etapa 59. En este trabajo se obtuvieron rendimientos 8360 a 10531 kg ha⁻¹ de MS, de 1313 a 1532 kg ha⁻¹ de PC y de 47918 a 59480 MJ ha⁻¹ en EN_L. Los valores de rendimiento de PC fueron menores a los observados en el presente estudio, debido a un menor contenido de PC (151.3 a 200.5 g kg⁻¹) en el forraje, mientras que los rendimientos de EN_L fueron mayores debido a los rendimientos de MS más altos en el trabajo previo.

Considerando la respuesta de las especies en los dos ciclos de crecimiento, las especies alternativas con mayor consistencia en su comportamiento fueron la cebada y el

trigo, con mejores rendimientos de MS y nutrientes, especialmente en la producción de EN_L y MS digestible en cebada, y de rendimientos de PC y MS digestible en trigos. Los cártamos, especialmente el cultivar CD868, fueron superiores en potencial forrajero a la avena sólo en el ciclo en que esta especie presentó problemas con enfermedades foliares. Cuando la avena presentó un desarrollo normal, los cártamos presentaron rendimientos de MS y nutrientes similares a los de la avena.

CONCLUSIONES

Los resultados indican que se puede incrementar el potencial forrajero en siembras tardías de otoño-invierno utilizando cebada y trigo, independientemente de que existan o no condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades foliares en avena. En ciclos de crecimiento con enfermedades foliares en avena, las especies triticales, trigo, cebada y cártamo son alternativas para incrementar el potencial forrajero.

REFERENCIAS

- Ankom Technology. 2017. Procedures for in Vitro True Digestibility Method (DVIVMS-Daisy). Disponible en: https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/Method_3_Invitro_D200_D200l.pdf
- AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS). 2005. Official Methods of Analysis. Dumas method (990.03). 15th edition. Washington D.C., USA.
- Bar-Tal, A., Landau, S., Li-xin, Z., Markovitz, T., Keinan, M., Dvash, L., Brener, S. y Weinberg, Z.G. 2008. Fodder quality of safflower across an irrigation gradient and with varied nitrogen rates. *Agronomy Journal*. 100: 1499-1505. <https://doi.org/10.2134/agronj2007.0353>
- Buthelezi, L.S., Mupangwa, J.F., Muchenje, V. y Nherera Ch. 2019. Influence of drying technique on chemical composition and ruminal degradability of subtropical *Cajanus cajan* L. *Animal Nutrition*. 5: 95-100. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.03.001>
- Flemmer, A.C., Franchini, M.C. y Lindström, L.I. 2015. Description of safflower (*Carthamus tinctorius* L) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology*. 166: 331-339. <https://doi.org/10.1111/aab.12186>
- Geoering, H.K. y Van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analysis. Apparatus, reagents, procedure and some applications. *Agric. Handbook* 379. ARS. USDA. Washington DC. 20 pp.
- Herrera, M.G., y Quiroz E.C. 1983. Distribución y factores epidemiológicos del virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV) en Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 43 (2): 121-126.
- Leshem, Y., Brukental, I., Landau, S., Ashbell, G., Weinberg, Z.G. y Brosh, A. 2000. Salower - new forage crop in Israel. *Meshek Habakar Vehachalar*. 286: 27-32.
- Maas, E.V., Poss, J.A. y Hoffman, G.J. 1986. Salt tolerance of plants. *Applied Agriculture Research*. 1: 12-26.
- Navarro, P. 2017. Entomología-Plagas en cultivos: Pulgón amarillo de los cereales. Ficha Técnica 64. INIA-Programa Sanidad Vegetal.
- Novotny, L., King, J., Phillips, K. y Thieh, N. 2018. Recommendations and critical factors in determining moisture in animal feeds. AAFCO's Laboratory Methods and Services Committee. Moisture Best Practices Working Group. Disponible en: https://www.aafco.org/Portals/0/SiteContent/Laboratory/Loss_on_drying-moisture/Recommendations_and_Critical_Factors_for_Determining_Moisture_in_Animal_Feed.pdf. Consultado en: 13 marzo 2021.
- Núñez, H.G. y Faz, C.R. 2005. Producción y calidad nutricional de cereales de grano pequeño capuchones (sin aristas) en la Región Lagunera en invierno. pp. 290-294. Memoria de la XVII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED.
- Núñez, H.G., Faz, C.R. y Martínez, R.J.G. 2007. Sistemas de producción de triple cosecha anual de forraje para la Región Lagunera. *Agrofaz*. 7: 1-12.
- Reta, S.D.G., Sánchez, D.J.I., Reyes, G.A., Ochoa, M.E., Chew, M.Y.I. y Gaytán, M.A. 2017a. Evaluación semicomercial de cártamo forrajero en siembras tardías durante otoño-invierno en la Comarca Lagunera, México. *Agrofaz*. 17: 51-63.
- Reta, S.D.G., Sánchez, D.J.I., Torres, H.D., Reyes, G.A., Ochoa, M.E., Chew, M.Y.I. y Cueto W.J.A. 2018. Evaluación semicomercial de cereales alternativos en siembras tardías de otoño-invierno en la Comarca Lagunera. *Agrofaz*. Vol. Especial Celala: 69-79.
- Reta, S.D.G., Serrato, C.J.S., Gaytán, M.A., Quiroga, G.H.M., Orozco, H.G. y Payán, G.J.A. 2014. Potencial forrajero del cártamo en respuesta al distanciamiento entre surcos en la Comarca Lagunera. *Agrofaz*. 14: 65-71.
- Reta, S.D.G., Serrato, C.J.S., Gaytán, M.A., Quiroga, G.H.M., Orozco, H.G. y Payán, G.J.A. 2015. Potencial forrajero de variedades comerciales y genotipos élite de cártamo en la Comarca Lagunera. *Agrofaz*. 15: 27-38.
- Reta, S.D.G., Serrato, C.J.S., Quiroga, G.H.M., Gaytán, M.A. y Figueroa, V.U. 2017b. Secuencias de cultivo alternativas para incrementar el potencial forrajero y productividad del agua. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 8: 397-406. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i4.4645>
- Sánchez, M.H., Reta, S.D.G., Serrato, C.J.S., Figueroa, V.U., Cueto, W.J.A. y Castellanos, P.E. 2018. Efecto de la fecha de siembra sobre el potencial forrajero de cultivares primaverales de canola en la Comarca Lagunera, México. *ITEA*. 114: 223-242. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.014>
- Sanderson, M.G., Hemming, D.L. y Betts, R.A. 2011. Regional temperature and precipitation changes under high-end (≤ 4 °C) global warming. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 369: 85-98. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0283>
- Santamaría, J.C., Reta, S.D.G., Chávez, G.J.F., Cueto, W.J.A. y Romero, P.J.I. 2006. Caracterización del medio físico en relación a cultivos forrajeros alternativos para la Comarca Lagunera. Libro Técnico No. 2. ISBN 970-43-0048-4. INIFAP-CIRNOC-CELALA. 240 pp. Disponible en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/1944>. Consultado: 26 febrero 2021.
- Santamaría, C.J., Reta, S.D.G. y Orona, C.I. 2008. Reducción del rendimiento potencial de maíz forrajero en calendario con tres y cuatro riegos. *Terra Latinoamericana* 26: 235-241.
- SAS Institute. 2011. The SAS system for windows, release 9.3. Statistical Analysis Systems Inst., Cary, NC.
- SIAP (Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera). 2021. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y

Alimentación. Ciudad de México. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp. Consultado: 25 Marzo 2021.

Snyder, R.L. y Melo-Abreu, J.P. 2005. Frost protection: fundamentals, practice and economics. Volume 1. FAO Environment and Nature Resources Service Series. No. 10.

Weiss, W.P., Conrad, H.R. y St-Pierre, N.R. 1992. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. *Animal Feed Science and Technology*. 39: 95-110. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(92\)90034-4](https://doi.org/10.1016/0377-8401(92)90034-4).