

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DESARROLLO, PRODUCCIÓN Y VALOR NUTRICIONAL DE CÁRTAMO
(*Carthamus tinctorius* L.) FORRAJERO SIN ESPINAS Y CUATRO CEREALES DE
GRANO PEQUEÑO EN LA COMARCA LAGUNERA

Tesis

Que presenta XOCHILT MILITZA OCHOA ESPINOZA

como requisito parcial para obtener el Grado de

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

Torreón, Coahuila

Noviembre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DESARROLLO, PRODUCCIÓN Y VALOR NUTRICIONAL DE CÁRTAMO
(*Carthamus tinctorius* L.) FORRAJERO SIN ESPINAS Y CUATRO CEREALES DE
GRANO PEQUEÑO EN LA COMARCA LAGUNERA

Tesis

Que presenta XOCHILT MILITZA OCHOA ESPINOZA

Como requisito parcial para obtener el Grado de

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

Dr. Pedro Cano Ríos
Director UAAAN

Dr. David Guadalupe Reta Sánchez
Director Externo INIFAP

Torreón, Coahuila

Noviembre, 2021

DESARROLLO, PRODUCCIÓN Y VALOR NUTRICIONAL DE CÁRTAMO
(*Carthamus tinctorius* L.) FORRAJERO SIN ESPINAS Y CUATRO CEREALES DE
GRANO PEQUEÑO EN LA COMARCA LAGUNERA

Tesis

Elaborada por XOCHILT MILITZA OCHOA ESPINOZA como requisito parcial para
obtener el grado de Doctor en Ciencias Agrarias con la supervisión y aprobación
del Comité de Asesoría



PhD. Pedro Cano Ríos
Asesor principal



PhD. David Guadalupe Reta Sánchez
Asesor



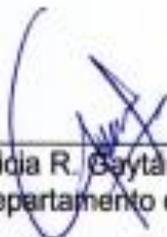
PhD. Juan Isidro Sánchez Duarte
Asesor



PhD. Héctor Mario Quiroga Garza
Asesor



Dr. Jose Eduardo García Martínez
Asesor



Dra. Leticia R. Gaytán Alemán
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente
Subdirector de Postgrado

Agradecimientos

A Dios por todas las bendiciones que me ha dado a lo largo de mi vida.

Al Dr. Pedro Cano Ríos. Por su dedicación, comprensión, por compartir su experiencia académica, la disciplina, por guiarme para realizar esta investigación, por su amistad y por ser una gran persona. Mi eterno agradecimiento.

Al Dr. David Guadalupe Reta Sánchez. Un especial agradecimiento por su fe en mi trabajo profesional, lo que permitió la realización del experimento. Mi gran estima para usted.

Al Dr. Juan Isidro Sánchez Duarte. Por el apoyo y paciencia para realizar este trabajo y todas las ideas que me compartió, así también por los consejos tanto en lo académico y en lo personal. Muchas gracias.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna (UAAAN-UL). Mi eterno agradecimiento a todos los maestros que fueron parte de mi formación académica, principalmente al Dr. Héctor Mario Quiroga Garza por compartir sus conocimientos y formar parte de mi comité. Al Dr. Eduardo García Martínez por apoyarme en el laboratorio para el análisis de muestras del experimento, por formar parte de mi comité, y por darme animo de trabajar, muchas gracias. A Esther Peña por todo su apoyo en todo este tiempo, muchas gracias.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por el apoyo a esta investigación. En especial a la Dra. Esmeralda Ochoa Martínez por su infinito apoyo al realizar este experimento y al personal de campo (Rigo, Benigno, Carlitos y Gerardo) que sin ellos este trabajo no sería posible. Muchas gracias

A mis amigos y compañeros de Inifap: Lope Montoya, Néstor Aguilera y Alberto Borbón, muchas gracias por su amistad, por compartir su experiencia laboral y por sus consejos.

A todos mis compañeros y amigos del Posgrado en especial, Evelyn, Nancy, Inés, Gema, Celia, Mireya, Anita y Julieta. Gracias por coincidir y ser parte de mi desarrollo profesional y humano. Las llevo en mi corazón.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), muchas gracias por el apoyo económico otorgado mediante la beca para la realización de mis estudios de doctorado.

Dedicatoria

A mis queridos padres Antonio Ochoa Oroz y Alba Militza Espinoza, por el apoyo que me brindaron durante todo mi desarrollo profesional, por todos los consejos que me dieron para hacer de mí una mejor persona, los amo.

A mis hermanos Aarón, Daniel, Kimberly, Oliver, Luis, Pedrito y Carolina, simplemente por ser parte de mi vida.

A mis abuelas Petra Oroz y Hortensia Espinoza, gracias por todo su amor y consejos para afrontar las situaciones de la vida, las amo.

En especial a mi amigo, confidente y pareja, Elco H. García, por estar a mi lado en este camino, gracias por tu apoyo y tu amor. A este bebé que viene en camino y esperamos con mucho amor.

Carta de aceptación de los artículos

Artículo aceptado



Estimado autor
Xochilt M. Ochoa-Espinoza

Me es grato informarle que su contribución con clave **R2020102**:

FORRCART 2020 NUEVA VARIEDAD DE CARTAMO FORRAJERO EN MÉXICO.

Está ahora en la versión formateada y ha sido programada para ser publicada en nuestra Revista. Con el fin de que este programa se realice conforme lo previsto, le solicitamos en un plazo no mayor de **1 día hábil**, revise cuidadosamente esta versión, sin hacer cambios mayores ni adicionar información.

Favor de usar color rojo para indicar las correcciones a los errores tipográficos que encuentre, y con azul los cambios que, en su caso tenga a bien hacer en el texto.

Agradeciendo su pronta atención a esta solicitud, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Ing. Sist. Rodrigo R. de la Cruz Díaz
Asistente del director de la RFM

Artículo enviado

SUBMISSION DETAILS

BMS-TOASJ-2021-45

Submission Type:	Manuscript
Title:	Yield and Nutritional Composition of Spiny and Spineless Cultivars of Safflower Forage in Four Phenological Stages
Abstract:	View Abstract
Submitted Date:	08-Jul-2021

Authors

S.No	First Name	Last Name	Field of Expertise
1	Xóchilt Militzá	Ochoa-Espinoza	Plant breeding
2	David Guadalupe	Reta-Sánchez	Agronomy
3	Pedro	Cano-Ríos	Plant breeding
4	Juan Isidro	Sánchez-Duarte	Animal Science
5	Esmeralda	Ochoa-Martínez	Soil science
6	José Eduardo	García-Martínez	Animal Science
7	Arturo	Reyes-González	Irrigation

Manuscript Files

S.No	File Name	File Type	Added On
------	-----------	-----------	----------

Artículo enviado



Instituto Tecnológico de Sonora
5 de Febrero No. 818 sur
Teléfono (644) 410-09-00 Apdo. 335
C.P. 85000 Ciudad Obregón, Sonora, México.
www.itson.mx

14 de octubre de 2021

*Xóchitl Militza Ochoa-Espinoza
David Guadalupe Reta-Sánchez
Pedro Cano-Ríos
Juan Isidro Sánchez-Duarte
Esmeralda Ochoa-Martínez
José Eduardo García-Martínez,
Arturo Reyes-González
Héctor Mario Quiroga-Garza
Presente*

*Hemos recibido su artículo titulado "Rendimiento y valor nutritivo de cereales y cártamo forrajero en la Comarca Lagunera" para considerar su publicación en la Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. El proceso de evaluación ha iniciado y nos pondremos en contacto con usted tan pronto como recibamos la evaluación de los árbitros consultados. Le fue asignada la clave **RLRN-1045**, por favor refiérase a ella en toda comunicación futura al respecto.*

Gracias por considerar nuestra revista para publicar sus trabajos.

Saludos cordiales

*Dr. Fernando Lares Villa
Editor*

E-mail: flares@itson.edu.mx

<http://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn>

Índice de contenido

Agradecimientos.....	III
Dedicatoria	V
Carta de aceptación de los artículos	VI
Índice de contenido	IX
Índice de figuras.....	XI
Índice de cuadros	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Hipótesis	3
1.2. Objetivos	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Características de una planta forrajera ideal.....	4
2.2. Componentes nutritivos de los forrajes.....	4
2.3. Factores que afectan la calidad nutritiva de los forrajes.....	7
2.4. Factores fisiológicos.....	7
2.4.1. Temperatura.....	7
2.4.2. Luz y día largo.....	7
2.4.3. Latitud.....	8
2.4.4. Agua.....	8
2.4.5. Fertilización.....	9
2.4.6. Suelo.....	9
2.5. Sistemas de producción en la Comarca Lagunera	9
2.6. Cártamo	10
2.6.1. Origen del Cultivo de Cártamo.....	10
2.6.2. Clasificación taxonómica del cártamo.....	11
2.6.3. Morfología del cultivo.....	12
2.6.4. El mejoramiento genético de cártamo en México.....	13
2.6.5. Producción de cártamo forrajero.....	14
2.6.6. Cártamo Forrajero con y sin espinas.....	16

2.6.7. Etapas de desarrollo del Cultivo	17
2.7. Avena.....	18
2.8. Cebada.....	19
2.9. Trigo.....	21
2.10.Triticale.....	22
3. LITERATURA CITADA.....	24
4. CAPITULO 1. FORRCART 2020 NUEVA VARIEDAD DE CÁRTAMO FORRAJERO EN MÉXICO.....	31
5. CAPITULO 2. YIELD AND NUTRITIONAL COMPOSITION OF SPINY AND SPINELESS CULTIVARS OF SAFFLOWER FORAGE IN FOUR PHENOLOGICAL STAGES	35
6. CAPITULO 3. RENDIMIENTO Y VALOR NUTRITIVO DE CEREALES Y CÁRTAMO FORRAJERO EN LA COMARCA LAGUNERA.....	46
7. CONCLUSIÓN GENERAL	65
8. ANEXOS	66
8.1. Título de obtentor de la variedad Forrcart 2020.....	66

Índice de figuras

Figura 1. Análisis de carbohidratos vegetales para su uso en formulación de raciones.	6
Figura 2. Digestibilidad de los carbohidratos.	6
Figura 3. El cultivo de cártamo.	11
Figura 4. Cártamo forrajero sin espinas.	15
Figura 5. Cártamo sin espinas en etapa de inicio de floración.	17

Índice de cuadros

Cuadro 1. Área y producción de forraje verde de cártamo, en el estado de Jalisco 2014 - 2019.....	15
Cuadro 2. Área y producción de forraje verde de Avena en México 2015 - 2019.....	19
Cuadro 3. Área y producción de forraje verde de Cebada en México 2015 - 2019. .	20
Cuadro 4. Área y producción de forraje verde de Trigo forrajero en México 2015 - 2019.	21
Cuadro 5. Área y producción de forraje verde de Triticale forrajero en México 2015 - 2019.....	23

RESUMEN

DESARROLLO, PRODUCCIÓN Y VALOR NUTRICIONAL DEL FORRAJE DE
CÁRTAMO (*Carthamus tinctorius* L.) Y CUATRO CEREALES DE GRANO

PEQUEÑO EN LA COMARCA LAGUNERA

POR

XOCHILT MILITZA OCHOA ESPINOZA

GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIRECTOR: PEDRO CANO RIOS

Existen especies forrajeras alternativas a la avena para incrementar el potencial forrajero en siembras tardías de otoño-invierno en la Comarca Lagunera. Los principales patrones de forrajes usados para alimentar el ganado lechero en la región están compuestos de maíz y/o sorgo en primavera o verano y avena en otoño-invierno. Debido a la escasez de agua y el incremento de problemas derivados del cambio climático, es de suma necesidad encontrar especies forrajeras como opciones que ayuden a sostener la producción de leche en un futuro en esta región. El cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) sin espinas puede incrementar el potencial forrajero del cultivo. El objetivo del estudio fue comparar la composición nutricional y los rendimientos de MS y nutrientes de dos cultivares de cártamo forrajero sin espinas cosechados en cuatro etapas fenológicas. El estudio se realizó en el 2018 y 2019, en Matamoros, Coahuila, México. Los rendimientos de MS y nutrientes se incrementaron con el retraso de la cosecha de E50 a E61 conservando una composición nutrimental aceptable, teniendo los mayores rendimientos de MS y nutrientes en E61. Por lo anterior, se procedió a registrar la variedad de cártamo forrajero sin espinas "FORRCART 2020" con el número de registro 2614. El objetivo del siguiente estudio fue comparar el potencial forrajero y la calidad nutritiva de cereales de grano pequeño y cártamos con y sin espinas con los observados en avena en siembras tardías de

otoño-invierno. Se evaluó la composición nutricional y los rendimientos de materia seca (MS) y nutrientes de especies forrajeras alternativas como triticale, cebada, trigo y cártamo con y sin espinas en comparación a las características de la avena, como cultivo testigo. 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 energía neta de lactancia (ENL) y MS digestible en cebada, y de rendimientos de proteína cruda (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.

Palabras claves: Composición química, especies forrajeras alternativas, rendimiento de materia seca, rendimiento de nutrientes.

ABSTRACT

DEVELOPMENT, PRODUCTION AND NUTRITIONAL VALUE OF SAFFLOWER
FODDER (*Carthamus tinctorius* L.) AND FOUR SMALL GRAIN CEREALS IN THE
COMARCA LAGUNERA

FOR

XOCHILT MILITZA OCHOA ESPINOZA

DEGREE OF DOCTOR IN AGRICULTURAL SCIENCE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIRECTOR: PEDRO CANO RIOS

There are alternative forage species to increase forage oats potential in the late autumn-winter plantings at the Comarca Lagunera. The forage patterns used in the region for dairy cattle feeding are corn and/or sorghum in spring or summer and oats in autumn-winter. Due to water scarcity and the increase in problems arising from climate change, it is necessary to find alternative forage species that help to sustain milk production under the limited irrigation water conditions in the future. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) spineless can increase the forage potential of the crop. The objective was to compare the nutritional composition and dry matter (DM) and nutrients yield of two spineless forage safflower cultivars harvested in four phenological stages. The study was conducted in 2018 and 2019, at Matamoros, Coahuila, Mexico. DM and nutrients yield increased by delaying harvest from E50 to E61 maturity stages, showing the highest yields of DM and nutrients at the E61 stage. Therefore, the variety of forage spineless safflower "FORRCART 2020" was registered with the number 2614. The

objective of the second study was to compare the forage potential and nutritional quality of small grain cereals, traditional and spineless safflower with those observed in oats in late autumn-winter plantings. The nutritional composition DM and nutrient yields of alternative forage species such as triticale, barley, wheat and traditional safflower and spineless safflower were evaluated compared to the characteristics of oats, as a control crop.

The alternative species with greater consistency in their behavior were barley and wheat, with better yields of DM and nutrients, especially in the production of ENL and digestible DM in barley, and of PC and digestible DM yields in wheats. Safflowers, especially the CD868 cultivar, were superior in forage potential to oats only in the cycle in which this species presented problems with foliar diseases. When oats developed normally, safflowers yielded DM and nutrients similar to those of oats.

Keywords: Chemical composition, alternative forage species, dry matter yield, nutrient yield.

1. INTRODUCCIÓN

En el norte de México, la producción de leche de vaca es económicamente de mucha importancia. En 2020, fueron alrededor de 12'564,000 L la obtención de leche en México, de los cuales el 20.51% se produjo en la Comarca Lagunera (SIAP, 2020). Aunque estos métodos de producción son muy exitosos, existe la evidencia que la producción de forraje que demanda el ganado no es suficiente, ya que solo se produce el 60% del forraje requerido en esta zona (Reta *et al.*, 2008).

La producción del forraje destinado para abastecer las demandas nutricionales del ganado se lleva a cabo en sistema de riego tradicional, en un área donde el agua de riego está restringida, además, existen crecientes problemas de salinidad en suelos y agua del subsuelo (Reta *et al.*, 2017b). Otra causa desfavorable que interviene en la producción de forraje es el cambio climático, debido al aumento de la temperatura y la frecuencia con la que ocurren los periodos de sequía (Sanderson *et al.*, 2011); por lo que a mediano y largo plazo se tendrán problemas para producir forrajes localmente (Reta *et al.*, 2017a).

En la Comarca Lagunera, se establecen cultivos de ciclo perenne como la alfalfa, cultivos anuales como el maíz, sorgo en primavera-verano, y avena en otoño-invierno, esto para poder conservar forraje durante todo el año (Reta *et al.*, 2008). Las principales especies anuales son maíz-maíz-avena y sorgo-sorgo-avena, las cuales se siembran de manera secuencial. De estas, la de mayor rendimiento es la de maíz-maíz-avena, con 40 t ha⁻¹ de MS, 3,689 kg ha⁻¹ de PC y de 234,104 MJ ha⁻¹ de EN_L, con un consumo de agua al año de 2 m³ de lámina de riego (Reta *et al.*, 2010). Los productores después de la cosecha de verano, establecen el cultivo de avena en siembras tardías en los meses de noviembre y diciembre. En esta época, la avena frecuentemente reduce su producción de forraje debido a problemas asociados a bajas temperaturas y por el ataque de enfermedades como roya (*Puccinia coronata*), cenicilla (*Erysiphe graminis*) y los pulgones que son los que transmiten el virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV, por sus siglas en inglés) (Reta *et al.*, 2018b).

Una opción para aumentar el potencial forrajero en la región es la siembra de cártamo en siembras tardías, ya que es un cultivo con características apropiadas para regiones áridas y semiáridas con muy poca disponibilidad de agua (Bar-Tal *et al.*, 2008; Leshem *et al.*, 2000), y con moderada tolerancia a la salinidad (Maas, 1986). Otra alternativa es sembrar cultivos forrajeros con mayor tolerancia a bajas temperaturas como triticale, cebada y trigo (Snyder y Melo-Abreu, 2005) y salinidad del suelo (Santamaría *et al.*, 2006) que la avena. Además, en estudios realizados en la región por Reta *et al.* (2018a) no se han presentado daños por enfermedades foliares en siembras tardías en estos cultivos.

Los cultivares de cártamo tradicionales (con espinas) producen forraje de buena calidad nutritiva cuando se cosechan en etapas tempranas de su desarrollo (yemas florales) (Sánchez *et al.*, 2018a); sin embargo, esto limita su potencial de producción de forraje, con rendimientos de 5,143 a 7,760 kg ha⁻¹ de MS (Reta *et al.*, 2008; Reta *et al.*, 2014; Reta *et al.*, 2015; Reta *et al.*, 2016; Reta *et al.*, 2017b), lo cual lo hace un cultivo menos competitivo respecto a otras especies forrajeras. Una forma de incrementar el potencial de rendimiento del cártamo forrajero es aprovechar la característica de cultivares sin espinas retrasando la cosecha a fases más avanzadas del desarrollo de inflorescencia. Este manejo permite incrementar el rendimiento de MS, produciendo un forraje sin contenido de espinas. Sin embargo, actualmente no se tienen disponibles cultivares sin espinas en México, y tampoco se tiene información sobre el balance entre la edad de cosecha del cultivo y las características nutritivas del forraje. Por lo tanto, es necesario desarrollar un cultivar de cártamo sin espinas a partir de líneas avanzadas disponibles en los programas de mejoramiento genético del INIFAP, asimismo, obtener información de estos genotipos sobre su potencial forrajero en relación a cereales de grano pequeño, además de su composición nutritiva en varias etapas fenológicas de su desarrollo.

1.1. Hipótesis

1. La línea de cártamo CD868 produce forraje sin espinas con rendimientos y composición nutritiva similares a los observados en cártamos tradicionales con espinas.
2. El retraso de la cosecha del inicio de la formación del capítulo (E50) hasta el inicio de floración en cultivares de cártamo sin espinas puede incrementar los rendimientos de MS y nutrientes respecto a los cultivares de cártamo espinosos cosechados entre las etapas E50 y E55, mientras que mantienen una composición nutricional aceptable.
3. Existen genotipos de cereales de grano pequeño y cártamo con características adecuadas para incrementar la calidad nutritiva del forraje y rendimientos de materia seca y nutrientes por hectárea, respecto a la avena en siembras tardías de otoño-invierno.

1.2. Objetivos

1. Desarrollar la línea de CD868 como variedad de cártamo forrajero sin espinas.
2. Comparar la composición nutricional, los rendimientos de MS y nutrientes de dos cultivares de cártamo forrajero sin espinas cosechados en cuatro etapas fenológicas.
3. Comparar el potencial forrajero y la calidad nutritiva de cereales de grano pequeño y cártamos con y sin espinas con los observados en avena en siembras tardías de otoño-invierno.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características de una planta forrajera ideal

Striuk y Deinum (1990) mencionan que para que una planta forrajera sea la adecuada, debe contar con una ruptura fácil de la epidermis, que tenga un alto contenido de carbohidratos no estructurales, una cantidad de mineral optimo, incluso una concentración alta de proteína con una apta cantidad de metionina y por ultimo nitrógeno no degradable en el rumen.

La calidad del forraje incluye la eficacia con la que consumen un forraje los animales y el uso de los nutrientes del forraje de manera eficiente para ser convertidos en parámetros del rendimiento animal (Amigot *et al.*, 2005).

La cantidad de nutrientes en un forraje se expresa como la capacidad del animal para producir, el cual lo integra, el consumo de alimento, la eficiencia energética y la digestibilidad. Se considera que, para obtener una medida más exacta de la digestibilidad, es determinando el valor nutritivo (Van Soest, 1994).

2.2. Componentes nutritivos de los forrajes.

Proteína: Es un nutriente fundamental de los alimentos, la cual está formada por cadenas repetitivas de aminoácidos (INATEC, 2016).

Proteína cruda: Es una medida para calcular la calidad de los forrajes.

La proteína cruda es útil en la nutrición de los rumiantes porque, aunque la vaca requiere aminoácidos, los microbios ruminales pueden usar la proteína no proteica para sintetizar aminoácidos, dando energía y carbono a los huesos (Hall, 2014).

Carbohidratos (glucósidos, hidratos de carbono o sacáridos): Son elementos fundamentales como azúcares, almidones y fibra; su primordial función es el aporte energético. Forman el 75 % del peso seco de las plantas. La lignina es uno de los carbohidratos estructurales más importantes. Debido a

la madurez de los vegetales, los carbohidratos acrecientan sus contenidos, siendo estos los responsables de la digestión parcial de la celulosa y la hemicelulosa y son unos de los importantes factores restrictivos de la digestibilidad de los forrajes. El nivel de rendimiento productivo de los rumiantes se determina a través del consumo y el tipo de carbohidratos que llevan a cabo en su dieta (INATEC, 2016).

Los carbohidratos proporcionan del 70% al 80% de la materia seca de la dieta para ganado lechero. Los carbohidratos se dividen en fibrosos y no fibrosos. La fibra detergente neutra (FDN) representa la "fibra" que es digerible solo por los microbios del rumen y generalmente fermenta más lentamente que otros carbohidratos (Figura 1). La fibra detergente ácida (FDA) está compuesta de celulosa, lignina y detergente ácido insoluble en nitrógeno (Hall, 2014).

Los carbohidratos no fibrosos (NFC) son el 98% digeribles (Figura 2), puede fermentar más rápidamente que la fibra en el rumen, y algunos son digeribles en el intestino delgado (NRC, 2001).

Digestibilidad

La digestibilidad ruminal de las fracciones de alimento son comúnmente medidas *in vitro*, en fermentaciones anaeróbicas con inóculo ruminal. La digestibilidad de FDN mejora la energía disponible para el animal. El procedimiento de digestibilidad *in vitro* se realiza con muestras secas molidas de 1 mm. Estas muestras se fermentan durante 24, 30 o 48 horas. La medición de 48 horas es la utilizada en el Dairy NRC de 2001 para calcular la digestibilidad de la fibra. Las 24 horas y 30 horas son más sensibles para detectar diferencias en los rangos en lugar de los grados de fermentación, ya que generalmente se encuentran en la parte de fermentación más activa de la fermentación (Hall, 2014).

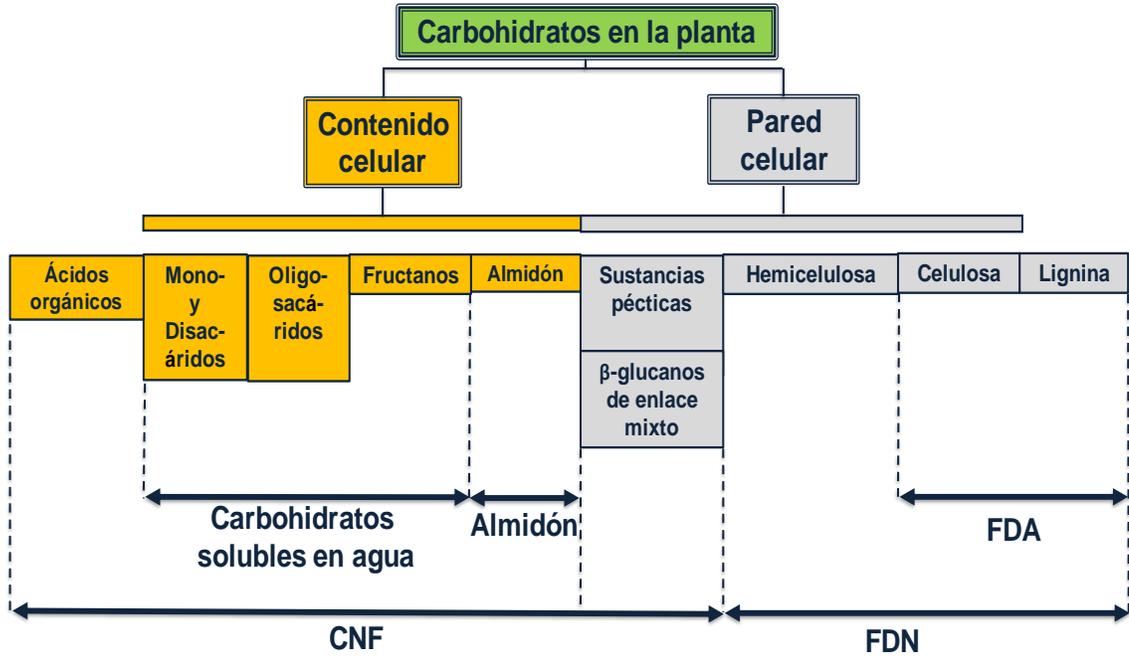


Figura 1. Análisis de carbohidratos vegetales para su uso en formulación de raciones.

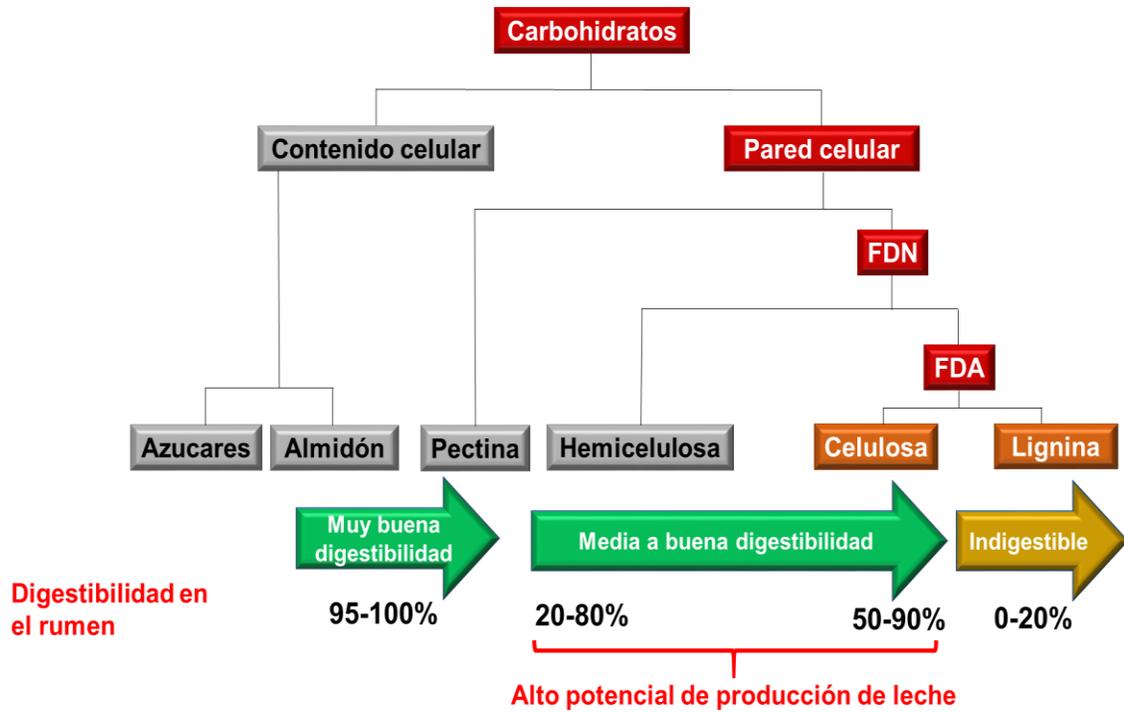


Figura 2. Digestibilidad de los carbohidratos.

2.3. Factores que afectan la calidad nutritiva de los forrajes.

Hay dos métodos empleados por las plantas para la supervivencia relevantes para la calidad nutritiva del forraje.

1. Los nutrientes y las reservas son esenciales para que sobrevivan durante el frío, periodos de sequía, rebrote, climas adversos, defoliación, pastando o cortando. Las sustancias de reservas son altamente digestibles.

2. Compuestos defensivos incluyendo lignina, fenoles, terpenos y alcaloides, son requeridos para la resistencia al viento, enfermedades y defoliación, y su existencia generalmente disminuye el valor nutritivo del forraje de la planta (Van Soest,1994).

2.4. Factores fisiológicos

2.4.1. Temperatura.

La temperatura ambiental alta resulta un aumento de la lignificación de la pared celular de la planta, lo que promueve más rápido la activación la cual disminuye la captura de metabolitos en el contenido celular. Disminuye la actividad de nitratos, proteínas y carbohidratos solubles y un incremento en componentes de la pared celular.

Plantas de permanencia vegetativa, ya sea por bajas temperatura ambiental durante el desarrollo o carácter genético, son menos lignificadas, que las plantas en etapa de desarrollo en floración bajo similar condición ambiental.

En forrajes, la calidad en las hojas y tallos se reduce al incrementar la temperatura, la calidad de las hojas disminuye y como consecuencia se presenta una lignificación en la nervadura, debido a que tiene una mayor concentración de lignina en las hojas de forraje (Van Soest,1994).

2.4.2. Luz y día largo.

La luz es la principal fuente de energía en las plantas y es ejecutada en el metabolismo a través de la fotosíntesis. En este proceso químico se ven involucrados diversos parámetros como: luz total recibida, intensidad de la luz y día largo.

La eficiencia de la fotosíntesis es baja, solo el 1-3% de la luz que recibe la planta es sintetizada por el proceso de fotosíntesis. La glucosa es el producto final de la fotosíntesis y por lo tanto la luz origina la acumulación de azúcar y el metabolismo general del N. Los nitratos necesitan energía fotosintética para la reducción de amonio y la síntesis de amino ácidos. La luz promueve la reducción de niveles de nitratos. La pared celular tiene componentes que disminuyen con el incremento de la luz probablemente por la dilución de carbohidratos no estructurales, aminoácidos y ácidos orgánicos (Van Soest,1994).

La intensidad de la luz influye en la incidencia angular del sol, la cual disminuye con la latitud. El total de luz neta es un producto del día largo y de la incidencia del sol.

Según Llanos (1984) Cuando el forraje es cosechado en primavera y al final del verano o en el otoño, se ve afectada la calidad del mismo debido a la variación estacional de luz, ya que tiene mayor cantidad de hojas y proteína, comparado con el que se produce en el ciclo de verano, tomando en cuenta que todos tienen el mismo estado de madurez. Por lo que una disminución en la intensidad de la luz de un 30-40 % llegan a tener un retraso de cinco a seis días en la madurez. Van Soest (1994) mencionaba que los días nublados y sombra afectan que las plantas reciban la luz y por lo tanto disminuyen el valor nutritivo del forraje. La acumulación de nitratos es mayor bajo días nublados y fríos, lo cual reduce la fotosíntesis y la reducción de nitrato a aminoácidos.

2.4.3. Latitud.

Los días largos y las bajas temperaturas se asocian a altas latitudes y posiblemente intervienen en el incremento o disminución de la calidad del forraje con la edad (Van Soest,1994).

2.4.4. Agua.

Los efectos de la lluvia, el sol y viento, son factores que intervienen en la relación planta-suelo, debido a que producen un mayor o menor grado de evaporación desde el suelo y a su vez la transpiración de las plantas. La transpiración de una planta consiste en la pérdida de vapor de agua a través de los estomas, que se

localizan primordialmente en la epidermis del envés de las hojas (Núñez *et al.*, 2009).

La escases de agua en la planta tiende a retrasar su desarrollo y así mismo retrasar la madurez, con el resultado de incremento de la digestibilidad y el rendimiento de materia seca es reducido (Van Soest, 1994).

2.4.5. Fertilización.

La fertilización es una parte importante del proceso de producción de forrajes. Si no se proveen de una manera adecuada los nutrimentos requeridos, el rendimiento tiende a disminuir en función de la magnitud de la deficiencia. El nitrógeno es el nutrimento que más requieren los cultivos forrajeros y el que más comúnmente limita el rendimiento (Núñez, *et al.*, 2009). Además, el nitrógeno interviene en el incremento del contenido de proteína, el rendimiento de aminoácidos y por lo tanto un mayor suministro de nitrógeno reduce el contenido de azúcar (Van Soest, 1994).

2.4.6. Suelo.

Van Soest (1994) menciona que las plantas pueden desarrollarse en diferentes tipos de suelo con un equilibrio de minerales. La textura del suelo es de vital importancia, así como su composición estructural, la presencia de elementos que emanen nutrientes, tanto de origen orgánico como inorgánico; la presencia de humedad, una correcta aireación, temperatura, la presencia de flora microbiana, conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico (Robles, 1990). Estos componentes tienen una relación con el suelo para suministrar a las plantas condiciones primordiales para su desarrollo, así como para obtener la calidad y cantidad de forraje deseada (Núñez, 1993).

2.5. Sistemas de producción en la Comarca Lagunera

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, con los cuales se produce una cantidad de forraje necesaria para el ganado (Sánchez *et al.*, 2018a).

En varios estudios realizados en la región se ha encontrado que la integración de cultivos alternativos en los sistemas de producción forrajeros permite incrementar la eficiencia de producción de forraje. Las especies que ofrecen mayores posibilidades de éxito son las que resultaron sobresalientes en el ciclo otoño-invierno debido a su alto contenido proteico y al hecho de que los valores de evapotranspiración y temperatura son menores en este ciclo (Reta *et al.*, 2008). De acuerdo a sus condiciones de precocidad y una buena calidad de forraje, cultivos como canola y cártamo, junto con especies convencionales como triticale y cebada pueden ser integradas en el ciclo otoño-invierno para aumentar la eficiencia de producción (Reta *et al.*, 2017b). Las especies cártamo y cereales como triticale, cebada y trigo son sobresalientes para siembras tardías de otoño-invierno (Reta *et al.*, 2017a; Reta *et al.*, 2017b).

2.6. Cártamo

2.6.1. Origen del Cultivo de Cártamo.

El *Carthamus tinctorius* se denomina de muchas maneras: azafrán bastardo, azafrán de cardo, azafrán de moriscos, azafrán romí, azafrán de Canarias o marroquí, cardo aceitero, cárcamo o cártamo y alazor (Gallego, 2020). El cártamo es un cultivo anual de semillas oleaginosa originario de la zona del Mediterráneo oriental. Principalmente se cultiva para la producción de semillas, que se utilizan como fuente de aceite y sus pétalos como pigmentos. Estos son utilizados tanto por los productores de alimentos como en la industria. Además, se utilizan semillas de cártamo y pasta para la alimentación animal (Figura 3) (Stanford *et al.*, 2001). Vavilov (1951) propuso tres centros de origen para el cártamo, uno en la India que se basó en la variabilidad y la antigua cultura de la producción de cártamo. El segundo centro en Afganistán, que se basaba en la diversidad y cercanía a especies silvestres y el tercer centro de origen en Etiopía, donde principalmente se encontraban con especies silvestres de cártamo en la zona (Singh y Nimbkar, 2007).

Robles (1991) menciona que, en el siglo XIX, se introdujo el cultivo de cártamo al continente americano siendo españoles y portugueses quienes lo incorporaron a los Estados Unidos de América. Fue en el año 1905 cuando se sembró el cultivo por vez primera en el Valle de Santiago, Guanajuato, México.



Figura 3. El cultivo de cártamo.

2.6.2. Clasificación taxonómica del cártamo.

Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Sub-división	Pteropsidae
Clase	Angiospermae
Sub-clase	Dicotyledoneae
Familia	Asteraceae (Compositae)
Sub-familia	Carduceae/ tubiloflora
Tribu	Cynereae
Genero	Carthamus
Especie	tinctorius L.
Sub-especie	Inermis (sin espinas), typicus (con espinas)

(Robles, 1991).

2.6.3. Morfología del cultivo.

El cártamo (*Carthamus tinctorius* L.), es miembro de la familia Asteraceae, tiene un sistema de raíz pivotante y profunda, es una planta anual con muchas espinas en su brácteas y hojas (Dajue y Mündel, 1996; Emongor, 2010).

La planta de cártamo es considerada como anual arbustiva, que posee varias ramas, que se clasifican como primarias, secundaria y terciaria, donde cada una termina en una estructura globular llamada capítulo (Singh y Nimbkar, 2007). La germinación puede suceder de tres a ocho días, dependiendo de la temperatura y este puede ocurrir con temperaturas tan bajas como 2 - 5 °C (Emongor, 2010). Después de la emergencia sigue la etapa de roseta, siendo esta de lento desarrollo y una numerosa cantidad de hojas que son desarrolladas muy cerca del suelo (Montoya, 2010). La duración de la etapa de roseta varía de 20 a 35 días (Singh y Nimbkar, 2007).

Montoya (2010) menciona que la planta presenta rápida elongación del tallo y las ramas principales aparecen a una altura de 30 cm; la planta varía de 40 cm hasta 2.0 m de altura, esto depende de la fecha de siembra y la densidad de población. El hábito de ramificación es estrecho, con un ángulo de 30° con respecto al tallo, extendiéndose con un ángulo de rama al tallo de hasta 75° . Cada rama produce un capítulo de flor globular, que está encerrado por brácteas firmemente unidas (Singh y Nimbkar, 2007). Al final de estas, se generarán botones florales encerrados por brácteas espinosas (Rivas y Matarazzo, 2009). La floración inicia del capítulo primario, seguido por los secundarios y terciarios, la floración en el capítulo inicia desde las orillas hasta el centro del mismo, el periodo de floración puede durar de cuatro a seis semanas dependiendo de las prácticas agrícolas y condiciones climáticas, especialmente la temperatura (Weiss, 2000).

El cártamo para completar su ciclo normal requiere de 120 días (Kaffka y Kearney., 1998). Sin embargo, en las diferentes regiones de México donde se siembra este cultivo, son diferentes las fechas recomendadas, pero la planta requiere de 140 a 170 días para su madurez a cosecha (Montoya, 2010). El cártamo tiene un sistema de raíz principal que se alarga de 2 a 3 m en suelos

con profundidad adecuada. El sistema radicular profundo ayuda a la extracción del agua a unos niveles muy altos de profundidad y a extraer los nutrientes de capas mucho más profundas del suelo, lo cual lo convierte en una planta ideal para sistemas de cultivo de secano (Singh y Nimbkar, 2007).

2.6.4. El mejoramiento genético de cártamo en México.

Existen diferentes métodos de mejoramiento genético con los cuales se han generado variedades a nivel mundial con genotipos de cártamo con un 95% de autofecundación (Knowles, 1980; Harrigan, 1989). En México existen variedades cultivadas que oscilan entre 85 a 90% de autofecundación (Montoya, 2010). Se menciona a las abejas como los principales insectos en llevar a cabo la polinización cruzada (Kaffka y Kearney., 1998). En México, el método de mejoramiento más usado es el de pedigree o genealógico (Krupinsky, 1974; Harrigan, 1985).

En 1958, en el Noroeste de México se dio inicio a la investigación con el cultivo de cártamo, con ensayos de adaptación y rendimiento de líneas mejoradas y manejo agronómico del cultivo. La adaptación varietal y la conservación natural del cártamo dieron como origen mejorar genéticamente los cultivares mediante nuevo germoplasma, clasificaciones, selecciones y cruzamientos de otras fuentes, para solucionar problemas de rendimiento de grano y aceite (Montoya, 2010).

En México, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), cuenta con programas de mejoramiento genético de cártamo, ubicados en los diferentes Campos experimentales (sur de Tamaulipas, Valle de Culiacán y Norman E. Borlaug en Sonora) (Montoya, 2010).

El Programa de Mejoramiento Genético de Cártamo del CENEB-CIRNO-INIFAP formó la variedad de cártamo "Forrcart 2020" la cual proviene de la cruce entre la línea RUSSOS – R – 262 y la línea SEL KINO-76. Por lo anterior se obtuvo la línea experimental que se identificó con la genealogía CD868-A-3-2-1-0Y; se llevó a cabo la selección masal en la generación F1 y en forma individual en F2 hasta F4. Posteriormente, se hizo una selección en masa para obtener de la línea avanzada, la cual se realizó en la generación F5. En la generación F6 se

evaluó en ensayos de rendimiento forrajero y calidad, hasta la liberación de la variedad forrajera.

2.6.5. Producción de cártamo forrajero

El cártamo cosechado en la etapa temprana de floración provee un forraje de buen valor nutritivo, además de ser una fuente natural y económica de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), (Peiretti, 2009). Es sobresaliente en la producción de proteína cruda (PC= 17.1 %), con menor requerimiento de agua (50 cm de lámina) y mayor precocidad (91 días) que la avena. En estudios realizados en el Sur de Italia el cártamo mostró un rendimiento de materia seca con alto potencial que oscila entre 4.5 t ha⁻¹ a 11.6 t ha⁻¹ cosechada en la etapa de inicio de floración con un 25% de floración (Cazzato *et al.*, 2011).

En México el principal productor de cártamo forrajero es el estado de Jalisco, el cual tiene varios años obteniendo rendimientos importantes, en este cultivo (Cuadro 1) (SIAP, 2020).

El cártamo se adapta a condiciones moderadas de salinidad (Maas, 1986), por lo tanto, puede ser una opción como forraje en la Comarca Lagunera y puede ser cultivado en regiones áridas y semiáridas debido a la alta adaptabilidad a condiciones de baja humedad, recursos limitados de agua, ya que es un cultivo resistente a sequía (Bar-Tal *et al.*, 2008; Peiretti, 2017). Reta *et al.* (2011) menciona que los rendimientos de MS de cártamo en invierno (4,934 kg ha⁻¹) fueron inferiores a los obtenidos por el testigo como la avena (8,226 kg ha⁻¹). No obstante, presenta ventajas en su contenido de nutrimental en PC y una disminución del rendimiento de EN_L de 5.7%.

La precocidad del cártamo permite el ahorro de un riego (10 cm de lámina), tiene una producción de materia seca (7,397 kg ha⁻¹) siendo esta 15% menor comparado con la avena, sin embargo, su forraje tiene un menor contenido de FDN (49 %). (Reta *et al.*, 2016). El cártamo puede ser pastado directamente por el ganado, o como heno y ensilado (Peiretti, 2017).

El cártamo, debido a su precocidad, moderada tolerancia a la salinidad y mejor calidad de forraje que la avena, representa una alternativa para siembras tardías

en otoño-invierno, con variedades sin espinas donde la producción es mayor que con cártamo sin espinas, ya que se puede cosechar en etapa más avanzada y con calidad nutritiva aceptable, siendo competitivo con cultivos tradicionales como la avena.

Cuadro 1.- Área y producción de forraje verde de cártamo, en el estado de Jalisco 2014 - 2019.

Año	Área (has)	Producción (t)	Rendimiento (t ha⁻¹)
2019	1,138.0	16,492.7	14.49
2018	1,146.0	16,755.2	14.62
2017	1,155.2	16,348.8	14.15
2016	1,201.8	17,118.1	14.21
2015	691	8,644.2	13.49
2014	310	4,460.0	14.39



Figura 4. Cártamo forrajero sin espinas.

2.6.6. Cártamo Forrajero con y sin espinas

Mundel *et al.*, (2004) informó que el ganado alimentado con forraje de cártamo es más susceptible a ulceración en la boca y tienen menos capacidad para seleccionar las partículas de alimento más nutritivas que ovejas y cabras. Recientemente se han introducido cultivares de cártamo sin espinas como forraje para el ganado (Landau *et al.*, 2004). El cártamo en general es un cultivo espinoso. Sin embargo, toda la producción de cártamo en China es bajo cultivares sin espinas. La producción de cártamo en todo el mundo, excepto China, está bajo cultivares espinosos. La producción de cártamo se ha visto un poco perjudicada debido a su característica espinosa, especialmente en zonas donde aún no se ha introducido el cultivo mecanizado (Singh y Nimbkar, 2007).

El forraje de cártamo suele ser más adecuado para los rumiantes en desarrollo, los cuales tienen moderados requerimientos de la calidad de pasto (Landau *et al.*, 2005). Landau *et al.* (2004) demostraron que un cártamo en la etapa previa a la floración se puede usar de manera segura como alimento para ovejas de pastoreo. Ovejas y bovinos pueden pastar succulentos rebrotes de cártamo y rastrojos después de la cosecha, porque el cártamo, en condiciones áridas mediterráneas, tiene el potencial de alargar la duración del pasto verde (Peiretti, 2017). Las ovejas generalmente pueden utilizar el forraje de cártamo con espinas mejor que el ganado, porque su capacidad de masticación previene ulceración en la boca (Stanford *et al.*, 2001).

La calidad nutritiva y el rendimiento del forraje de cártamo han sido evaluados en la Comarca Lagunera. Reta *et al.* (2015) Reportan que estudios realizados en esta región con cultivares de cártamo con espinas cosechados en inicio de yemas florales manifestaron rendimientos de MS entre 4,150 y 7,158 kg ha⁻¹ y una composición nutricional similar o superior a la de avena forrajera, siendo el cultivo más sembrado en esta región (Reta *et al.*, 2016).

2.6.7. Etapas de desarrollo del Cultivo

Se ha encontrado que el cártamo constituye un forraje aceptable para el ganado en Dakota del Norte, si se corta en o justo después de la etapa de floración. (Berglund *et al.*, 1998).

Los rendimientos y la calidad del cártamo forrajero dependen de las etapas de desarrollo de la planta, que ya han sido descritas por Tanaka *et al.*, (1997). Peiretti (2009) estudió los efectos de la etapa de crecimiento, la composición química y energía bruta del cártamo cosechado en cinco etapas de desarrollo, donde encontró que la materia seca aumentó conforme avanzaba la etapa de desarrollo de 83 a 157 g kg⁻¹ (etapa vegetativa hasta inicio de floración). La proteína cruda disminuyó conforme avanzó la etapa de desarrollo, mientras que la FDN y FDA aumentaron. Otros estudios realizados por Corleto *et al.*, (2005) observaron un aumento en los componentes fibrosos en cártamo cosechado desde el inicio de botones hasta la etapa de llenado de grano, y descubrió que en el contenido de FDA y FDN varió de 193 a 403 g kg⁻¹ de MS y de 295 a 585 g kg⁻¹ MS, respectivamente.



Figura 5. Cártamo sin espinas en etapa de inicio de floración.

2.7. Avena.

El cultivo de avena (*Avena sativa* L.) es muy importante en México, debido a que es altamente utilizado para uso pecuario como alimento balanceado, tiene un alto grado de adaptación, en zonas lluviosas, frías y altas, así como en ambientes semiáridos (Espitia *et al.*, 2007). Según datos del SIAP (2020), en los estados de Chihuahua, Durango y Zacatecas en México son los principales productores de avena forrajera, los cuales tienen varios años obteniendo rendimientos importantes en este cultivo (Cuadro 2).

Dicho cultivo presenta una gran oportunidad en cuanto a la recuperación productiva en tierras de bajos niveles de productividad con capacidad pecuaria, ya que son regiones donde actualmente se maneja la producción de cultivos tradicionales, y cuya temporada de crecimiento es de corto plazo (Espitia *et al.*, 2007). La avena como forraje tiene características favorables como: mayores niveles de digestibilidad, una gran presencia de energía metabolizable, presentando cualidades en comparación con otros cereales de grano pequeño; conteniendo en su interior cantidades más altas y de mayor calidad proteica, mineral y de carbohidratos, además de grasas y vitamina B. (INFOAGRO, 2010). Ramírez *et al.* (2013). Ellos informan que en el norte-centro de México, la avena cosechada como forraje se debe realizar en la etapa de madurez fisiológica del grano, con una producción que oscila de 2,000 a 3,000 kg de forraje seco ha⁻¹, además cuenta con un contenido de PC menor de 10.5 %, el de FDN mayor a 61.4 %, y el de EN_L de 1.63 Mcal kg⁻¹ de MS. La FAO (2004) menciona que la PC puede estar en un rango de 12 a 21 % y la FDN de 44 a 54 %, cuando la avena se cosecha en etapa de embuche o grano masoso,

Es posible utilizar la avena como alimento para el ganado en todas las etapas de desarrollo, tanto en forma de germinados para especies de menor tamaño, como en grano en etapa lechoso-masoso. Esto, debido a que se desconoce la capacidad de producción de materia seca de este cultivo, y así poder determinar el momento preciso de corte, el cual va permitir incrementar su rentabilidad (Espitia *et al.*, 2007). Sin embargo, se puede obtener un forraje de buena calidad cuando la avena se corta en etapa de madurez fisiológica, por el efecto del

aumento de grano en la planta lo cual produce un efecto en la dilución de la fibra (Espitia *et al.*, 2012). La avena en la Comarca Lagunera se cosecha durante el espigado, con un ciclo de crecimiento de 117 días, con valores de PC de 11.5 % y FDN de 58.4 % (Reta *et al.*, 2016). Sin embargo, cuando se presentan enfermedades en la avena de otoño-invierno el rendimiento disminuye considerablemente, debido a que 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).

Cuadro 2.- Área y producción de forraje verde de Avena en México 2015 - 2019.

Año	Área (has)	Producción (t)	Rendimiento (t ha⁻¹)
2019	713,925.3	10´485,608.4	15.05
2018	652,835.0	10´400,872.8	16.13
2017	630,628.2	9,682,821.3	15.48
2016	690,203.5	10´476,493.4	15.26
2015	715,518.9	9,362,181.7	13.30

2.8. Cebada.

En el noreste de México es de suma necesidad contar con alternativas en la producción de forrajes como variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) adaptadas, debido a los climas extremos que se tienen en la región. A pesar de las bondades que representa el cultivo de cebada para la producción de forraje, es poco frecuente en la región Lagunera, en México (Colín *et al.*, 2009).

En México los principales productores de cebada forrajera son los estados de Baja California, Guanajuato, Hidalgo y Coahuila, los cuales tienen varios años obteniendo rendimientos importantes, en este cultivo (Cuadro 3) (SIAP, 2020). Debido al uso eficiente del agua y a pesar de las heladas presentadas por el cambio climático, los cereales de invierno pueden ser una alternativa sostenible para la producción ganadera (Colín *et al.*, 2009; Torres *et al.*, 2019).

Colín *et al.* (2009) mencionan que, la cebada es un cultivo con vigor, resistencia a sequía y salinidad, siendo estas unas de las ventajas que tiene sobre otros cereales del mismo ciclo y puede cultivarse en suelos pobres. Según Wilson *et al.* (2020) indicaron que la cebada es semejante a otros cereales de invierno, ya que presenta mayor producción, es rica en proteínas, vitaminas y carbohidratos. Por lo que su calidad forrajera en etapas posteriores a la anthesis no disminuye tanto, posiblemente debido a la mayor cantidad de grano (Colín *et al.*, 2009). En estudios realizados en la Comarca Lagunera, se observó que durante el invierno las cebadas forrajeras son una alternativa para la producción de forraje, por su precocidad y porque existen genotipos con características deseadas para la producción de forraje (Torres *et al.*, 2019). En esta misma región la producción de MS de cebada es de 13,180 kg ha⁻¹, siendo más altos que la avena (testigo), trigo y triticale. Además, esto siendo más alto en contenido de nutrientes como PC con 10.7 %, EN_L de 1.18 Mcal kg⁻¹ MS y una digestibilidad de 65.9 % (Colín *et al.*, 2009).

Cuadro 3.- Área y producción de forraje verde de Cebada en México 2015 - 2019.

Año	Área (has)	Producción (t)	Rendimiento (t ha⁻¹)
2019	12,794.2	282,168.1	23.24
2018	11,792.0	286,246.1	24.88
2017	18,616.9	352,185.0	18.99
2016	29,842.0	464,460.8	16.19
2015	28,636.0	375,599.6	19.3

2.9. Trigo.

El trigo (*Triticum* spp) ha sido nombrado como cultivo de doble propósito, porque se utiliza para producir grano y forraje (Coscia, 1967). Debido a los cultivares de trigo de ciclo más corto, elevado índice de cosecha y mejores características de rendimiento, originados hace más de 50 años, se ha reducido el uso de trigo de doble propósito e incrementando los trigos para cultivar grano (Arzadún *et al.*, 2003).

Los estados de Chihuahua, Durango y Coahuila, son los principales estados productores de trigo forrajero en México, los cuales tienen varios años obteniendo rendimientos importantes (Cuadro 4) (SIAP, 2020).

En la Comarca Lagunera las líneas de trigo AN-22009, AN-264-09 y AN-226-09 disponen mayor contenido de EN_L en tallos y hojas, un menor contenido FDA en todas las partes del forraje, además un menor contenido de FDN en tallos y hojas. Estas líneas de trigo poseen características muy comunes en rendimiento y calidad que la avena y la cebada, ya que cuentan con la ventaja que no contienen aristas en la espiga, esto evitará lesiones en las mucosas del ganado. La avena indicó mayor valor energético de tallos y hojas, pero un menor rendimiento y etapa, por estas razones se diferenciaron del resto de los materiales evaluados (Zamora *et al.*, 2016). Núñez *et al.* (2010) realizaron estudios con diferentes variedades de trigo forrajero en esta misma región donde los rendimientos de MS fluctuaron entre 12,570 a 13,430 kg ha⁻¹, mientras que las variables de calidad nutricional fueron de 9.8 a 10.8 % de PC, una FDN de 40.3 a 41.9 %, EN_L de 1.49 a 1.56 y una alta digestibilidad de 70.6 a 73.4 %.

Cuadro 4.- Área y producción de forraje verde de Trigo forrajero en México 2015 - 2019.

Año	Área (has)	Producción (t)	Rendimiento (t ha⁻¹)
2019	913.4	16,244.4	17.78
2018	1,203.8	23,148.5	19.3
2017	997.3	26,727.3	26.8

2016	3,255.9	55,986.9	17.2
2015	4,125.2	74,667.6	18.1

2.10. Triticale.

La cruce entre el trigo y el centeno da como resultado el triticale (*X Triticosecale Wittmack*). Este se utiliza para producir grano y forraje. En comparación a otros cereales, el triticale puede producir en ambientes con baja precipitación y tiene la capacidad de producir mayor rendimiento de grano y de materia seca, en sitios con suelos degradados (Wilson *et al.*, 2020).

En México, en los últimos cinco años se han sembrado 71,312 has de triticale para forraje verde (Cuadro 4) (SIAP, 2020).

Se cree que la capacidad que tiene el triticale para producir en condiciones adversas de crecimiento, es debido a su sistema radicular que puede adaptarse a diferentes tipos de suelos, inclusive en suelos de baja condiciones de fertilidad, estrés hídrico, o alguna otra causa que limite su producción, siendo estas algunas ventajas comparadas con otros cereales (Sánchez y Gutiérrez, 2015).

Aunque este cultivo puede ser una alternativa para siembras en zonas áridas, existe poca información de variedades de triticale con propiedades forrajeras que podrían ser una alternativa para las zonas donde hay baja precipitación y el clima ha variado constantemente en los últimos años.

Según estudios realizados en la Comarca Lagunera por Villa *et al.* (2002), los triticales facultativos evaluados mostraron mayor rendimiento de materia seca y mayores contenidos de fibra en etapas fenológicas más avanzadas en comparación con la avena que resulto ser la más fibrosa de las especies y la menos digestible.

Cuadro 5.- Área y producción de forraje verde de Triticale forrajero en México
2015 - 2019.

Año	Área (has)	Producción (t)	Rendimiento (t ha⁻¹)
2019	15,955.3	450,518.0	28.24
2018	15,996.6	421,092.2	26.30
2017	16,168.7	436,757.57	27.03
2016	13,145.5	363,895.5	27.92
2015	10,048.4	299,075.4	29.80

3. LITERATURA CITADA

- Amigot, S.L., Basílico, J.C., Bottai, H., Basílico, M.L.Z., Fulgueira, C.L. (2005). Estrategias para mejorar la calidad de forrajes. In: Proceedings of the Xth Argentine Congress of Micology, Buenos Aires, Argentina, 125 pp.
- Arzadun, M.J., Arroquy, J.I., Laborde H.E. y Brevedan, R.E. (2003). Grazing pressure on beef and grain production of dual-purpose wheat in Argentina. *Agron. J.* 95:1157-1162
- Bar-Tal A, Landau S, Li-xin Z, Markovitz T, Keinan M, Dvash L, Brener S, Weinberg ZG (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>
- Berglund, D.R., Riveland, N. and Bergman, J. (1998). Safflower production. North Dakota State University-Extension Service.
- 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 tinctorius* L.) biomass. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 91, 2298-2302. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4452>
- Colín, R.M., Zamora, V. V. M., Torres, T. M. A., y Jaramillo, S. M. A. (2009). Producción y valor nutritivo de genotipos imberbes de cebada forrajera en el norte de México. *Téc. Pec. Méx.* 47(1):27-40.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2010. Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2008-2009. Edición 2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (ed). México, D. F. 323 p.
- Corleto, A., Cazzato, E., Laudadio, V., Petrera, F. (2005). Evolution of biomass and quality of safflower during the reproductive stage for hay and ensiling purposes. Proceedings of the 6th International Safflower Conference, Istanbul, Turkey, pp. 69-73.
- Coscia, A.A. (1967). Economía de los cereales de doble propósito. EEA INTA Pergamino. Información Técnica 57 p 32.
- Dajue L.; Mündel, H.H. (1996). Safflower *Carthamus Tinctorius* L.; IPGRI, IPK, Eds.; IPGRI: Rome, Italy; ISBN 9290432977.
- Emongor, V. (2010). Safflower (*Carthamus Dajue tinctorius* L.) the underutilized and neglected crop: A review. *Asian J. Plant Sci.* 9, 299–306, doi:10.3923/ajps.2010.299.306.

- Espitia, R. E., Villaseñor, M. H. E., Espino, J. H., Salmerón, J.J., Z, González, Z.R. I., y Osorio, L. A. (2007). Obsidiana, variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. *Agric. Téc. Méx.* 33:95-98.
- Espitia Rangel, E., Villaseñor Mir, H. E., Tovar Gómez, R., de la O Olán, M., & Limón Ortega, A. (2012). Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(4), 771-783.
- (FAO) Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2004). Fodder Oats; a World Overview. Agriculture Department. Plant Production and Protection, Series No. 33. J M Suttle, S G Reynolds (eds.). Disponible en: www.fao.org/docrep/008/y5765e/y5765e00.htm. (Julio 2020).
- Gallego, F. T. (2020) El cultivo de alazor en el Frasnó. *Cuarta Provincia*. (3): 69- 81.
- Hall, M. B. (2014). Feed analyses and their interpretation. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 30(3), 487-505. Doi:10.1016/j.cvfa.2014.07.001
- Harrigan, E., F.S. 1985. Safflower breeding for disease resistance in Australia. *Sesame and Safflower Newsletter* N°. 1: 44-45.
- Harrigan, E., F.S. 1989. Review of research of safflower in Australia. *Abstr. Second International Safflower Conference*. Hyderabad, India. P.39.
- 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.
- INATEC, (2016). Manual del protagonista pastos y forrajes. Nicaragua. P 82.
- INFOAGRO. (2010). Información del Sistema Agropecuario. Cultivo de avena. Información agronómica. Info Agro Systems. Madrid, España, www.infoagro.com/
<https://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/avena.htm>
- Kaffka, S. R., & Kearney, T. E. (1998). Safflower production in California (Vol. 21565). UCANR Publications.
- Krupinsky, J.M. 1974. Safflower: a crop with an *Alternaria* leaf spot problem. Dept. Plant Pathology. Project Document. University of Montana.
- Knowles, P.G. 1980. Safflower. In Fehr, W.R., and Hadley, H.H. eds. *Hybridization of crop plants*. Am Soc. Agron. Madison Wis.

- Landau, S., Friedman, S., Brenner, S., Bruckental, I., Weinberg, Z.G., Ashbell, G., Hen, Y., Dvash, L. and 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.
- Landau, S., Molle, G., Fois, N., Friedman, S., Barkai, D., Decandia, M., Cabiddu, A., Dvash, L. and 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
- Leshem, Y., I. Brukental, S. Landau, G. Ashbell, Z.G. Weinberg, and A. Brosh. (2000). Salower - new forage crop in Israel. *Meshek Habakar Vehachalar*. 286:27-32.
- Llanos, M. C. (1984). *El Maíz; Su Cultivo y Aprovechamiento*. Ediciones Mundi prensa. Madrid, España. pp. 65-73.
- Maas, E.V., Poss, J.A., and Hoffman, G.J. (1986). Salt tolerance of plants. *Applied Agriculture Research*. 1: 12-26.
- Montoya, C. L. (2010). *El cultivo de cártamo (Carthamus tinctorius L) en México*. INIFAP-CIRNO-CENEB. Libro Técnico No. 5. Cd. Obregón Sonora. 96 p.
- Mundel, H.H., R.E. Blackshaw, J.R. Byers, H.C. Huang, D.L. Johnson, R. Keon, J. Kubik, R. Mckenzie, B. Otto, B. Roth, and K. Stanford. 2004. *Safflower Production on the Canadian Prairies: Revisited in 2004*. Agriculture and Agri-Food Canada, Lethbridge Research Centre, Lethbridge, Alberta, 37 pp.
- NRC (National Research Council). (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC. <https://www.nap.edu/catalog/9825/nutrient-requirements-of-dairy-cattle-seventh-revised-edition-2001>
- Núñez H. G. (1993). *Producción, Ensilaje y Valor Nutricional del maíz para Forraje*. El Maíz en la Década de los 90's. Primer Simposium Internacional Cuarto Nacional. SARH. Zapopan, Jal., México. pp. 305- 309.
- Núñez, H. G., Diaz, A.E., Espinosa, G. J.A., Ortega, R. L., Hernández, A.L., Vera, A.H.R., Roman, P.H., Medina, C. M. y Ruiz, L. F de J. (2009). *Producción de leche de Bovino en el sistema intensivo*. Libro Técnico Núm. 23. INIFAP-CIRGOC. Veracruz, Ver. P. 17-77. ISBN. 978-607-425-268-2.
- Núñez, H. G., Payán, G. J. A., Pena, R. A., González, C. F., Ruiz, B. O., & Arzola, A. C. (2010). *Caracterización agronómica y nutricional del forraje de*

variedades de especies anuales en la región norte de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 1(2), 85-98.

- 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*. 21(12), paper 206.
- Peiretti, P. G. 2017. Nutritional aspects and potential uses of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in livestock. Institute of Science of Food Production, Italian National Research Council, Grugliasco, Italy. Chapter 1: Publication at: <https://www.researchgate.net/publication/315517724>
- Ramírez-Ordóñez, S., Domínguez, D.D., Salmerón, Z. J. J., Villalobos, V. G., & Ortega-Gutiérrez, J. A. (2013). Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(4), 395-403.
- Reta, S.D.G, Serrato, C.J.S, Figueroa, V.R, Cueto, W.J.A, Berumen, P.S, Santamaría, C.J. (2008). Cultivos alternativos con potencial de uso forrajero en la Comarca Lagunera. Libro Técnico No. 3. ISBN 978-607-425-042-8. INIFAP-CIRNOC-CELALA. 268 pp. Disponible en: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/handle/123456789/1956>. Consultado: 26 febrero 2020.
- Reta, S.D.G., Figueroa, V.U., Faz, C.R., Núñez, H.G., Gaytán, M.A., Serrato, C.J.S., Payán, G.J.A. (2010). Sistemas de producción de forraje para incrementar la productividad del agua. *Rev Fit Mex*; 33 (Núm. Esp. 4):83-87.
- Reta, S.D.G., Sánchez, D.J.I., Ochoa, M.E. y Reyes, G.A. (2011). Canola, cultivo con potencial para incrementar la productividad forrajera en la Comarca Lagunera. *Hoard's Dairyman en Español*. Agosto 2011:512-514.
- 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., Quiroga, G.H.M., Serrato, C.J.S. (2015). Patrones de cultivos forrajeros alternativos con mejor adaptación al cambio climático en la Comarca Lagunera. Desplegable para productores Num. 20. INIFAP-CIRNOC-CELALA.
- Reta, S.D.G., Quiroga, G.H.M y Serrato, C.J.S. (2016). Patrones alternativos de cultivos forrajeros con mejor adaptación al cambio climático. *AGROFAZ*. 16:49-56.

- Reta, S.D.G., Sánchez, D.J.I., Reyes, G.A, Ochoa, M.E, Chew, M.Y.I, 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, Serrato, C.J.S, Quiroga, G.H.M, Gaytán, M.A, 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>
- Reta, S.D.G., J.S. Serrato C., A. Gaytán M., H.M. Quiroga, F. Frausto L., S. Ordaz V., J. Godoy H. (2018a). Validación de patrones de cultivo forrajeros alternativos con menor estrés por altas temperaturas en la Comarca Lagunera. *AGROFAZ*. 18:65-75.
- Reta, S.D.G., Sánchez, D.J.I., Torres, H.D, Reyes, G.A, Ochoa, M.E, Chew, M.Y.I, Cueto, W.J.A. (2018b). Cereales alternativos para aumentar el potencial forrajero en siembras tardías de Otoño-Invierno. Desplegable para productores Num. 32. INIFAP-CIRNOC-CELALA. Comité Editorial del Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila.
- Rivas, J. y Matarazzo, R. (2009) Producción de cártamo, consideraciones generales. INTA. Boletín de divulgación No. 20. 19 p.
- Robles, S. R. (1991) Producción de oleaginosas y textiles. Limusa. 3ra edición. México D. F. 200 p
- Robles, S., R. (1990). Maíz. Producción de Granos y Forrajes. Quinta Edición. LIMUSA. México. pp. 9-52.
- Sanderson, M.G., Hemming, D.L., 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.J., Cueto, W.J.A., Romero, P.R.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 2020.
- Sánchez, G. R.A y Gutiérrez B. H. (2015). Características forrajeras de variedades de triticale en condiciones de sequía. *Rev. Mex. Cienc. Agr.* 6:3; 645-650.
- Sánchez, M.H., Reta, S.D.G., Serrato, C.J.S., Figueroa, V.U., Cueto, W.J.A., Castellanos, P.E. (2018a). 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>

- SIAP (Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera). (2020). Avance de siembras y cosechas. Resumen por cultivo. (Accesado en Marzo 2021) http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do
- Snyder, R. L., & Melo-Abreu, J. D. (2005). Frost protection: fundamentals, practice and economics. Volume 1. Frost protection: fundamentals, practice and economics, 1, 1-240.
- Singh, V.; Nimbkar, N. (2007). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), Chapter 6. In Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement; Singh, R.J., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA; pp. 167–194, ISBN 9780849336393
- Stanford, K., Wallins, G.L., Lees, B.M. and Mündel, H.H. (2001). Feeding value of immature safflower forage for dry ewes. *Canadian Journal of Animal Science*, 81, 289-292.
- Striuk, P.C and Deinum, B. (1990). The Ideotype for Forage Maize. Proc. XVth Eucarpia Maize and Sorghum Section Congress; June 4-8. Badem Near Vienna, Austria. pp. 223-234.
- Tanaka, D.L., Riveland, N.R., Bergman, J.W. and Schneiter, A.A. (1997). Safflower plant development stages. In: Proceedings of the 4th International Safflower Conference, Bari, Italy, pp. 179-180.
- Torres, T. M. A., Zamora, V. V. M., Colín R. M., Foroughbakhch P. R y Ngangyo H. M. (2019). Caracterización y agrupamiento de cebadas imberbes mediante sensores infrarrojos y rendimiento de forraje. *Rev. Mex. Cienc. Agr.* 10:5. 1125-1137. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1606>
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminants. Second Edition. Cornell University Press, Ithaca, N.Y., pp. 476.
- Vavilov, N.I. 1951. The Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants. Ronald Press Company, New York, 1951, 364 pp.
- Villa, V. M. Z., del Río, A. J. L., Benítez, A. L., Valdés, M. H. R., Solís, H. D., Reyna, J. M. M., & Rodríguez, J. M. F. (2002). Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de materia seca y calidad nutritiva en dos localidades de Coahuila. *Técnica Pecuaria en México*, 40(3), 229-242.
- Weiss, E. A. (2000) Oilseed Crops. Second Edition, Blackwell Science, Oxford, Chapter 4: 93-129.

- Wilson, G. C. Y., López Z. N. E., Álvarez V. P., Ventura R. J., Ortega C. M. E., & Venegas A. M. I. (2020). Acumulación de forraje, composición morfológica e intercepción luminosa en Triticale 118 (X Triticosecale Wittmack). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(SPE24), 221-229.
- Zamora Villa, V. M., Colín Rico, M., Torres Tapia, M. A., Rodríguez García, A., & Jaramillo Sánchez, M. A. (2016). Producción y valor nutritivo en fracciones de forraje de trigos imberbes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(2), 291-300.

4. CAPITULO 1.

FORRCART 2020 NUEVA VARIEDAD DE CÁRTAMO FORRAJERO EN MÉXICO



FORRCART 2020, NUEVA VARIEDAD DE CÁRTAMO FORRAJERO EN MÉXICO

FORRCART 2020, A NEW FORAGESAFFLOWER VARIETY IN MEXICO

Xochilt M. Ochoa-Espinoza^{1,5*}, Lope Montoya-Coronado¹, David G. Reta-Sanchez², Alberto Borbón-Gracia¹, Néstor A. Aguilera-Molina¹, Eva Ávila-Casillas³, Carlos I. Cota-Barreras⁴ y Pedro Cano-Ríos⁵

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Norman E. Borlaug, Ciudad Obregón, Sonora, México. ²INIFAP, Campo Experimental Delicias, Delicias, Chihuahua, México. ³INIFAP, Campo Experimental Valle de Mexicali, Mexicali, Baja California, México. ⁴INIFAP, Campo Experimental Todos Santos, La Paz, Baja California Sur, México. ⁵Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Torreón, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia (ochoaxochilt@gmail.com)

El cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) es una opción como forraje en diversas localidades de México (Montoya, 2010). Es una especie que puede ser cultivada en suelos con moderada tolerancia a salinidad (Maas, 2019) y con limitada disponibilidad de agua y tiene el potencial para ser cultivado en regiones áridas y semiáridas (Bar-Tal *et al.*, 2008). El hecho de que el cártamo pueda progresar en ambientes de estrés por temperaturas extremas, sequías y salinidad ha facilitado su expansión en áreas de todo el mundo, donde las restricciones climáticas y del suelo han impedido producir cultivos alimenticios y convencionales (Hussain, *et al.*, 2015). En trabajos realizados en Italia e Israel, los cultivares de cártamo sin espinas han mostrado buen potencial forrajero con rendimientos de 4.0 a 5.2 t ha⁻¹ de materia seca (MS) en la etapa de inicio de yemas florales (Landau *et al.*, 2005), además de una composición química del forraje con contenidos de proteína cruda (PC) de 14.0 %, fibra detergente neutro (FDN) de 41.0 % y fibra detergente ácida (FDA) de 30.0 % (Danieli *et al.*, 2011; Landau *et al.*, 2005). En estudios realizados en Matamoros, Coahuila, México, los rendimientos de materia seca (MS) de cártamos tradicionales cosechados en inicio de botón floral fluctuaron de 5.1 a 7.7 t ha⁻¹, su forraje presentó contenidos de PC de 16.2 a 19.7 %, FDN de 39.3 a 49.3 %, FDA de 33.8 a 43.4 % y de 1.22 a 1.40 Mcal kg⁻¹ de MS en energía neta para lactancia (EN_L) (Reta *et al.*, 2015).

La utilización de cultivares de cártamo sin espinas para forraje ofrece la posibilidad de incrementar el rendimiento de MS al retrasar la cosecha durante el desarrollo de las yemas florales, conservando una composición nutricional del forraje aceptable (Reta, *et al.*, 2015). Con base en las necesidades de los productores de forraje, el programa de mejoramiento de cártamo del Instituto Nacional de

Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), inició el desarrollo de variedades con las características de alta producción y calidad forrajera.

El proceso para obtener la variedad de cártamo FORRCART 2020 inició en el Programa de Mejoramiento Genético de Cártamo del Campo Experimental Norman E. Borlaug del INIFAP, en el Valle del Yaqui, Sonora (27° 22' 14.39'' latitudN, 109° 55' 52.40'' longitud O y 40 m de altitud). Proviene de la cruce entre la línea RUSSOS-R-262 y la línea SEL KINO-76. RUSSOS-R-262 es una línea con pocas espinas y alta tolerancia a roya (*Puccinia carthami* C.) y tizón de la hoja (*Alternaria carthami* C.). SEL KINO-76 es una línea seleccionada de la variedad Kino-76 con alta tolerancia a roya y pocas espinas. La población segregante se manejó con el método genealógico o de pedigrí. A partir de la línea experimental que se identificó con la genealogía CD868-A-3-2-1-0Y se realizó selección masal en la generación F₁ y selección individual de F₂ hasta F₄. La selección en masa para la obtención de la línea avanzada se llevó a cabo en la generación F₅. A partir de F₆ se evaluó en ensayos de rendimiento forrajero y de calidad, los cuales se presentan en los Cuadros 1 y 2.

En cuanto a las características morfológicas referidas en los descriptores varietales de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV, 1990) destacan las siguientes: presenta una altura en promedio de 151 cm, su hábito de crecimiento es erecto, las hojas sonde color verde claro, de forma ovoide, el dentado de la hoja es ausente o muy débil (Figura 1). El tallo es erecto, sólido y resistente al acame. La etapa de cosecha es en inicio de floración (EC61) (Flemmer *et al.*, 2015), aproximadamente a los 95-105 días después de la siembra. Los pétalos son

de color amarillo y cuando se secan no cambian de color.

La variedad FORRCART 2020 fue registrada oficialmente para su protección en julio de 2020 en el catálogo nacional de variedades vegetales (CNVV) con número de registro provisional 4105-CAR-009-060720/C del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) perteneciente a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). La semilla básica está a disposición de los productores de México en el CENEB-INIFAP, en Ciudad Obregón, Sonora.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), a la Fundación PIEAES de Sonora, México, A. C. y al Patronato para la Investigación y Experimentación Agrícola del estado de Sonora, por el financiamiento de los trabajos de investigación que condujeron a la obtención de la variedad FORRCART 2020.

Cuadro 1. Rendimiento de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y energía neta para la lactancia (EN_L) en tres cultivares de cártamo en la Comarca Lagunera.

Variedad	MS (kg ha ⁻¹)	PC (kg ha ⁻¹)	EN_L (Mcal ha ⁻¹)	Espinas en el forraje
FORRCART 2020	10,531	1,462	14,216	Ausentes
GUAYALEJO	8,360	1,368	11,453	Presentes
PROMESA	9,118	1,532	13,221	Presentes

Cuadro 2. Proteína cruda (PC), fibra detergente ácida (FDA) y fibra detergente neutra (FDN) en tres cultivares de cártamo en la Comarca Lagunera.

Variedad	PC (%)	FDA (%)	FDN (%)	EN_L (Mcal kg ⁻¹ MS)
FORRCART 2020	13.8	37.4	44.5	1.35
GUAYALEJO	16.3	37.7	40.7	1.37
PROMESA	16.8	34.4	39.4	1.45



Figura 1. Variedad de cártamo forrajero FORRCART 2020 sin espinas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bar-Tal A., S. Landau, Z. Li-xin, T. Markovitz, M. Keinan, L. Dvash, ... and Z. G. Weinberg (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>
- Danieli P. P., R. Primi, B. Ronchi, R. Ruggeri, F. Rossini, S. Del Puglia and C. F. Cereti (2011) The potential role of spineless safflower (*Carthamus tinctorius* L. var. *inermis*) as fodder crop in central Italy. *Italian Journal of Agronomy* 6:19-22, <https://doi.org/10.4081/ija.2011.e4>
- Flemmer A. C., M. C. Franchini and L. I. Lindström (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>
- Hussain M. I., D. A Lyra, M. Farooq, N. Nikoloudakis and N. Khalid (2015) Salt and drought stresses in safflower: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 36:4, <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0344-8>
- andau S., G. Molle, N. Fois, S. Friedman, D. Barkai, M. Decandia, ... and M. Sitzia (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. (2019) Salt tolerance of plants. In: CRC Handbook of Plant Science in Agriculture. Vol. II. B. R. Christie (ed.). CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. pp:57-66.
- Montoya C. L. (2010) El Cultivo del Cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en México. Talleres Gráficos SGI. Ciudad Obregón, Sonora, México. 96 p.
- Reta S. D. G., J. S. Serrato C., A. Gaytán M., H. M. Quiroga G., G. Orozco H. y J. A. Payán G. (2015) Potencial forrajero de variedades comerciales y genotipos élite de cártamo en la Comarca Lagunera. *Agrofaz* 15:27-38.
- UPOV, International Union for the Protection of New Varieties of Plants (1990) Guidelines for the conduct of tests for distinctness, homogeneity and stability. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). TG/134/3. International Union for the Protection of New Varieties of Plants. Geneva, Switzerland. 20 p.

5. CAPITULO 2.
YIELD AND NUTRITIONAL COMPOSITION OF SPINY AND SPINELESS
CULTIVARS OF SAFFLOWER FORAGE IN FOUR PHENOLOGICAL STAGES

Yield and Nutritional Composition of Spiny and Spineless Cultivars of Safflower Forage in Four Phenological Stages

Xochilt Militza Ochoa-Espinoza^{3,6}, David Guadalupe Reta-Sánchez^{1*}, Pedro Cano-Ríos⁴, Juan Isidro Sánchez-Duarte², Esmeralda Ochoa-Martínez², José Eduardo García-Martínez⁵ and Arturo Reyes-González².

¹Campo Experimental Delicias, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Delicias, Chihuahua, México.

²Campo Experimental La Laguna, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Matamoros, Coahuila, México.

³Campo Experimental Norman E. Borlaug, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Cd. Obregón, Sonora, México.

⁴Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México.

⁵Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

⁶Graduate student, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México.

*Address correspondence to this autor at the Campo Experimental Delicias, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km. 2 Carretera Delicias-Rosales. C.P. 33000. Centro, Cd. Delicias, Chihuahua, Mexico; Email: dretasan@yahoo.com

Abstract

Background:

Delaying harvesting in spineless safflower (*Carthamus tinctorius* L.) can increase dry matter (DM) yield maintaining an acceptable nutritional composition.

Objective:

The objective of this study was to compare the forage potential of spineless safflower cultivars with that of spiny cultivars harvested in four phenological stages.

Methods:

The research was carried out during the 2017-2018 and 2018-2019 cycles, in Matamoros, Coahuila, Mexico. Two spineless (CD868 and Selkino) and two spiny (Gila and Guayalejo) cultivars were evaluated. The phenological stages were: beginning of capitulum formation (E50), capitulum clearly separated from the younger leaves (E55), distinguishable medium and intermediate external bracts (E59), and beginning of flowering (E61). A randomized complete blocks design was used with four replications in a 4 × 4 factorial arrangement of treatments.

Results:

No interactions were found between phenological stages and cultivars. The spineless cultivars showed better or equal nutritional composition when compared to spiny cultivars, but with better forage in E50. Yields of DM and nutrients increased when harvesting was delayed from E50 to E61 and maintained an acceptable nutritional composition. The highest yields of DM (10816 kg ha⁻¹), crude protein (CP) (2071 kg ha⁻¹), net energy for lactation (NE_L) (52978 MJ ha⁻¹ DM) and digestible DM (6350 kg ha⁻¹) occurred in E61.

Conclusion:

Spineless cultivars harvested at stage E61 increased the forage potential with regards to the spiny cultivars harvested in E55, which did not have fully developed spines, due to their higher yields of DM (58%), CP (29%), NE_L (39%) and digestible DM (41%).

Keywords: Nutrient concentration, Dry matter, Forage species, Digestibility.

1. INTRODUCTION

Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is one of humanity's oldest crops. It is cultivated mainly in India for the production of oil from its seeds and a reddish dye from its flowers [1, 2]. Safflower seeds and paste can also be used for feeding animals [3, 4]. Safflower forage may be grazed directly by the cattle or it may be stored as hay or silage for feeding ruminants [5, 6]. It may become very appealing for this type of animals [4]. However, since the safflower produces spines on the leaves and on inflorescences, its consumption by animals may be affected [7]. This problem of forage consumption may worsen as the plant grows and matures.

A practical strategy to avoid the presence of spines on the safflower forage is to harvest the plant during the budding stage, just when the spines have not yet fully developed. Nevertheless, in research studies carried out in northern Mexico demonstrated that dry matter (DM) potential yield was low harvesting safflower in stages E50 (5143 kg ha⁻¹) and E55 (7750 kg ha⁻¹) [8, 9, 10].

An option to avoid the rejection of the safflower forage due to its spines in the nutrition of ruminants is to use spineless safflower. These cultivars have been developed mainly to allow for easier manual harvesting of the seeds and flowers [11]. This characteristic of the spineless safflower constitutes a great advantage when used as forage for animals. Spineless safflower forage has been preserved with good nutritional quality as silage [12] and excellent acceptance results have been obtained when included as hay and silage in rations for dry and producing dairy cows [7]. Another advantage of the spineless safflower cultivars is that forage may be harvested at a more advanced phenological stage due to the absence of spines, which allows for improvements in forage DM yield. Although information has been generated concerning the use of spineless safflower as forage, there is little evidence with regard to its forage DM yield and to its nutritional composition in comparison to spiny safflower cultivars harvested in different phenological phases. The objective of this study was to compare the nutritional composition and forage DM and nutrients yield of two cultivars of spineless safflower forage with two spiny cultivars of safflower forage harvested in four phenological stages. The hypothesis of the study was that delaying the harvest from the beginning of capitulum formation (E50) until the beginning of flowering in spineless safflower cultivars would increase forage DM and nutrients yield when compared to spiny safflower cultivars harvested between stages E50 and E55, while maintaining an acceptable nutritional composition.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Location of the Experiment

The experiments were carried out during the production cycles of autumn-winter 2017/2018 and 2018/2019, at the La Laguna Experimental Station in the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), located in Matamoros, Coahuila, Mexico (25° 32' N, 103° 14' O and 1150 m above sea level). The soil at the experimental site has a loamy-clayed texture, with a depth greater than 1.8 m, values for availability of water of 150 mm m⁻¹ [13], organic carbon content of 0.75% and a pH of 8.14 [14].

2.2 Treatments Assessed

The research consisted of the comparison between the behavior of four safflower cultivars harvested in four phenological stages under a randomized complete blocks design with four repetitions in a 4 × 4 factorial arrangement. Factor A were the cultivars, and Factor B was the phenological stage. The cultivars were: CD868, Selkino, Gila and Guayalejo, with the first two being spineless and the other two spiny; all of them developed by INIFAP. The phenological stages during harvest were: (E): beginning of capitulum formation (E50), capitulum clearly separated from the younger leaves (E55), distinguishable medium and intermediate external bracts (E59) and beginning of flowering (E61) [15].

2.3 Soil Preparation

Seedbed preparation was done through disk plough at a depth of 0.30 m, followed by double disking and zero-slope levelling. Nitrogen and phosphorus fertilizer dose was calculated considering the safflower extraction capacity: 250 kg N ha⁻¹ and 80 kg P₂O₅ ha⁻¹. The nitrogen source was urea (46% N) and monoammonium phosphate (52% P₂O₅) was used for phosphorus. For the latter, the full dosage was applied during sowing, and N was distributed 20%, 40%, 40% during sowing, and during the first and second irrigations, respectively. Soil preparation and fertilization was the same for both growth cycles. No potassium fertilizer application was made because soils in this region present high available potassium content, with average values of 3030 kg ha⁻¹ at a depth of 0.30 m [14].

2.4 Sowing and Agronomic Handling of the Crop

The sowing was made by hand on dry soil on December 13, 2017 (Experiment 1) and on December 13, 2018 (Experiment 2) on a total surface of 2240 m². The seeding rate was 50 kg ha⁻¹ with a germination of 85%. Each experimental plot was set in 12 rows, each 10 m long with a separation between lines of 18 cm (21.6 m²). The useful plot was 5 m long on the 10 central furrows (9 m²). Plants were subsequently thinned to leave a 160 m⁻² plant population density. On the same sowing date a 150 mm irrigation depth was applied. During the cycle three

irrigation were made 37, 61 and 83 days after sowing (das), with an irrigation depth of 130 mm. The phenological stages when irrigation was applied after sowing were: rosette, elongation of the stem and initial formation of capitulum. Weeds were controlled by hand with a hoe.

2.5 Response Variables

The yields for fresh forage and DM were determined at harvest. The content of DM was determined from a 0.4 m² sample randomly taken from the useful plot. For this purpose, a 0.74 m sample was taken from three of the central furrows of each plot. The sampled plants were weighted fresh, then a pre-drying was performed during five days under the protection of a greenhouse, after which the samples were dried at 65 °C in a forced air oven for 48 to 72 hours until constant weight was attained [16, 17]. The DM yield was estimated by multiplying the fresh forage yield by the percent of DM forage in each useful plot. The plants sampled to estimate the DM content were used to analyze the nutritional value of the forage. The dry forage samples were ground in a Wiley® mill (Thomas Scientific, Swedesboro, NJ, USA) with a 1 mm mesh. Nitrogen content of each sample was determined using the Dumas Combustion Method number 990,03 of AOAC using a Thermo Scientific Flash 2000 equipment and the result was multiplied by 6.5 to obtain the percent of crude protein (CP) [18]. The Neutral Detergent Fiber (NDF) and the Acid Detergent Fiber (ADF) were analyzed in accordance with Goering and Van Soest [19]. The “*in vitro*” DM digestibility (IVDMD) was obtained from a ground dry forage sample placed in a Daisy incubator [20]. The content of net energy for lactation (NE_L) was obtained following the methodology proposed by Weiss et al. [21]. Yields of CP (CPY) and NE_L (NE_LY) per hectare were obtained by multiplying the contents of CP and NE_L by the DM yield per hectare estimated for each experimental plot. Digestible Dry Matter yield (DDMY) per hectare was obtained by multiplying IVDMD of forage by the DM yield per hectare.

2.6 Climate during growing seasons

Prevailing weather conditions for both years during the growing period are shown in Figure 1. Meteorological data were obtained from a weather station located at the experimental site.

2.7 Data Analysis

The information was analyzed using PROC MIXED from SAS version 9.3 [22]. A combined analysis of the data was performed using a randomized complete blocks design with four repetitions in a 4 × 4 factorial arrangement. The analysis considered the block and the year as random effects, while the treatments were considered as fixed effects. Yields of DM, CP, NE_L, DDM and concentrations of CP, NDF, ADF and IVDMD were considered as fixed effects. The Tukey Kramer test was used at a level of $P \leq 0.05$ to verify measurements. Also, a linear regression analysis was performed ($P < 0.05$) in order to determine the relationship among NDF and IVDMD with CP, NE_L and IVDMD in the forage.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Statistical Analysis

The combined analysis of the data using the year as a random effect, confirmed the absence of interaction phenological stage × cultivar in all evaluated variables ($P > 0.05$; Table 1). Then, interaction was removed from the final model. The nutritional composition and the nutritional yield of safflower were affected by the phenological stage and by the cultivars ($P < 0.05$; Table 1).

3.2 Nutritional Composition and Energy Contribution of Forage

The spineless cultivar CD868 produced DM yields and nutrients similar ($P > 0.05$) to those obtained from the spiny cultivars Gila and Guayalejo, while the spineless cultivar Selkino had smaller yields ($P < 0.05$) of DM, CP and NE_L than the aforementioned three cultivars. However, Selkino produced yields of DDMY statistically equal ($P > 0.05$) to the other three cultivars (Table 2).

The spineless cultivars Selkino and CD868 showed better or equal nutritional composition than the one observed for the spiny cultivars Gila and Guayalejo. All cultivars showed similar content of ADF and NDF ($P > 0.05$). Regarding CP concentration, the better values occurred in Selkino and Guayalejo ($P < 0.05$) while Selkino and Gila were outstanding ($P < 0.05$) in NE_L concentration (Table 2). These differences between safflower cultivars were not observed in a study by Reta *et al.* [23], where only was reported a higher ADF concentration in CD868 cultivar (372 g kg⁻¹) than that observed in Selkino cultivar (341 g kg⁻¹).

Crude protein concentration in all safflower cultivars (222 to 247 g kg⁻¹) were higher than those observed (119 g kg⁻¹ to 156 g kg⁻¹) in other studies, where spiny and spineless cultivars were evaluated [7, 12, 24, 25, 23]. Other chemical composition parameters of forage such as NDF (467 g kg⁻¹ to 477 g kg⁻¹), ADF (339 g kg⁻¹ to 390 g kg⁻¹), and NE_L (5.23 MJ kg⁻¹ to 5.73 MJ kg⁻¹ DM) were similar to those found in other studies, with values of NDF from 421 g kg⁻¹ to 462 g kg⁻¹, 331 g kg⁻¹ to 374 g kg⁻¹ of ADF [7, 12, 24, 25, 23] and from 5.15 MJ kg⁻¹ to 5.52

MJ kg⁻¹ DM of NE_L by Reta *et al.* [23]. Also the levels of IVDMD observed in the current research (640 g kg⁻¹ to 674 g kg⁻¹) were similar to those observed by Landau *et al.* [7] in a spineless cultivar. Considering nutrient composition of safflower, Landau *et al.* [7] (2004) indicated that forage of this crop can be used as silage for producing dairy cows.

As the safflower harvest was carried out at a later phenological stage, the nutritional composition of the forage was less, due to reductions in CP content ($P < 0.05$) and increases in fiber content ($P < 0.05$). The parameter with a greater variation in the nutritional composition was CP (271 g kg⁻¹ to 194 g kg⁻¹), but its values were higher (152 g kg⁻¹ to 83 g kg⁻¹ DM) [23] or similar (272 g kg⁻¹ vs. 125 g kg⁻¹ DM) than those reported by others studies [26, 25]. Regarding fiber concentration, the values for NDF increased ($P < 0.05$) from 418 g kg⁻¹ to 513 g kg⁻¹, while the values of ADF increased ($P < 0.05$) from 351 g kg⁻¹ to 416 g kg⁻¹. This higher fiber content in the phenological stages with greater maturation was related to decreases in the content of CP, IVDMD (712 g kg⁻¹ to 591 g kg⁻¹) and NE_L (6.02 MJ kg⁻¹ to 4.94 MJ kg⁻¹ DM) in the forage (Figure 2). In the last phenological stage evaluated in the study (E61), safflower forage was characterized by contents of CP of 194 g kg⁻¹, NDF of 513 g kg⁻¹, ADF of 416 g kg⁻¹, IVDMD of 591 g kg⁻¹ and 4.94 MJ kg⁻¹ of NE_L. Nutrient composition of safflower forage is considered acceptable when compared to that obtained in other traditional forages such as oat harvested at the beginning of heading in north-central México [30]. At heading stage, oat forage is characterized by containing 112 g kg⁻¹ CP, 349 g kg⁻¹ ADF, 547 g kg⁻¹ NDF and 5.4 MJ kg⁻¹ DM of NE_L [27].

Regarding this response of the safflower, Corleto *et al.* [26] indicated that the decrease in CP content and the increase in fiber concentration was associated to a lesser leaf proportion and a larger stem in the biomass of the crop in the harvests that were carried out in the phenological stages with greater maturation. Other study states that the increase in fiber in safflower forage in the phenological stages with greater maturation was due to the translocation of soluble cellular content from the leaves and stems to the seeds [25]. In other forages, the relation between the digestibility of the fiber and the nutritional composition of the forage showed a positive relationship between fiber digestibility and CP content [28, 29]. However, fiber digestibility has been negatively related to the concentrations of ADF and NDF in the forage [29, 30].

3.3 Dry Matter Yield, Nutrients and Energy

Yields of DM, CP, NE_L and DDM presented a linear response with significant increases at every phenological stage when the harvest was delayed from E50 to E61. The greater yields for DM (10816 kg ha⁻¹), CP (2071 kg ha⁻¹), NE_L (52978 MJ ha⁻¹) and DDM (6350 kg ha⁻¹) occurred ($P < 0.05$) at the phenological stage E61 (Table 3). Delaying harvesting at stage E59 increased DM yield up to 8292 kg ha⁻¹, while the harvest at stage E61 allowed for DM yield up to 10816 kg ha⁻¹. In the former case, obtained DM yields were similar to those produced (9336 kg ha⁻¹) by Reta *et al.* [23] in the same stage of development. The production of DM obtained in E61 was slightly inferior to that observed by Cazzato *et al.* [24] (11600 kg ha⁻¹), when harvesting safflower at the 25% flowering stage.

The null difference in the interaction cultivars × harvest age indicates that the greater yields of DM obtained in the study may be attained with spiny and spineless cultivars. However, when spiny cultivars are used, the highest forage yield free of spines is obtained during the phenological stage E50, since in later stages, the spines on the leaves and inflorescences are already present. Probably, the forage in phenological stage E55 may be considered acceptable, since the spines present on the plant are not yet fully developed. This is important because due to the spiny nature of traditional safflower cultivars, farmers can decide not to use this forage in the diet of dairy cattle, since cows are more susceptible than goats and sheep to ulcerations of the mouth caused by spines present in traditional safflower forage [31].

The use of spineless safflowers allowed to produce forage free of spines until the last phenological stage (E61) evaluated in the study. Since the nutritional composition of the safflower forage maintained an acceptable level during the two last phenological stages (E59 and E61), the increase in DM yield at phenological stage E61 (58%), allowed the spineless safflowers to increase their yields by 29% for CP, by 39% for NE_L, and by 41% for digestible DM as compared to the yields of spiny safflower harvested during phenological stage E55, which is the latest stage when forage with undeveloped spines may be obtained.

CONCLUSION

Spineless safflower cultivars harvested at phenological stage E61 showed a greater forage potential than spiny cultivars harvested at phenological stage E55, producing forage free of spines while maintaining an acceptable nutritional composition. Therefore, spineless safflower cultivars could be a good forage alternative for the production systems of ruminants. Further research is needed regarding the best method for forage conservation of these cultivars and their potential effect on productivity of ruminants.

ETHICS APPROVAL AND CONSENT TO PARTICIPATE

Not applicable

HUMAN AND ANIMAL RIGHTS

No humans or animals were used in this research

CONSENT FOR PUBLICATION

Not applicable

AVAILABILITY OF DATA AND MATERIALS

Not applicable

FUNDING

This research was financed by the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (México) and by the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna (México).

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest, financial or otherwise.

ACKNOWLEDGMENTS

Declared none

REFERENCES

- [1] Dajue, L.; Mündel, H. H. Safflower *Carthamus tinctorius* L.; IPGRI, IPK, Eds.; IPGRI: Rome, Italy, **1996**. ISBN 9290432977.
- [2] Montoya, C. L. El cultivo del cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en México. Editorial SGI. Primera edición. Ciudad Obregón Sonora, México. **2010**; 96 pp.
- [3] Stanford, K.; Wallins, G. L.; Lees, B. M.; Mundel, H. H. Feeding value of immature safflower forage for dairy ewes. *Canadian Journal of Animal Science.*, **2001**. 81, 289-292. <https://doi.org/10.4141/A00-090>
- [4] Nimbkar, N. Safflower rediscovered - though safflower flowers find mention in of ayurveda and in european and japanese pharmacopoeias, the interest in this crop has been rekindled in the last few years, says. *Times Agriculture Journal.*, **2017**. Available at: <http://www.nariphaltan.org/Times%20Agricultural%20Journal.htm>. Accessed on: 15 August 2020.
- [5] Weinberg, Z. G.; Ashbell, G.; Hen, Y.; Leshem, Y.; Landau, Y. S.; Brukental, I. A note on ensiling safflower forage. *Grass and Forage Science.*, **2002**. 57, 184-187. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2002.00314.x>
- [6] Peiretti, P. G. Nutritional aspects and potential uses of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in livestock. Institute of Science of Food Production, Italian National Research. Council, Grugliasco, Italy., **2017**. Chapter 1: Publication at: <https://www.researchgate.net/publication/315517724>
- [7] Landau, S.; Friedman, S.; Brenner, S.; Bruckental, I.; Weinberg, Z. G.; Ashbell, G.; Hen Y.; Dvash L.; Leshem Y. The value of safflower (*Carthamus tinctorius*) hay and silage grown under Mediterranean conditions as forage for dairy cattle. *Livestock Production Science.*, **2004**, 88, 263-271. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2003.11.011>
- [8] Reta, S. D. G.; Serrato, C. J. S.; Gaytán, M. A.; Quiroga, G. H. M.; Orozco, H. G.; Payán, G. J. A. Potencial forrajero del cártamo en respuesta al distanciamiento entre surcos en la Comarca Lagunera. *AGROFAZ.*, **2014**, 14, 65-71.
- [9] Reta, S. D. G.; Serrato, C. J. S.; Gaytán, M. A.; Quiroga, G. H. M.; Orozco, H. G.; Payán, G. J. A. Potencial forrajero de variedades comerciales y genotipos élite de cártamo en la comarca lagunera. *AGROFAZ.*, **2015**. 15, 27-38.
- [10] Reta, S. D. G.; Serrato, C. J. S.; Quiroga, G. H. M.; Gaytán, M. A.; Figueroa, V. U. Secuencias de cultivo alternativas para incrementar el potencial forrajero y productividad del agua. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias.*, **2017b**. 8, 397-406. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i4.4645>
- [11] Singh, V.; Nimbkar, N. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), Chapter 6. In *Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement*; Singh, R.J., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA., **2007**. pp. 167–194, ISBN 9780849336393.
- [12] Danieli, P. P.; Primi, R.; Ronchi, B.; Ruggeri, R.; Puglia, S.; Certi, C. F. The potential role of spineless safflower (*Carthamus tinctorius* L. var. *inermis*) as fodder crop in central Italy. *Italian Journal of Agronomy.*, **2011**. 6, 19-22. DOI: [10.4081/ija.2011.e4](https://doi.org/10.4081/ija.2011.e4)
- [13] Santamaria, J. C.; Reta, S. D. G.; Orona, C. I. Reducción del rendimiento potencial de maíz forrajero en calendario con tres y cuatro riegos. *Terra Latinoamericana.*, **2008**. 26, 235-241.
- [14] Santamaría, C. J.; Reta, S. D. G.; Chávez G. J. F. J.; Cueto, W. J. A.; Romero, P. R. J. I. Caracterización del medio físico en relación a cultivos forrajeros alternativos para la Comarca Lagunera. Libro Técnico Num. 2.

- ISBN 970-43-0048-4. INIFAP-CIRNOC-CELALA. Torreón, Coahuila, México. **2006**. 240 pp. Available at: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/1944>. Consulted: 26 February 2020.
- [15] Flemmer, A. C.; Franchini, M. C.; Lindström, L. I. Description of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology.*, **2015**. 166, 331-339. <https://doi.org/10.1111/aab.12186>
- [16] Novotny, L.; King, J.; Phillips, K.; Thiex, N. Recommendations and critical factors in determining moisture in animal feeds. AAFCO's Laboratory Methods and Services Committee. Moisture Best Practices Working Group. **2018**. Available at: https://www.aafco.org/Portals/0/SiteContent/Laboratory/Loss_on_drying-moisture/Recommendations_and_Critical_Factors_for_Determining_Moisture_in_Animal_Feed.pdf. Consulted on: 13 March 2021.
- [17] Buthelezi, L. S.; Mupangwa, J. F.; Muchenje, V.; Nherera, Ch. Influence of drying technique on chemical composition and ruminal degradability of subtropical *Cajanus cajan* L. *Animal Nutrition.*, **2019**. 5, 95-100. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.03.001>
- [18] AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS). Official Methods of Analysis. Dumas method (990.03). 15th edition. Washington D.C., USA. **2005**.
- [19] Goering, H. K.; Van Soest, P. J. Forage fiber analysis. Apparatus, reagents, procedure and some applications. *Agric. Handbook 379*. ARS. USDA. Washington DC., **1970**. 20 pp.
- [20] Ankom Technology. Procedures for In Vitro True Digestibility Method (DVIVMS-Daisy). **2017**. Available at: https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/Method_3_Invitro_D200_D200I.pdf
- [21] Weiss, W. P.; Conrad, H. R.; St-Pierre, N. R. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. *Animal Feed Science and Technology.*, **1992**. 39, 95-110. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(92\)90034-4](https://doi.org/10.1016/0377-8401(92)90034-4).
- [22] SAS Institute. The SAS system for windows, release 9.3. Statistical Analysis Systems Inst., Cary, NC. **2011**.
- [23] Reta, S. D. G.; Sánchez D. J. I.; Reyes, G. A.; Ochoa, M. E.; Chew, M. Y. I.; Gaytán, M.A. Evaluación semicomercial de cártamo forrajero en siembras tardías durante otoño-invierno en la Comarca Lagunera, México. *AGROFAZ.*, **2017**. 17, 51-63.
- [24] Cazzato, E.; Laudadio, V.; Corleto, A.; Tufarelli, V. Effects of harvest date, wilting and inoculation on yield and forage quality of ensiling safflower (*Carthamus tinctorius* L.) biomass. *Journal of the Science of Food and Agriculture.*, **2011**. 91, 2298-2302. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4452>
- [25] Peiretti, P. G. 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.*, **2009**. 21(12), paper 206.
- [26] Corleto, A.; Cazzato, E.; Laudadio, V.; Petrera, F. Evolution of biomass and quality of safflower during the reproductive stage for hay and ensiling purposes. *Proceedings of the 6th International Safflower Conference, Istanbul, Turkey*, **2005**. pp. 69-73.
- [27] Reta, S. D. G.; Serrato, C. J. S.; Gaytán, M. A.; Quiroga, G. H. M.; Frausto, L. F.; Ordaz, V. S.; Godoy J. Validación de patrones de cultivo forrajeros alternativos con menor estrés por altas temperaturas en la Comarca Lagunera. *AGROFAZ.*, **2016**. 16, 65-75.
- [28] **Kamalak, A.** Determination of nutritive value of leaves of a native grown shrub, *Glycyrrhiza glabra* L. using *in vitro* and *in situ* measurement. *Small Ruminant Research.*, **2006**. 64, 268-278. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.04.027>
- [29] Sha Du, M. X.; and Junhu, Y. Relationship between fibre degradation kinetics and chemical composition of forages and by – products in ruminants. *Journal of Applied Animal Research.*, **2016**. 44, 189-193. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1031767>
- [30] Damiran, D.; DelCurto, T.; Bohnert, D. W.; Findholt, S. L. Comparison of techniques and grinding size to estimate digestibility of forage based ruminant diets. *Animal Feed Science and Technology.*, **2008**. 141, 15-35. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.007>
- [31] Mündel, H. H.; Blackshaw, R. E.; Byers, J. R.; Huang, H. C.; Johnson, D. L.; Keon, R.; Kubik J.; McKenzie R.; Brian O.; Blair R.; Stanford K. Safflower production on the Canadian prairies: revisited in 2004. *Agriculture and Agri-Food Canada.*, **2004**. Available at: http://res2.agr.ca/lethbridge/safflo/part1_e.htm. Consulted: 31 March 2020.

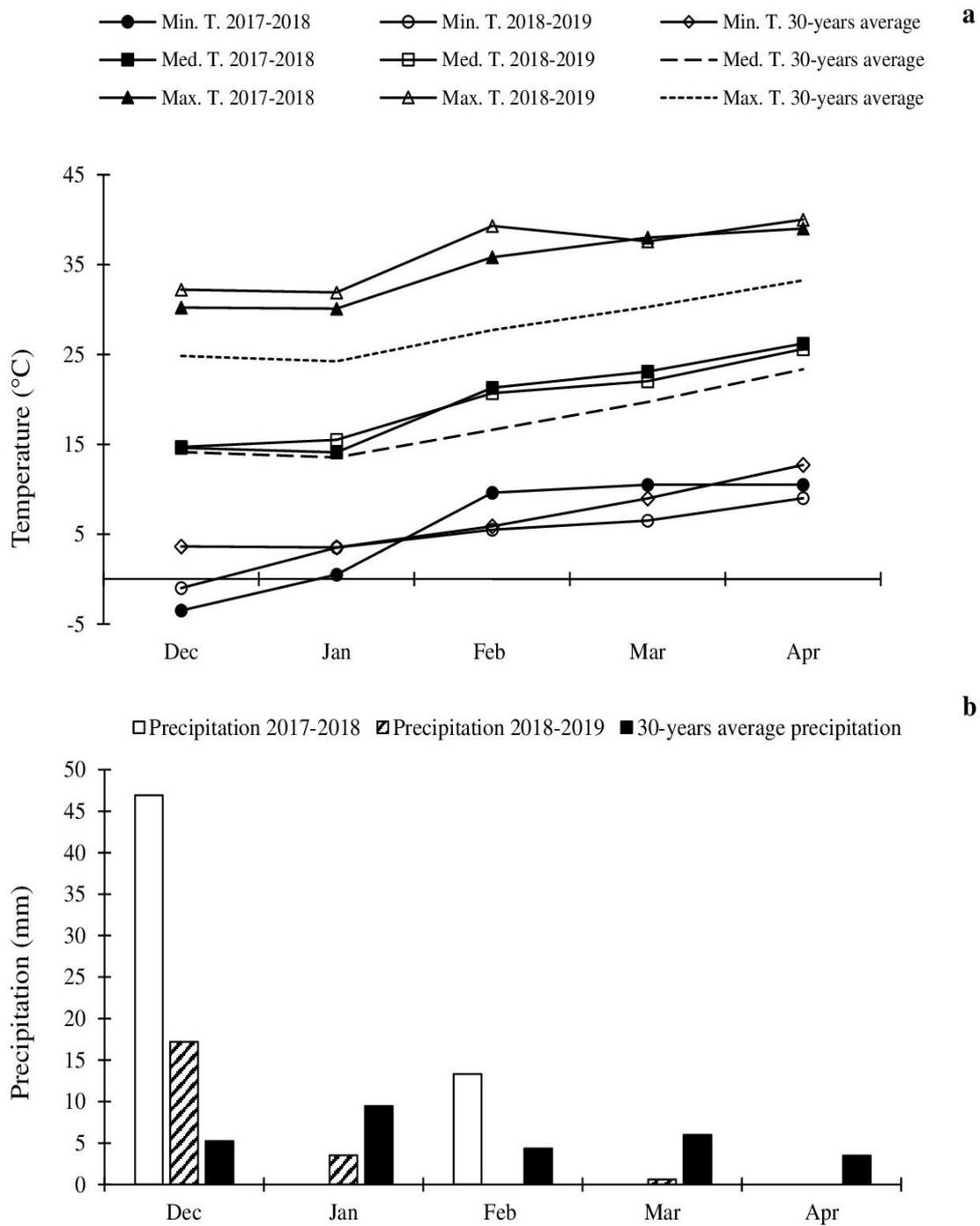


Figure 1: Monthly temperature (a) and precipitation (b) during the safflower growing season in the two years of study and the average values of 30 years (1990-2019) at the La Laguna Experimental Station, Mexico.

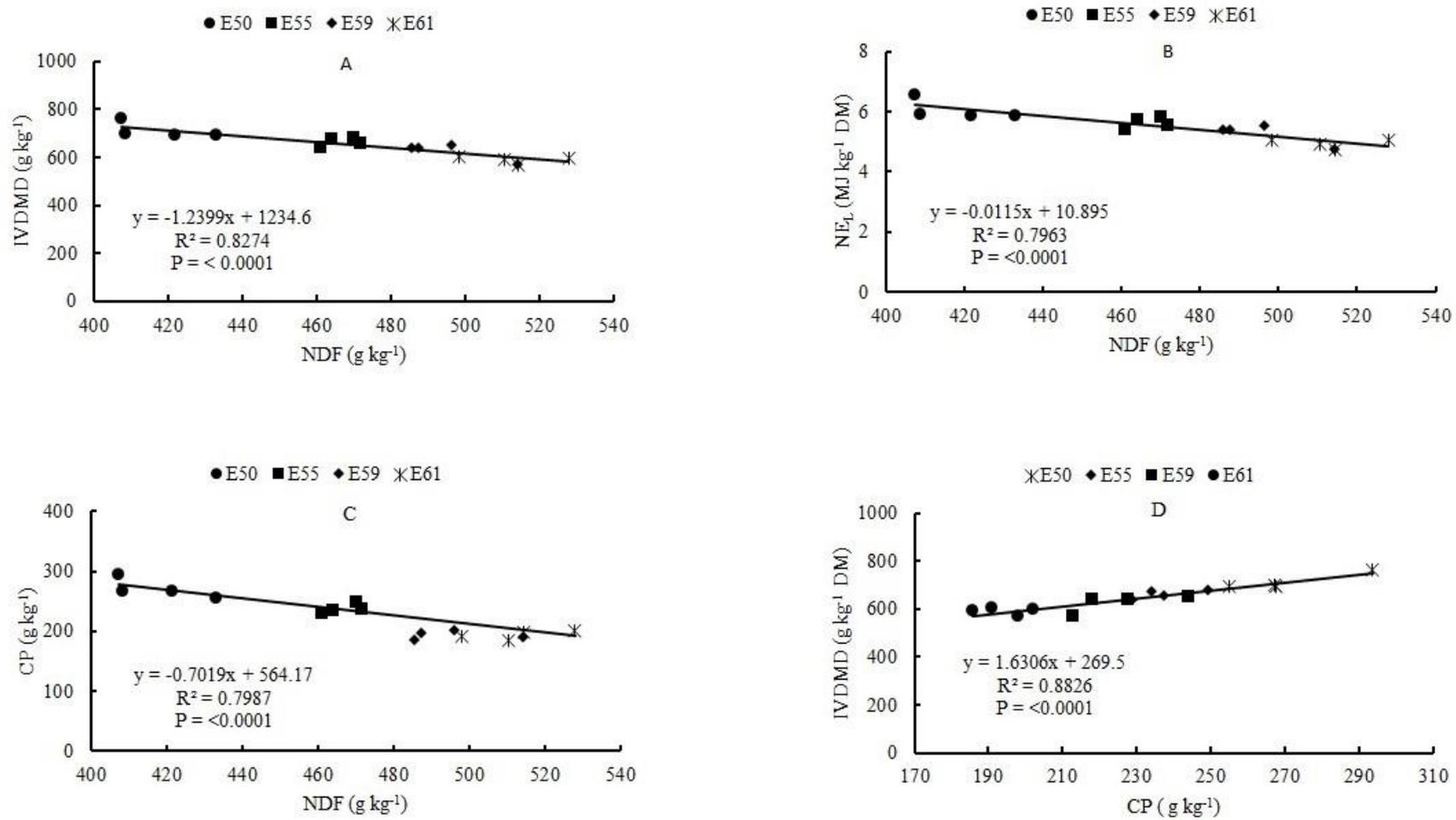


Figure 2: Relationship between Neutral Detergent Fiber (NDF) and In-vitro Dry Matter Digestibility (IVDMD) with Protein content (CP), Net Energy for Lactation (NE_L) and IVDMD in the forage of four safflower cultivars harvested in four phenological stages (E) in the growing seasons 2017-2018 and 2018-2019.

Table 1: Combined analysis of variance and significance for nutritional composition (CP, NDF, ADF and IVDMD) and nutrient yields variables (DM, CP, NE_L and DDM) of four safflower cultivars harvested in four growth stages during the 2017-2018 and 2018-2019 growing seasons.

Effect	DMY (kg ha ⁻¹)	CP (g kg ⁻¹)	CPY (kg ha ⁻¹)	NDF (g kg ⁻¹)	ADF (g kg ⁻¹)	IVDMD (g kg ⁻¹)	NE _L (MJ kg ⁻¹ de MS)	NE _L Y (MJ ha ⁻¹)	DDMY (kg ha ⁻¹)
Cultivar (C)	0.0001	0.0001	0.0001	0.5527	0.9270	0.0036	0.0031	0.0003	0.0823
Phenological Stage (E)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
E × C	0.3094	0.8984	0.3522	0.1837	0.0574	0.1243	0.1582	0.2828	0.5114

† Yield (Y); Dry Matter (DM); Crude Protein (CP); Neutral Detergent Fiber (NDF); Acid Detergent Fiber (ADF); In-vitro DM digestibility (IVDMD); Net Energy for Lactation (NE_L); Digestible DM (DDM).

Table 2: Nutrient yields and nutritional composition of four safflower cultivars harvested in four phenological stages in the growing seasons 2017-2018 and 2018-2019.

Variables	CD868	Gila	Guayalejo	Selkino	SE	P value
Nutrient yields (kg ha ⁻¹)						
DMY [†]	8124 a	7970 a	7969 a	6341 b	1075	0.0001
CPY	1735 a	1715 a	1785 a	1487 b	119	0.0001
NE _L Y (MJ ha ⁻¹)	41783 a	42589 a	41800 a	35293 b	4513	0.0003
DDMY	4877 a	4788 a	5041 a	4474 a	574	0.0823
Nutritional composition (g kg ⁻¹ DM)						
CP	222 b	226 b	233 ab	247 a	19.1	0.0001
NDF	477 a	467 a	474 a	475 a	15.6	0.5527
ADF	389 a	386 a	388 a	390 a	27.8	0.9270
IVDMD	627 b	650 ab	640 b	674 a	18.0	0.0036
NE _L (MJ kg ⁻¹ DM)	5.23 b	5.48 ab	5.36 b	5.73 a	0.201	0.0031

[†]Y (yield); Dry Matter (DM); Crude Protein (CP); Neutral Detergent Fiber (NDF); Acid Detergent Fiber (ADF); In-vitro DM Digestibility (IVDMD); Net Energy for Lactation (NE_L).
SE: Standard Error.

Table 3: Forage nutritional composition and nutrient yields of four safflower cultivars harvested in four phenological stages (E) in the growing seasons 2017-2018 and 2018-2019.

Variables	E50 [‡]	E55	E59	E61	SE*	P value
Nutrients yield (kg ha ⁻¹)						
DM [†]	4461 d	6835 c	8292 b	10816 a	1075	0.0001
CP	1190 d	1607 c	1853 b	2071 a	119	0.0001
NE _L (MJ ha ⁻¹)	26702 d	38256 c	43526 b	52978 a	4513	0.0001
Digestible DM	3144 d	4519 c	5168 b	6350 a	574	0.0001
Nutritional composition (g kg ⁻¹ MS)						
CP	271 a	237 b	226 b	194 c	19.1	0.0001
NDF	418 c	467 b	496 a	513 a	15.6	0.0001
ADF	351 c	376 b	410 a	416 a	27.8	0.0001
IVDMD	712 a	663 b	626 c	591 d	18.0	0.0001
NE _L (MJ kg ⁻¹ DM)	6.02 a	5.61 b	5.27 c	4.94 c	0.201	0.0001

[†]Dry Matter (DM); Crude Protein (CP); Neutral Detergent Fiber (NDF); Acid Detergent Fiber (ADF); In-vitro DM Digestibility (IVDMD); Net Energy for Lactation (NE_L).

[‡]Stage: Beginning of capitulum formation (E50), capitulum clearly separated from the younger leaves (E55), distinguishable medium and intermediate external bracts (E59) and beginning of flowering (E61).

*SE: Standard Error.

6. CAPITULO 3.

**RENDIMIENTO Y VALOR NUTRITIVO DE CEREALES Y CÁRTAMO
FORRAJERO EN LA COMARCA LAGUNERA**

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

X. M. Ochoa-Espinoza^{3,6}, D. G. Reta-Sánchez^{1*}, P. Cano-Ríos⁴, J. I. Sánchez-Duarte², E. Ochoa-Martínez², J. E. García-Martínez⁵, A. Reyes-González² y H.M. Quiroga-Garza⁴.

¹Campo Experimental Delicias. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Delicias, Chihuahua, México.

²Campo Experimental La Laguna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Matamoros, Coahuila, México.

³Campo Experimental Norman E. Borlaug. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Cd. Obregón, Sonora, México.

⁴Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México.

⁵Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

⁶Estudiante de posgrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México.

*Autor para correspondencia (reta.david@inifap.gob.mx)

Resumen

La siembra de cártamo y cereales como alternativas a la avena permite incrementar el potencial forrajero en siembras tardías de otoño-invierno. El objetivo de este 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 evaluó el comportamiento de cultivares de avena, cebada, trigo, triticale y cártamos con y sin espinas. Se utilizó un diseño de bloques completo al azar con cuatro repeticiones. Se determinó el valor nutritivo del forraje y los rendimientos de materia seca (MS) y nutrientes. La siembra de cebada y trigo en siembras tardías aumentaron el potencial forrajero con la incidencia o no de enfermedades foliares en avena. Los incrementos alcanzaron de 26.3% a 39.0% en rendimientos de MS, 34.8% en rendimientos de proteína cruda, 34.2% en producción de energía neta para lactancia y de 29.4% a 34.8% en rendimiento de MS digestible. 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. Los resultados indican que es posible aumentar el potencial forrajero con especies alternativas a la avena en siembras tardías de otoño-invierno.

Palabras clave: Materia seca, proteína cruda, fibra, digestibilidad, enfermedades foliares.

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. The performance of cultivars of oat, barley, wheat, triticale and safflower with or without spines was evaluated. A randomized complete block design with four replications was used. Forage nutritive value, dry matter 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 species triticale, wheat, barley and spineless safflower also were good alternatives, but only when dry forage yields were reduced by foliar diseases. The results showed that is possible to increase the forage potential using alternative species to oat in late sowings of fall-winter season.

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

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, 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, cebada, trigo, triticale y cártamo, 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 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 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 porcentajes 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 m² 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, ENL, 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.

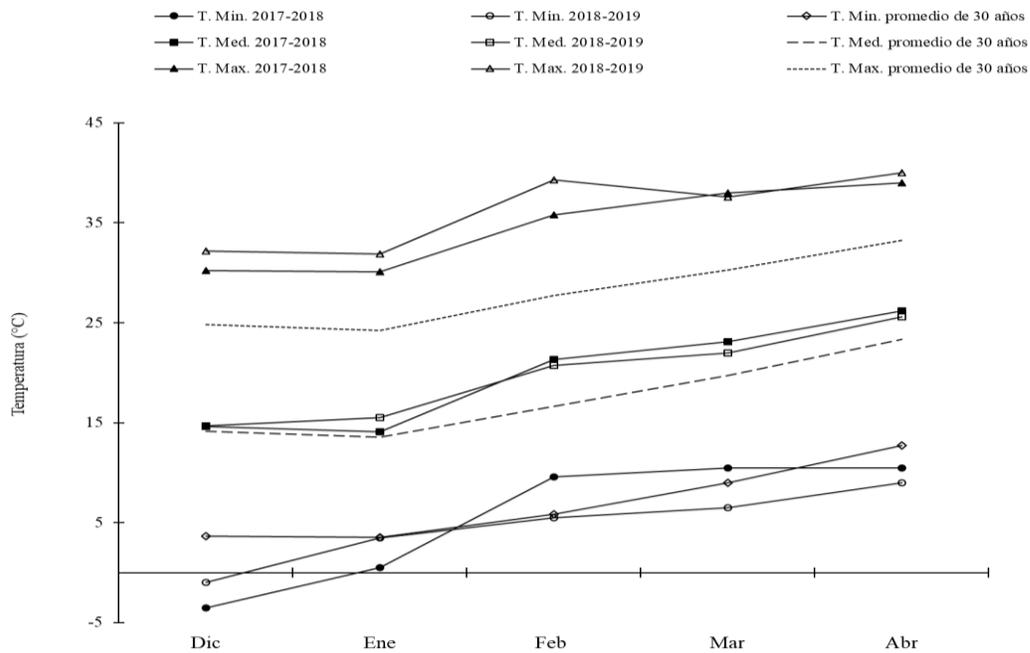
En relación a las temperaturas promedio de 30 años, las temperaturas medias de los dos ciclos del estudio fueron superiores, principalmente debido a que las temperaturas máximas fueron mayores durante todo el ciclo de crecimiento de los cereales y el cártamo. La precipitación ocurrida durante el desarrollo 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%.

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 (Cuadro 1), cuando no se observaron síntomas de enfermedades.

a



b

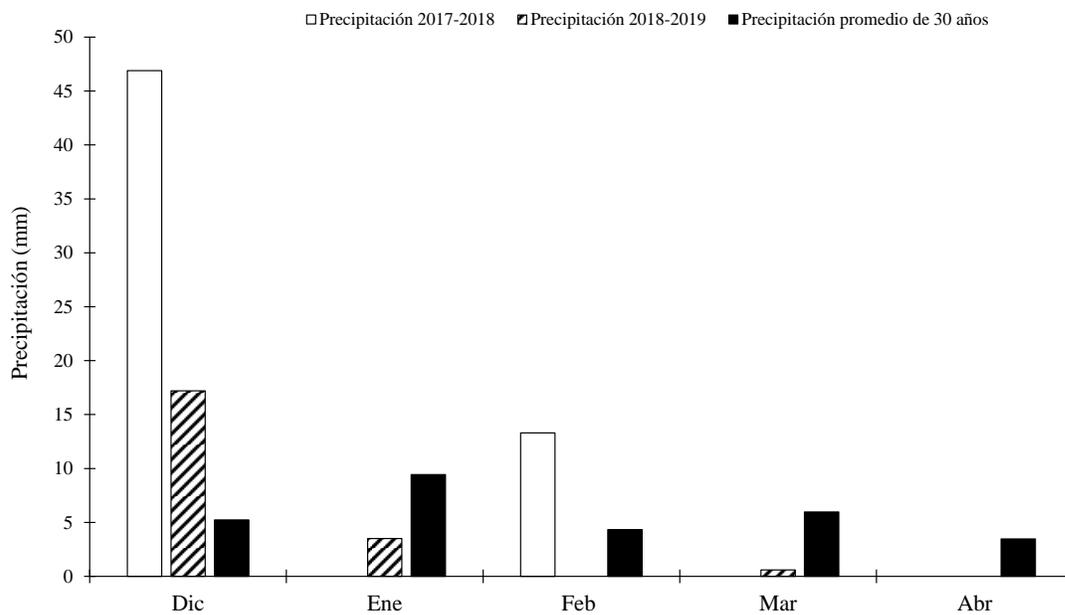


Figura 1. Temperatura (a) y precipitación (b) mensual durante el ciclo de desarrollo del cártamo en los dos años de estudio y los valores promedio de 30 años (1990-2019) en el Campo Experimental La Laguna, México.

Cuadro 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.

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 Cántabra	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 Cántabra 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 (Cuadro 2).

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

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 ≤ 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 (Cuadro 3).

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

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 ≤ 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 por 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 (Cuadro 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 %) (Cuadro 5).

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 (Cuadro 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 ENL 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 (Cuadro 5).

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 ENL 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.

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

Especie/cultivar	MS (kg ha ⁻¹)	PC (kg ha ⁻¹)	ENL (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 Cantabria	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)

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

Especie/cultivar	MS (kg ha ⁻¹)	PC (kg ha ⁻¹)	ENL (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 Cantabria	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)

Conclusión

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 triticale, trigo, cebada y cártamo son alternativas para incrementar el potencial forrajero.

Referencias bibliográficas

- 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_D200I.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, Weinberg ZG. (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., Nherera-Chokuda. (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>
- Geoering H.K., 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. & Brosh, A. (2000). Salower - new forage crop in Israel. *Meshek Habakar Vehachalar*. 286:27-32.
- Maas, E.V., Poss, J.A., and 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., Thiex, 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., 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., 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, 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 de Ciencias Pecuarias. 8: 397-406. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i4.4645>

Reta S.D.G., Sánchez D.J.I., Torres H.D., Reyes G.A., Ochoa M.I., Chew M.Y.I., 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.

Sánchez, M.H, Reta, S.D.G, Serrato, C.J.S, Figueroa, V.U, Cueto, W.J.A, 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, 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., 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.

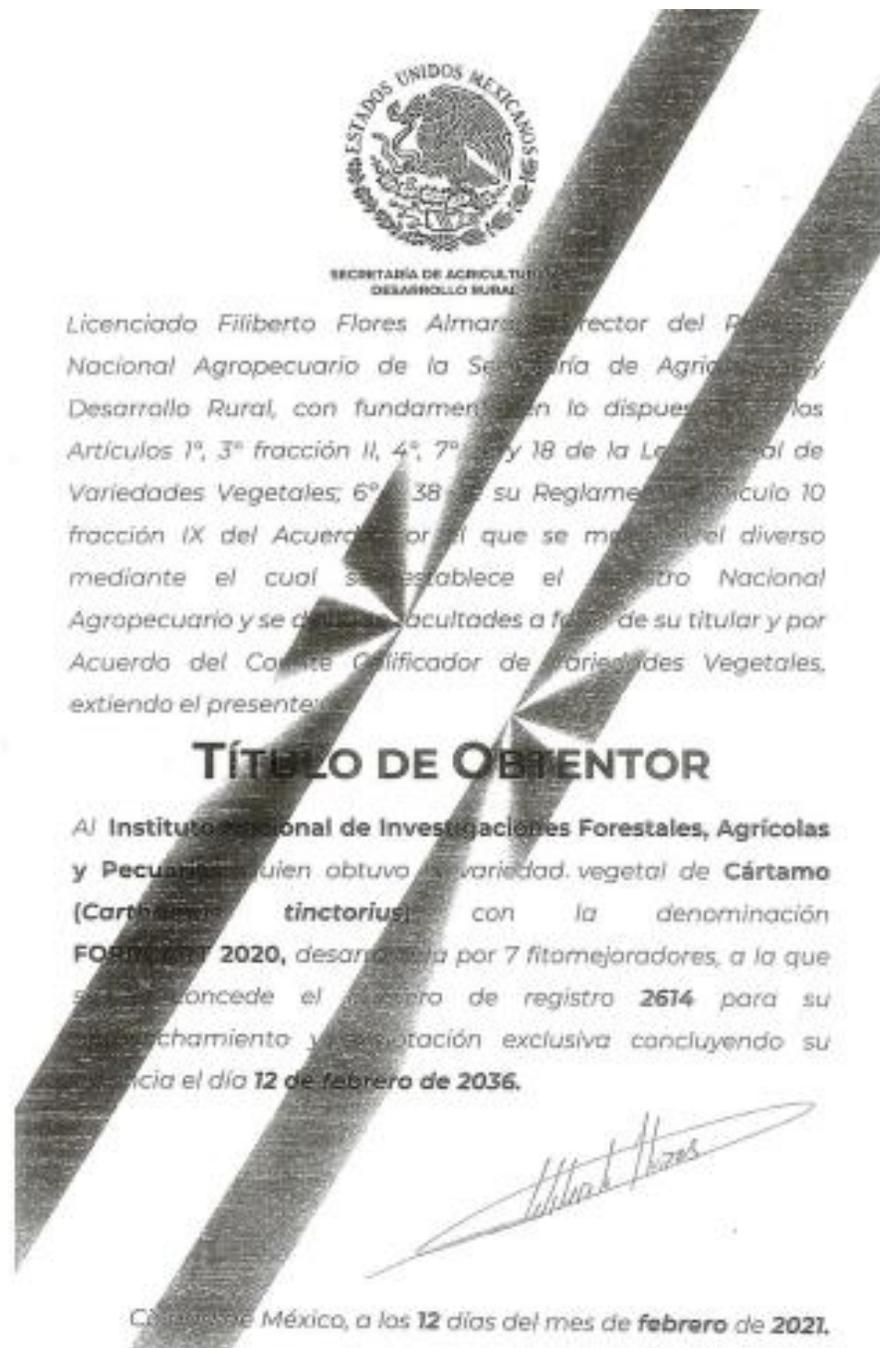
- Santamaria, C.J., Reta, S.D.G., Orona, C.I. (2008). Reducción del rendimiento potencial de maíz forrajero en calendario con tres y cuatro riegos. *Terra Latinoamericana* 26: 235-241.
- SAS Institute (2011). *The SAS system for windows, release 9.3*. Statistical Analysis Systems Inst., Cary, NC.
- SIAP (Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera). (2021). Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaria de Agricultura, Ganaderia, 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., 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., 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)

7. CONCLUSIÓN GENERAL

La liberación de la variedad de cártamo sin espinas FORRCART 2020 permite incrementar el rendimiento de forraje al retrasar la cosecha durante el desarrollo de la inflorescencia hasta la etapa fenológica E61, conservando una composición nutrimental del forraje aceptable, y sin contenido de espinas, lo cual favorece la palatabilidad del forraje. La evaluación de especies alternativas a la avena en siembras tardías de otoño-invierno, indicó que la siembra de cebada y trigo permite incrementar el potencial forrajero.

8. ANEXOS

8.1. Título de obtentor de la variedad Forrcart 2020.



Fitomejoradores: Xochilt Militza Ochoa Espinoza, Lope Montoya Coronado, David Guadalupe Reta Sánchez, Néstor Alberto Aguilera Molina, Alberto Borbón Gracia, Eva Ávila Casillas y Carlos Iván Barreras.

Cotejó:  Registró:  Libro: 1-T O Folio: **2614** Partida: 1º Foja: **2614**


Vo. Bo. C.C.V.V.