Producción de forraje y valor nutritivo del ensilado de variedades de cártamo (*Carthamus tinctorious* L.) cosechadas en cuatro etapas fenológicas

Anabel G. López-Jara[1], David G. Reta-Sánchez[2], Omar I. Santana[3], Arturo Reyes-González[4], Esmeralda Ochoa-Martínez[4], Karla Rodríguez-Hernández[4], Juan I. Sánchez-Duarte[4*]

[1]*Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Km. 32 Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo. Venecia, Gómez Palacio, Durango.*
[2]*Campo Experimental Delicias. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000, Centro, Cd. Delicias, Chihuahua.*
[3]*Campo Experimental Pabellón. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 32.5 Carretera Panamericana Aguascalientes-Zacatecas C.P. 20670. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000, Centro, Cd. Delicias, Chihuahua.*
[4]*Campo Experimental La Laguna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Blvd. José Santos Valdez 1200. Col. Centro. 27440, Matamoros, Coahuila.*

Artículo el 2 de enero de 2024 y aceptado el 7 de febrero de 2024.

Forage production and nutritional value of silage of safflower (Carthamus tinctorius L.*) varieties harvested at four phenological stages.*

Abstract

The aim was to study the forage yield and nutritional value of four safflower varieties harvested in four phenological stages. A completely randomized block design with a 4×4 factorial arrangement was used to evaluate two spineless varieties (FORRCART 2020 and Selkino) and two spiny varieties (Gila and Guayalejo) harvested at the beginning of capitulum formation (E50), capitulum clearly separated from the younger leaves (E55), distinguishable medium and intermediate external bracts (E59), and beginning of flowering (E60). Forage yield and nutritional value of the silage were determined in terms of crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), net energy for lactation (NE_L), and *in situ* NDF and dry matter (DM) digestibility. The variety FORRCART 2020 had a DM yield similar to Gila and Guayalejo, which yielded more than Selkino. Dry matter yield increased as the phenological stage progressed from E50 to E61. The interaction between variety × harvest stages modified the nutritional value and the NDF digestibility of silage. Silage CP content of all varieties was reduced when maturity advanced from E50 to E61, but FORRCART 2020 presented the greatest decrease from E59. Similarly, the silage of the FORRCART 2020 variety had the largest drop of NE_L in E61. Silage NDF and ADF concentrations were higher in all varieties harvested in E61. The NDF digestibility was higher in the Selkino silage harvested at E50, but equal to other varieties harvested in the first three stages. Silage DM digestibility was different by the harvest stage, indicating a reduction of this as the crop's maturity progressed from E50 to E61. The spineless FORRCART 2020 variety had the same forage yield as the spiny varieties and the best silage nutritional value when harvested between E50 and E55.

Key words: forage, crude protein, fibers, digestibility.

Resumen

El objetivo fue estudiar la producción de forraje y el valor nutritivo del ensilado de cuatro variedades de cártamo cosechadas en cuatro etapas fenológicas. Se usó un diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 4×4 para evaluar dos variedades de cártamo sin espinas (FORRCART 2020 y Selkino), y dos

*Autor de correspondencia
Email: sanchez.juan@inifap.gob.mx
ISSN 2594-0384 (Electrónica)

variedades con espinas (Gila y Guayalejo), cosechadas en las etapas de inicio de formación de capítulo (E50), capítulo claramente separado de las hojas más jóvenes (E55), brácteas externas medias e intermedias distinguibles (E59), e inicio de floración (E61). Se determinó el rendimiento de forraje y el valor nutritivo de los ensilados en términos de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), energía neta para lactancia (EN_L), digestibilidad *in situ* de la FDN y de la materia seca (MS). El cártamo FORRCART 2020 tuvo un rendimiento de MS similar al de Gila y Guayalejo, siendo todos superiores a Selkino. El rendimiento de MS aumentó a medida que la etapa fenológica avanzaba de E50 a E61. La interacción variedad × etapa de cosecha modificó el valor nutritivo y la digestibilidad de la FDN del ensilado. La PC de los ensilados de todas las variedades se redujo cuando la madurez avanzó de E50 a E61, pero FORRCART 2020 presentó la mayor disminución a partir de E59. Similarmente, el ensilado de la variedad FORRCART 2020 tuvo la mayor caída de EN_L en E61. Las concentraciones de FDN y FDA del ensilado fueron superiores en todas las variedades cosechadas en E61. La digestibilidad de la FDN fue superior en el ensilado de Selkino cosechado en E50 y esta fue igualada por las otras variedades cosechadas en las primeras tres etapas. La digestibilidad de la MS en el ensilado fue diferente por la etapa de cosecha, indicando una reducción de ésta a medida que la madurez del cultivo avanzaba de E50 a E61. En conclusión, el cártamo sin espinas FORRCART 2020 presentó el mismo rendimiento de forraje que las variedades con espinas y el mejor valor nutritivo del ensilado cuando se cosechó entre E50 y E55.

Palabras claves: forraje, proteína cruda, fibras, digestibilidad.

Introducción

El cártamo (*Carthamus tinctorious* L.), es un cultivo que se caracteriza por tener buena adaptación a condiciones moderadas de salinidad del suelo (Maas, 1989), y tolerar la sequía (Bar-Tal *et al*., 2008). Por tal motivo, este cultivo representa una opción para producir forraje en regiones de climas árido o semiárido. El cártamo se puede preservar de manera adecuada en ensilado (Weinberg *et al*., 2002), e incluirse en la alimentación de vacas (Landau *et al*., 2004), y borregas lecheras (Landau *et al*., 2005). No obstante, el rendimiento y el valor nutritivo del forraje, así como la palatabilidad depende de la variedad utilizada y el punto óptimo de cosecha. Sobre todo, porque existen variedades de cártamo con espinas que pueden frenar el consumo por el animal.

El valor nutritivo del forraje de cártamo difiere con la variedad y con la etapa de cosecha. Stanford *et al*. (2001), encontraron mayor PC (13.1%), FDN (50.1%), y FDA (38.9%), en el forraje de una variedad de cártamo con espinas cosechada en madurez completa que en la misma variedad de cártamo cosechada en floración plena (PC = 9.7%, FDN = 32.2% y FDA = 23.3%). En contraste, Landau *et al*. (2004), reportaron mayor contenido de PC (15.6%), y concentraciones intermedias de FDN (46.1%) y FDA (33.8%), en el ensilado de una variedad de cártamo sin espinas cosechada antes de floración. Además, los valores de digestibilidad del ensilado de cártamo (65.5%), en dicho estudio fueron intermedios entre el ensilado de trigo (60.7%), y el ensilado de maíz (70.7%). En otra variedad de cártamo sin espinas cosechada al final de la etapa de ramificación, Danieli *et al*. (2011), observaron concentraciones de PC más elevadas (17.5%), pero con contenidos de FDN (43%) y FDA (33%), similares a los encontrados por Landau *et al*. (2004). Entonces, es claro que el potencial nutritivo en el forraje de cártamo con y sin espinas depende de la etapa de cosecha y la variedad. Por lo tanto, es importante conocer el efecto de estos dos factores sobre el valor nutritivo del ensilado de cártamo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la producción de forraje y el valor nutritivo del ensilado de cuatro variedades de cártamo cosechadas en cuatro etapas fenológicas.

Material y métodos

Localización del estudio y tratamientos

El estudio se realizó en otoño-invierno 2018/2019, en el Campo Experimental La Laguna, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Matamoros, Coahuila, México, en un suelo de textura franco arcillosa. Se evaluaron cuatro variedades de cártamo cosechados en cuatro etapas fenológicas bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones con arreglo factorial 4 × 4. El factor A fueron las variedades, y el factor B la etapa fenológica al momento de la cosecha. Las variedades fueron: FORRCART 2020, Selkino, Gila y Guayalejo, las dos primeras sin espinas y las otras dos con espinas. Las etapas fenológicas al cosechar

fueron: inicio de formación de capítulo (E50), capítulo claramente separado de las hojas más jóvenes (E55), brácteas externas medias e intermedias distinguibles (E59), e inicio de floración (E61) (Flemmer *et al*., 2015).

Establecimiento y manejo del cultivo

La preparación del terreno consistió en un paso de arado, seguido de doble rastreo y nivelación con escrepa. 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 empleada 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 dosis de N se distribuyeron en 20, 40, y 40%, a la siembra, primer y segundo riego de auxilio, respectivamente. La siembra se realizó en seco de forma manual el 13 de diciembre de 2018. La densidad de siembra fue de 50 kg ha^{-1} de semilla con 85% de germinación. La parcela experimental se estableció en 12 hileras con una separación entre líneas de 18 cm y 10 m de largo (21.6 m^2). La parcela útil fue de 5 m de longitud de los 10 surcos centrales (9 m^2). Cuando la planta alcanzó una altura de 15 cm se realizó un aclareo en toda la parcela experimental con la finalidad de dejar una densidad de 1.6 millones de plantas por hectárea. Se aplicaron cuatro riegos durante todo el ciclo: a la siembra, a los 37, 61 y 83 días después de la siembra. Las etapas fenológicas del cultivo después de la siembra fueron: roseta, elongación del tallo e inicio de formación de capítulo.

En la cosecha se determinó el contenido de MS en una muestra de forraje de 0.4 m^2 tomada al azar en la parcela útil, para lo cual se muestrearon 0.74 m de tres de los surcos centrales de cada parcela. Las plantas muestreadas fueron pesadas en fresco y luego secadas a 60 °C en una estufa de aire forzado hasta alcanzar peso constante. Con la MS del forraje y el peso en fresco se estimaron los rendimientos de forraje con base en MS para cada parcela.

Elaboración de mini-silos

A la cosecha de cada etapa se cortó el forraje manualmente con segadora y se dejó deshidratar en el campo. En tanto que el forraje permanecía en el campo, se determinó la MS de manera regular utilizando un horno de microondas. Lo anterior se realizó hasta que el forraje alcanzó un porcentaje de MS entre 35 y 40%. Una vez que el forraje alcanzó la MS deseada, fue retirado del terreno para llevarlo al área donde se elaboraron los ensilados. El forraje deshidratado de cada tratamiento se procesó a un tamaño de partícula teórico de 3.5 a 12 mm utilizando un molino (Modelo JF5; Terramark, JF Máquinas Agrícolas). El forraje se colocó dentro de mini-silos construidos con tubos de PVC (10.5 cm de diámetro × 18 cm de largo) sellados en la parte superior e inferior con una tapa de inserción del mismo material. En la parte central de la tapa inferior de cada mini-silo se realizó un orificio con una broca de 2.78 mm para permitir escurrimiento al momento de realizar la compactación del forraje. El forraje de cada tratamiento fue empacado a una densidad de 240 kg m^{-3} de MS. La compactación del forraje picado en cada mini-silo se realizó empleando una prensa manual, la cual está compuesta de un brazo metálico fijado en la parte superior que entra en el mini-silo y un gato hidráulico de 4 toneladas que genera la presión levantando el mini-silo. Al final, los mini-silos se taparon, se sellaron con cinta adhesiva y fueron almacenados en el laboratorio para dejarlos fermentar durante un periodo de 60 días. El diseño experimental empleado para los ensilados fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Análisis del valor nutritivo de los ensilados

Después de pasados 60 días de fermentación, los mini-silos fueron abiertos y se desecharon los primeros cinco centímetros de forraje de la parte superior. Del remanente de material de cada mini-silo se tomaron 500 g de muestra y se secaron a 60 °C en una estufa de aire forzado hasta que alcanzaron peso constante. Las muestras secas fueron molidas para pasar una criba de 1 mm en un molino Wiley (Arthur T. Thomas, Swedesboro, NJ.). En cada muestra se determinó el contenido de N total con el método de Dumas mediante combustión en seco (Leco FP-528, St. Joseph, MO), y el porcentaje de proteína cruda (PC), se calculó como N total × 6.25. La fibra detergente neutro (FDN), y la fibra detergente ácida (FDA), se analizaron de manera secuencial en un equipo de digestión de fibras (A200, Ankom Tech., Macedonia, NY). Se inició con la determinación de FDN en 0.5 g de muestra que se introdujo en bolsas filtro con porosidad de 25µ (F57, Ankom Tech., Macedonia, NY), y utilizando α-amilasa termo-estable y sulfito de sodio; después de que las bolsas se secaron y se registró el peso, se prosiguió con la determinación de FDA con bromuro de hexadeciltrimetilamonio (CTAB), y H_2SO_4 en el mismo equipo para digestión de fibras. La estimación de energía neta para lactancia (EN_L), se calculó empleando el modelo NRC (2001), con la

ecuación 2-11 utilizando los resultados de los análisis bromatológicos obtenidos en cada muestra. El contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF), se obtuvo por diferencia como: CNF (%) = 100 – (% PC + % FDN + % Cenizas + % EE), en donde el EE (extracto etéreo), se asumió fue de 2.8% para todas las muestras (NRC, 2001).

Para el análisis de digestibilidad se utilizaron 4.5 g de la muestra seca y se introdujeron en una bolsa de dacrón de 10 × 20 cm con porosidad de 50µ (R1020, Ankom Tech., Macedonia, NY), para incubarse en duplicado por 120 y 30 h en el saco ventral de dos vacas fistuladas del rumen (ENLS, Zapotlanejo, Jal.). Primero, se introdujeron las muestras a incubarse por 120 h para determinar el potencial digestible de la FDN ($pdFDN_{120}$), y la FDN no digestible a 120 h ($uFDN_{120}$ = 100 - pdFDN); en tanto que las muestras para determinar la digestibilidad de la FDN a 30 h ($DFDN_{30}$), fueron introducidas 30 h antes de cumplirse las 120 h de incubación. Todas las bolsas se removieron del rumen simultáneamente y se sumergieron por 10 minutos en una cubeta con agua fría a 4 ºC. Posteriormente, todas las muestras se enjuagaron hasta obtener agua clara. Después, las bolsas se dejaron escurrir y se colocaron en una estufa de aire forzado para ser secadas a 55 ºC por 48 h y calcular la MS digestible por diferencia de peso inicial respecto al peso final. Al final, se extrajeron alrededor 0.5 g de muestra remanente y se introdujeron en bolsas F57 (Ankom Tech., Macedonia, NY), para determinar FDN residual y calcular la $pdFDN_{120}$ y $DFDN_{30}$.

Análisis estadístico

El análisis de la información se efectuó con el PROC MIXED de SAS versión 9.4 (SAS Institute Inc., 2013). Se realizó un análisis combinado de los datos utilizando un diseño experimental en bloques completos al azar, con un arreglo factorial de tratamientos 4 × 4. El análisis consideró el bloque como un efecto aleatorio, mientras que los tratamientos se consideraron como efectos fijos. Para comparar las medias se utilizó la prueba de Tukey-Kramer a un nivel de $P \leq 0.05$.

Resultados y discusión

Rendimiento de forraje

La interacción cultivar × etapa de cosecha no afectó el rendimiento de forraje en MS (P = 0.64). Sin embargo, éste fue diferente por el cultivar (P = 0.0009). El cártamo sin espinas FORRCART 2020 produjo un rendimiento de MS similar al de las variedades con espinas Gila y Guayalejo (Figura 1); mientras que el cártamo sin espinas Selkino obtuvo el menor rendimiento de MS. En otro estudio, el cultivar de cártamo FORRCART 2020 sin espinas superó a las variedades Guayalejo y Promesa con 2.16 y 1.41 t ha^{-1} de MS, respectivamente (Ochoa-Espinoza, *et al*., 2021). Dicha característica además de la carencia de espinas, fue tomada en cuenta para

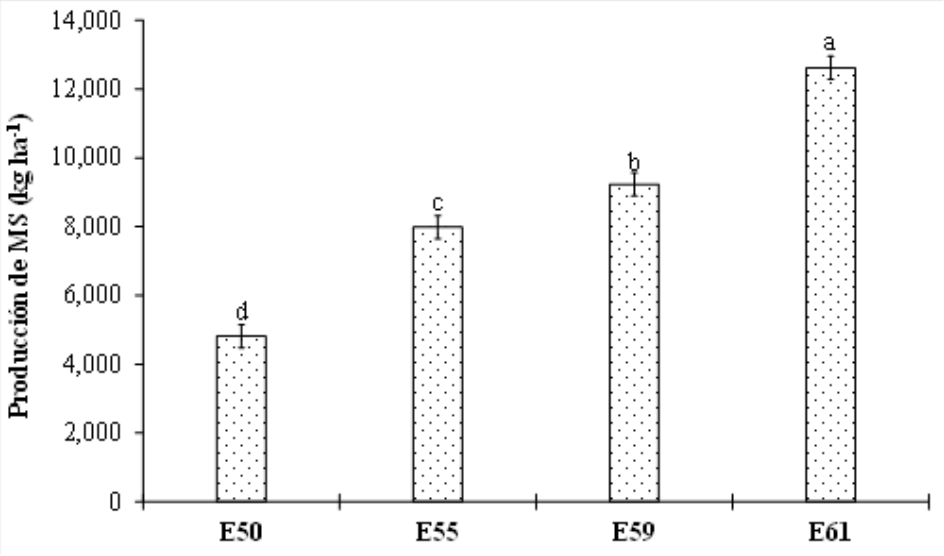


Figura 1. Efecto de la variedad de cártamo sobre el rendimiento de forraje con base en la MS (P = 0.0009; EE = 334.38).

registrarse como una nueva variedad de cártamo forrajero en México (Ochoa-Espinoza, *et al*., 2021). En otro trabajo, Ochoa-Espinoza *et al*. (2022), no encontraron diferencias estadísticas en el rendimiento de MS entre las variedades de cártamo FORCARRT 2020, Guayalejo y Selkino contrastadas con variedades de avena, cebada y triticale. El uso de forraje de cártamo sin espinas en la alimentación de rumiantes reduce el riesgo negativo a la salud del animal, por lo que se ha utilizado satisfactoriamente en ovejas (Landau *et al*., 2005), y vacas lecheras (Landau *et al*., 2004).

El rendimiento de MS en las variedades de cártamo también fue afectado por la etapa de cosecha (Figura 2; $P < 0.0001$). En general, en las cuatro variedades, conforme avanzó el estado de madurez de E50 a E61, el rendimiento de MS aumentó. Esta diferencia alcanzó hasta 7,800 kg ha^{-1} de MS cuando se comparó el rendimiento de la etapa E61 con el de la etapa E50.

Valor nutritivo del ensilado

En el cuadro 1 se presenta el valor nutritivo del ensilado de las variedades de cártamo cosechadas en diferentes etapas fenológicas. El efecto de la interacción entre cultivar × etapa de cosecha fue significativo para los contenidos de PC ($P = 0.002$), FDN ($P = 0.005$), FDA ($P = 0.008$), y EN_L ($P = 0.0001$).

El valor nutritivo de los ensilados en general se redujo con el avance de la madurez del cultivo, sin embargo, se observaron diferencias en el grado de reducción entre variedades en cada parámetro y etapa de cosecha. Las variedades que mostraron los mayores cambios en la composición nutritiva debido al avance en madurez fueron la FORRCART 2020 y Guayalejo, mientras que las de mayor estabilidad fueron Selkino y Gila (Cuadro 1).

El contenido de PC se redujo en los ensilados de todas las variedades de cártamo a medida que la madurez avanzó de E50 a E61. La variedad FORRCART 2020 se diferenció de las otras tres variedades por una mayor disminución en el contenido de PC en la etapa E59; en las otras etapas su contenido PC fue similar al observado en las otras variedades (Cuadro 1). Landau *et al*. (2004), reportó valores de PC de 15.6% en el ensilado de cártamo forrajero cosechado antes de floración, el cual es ligeramente inferior a la observado en éste estudio (15.91-16.61%), en los ensilados de las variedades Gila, Guayalejo y Selkino cosechados en el mismo estado de madurez (E59). Sin embargo, la PC del ensilado del cártamo FORRCART 2020 cosechado en E59, fue inferior (11.57%), que la reportada por Landau *et al*. (2004).

En cuanto al contenido de FDN y FDA, estos fueron incrementando en los ensilados conforme maduró el cultivo. Respecto al efecto de la interacción entre variedad × etapa de cosecha, el contenido de FDN en la etapa E59 de FORRCART 2020 fue mayor al

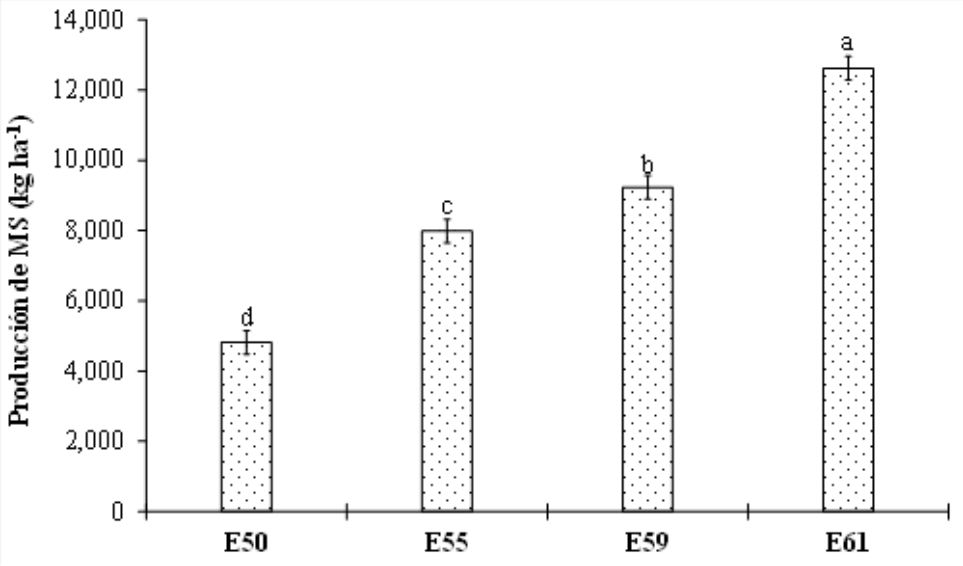


Figura 2. Efecto de la etapa fenológica a la cosecha sobre el rendimiento de forraje con base en la MS de cártamo ($P < 0.0001$; EE=335.00).

Cuadro 1. Valor nutritivo del ensilaje de cuatro variedades de cártamo cosechado en cuatro etapas fenológicas.

Variedad	Etapa fenológica	PC (% MS)	FDN (% MS)	FDA (% MS)	CNF (% MS)	EN_L (Mcal/kg MS)
FORRCART2020	E50	17.99^{abc}	42.43^{bcd}	27.81^{de}	15.66	1.47^{abcd}
	E55	17.12^{bcd}	39.36^{d}	28.53^{de}	22.37	1.62^{ab}
	E59	11.57^{f}	50.60^{ab}	34.84^{abc}	18.44	1.19^{ef}
	E61	10.90^{f}	54.87^{a}	39.49^{a}	15.69	0.88^{g}
Gila	E50	20.46^{ab}	38.30^{d}	25.48^{e}	15.92	1.53^{abc}
	E55	18.64^{abc}	42.52^{bcd}	27.64^{de}	19.79	1.59^{abc}
	E59	16.61^{cd}	40.32^{cd}	29.23^{cde}	25.06	1.61^{ab}
	E61	12.70^{ef}	48.63^{abc}	35.05^{ab}	21.68	1.25^{de}
Guayalejo	E50	19.17^{abc}	43.77^{bcd}	27.51^{de}	9.78	1.36^{cde}
	E55	16.42^{cd}	43.84^{bcd}	30.66^{bcde}	20.36	1.57^{abc}
	E59	15.92^{cde}	42.92^{bcd}	29.92^{bcde}	21.29	1.48^{abcd}
	E61	11.15^{f}	53.56^{a}	38.70^{a}	16.40	1.01^{fg}
Selkino	E50	20.83^{a}	37.25^{d}	25.24^{e}	17.97	1.70^{a}
	E55	16.18^{cde}	43.77^{bcd}	30.94^{bcde}	20.57	1.44^{bcd}
	E59	16.60^{cd}	42.43^{bcd}	30.62^{bcde}	22.36	1.48^{abcd}
	E61	14.34d^{ef}	45.87^{abcd}	32.72^{bcd}	21.01	1.44^{bcd}
EE		0.68	1.81	1.13	1.88	0.05
Efectos ($P>F$)						
Cultivar (C)		<.0001	0.0007	.0003	0.02	<.0001
Etapa cosecha (EC)		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
C × EC		0.002	0.005	0.008	0.13	<.0001

MS = materia seca, PC = proteína cruda, FDN = fibra detergente neutro, FDA = fibra detergente ácido, CNF = carbohidratos no fibrosos, EN_L = energía neta para lactancia.
^{abcde}Promedios dentro de cada columna difieren estadísticamente al nivel de probabilidad indicado. EE = error estándar.
Etapas de madurez en cártamo: inicio de formación de capítulo (E50), capítulo claramente separado de las hojas más jóvenes (E55), brácteas externas medias e intermedias distinguibles (E59) e inicio de floración (E61).

de la variedad Gila, posteriormente en la etapa E61 no se encontraron diferencias entre variedades. En cuanto a la FDA, en la etapa E61 se observó menor contenido de FDA en la variedad Selkino comparada con las variedades Guayalejo y FORRCART 2020 (Cuadro 1). El incremento en las concentraciones de fibras también fue observado (Cazzato *et al*., 2011), en ensilado de cártamo cosechado a inicios de los primeros brotes y cuando el cultivo presentaba 25% de floración (44.8 a 49.3% de FDN y de 31.9 a 37.3% de FDA).

Respecto a la energía de los ensilados, también se observó efecto de la interacción entre variedad × etapa de cosecha; en la variedad FORRCART 2020 se observó la mayor disminución del valor de EN_L en la E61, el cual fue similar al valor presentado por la variedad Guayalejo en la misma etapa. En un menor grado, también se observó una reducción en el valor de EN_L en las variedades Selkino y Gila con el avance en madurez en las etapas E59 y E61. Los valores de EN_L observados en el presente estudio en la variedad Gila en E61 son similares a los reportados en forraje de cártamo cosechado en etapa de floración (1.25 Mcal/kg de MS; Reta *et al*., 2017); en cuanto a las variedades FORRCART2020 y Guayalejo los valores fueron menores, y sólo la variedad Selkino fue mayor.

Se detectaron efectos del cultivar (P = 0.02), y la etapa de cosecha (P < 0.0001; Cuadro 1), en el contenido de CNF. Los ensilados de las variedades Gila (20.61%), y Selkino (20.48%), mostraron mayores contenidos de CNF que aquellos de las variedades FORRCART 2020 (18.04%), y Guayalejo (19.97%). El ensilado de cártamo cosechado en E55 (20.77%), y E59 (21.79%), presentó mayor CNF que cosechado en E50 (14.83%), y E61 (18.70%). Lo anterior es importante al momento de considerar la etapa ideal para la cosecha del cártamo que será ensilado, ya que los CNF favorecen la fermentación ácido láctico mejorando su preservación, además de proporcionar energía para los animales (Kung *et al*., 2018).

Digestibilidad in situ de la FDN y la MS

El contenido de lignina de los ensilados no fue modificado por ninguno de los tratamientos evaluados (P > 0.05; Cuadro 2). Sin embargo, la digestibilidad *in situ* de la FDN (P = 0.03), la $pdFDN_{120}$ (P = 0.005), y la $uFDN_{120}$ (P = 0.05), de los ensilados fueron afectadas por la interacción cultivar × etapa de cosecha (Cuadro 2). Se observó que la digestibilidad *in situ* de la FDN no se redujo en forma significativa de la etapa E50 a E59 en las variedades FORRCART 2020, Gila y Guayalejo; sólo se observó en estas variedades una reducción en la etapa E61. Las mayores digestibilidades de la FDN superaron el 51.1% y se observó en las

Cuadro 2. Digestibilidad *in situ* de la FDN a 30 h de incubación y potencial digestible de la FDN ($pdFDN_{120}$) y FDN no digestible ($uFDN_{120}$) a 120h de incubación del ensilaje de cuatro variedades de cártamo cosechado en cuatro etapas fenológicas.

Variedad	Etapa de madurez	Lignina (% MS)	Digestibilidad *in situ* de la FDN (% FDN)	$pFDN_{120}$ (% FDN)	$uFDN_{120}$ (% FDN)
FORRCART2020	E50	8.99	58.59^{abc}	61.62^{abc}	38.40^{efg}
	E55	9.59	61.09^{ab}	62.75^{abc}	37.26^{efg}
	E59	8.45	39.17^{bcde}	47.95^{fg}	52.05^{ab}
	E61	8.96	23.88^{e}	40.81^{g}	59.19^{a}
Gila	E50	6.83	62.15^{ab}	66.52^{ab}	33.48^{fg}
	E55	6.63	56.30^{abc}	62.72^{abc}	37.28^{efg}
	E59	7.02	54.18^{abcd}	58.93^{bcd}	41.07^{def}
	E61	7.67	36.26^{cde}	47.99^{fg}	52.00^{ab}
Guayalejo	E50	7.26	58.44^{abc}	60.49^{bc}	39.52^{ef}
	E55	7.58	57.90^{abc}	61.38^{bc}	38.62^{ef}
	E59	6.51	51.14^{abcd}	55.02^{cdef}	44.99^{bcde}
	E61	7.49	31.09^{de}	50.64^{def}	49.37^{bcd}
Selkino	E50	6.91	72.20^{a}	71.12^{a}	28.88^{g}
	E55	7.40	47.87^{bcd}	59.48^{bcd}	40.53^{def}
	E59	7.63	47.18^{bcd}	58.22^{bcde}	41.79^{cdef}
	E61	7.87	49.62^{bcd}	48.89^{efg}	51.12^{abc}
EE		4.34	5.83	1.77	1.77
Efectos (*P*>*F*)					
Cultivar (C)		0.1096	0.048	0.0005	0.0005
Etapa cosecha (EC)		0.4280	<.0001	<.0001	<.0001
C × EC		0.4156	0.013	0.0056	0.0056

^{abcdefg}Promedios dentro de cada columna difieren estadísticamente al nivel de probabilidad indicado. EE = error estándar. Etapas de madurez en cártamo: inicio de formación de capítulo (E50), capítulo claramente separado de las hojas más jóvenes (E55), brácteas externas medias e intermedias distinguibles (E59) e inicio de floración (E61).

variedades FORRCART2020, Gila, Guayelejo cosechadas en E50, E55 y E59; la variedad Selkino únicamente en la etapa E50 tuvo el mayor valor de digestibilidad de la FDN con 72.20%. Sin embargo, fue en dicha variedad donde se observó la mayor reducción en digestibilidad de la FDN al pasar de E50 a E55 con una caída de 24.33 unidades porcentuales.

Estos resultados coinciden con el comportamiento de los parámetros de fibra potencialmente digestible y fibra indigestible de los ensilados, ya que todas las variedades cosechadas en las primeras tres etapas (E50-E59), presentaron los mayores valores de $pFDN_{120}$ o menores concentraciones de $uFDN_{120}$. En los ensilados con menos digestibilidad de la FDN se presentó un efecto inverso al anterior. Esto quiere decir, que los valores de $pFDN_{120}$ y $uFDN_{120}$ en los ensilados de cártamo están más relacionados con las concentraciones de FDN y FDA, que se van acumulando en el forraje a medida que avanza el estado de madurez de E50 a E61 en todas las variedades (Cuadro 1); y que no se relacionan con la concentración de lignina. Los estudios sobre la digestibilidad de la fibra, así como su potencial digestible o indigestible en el ensilado de cártamo son limitados, pero, forrajes con valores elevados de uFDN se han relacionado estrechamente con un mayor tiempo de retención en el rumen, así como mayor llenado intestinal en vacas lecheras (West *et al*., 1997), lo que afecta negativamente la digestibilidad de la fibra y el consumo de alimento por el animal (Nair *et al*., 2016).

La digestibilidad *in situ* de la MS de los ensilados fue afectada únicamente por la etapa de cosecha (Figura 3). Se observó una reducción en la digestibilidad *in situ* de la MS en los ensilados a medida que la madurez de las variedades de cártamo avanzó de E50 a E61 (P = 0.0003). Lo anterior, puede ser debido a que existe una menor proporción de nutrientes más solubles (proteína y carbohidratos), con respecto a aquellos componentes fibrosos a medida que avanza la madurez en los forrajes (Seven y Çerçi, 2006). Peiretti (2009), reportó una reducción promedio de 0.3% por día en la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica en cártamo forrajero a medida que la madurez avanzaba en el cultivo desde los 45 hasta los 65 días después de la siembra. Landau *et al*. (2005), reportó que la digestibilidad *in vitro* de la MS del forraje de cártamo en Israel varía entre 65 y 66%. Al considerar los resultados del presente estudio, la mejor etapa de cosecha para tener mayor digestibilidad de la MS en el ensilado de cártamo es cuando el cultivo se encuentre en el estado fisiológico entre E50 y E55.

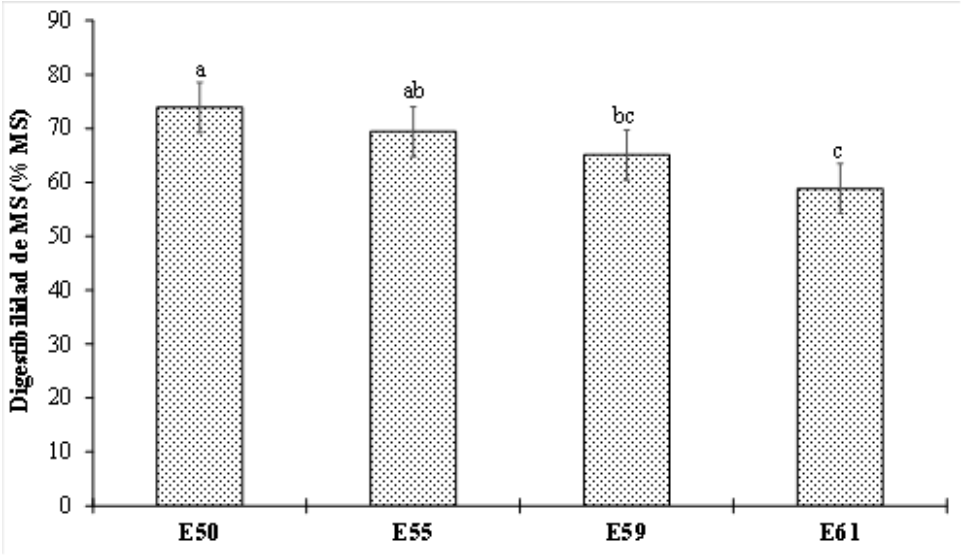


Figura 3. Efecto de la etapa fenológica a la cosecha sobre la digestibilidad *in situ* de la MS a 30 horas de incubación de variedades de cártamo (P=0.0003; EE=4.63).

Conclusiones

El rendimiento de forraje en MS difirió entre variedades de cártamo, la variedad FORRCART 2020, sin espinas, igualó el rendimiento de las variedades con espinas Gila y Guayalejo y superó a Selkino. Todas las variedades aumentaron su rendimiento de forraje al avanzar la madurez del cultivo de E50 a E61. De acuerdo con los resultados obtenidos, el mejor valor nutritivo del ensilado de cártamo se obtuvo en las etapas E50 a E55, cuando se observaron los mejores contenidos de PC, EN_L y digestibilidad de la FDN y MS. Los cultivares con menor reducción del valor nutritivo debido al avance de madurez en las etapas E55 a E61 fueron Selkino y Gila.

Agradecimiento

Este estudió se llevó a cabo con financiamiento para proyectos de investigación otorgado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Referencias

Bar-Tal, A., Landau, S., Li-xin, Z., Markovitz, T., Keinan, M., Dvash, L., Brener, S., 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

Cazzato, E., Laudadio, V., Corleto, A., Tufarelli, V. 2011. Effects of harvest date, wilting and inoculation on yield and forage quality of ensiling safflower (*Carthamus tinctorious* L.) biomass. Journal of the Science of Food and Agriculture. 91:2298-302. https://doi.org/10.1002/jsfa.4452

Danieli, P.P., Primi, R., Ronchi, B., Ruggeri, R., Rossini, R., Puglia, Del S., Cereti, C. F. 2011. The potential role of spineless safflower (*Carthamus tinctorius* L. var. inermis) as fodder crop in central Italy. Italian Journal of Agronomy. 6:e4. https://doi.org/10.4081/ija.2011.e4

Flemmer, A.C., Franchini, M.C., Lindström, L.I. 2015. Description of safflower (C*arthamus 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

Kung, L. Jr., Shaver, R.D, Grant, R.J., Schmidt, R.J. 2018. Silage Review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silage. Journal of Dairy Science. 101:4020-4033. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909

Landau, S., Friedman, S., Brenner, S., Bruckental, I., Weinberg, Z.G., Ashbell, G., Hen, Y., Dvash, L., Leshem, Y. 2004. The value of safflower (*Carthamus tinctorius*) hay and silage grown under Mediterranean conditions as forage for dairy cattle. Livestock Production Science. 88:263-271. https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2003.11.011

Landau, S., Molle, G., Fois, N., Friedman, S., Barkai, D., Decandia, M., Cabiddu, A., Dvash, L., Sitzia, M. 2005. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as a novel pasture species for dairy sheep in the Mediterranean conditions of Sardinia and Israel. Small Ruminant Research. 59:239-249. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.05.008

Maas, E.V., Poss, J.A. Hoffman, G.J. 1986. Salt Tolerance of Plants. Applied Agricultural Research, 1, 12-26. Nair, J., Yu Christensen, D.P., Beettie, A.D., McAllister, T., Damiran, D., Preston, N., Fuhr, L., McKinnon, J.J. 2016. A nutritional evaluation of common barley varieties grown for silage by beef and dairy producers in western Canada. Canadian Journal of Animal Science. 96:598– 608. https://doi.org/10.1139/cjas-2016-0032.

NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

Ochoa-Espinoza, X.M., Montoya-Coronado, L., Reta-Sánchez, D.G., Borbón-Gracia, B., Aguilera-Molina, N.A., Avila-

Casillas, E., Cota-Barreras, C.I. y Cano-Ríos, P. 2021. FORRCART 2020, nueva variedad de cártamo forrajero en México. Revista Fitotecnia Mexicana. 44:275-277. DOI: https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.275

Ochoa-Espinoza, X.M., Reta-Sánchez, D.G., Cano-Ríos, P., Sánchez-Duarte, J.I., Ochoa-Martínez, E., García-Martínez, J.E., Reyes-González, A. y Quiroga-Garza, H.M. 2022. Rendimiento y valor nutritivo de cereales y cártamo forrajero en la Comarca Lagunera. Biotecnia. Volumen XXIV, No. 2. 142-148. DOI: https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1620

Peiretti, P.G. 2009. Effects of growth stage on chemical composition, organic matter digestibility, gross energy and fatty acid content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Livestock Research for Rural Development, Volume 22, Article #206. http://www.lrrd.org/lrrd21/12/peir21206.htm

Reta, S.D.G., Serrato, C.J.S., Quiroga, G.H.M., Gaytán, M.A., Figueroa, V.U. 2017. Secuencias de cultivo alternativas para incrementar el potencial forrajero y productividad del agua. Revista Mexicana Ciencias Pecuarias. 8:397-406. https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i4.4645

SAS Institute. 2013. The SAS System for Windows, Release 9.4. Statistical Analysis Systems Inst., Cary, NC.

Seven, P.T., Çerçi Í.H. 2006. Relationship between nutrient composition and feed digestibility determined with enzymatic and nylon bag (*in situ*) techniques in feed sources. Bulgarian Journal of Veterinary Medicine. 9:107-113.

Stanford, K., Wallins, G.L., Lees, B.M., Mundel, H.-H. 2001. Feeding value of immature safflower forage for dry ewes. Canadian Journal of animal Science. 81:289-292. https://doi.org/10.4141/A00-090

Weinberg, Z.G., Ashbell, G., Hen, Y., Leshem, Y., Landau, Y.S., Brukental, I. 2002. A note on ensiling safflower forage. Grass Forage Science. 57:184-187.

West, J.W., Hill, G.M., Gates, R.N., Mullinix, B.G. 1997. Effects of dietary forage source and amount of forage addition on intake, milk yield, and digestion for lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 80:1656-1665. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76097-1