

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS



Fermentación, valor nutritivo y productividad del ensilado de canola y remolacha en comparación con forrajes de otoño-invierno en la región lagunera

Por:

LUIS MOISÉS SÁNCHEZ CONTRERAS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México

Septiembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS

Fermentación, valor nutritivo y productividad del ensilado de canola y remolacha
en comparación con forrajes de otoño-invierno en la región lagunera

Por:

LUIS MOISÉS SÁNCHEZ CONTRERAS

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:



DR. OSCAR ÁNGEL GARCÍA
Presidente



DR. RAMIRO GONZÁLEZ AVALOS
Vocal



PROFR. JUAN ISIDRO SÁNCHEZ DUARTE
Vocal



M.C. RAFAEL AVILA CISNEROS
Vocal Suplente



M.C. JOSÉ LUIS FRANCISCO SANDOVAL ELIAS
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México
Septiembre 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS

Fermentación, valor nutritivo y productividad del ensilado de canola y remolacha
en comparación con forrajes de otoño-invierno en la región lagunera

Por:

LUIS MOISÉS SÁNCHEZ CONTRERAS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


DR. RAMIRO GONZÁLEZ AVALOS
Director UAAAN


PROFR. JUAN ISIDRO SÁNCHEZ DUARTE
Director Externo


M.C. RAFAEL RVILA CISNEROS
Coasesor


M.C. JOSÉ LUIS FRANCISCO SANDOVAL ELÍAS
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal

Torreón, Coahuila, México

Septiembre 2022



AGRADECIMIENTOS

A mi universidad: Por haberme abierto las puertas y haberme dado la oportunidad de prepararme profesionalmente y haber sido mi segundo hogar durante 3 años.

A mis padres: Victoria Eugenia Contreras Govea y José Alberto Sánchez Valdés, por haberme dado la vida, educarme y formarme como la persona que hoy soy. En especial a mi madre por su apoyo incondicional y motivación a salir adelante a lo largo de mi carrera y en la vida.

A mis hermanos: Por apoyarme, quererme y siempre estar de mi lado.

A mi novia: Por su gran apoyo emocional y cariño, estar a mi lado en los buenos y malos momentos y por ser una gran compañera de vida.

A mi asesor: PhD. Juan Isidro Sánchez Duarte por su tiempo y dedicación para realizar este trabajo. Por ser un ejemplo a seguir como persona y como profesionalista, inspirándome a querer seguir aprendiendo y ser mejor veterinario día con día, gracias.

A mi asesor: Dr. Ramiro González Avalos por haber sido un buen profesor durante mi carrera, por compartir sus conocimientos y haberme dado la oportunidad de presentar este trabajo.

A la Dra. Karla Rodríguez Hernández: por siempre estar pendiente de mí y dispuesta a apoyar cuando se necesita. Por haberme brindado la oportunidad de viajar a otra universidad para ampliar mis conocimientos y vivir una experiencia maravillosa.

DEDICATORIAS

A mi madre por enseñarme a ser una persona dedicada, responsable, a trabajar por lo que quiero y siempre seguir adelante. Por ser un gran ejemplo de lo que es amar una profesión e inspirarme a seguir tus pasos. Te dedico este logro porque también es tuyo.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue comparar la producción de forraje y el valor nutritivo entre ensilados de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno. Se evaluó el efecto de los forrajes alternativos (canola y remolacha) y tradicionales (avena, cebada y triticale) con dos cortes sobre la producción MS y la fermentación (pH y $\text{NH}_3\text{-NT}$) y el valor nutritivo (PC, FDN, CNF, TND, EN_L , DMS_{30h} y la DFDN_{30h}) de los ensilados. Los forrajes se sembraron en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y se elaboraron mini-silos de PVC utilizando un arreglo factorial 5×2 (factor A = especie y factor B = cortes). Los resultados de producción de forraje indicaron un mayor rendimiento de MS en el corte dos (5,381 kg/ha) que en el corte uno (4,232 k/ha). La fermentación de los ensilados mostró que el pH de los ensilados fue similar entre las especies evaluadas y los cortes. Sin embargo, la interacción especie \times corte afectó significativamente la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ de los ensilajes ($P = 0.03$). El ensilaje de la cebada Narro-95 fue el que tuvo el valor más alto de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el corte 1 (18.20%) y la avena Cuauhtémoc la que presentó el valor más bajo en el corte 2 (10.27%). El valor nutritivo de los ensilados indicó que concentraciones de PC, FDN y FDA fueron afectados significativamente por la especie ($P < .0001$). La PC fue mayor en los ensilados de canola (19.52%) y remolacha (18.17%) que la observada en los ensilados de avena (13.76), cebada (14.78%) y triticale (15.06%). Además, la FDN fue inferior en los ensilados de canola (30.27%) y remolacha (23.75%) que la de los ensilados de avena (52.03%), cebada (53.41%) y triticale (49.79%). No obstante, el ensilado de remolacha presentó mayor FDA (28.06%) que el resto de los ensilados (12.84-14.96%). El porcentaje de CNF se vio afectado por la especie ($P=0.0001$) y por el corte ($P=0.03$). Los ensilados

de canola (23.22%) y remolacha (27.54%) fueron superiores en CNF respecto a los ensilados de avena (18.88%), cebada (15.60%) y triticale (17.70%). El ensilado del corte uno fue superior en 1.12% en CNF al compararlo con el ensilado del corte dos. Las estimaciones de TND y EN_L fueron afectado por la interacción especie x corte. El ensilado de canola fue superior en estas estimaciones en los dos cortes que los ensilados del resto de los forrajes. Los ensilados de cebada y triticale del corte dos fueron los que presentaron las estimaciones de TND y EN_L más bajos en el estudio. En conclusión, los forrajes alternativos tuvieron equiparable potencial de rendimiento de MS y mejor valor nutritivo como ensilados a los forrajes tradicionales de otoño-invierno que se usan en granjas lecheras del norte de México.

Palabras clave: canola (*Brassica napus* L.), remolacha (*Beta vulgaris*), digestibilidad, cereales, nutrición.

ABSTRACT

The objective of this study was to compare forage production and nutritional value between alternative and traditional fall-winter forage silages. The effect of alternative (canola and beet pulp) and traditional (oats, barley and triticale) forages with two cuts on DM yield and fermentation (pH and NH₃-NT) and nutritional value (CP, NDF, NFC, TDN, NE_L, DMD_{30h} and NDFD_{30h}) of the silages was evaluated. Forages were planted in a randomized complete block design with four replications and PVC mini-silos were made using a 5 × 2 factorial arrangement (factor A = species and factor B = cuts). Forage production results indicated a higher DM yield in cut two (5,381 kg/ha) than in cut one (4,232 kg/ha). The fermentation of the silages showed that the pH of the silages was similar between the evaluated species and the cuts. However, the specie × cut interaction significantly affected the NH₃-N concentration of the silages (P=0.03). Narro-95 barley silage was the one with the highest NH₃-N value in cut 1 (18.20%) and Cuauhtémoc oats had the lowest value in cut 2 (10.27%). The nutritional value of the silages indicated that concentrations of CP, NDF and ADF were significantly affected by the specie (P<.0001). Crude protein was higher in canola (19.52%) and beet pulp (18.17%) silage than that observed in oat (13.76), barley (14.78%) and triticale (15.06%) silage. In addition, NDF was lower in canola (30.27%) and beet pulp (23.75%) silage than that of oat (52.03%), barley (53.41%) and triticale (49.79%) silage. However, beet pulp silage presented higher ADF (28.06%) than the rest of the silages (12.84-14.96%). The percentage of NFC was affected by the specie (P=0.0001) and by the cut (P=0.03). Canola (23.22%) and beet pulp (27.54%) silages were higher in NFC compared to oat (18.88%), barley (15.60%) and triticale (17.70%) silage. The cut one silage was higher by 1.12% in

NFC when compared to the silage of cut two. The estimates of TDN and NE_L were affected by the interaction species × cut. Canola silage was higher in these estimates in both cuts than silage from the rest of the forages. The barley and triticale silages from cut two were the ones that presented the lowest estimates of TDN and NE_L in the study. In conclusion, the alternative forages had comparable DM yield potential and better nutritional value as silage to the traditional fall-winter forages used in dairy farms in northern Mexico.

Keywords: canola (*Brassica napus* L.), beet pulp (*Beta vulgaris*), digestibility, cereals, nutrition.

Índice general

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivo específico	2
1.3 Hipótesis	3
2. REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Clasificación Taxonómica de la Canola	4
2.2 Clasificación taxonómica de la remolacha.....	6
2.3 Producción de forrajes de otoño-invierno en México.....	7
2.4 Producción de forrajes de otoño-invierno en la Región Lagunera	9
2.5 Comparación del rendimiento de forraje entre canola y remolacha con cereales de invierno	11
2.6 Etapas del proceso de ensilaje.....	13
2.7 Valor nutritivo del ensilado de canola y remolacha.....	16
2.8 Comparación del valor nutritivo del ensilado de canola y remolacha con cereales de invierno	18
2.9 Uso potencial del ensilado de canola y remolacha en la alimentación de rumiantes.....	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS	21
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
5. CONCLUSIONES	41
6. LITERATURA CITADA	42

Índice de Cuadros

Cuadro 1	Valores nutricionales del ensilado de remolacha, canola y algunos cultivos utilizados en la Comarca Lagunera.	19
Cuadro 2	Parámetros de fermentación de ensilajes de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno.	33
Cuadro 3	Composición nutritiva de ensilajes de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno.	34
Cuadro 4	Carbohidratos no fibrosos y estimaciones de parámetros energéticos en ensilajes de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno.	35
Cuadro 5	Rendimiento de nutrientes de ensilajes de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno.	36
Cuadro 6	Rendimiento de CNF y de parámetros energéticos en ensilajes de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno	37

Índice de Figuras

Figura 1	Superficie sembrada de los principales cultivos de otoño-invierno durante el 2021-2022.	9
Figura 2	Principales cultivos sembrados y cosechados en la Comarca Lagunera durante el ciclo de producción de otoño-invierno del 2021.	11
Figura 3	Etapas del proceso de ensilaje.	16
Figura 4	Efecto de la especie sobre la digestibilidad in situ de la MS a 30 horas de incubación y rendimiento de MS digestible en forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno en la Comarca Lagunera.	38
Figura 5	Efecto de la especie sobre la digestibilidad in situ de la FDN a 30 horas de incubación y rendimiento de FDN digestible en forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno en la Comarca Lagunera.	39
Figura 6	Potencial digestible de la FDN (pdFDN120) y FDN no digestible (uFDN120) a 120 horas de incubación de ensilajes de forrajes alternativos y tradiciones de otoño-invierno.	40

Lista de abreviaciones

AGV's	Ácidos Grasos Volátiles
BAL	Bacterias Ácido Lácticas
CIGI	Canadian International Grains Institute
CMS	Consumo de materia seca
CNF	Carbohidratos no fibrosos
CONASIPRO	Comité Nacional Sistema Producto Oleaginosas
Dd's	Días de siembra
DMS _{30h}	Digestibilidad <i>in situ</i> de la MS a 30 horas de incubación
ED	Energía Digestible
EM	Energía Metabolizable
EN _L	Energía Neta de Lactancia
FDA	Fibra Detergente Ácida
FDN	Fibra Detergente Neutro
FDN _{30h}	Digestibilidad <i>in situ</i> de la FDN a 30 horas de incubación
Ha	Hectárea
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias
LFDN	Fibra Detergente Neutra Lignificada
Mcal	Mega calorías
MS	Materia Seca
NH ₃ -N	Nitrógeno Amoniacal
NNP	Nitrógeno No Proteico

PC	Proteína Cruda
pdFDN ₁₂₀	Potencial Digestible de la Fibra Detergente Neutra a 120 horas
pH	Potencial de hidrogeno
PVC	Policloruro de Vinilo
SADER	Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
TND	Total Nutrientes Digestibles
uFDN ₁₂₀	Fibra Detergente Neutra no digestible a 120horas

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción intensiva de leche de bovino en México demandan forraje de alto valor nutritivo para mantener los actuales niveles de producción de las vacas. Incluir forrajes de alto valor nutritivo maximiza la ganancia por área de suelo ocupado (Wangsness y Muller, 1981), aumenta el ingreso sobre el costo de alimentación (Buza *et al.*, 2014) y mejora la vida productiva de las vacas a largo plazo (Chase y Grant, 2013). Sin embargo, la producción de forrajes de alto valor nutritivo a nivel granja suele verse afectada por condiciones climáticas adversas, disponibilidad y calidad del suelo agrícola, un óptimo manejo agronómico y un limitado número de especies forrajeras. Bajo estas condiciones, es necesario ampliar el número de cultivos forrajeros en los actuales patrones de forrajes tradicionales en las granjas lecheras.

En las principales cuencas lecheras de México, la producción de forrajes se basa en pocas opciones forrajeras. El maíz y/o sorgo como fuentes de energía se establecen en los ciclos productivos de primavera-verano (Ríos *et al.*, 2015), la alfalfa como un cultivo proteico perenne (Alvarado *et al.*, 2017) y la avena (Ramírez-Ordóñez *et al.*, 2013; Flores *et al.*, 2011) u otros cereales de grano pequeño de otoño-invierno como el triticale (Flores *et al.*, 2011) y la cebada (Zamora *et al.*, 2017; Flores *et al.*, 2011) que aportan proteína y fibra cuando se henifican o ensilan. Con estos últimos se puede obtener forraje con un elevado contenido de proteína y bajas concentraciones fibra; no obstante, su cosecha se tiene que realizar en estado de embuche. Lo anterior implica sacrificar el rendimiento de forraje por hectárea. Ahora

bien, la cosecha de cereales puede ocurrir hasta la formación de grano para obtener mejor rendimiento por hectárea, pero decae el valor nutritivo del forraje.

Una opción que puede aportar al rendimiento y al valor nutritivo que se obtienen durante el ciclo de producción de otoño-invierno con los cereales de grano pequeño son los forrajes alternativos. Entre estos forrajes alternativos destaca la canola y la remolacha forrajera. Estos forrajes se han adaptado satisfactoriamente al clima y suelo característicos en los sistemas de producción de leche ubicados en el norte de México (Santamaría *et al.*, 2006; Reta *et al.*, 2008). Adicionalmente, estos cultivos forrajeros han demostrado producir buenos rendimientos de MS por hectárea con un forraje de elevado valor nutritivo ya sea como forraje fresco o conservados como ensilaje (Reta *et al.*, 2017; Olomonchi *et al.*, 2019; Sánchez *et al.*, 2019). Por lo tanto, es importante la evaluación de la fermentación, el valor nutritivo y el rendimiento de nutrientes de estos forrajes conservados como ensilaje respecto a los cereales de grano pequeño.

1.1 Objetivo general

Evaluar la producción de forraje y el valor nutritivo entre ensilajes de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno.

1.2 Objetivo específico

Comparar la fermentación, el valor nutritivo y los rendimientos de nutrientes entre ensilajes de canola y remolacha con avena, cebada y triticale en dos cosechas en la Comarca Lagunera.

1.3 Hipótesis

La fermentación, el valor nutritivo y el rendimiento de nutrientes entre ensilajes de forrajes alternativos como canola y remolacha son similares a los ensilajes de forrajes tradicionales como avena, cebada y triticale.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 Clasificación Taxonómica de la Canola

La canola es una planta de ciclo anual, herbácea, con un sistema radical pivotante con raíces secundarias. Los tallos son erectos y se ramifican, pudiendo alcanzar alturas de aproximadamente 160 cm o más. Las flores se agrupan en inflorescencias racimosas, tienen cuatro sépalos y cuatro pétalos que se disponen en cruz, seis estambres y un ovario supero bicarpelar. Es una planta que se adapta a climas templados y fríos y soporta temperaturas bajo cero grados en etapa de crecimiento, además, requiere bajas cantidades de agua, para obtener rendimientos de grano aceptables. El cultivo de canola requiere sólo de 500 a 600 milímetros durante su ciclo de crecimiento (CONASIPRO, 2008).

Taxonomía:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Brassicales
- Familia: Brassicaceae
- Género: Brassica
- Especie: Brassica Napus
- Nombre Común: Canola

(CONASIPRO, 2005).

Hábito y forma de vida: Hierba anual o bienal, glauca, glabra o pubescente con tricomas toscos.

Tamaño: Hasta de 1.60 m de alto.

Hojas Basales: Frecuentemente en roseta; pecíolo de 15 cm de largo, a menudo alado; lámina liradopinnada, glabrescente o raramente pubescente, de 5 a 40 cm de largo por 20 a 100 mm de ancho, lóbulos de 0 a 6, el terminal más grande que los demás, glabra o esparcidamente pubescente; margen irregularmente dentado o crenado.

Hojas del tallo: Medianas y superiores sin pecíolo; lámina auriculada o semiamplexicaule, entera, sésil; margen entero o con algunos pocos dientes.

Inflorescencia: Racimo no ramificado, botones que sobrepasan o igualan las flores abiertas.

Frutos: Pedicelos extendidos a ascendentes, delgados, de 1 a 3 cm de largo; silicua extendida a ascendente, lisa o ligeramente torulosa, cilíndrica; tamaño de 5 a 10 cm de largo por 3.5 a 5 mm de ancho; ápice con un pico cónico de 9 a 16 mm de largo, generalmente sin semillas.

Semillas: Son 20 por lóculo, de color marrón oscuro a negro, marrón claro o rojizo, de 1.8 a 2.7 mm de diámetro, testa finamente reticulada-alveolada, no mucilaginoso cuando se humedece.

Raíz: Pivotante.

(Marzocca, 1984).

2.2 Clasificación taxonómica de la remolacha

La remolacha forma parte de la familia botánica de las *Chenopodiaceae* dentro de la especie botánica *Beta vulgaris* L., existen tres subespecies de gran importancia como son la *Beta vulgaris saccharifera* o remolacha azucarera, *Beta vulgaris esculenta* o remolacha forrajera y *Beta vulgaris hortensis* o remolacha de mesa o ensalada. Es una planta herbácea bianual, aunque para el consumo de su raíz se cultiva anual. En su primer ciclo de crecimiento la planta acumula sustancias de reserva en la raíz, mientras que en su segundo ciclo de crecimiento produce un tallo floral y los órganos reproductivos (Ortega-Alcocer, 2011).

La clasificación taxonómica de la remolacha es la siguiente:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Caryophyllidae
- Orden: Caryophyllales
- Familia: Chenopodiaceae
- Género: Beta
- Especie: *Beta vulgaris*
- Nombre Común: Remolacha

(Vibrans, 2009).

La remolacha posee raíz napiforme, carnosa, piel roja pálida o rosa, en algunas variedades y en otras amarilla encarnada y blanca; el tallo es herbáceo con hojas

alternas estipuladas pecioladas y verdes, hojas de forma oval, acordonadas, tiernas de color verde claro con venas encarnadas y sostenidas por peciolo largo y ancho; la inflorescencia agrupada en racimo, flores pequeñas de color verdoso, diclinas, con 5 sépalos libres, anteras cinco globulosas, dehiscencia longitudinal, los cinco nacen de la base del ovario y están opuestos a las lobaduras del cáliz, el pistilo es simple, tres estigmas sésiles, ovario súpero, deprimido, el fruto es monogermico o multigermico y semillas negras pequeñas (Robles-Sanchez, 1985).

2.3 Producción de forrajes de otoño-invierno en México

Los forrajes son la principal fuente de alimentación de los rumiantes. Las razones de que los rumiantes se mantengan casi exclusivamente de los forrajes son ambientales y económicas. Debido a que las condiciones climáticas favorecen su crecimiento, las zonas tropicales tienen un gran potencial para la producción de forraje durante la mayor parte del año y, en consecuencia, para incrementar la producción de carne y leche. Sin embargo, las temperaturas extremas y sequía, limitan la producción de forraje en algunas épocas del año. En las zonas templadas, áridas y semiáridas las principales limitantes son la falta de agua durante primavera y finales de otoño e invierno; las bajas temperaturas, así como heladas durante otoño e invierno, a excepción de las áreas de riego donde la limitante son las bajas temperaturas y helada en otoño e invierno. Adicionalmente, los factores ambientales también afectan la calidad de forrajes, lo que trae como resultado una gran variación entre y aun dentro de estaciones climáticas (Garay, 2018).

En México la utilización de los cereales como forraje es una práctica muy común en los lugares donde se cultiva avena, trigo, centeno y Ballicos solos o asociados con

leguminosas para usarse como ensilajes o en verde. Estos cultivos se han utilizado en aquellos lugares con condiciones climáticas y edáficas favorables al cultivo, predominando en los climas templados y fríos, con suelos fértiles y pesados, de textura arcillosa o francos. También las regiones con inviernos moderados son lugares ideales para su utilización, donde se recomienda realizar siembras tempranas con el fin de cortar o pastorear el forraje a finales del año (González y Vázquez, 1992).

Algunos de los principales cereales forrajeros de otoño-invierno son trigo, centeno, avena y triticale, tienden a producir alimento concentrado en un periodo corto de tiempo, cuentan con un alto contenido de proteína e hidratos de carbono solubles y bajo contenido de fibra (Amador *et al.*, 2001).

Los principales cultivos sembrados en México durante el ciclo de producción de otoño-invierno 2020-2022 se pueden apreciar en la Figura 1. La mayor superficie sembrada en el país estuvo ocupada por granos y oleaginosas con una superficie total superior a los 2 millones de hectáreas. Esto fue seguido por las hortalizas con una superficie mayor a 200 mil hectáreas y, finalmente, por forrajes con una superficie sembrada que supero las 100 mil hectáreas. Esto refleja claramente que la producción de forrajes de otoño-invierno en México es muy importante para el sector agrícola y ganadero.

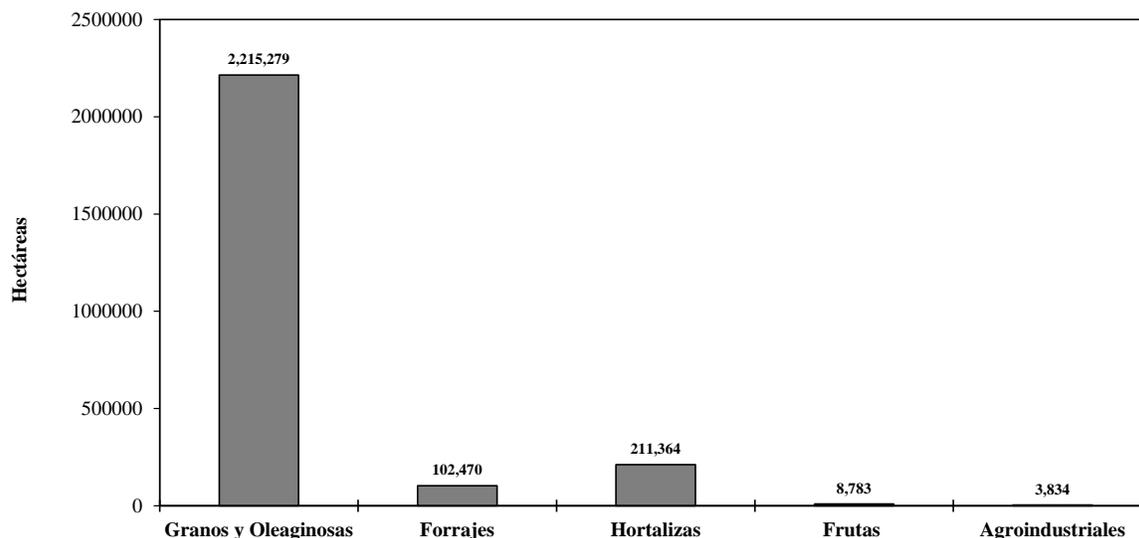


Figura 1. Superficie sembrada de los principales cultivos de otoño-invierno durante el 2021-2022 (SIAP, 2022a).

2.4 Producción de forrajes de otoño-invierno en la Región Lagunera

La Región Laguna o Comarca Lagunera se localiza en la parte central de la porción norte de México, entre los meridianos 102°22' y 104°47' de longitud oeste, y los paralelos 24° 22' y 26° 23' latitud norte. La altura media sobre el nivel del mar es de 1,139 metros.

La producción de forrajes en la Comarca Lagunera representa una parte importante del sector agrícola ya que de estos dependen las producciones de productos cárnicos y lácteos. Cabe mencionar que esta región es la principal cuenca lechera del país aportando un volumen de producción anual de 2, 261,689 mil litros, mediante unidades de producción tecnificadas (SIAP, 2022b).

La Comarca Lagunera es una región con significancia en la producción lechera de México y cuenta con sistemas de producción especializados, en los cuales existe una gran demanda de forraje de primera calidad. Sin embargo, solo se produce el 60% de forraje total que demanda la ganadería de esta región. El principal recurso limitante para la producción de forrajes en esta área es la reducida disponibilidad de agua, lo cual trae por consecuencia un aumento en los costos de producción de estos. En la región se produce forraje durante todo el año entre las principales especies que se cultivan en la época de otoño-invierno se encuentra la alfalfa, avena, sorgo y triticale (Reta-Sánchez *et al.*, 2008).

En la Figura 2 se puede encontrar los principales cultivos sembrados y cosechados durante el ciclo de producción de otoño-invierno del 2021 en la Comarca Lagunera (SADER, 2021). Entre todos los cultivos utilizados durante el ciclo de otoño-invierno del 2021 en esta región destacan los forrajes. La avena forrajera es la que supera mayormente a los demás cultivos con una superficie sembrada y cosechada que supera las 18 y 16 mil hectáreas, respectivamente. Posteriormente, los cultivos como el triticale forrajero, los que se encuentran como pastos y forrajes, el trigo grano y el trigo forrajero también son considerados de mucha importancia en esta región por la extensión de superficie sembrada.

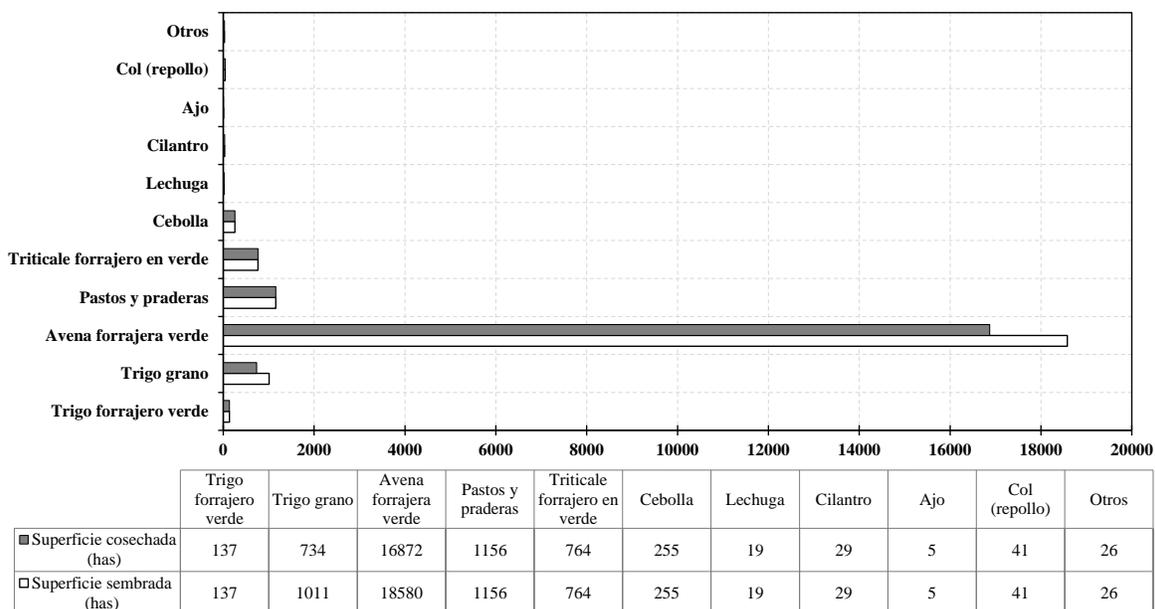


Figura 2. Principales cultivos sembrados y cosechados en la Comarca Lagunera durante el ciclo de producción de otoño-invierno del 2021 (SADER, 2021).

2.5 Comparación del rendimiento de forraje entre canola y remolacha con cereales de invierno

El norte de México es una zona que se caracteriza por la producción intensiva de ganado bovino lechero, más aún si nos referimos a la Comarca Lagunera que es reconocida por ser la principal cuenca lechera del país. Ahí la alimentación del ganado es basada en forrajes como lo son la alfalfa, sorgo, avena, maíz y algo de triticale. Sin embargo, cabe mencionar que unas de las problemáticas para producir este tipo de forrajes en esta zona son la poca disponibilidad de agua, suelos salinos y altas temperaturas ambientales durante el verano. Todo esto impide cubrir con la alta demanda de forraje requerida por la región lo que ha obligado a la búsqueda de nuevas alternativas forrajeras adaptables a esta zona (Reta-Sánchez *et al.*, 2016).

La canola puede ser una alternativa para la producción de forraje en las regiones áridas y semiáridas de México, ya que produce forraje de un buen valor nutritivo con mayor eficiencia en el uso del agua que la avena, uno de los principales forrajes en la región (Reta-Sánchez *et al.*, 2008). La canola puede adaptarse al clima y al tipo de suelo en los que se desarrolla la alfalfa. No obstante, la alfalfa tiene desventaja en cuanto a la salinidad del suelo de la región ya que esta es muy sensible y se ve afectada en su crecimiento y aprovechamiento del agua (Ortega, 2003).

Un estudio realizado por Reta- Sánchez *et al.*, (2013) demostró que la canola se adaptó satisfactoriamente en la Comarca Lagunera con rendimientos de materia seca de 5,635 kg/ha similares a los de avena de 5,514 kg/ha, pero con un mayor rendimiento de PC por hectárea. También se observó que la canola fue más precoz que la avena entre 9 y 30 días de acuerdo a las fechas de siembra, lo cual permitió el ahorro de un riego y el incremento de la productividad del agua para la producción de materia seca.

Las altas temperaturas y fotoperiodos largos en siembras tempranas pueden reducir el potencial forrajero de la canola. Sin embargo, se ha demostrado que si se reduce la temperatura ambiental y fotoperiodo en la fecha de siembra podemos alcanzar mayores rendimientos de materia seca que van de 6,036 a 8,599 kg/ha (Sánchez-Martínez *et al.*, 2018).

Respecto a la remolacha, este cultivo se ha vuelto de interés para los sistemas ganaderos ya que se considera un producto de alta productividad y calidad para suplementar al ganado. El interés por esta especie en la zona norte de México es principalmente por la necesidad de obtener una producción de mayor rendimiento

respecto a los cultivos que se cosechan durante el periodo de otoño-invierno en la región (Filippi, 2017). Otra de las características por las que este cultivo ha sido objeto de estudio en la Comarca Lagunera es porque presenta una alta tolerancia y aceptación a suelos salinos tales como los que se encuentran en esta zona. También algunos autores mencionan que la remolacha es un excelente lactógeno, lo que la convierte en un forraje de interés si nos referimos a que la Laguna es una de las principales cuencas lecheras del país (Toapanta, 2015; Morales, 2010). Reta-Sánchez et al. (2008), realizaron un estudio en la Comarca Lagunera donde cultivaron remolacha forrajera durante la temporada otoño-invierno obteniendo rendimientos de materia seca total de 6,968 a 9,976 kg/h. Gibbs (2011) logró obtener rendimientos de 20,000 a 30,000 kg/ha de MS en Nueva Zelanda. Estos resultados han sido muy similares a los obtenidos por Filippi y Cartes (2020) en Chile que fueron de 30,000-40,000 kg/ha MS.

2.6 Etapas del proceso de ensilaje

El ensilaje es una técnica de conservación de los forrajes húmedos basado en un proceso de fermentación láctica, cuyo objetivo es conservar el valor nutricional de la cosecha a través de distintos procesos químicos-biológicos, y así mantenerlo durante un largo periodo para poder ser utilizada en tiempos de escasez (Mayer, 1999). El proceso de conservación de forraje por ensilado tiene 4 fases: aeróbica, fermentación, estabilización y extracción (Figura 3; Kaiser *et al.*, 2004).

Fase aeróbica: la primera fase se caracteriza por la presencia de oxígeno una vez que el forraje es picado y ensilado. La respiración vegetal continúa (esta se prolonga mientras no se alcancen las condiciones de anaerobiosis) y las enzimas vegetales

como las proteasas y carbohidrasas se encuentran activas hasta que el oxígeno se agota por completo. Las carbohidrasas desdoblan carbohidratos no estructurales en azúcares simples. Estas sustancias son aprovechadas por los microorganismos que se encuentran en los vegetales y generan AGV, otros compuestos orgánicos y gases. Mientras que las proteasas degradan a las proteínas en diversos compuestos de NNP como péptidos, aminoácidos y amonio, este proceso es conocido como proteólisis. Durante esta fase, el exceso de oxígeno puede causar deterioro proteico indeseable y un excesivo aumento de temperatura, acompañado de crecimiento de levaduras y moho. El oxígeno puede ser reducido mediante un óptimo contenido de MS del forraje a la cosecha, un buen picado del forraje para su compactación y un sellado del silo con el plástico adecuado (Kung, 2014; Ramos, 2018).

Fase de fermentación: en condiciones anaeróbicas la fase de fermentación es dominada por actividad microbiana. La fermentación es controlada principalmente por tipos de microorganismos que dominan la fermentación, sustrato disponible para crecimiento microbiano y contenido de humedad del cultivo. Durante esta fase, las bacterias productoras de ácido láctico utilizan los carbohidratos solubles en agua para producir ácido láctico; el principal AGV causante de la caída del pH del silo, donde este llega a bajar hasta valores entre 3.8-5 cuando las actividades de del proceso de ensilaje se realizaron adecuadamente. Otros microorganismos indeseables para la fermentación tales como enterobacterias y Clostridia pueden dominar la fermentación si el pH no desciende rápidamente (Kung, 2014; Garcés-Molina *et al.*, 2004).

Fase estable: una vez que el nivel de ácido láctico formado es suficiente para que el pH descienda debajo de 4, se inhibe toda la actividad y desarrollo de bacterias, incluyendo las lácticas y la acción de las enzimas proteolíticas de la planta. Así entonces, se alcanza una estabilidad en el ensilado que permite su conservación durante un periodo indefinido de tiempo siempre y cuando no haya entrada de oxígeno. La entrada progresiva de oxígeno provoca actividad microbiana aeróbica, que se acelera durante la fase de apertura y utilización del silo (Ramos, 2018).

Extracción: el ensilado debe ser consumido lo más rápidamente posible una vez que este ha sido abierto para su consumo, esto con la finalidad de minimizar pérdidas. Los microorganismos aerobios crecen con rapidez cuando el silo es expuesto al aire, especialmente de la parte expuesta o “superficie de ataque”. El deterioro aeróbico se produce rápidamente en silos que tienen elevados niveles de azúcares sin fermentar y en silos con un pH más elevado de lo deseable. Para reducir este deterioro, el silo debe ser consumido rápidamente para esto se requiere un adecuado cálculo de las dimensiones del silo para garantizar el consumo diario de este y su consumo total (Ramos, 2018).

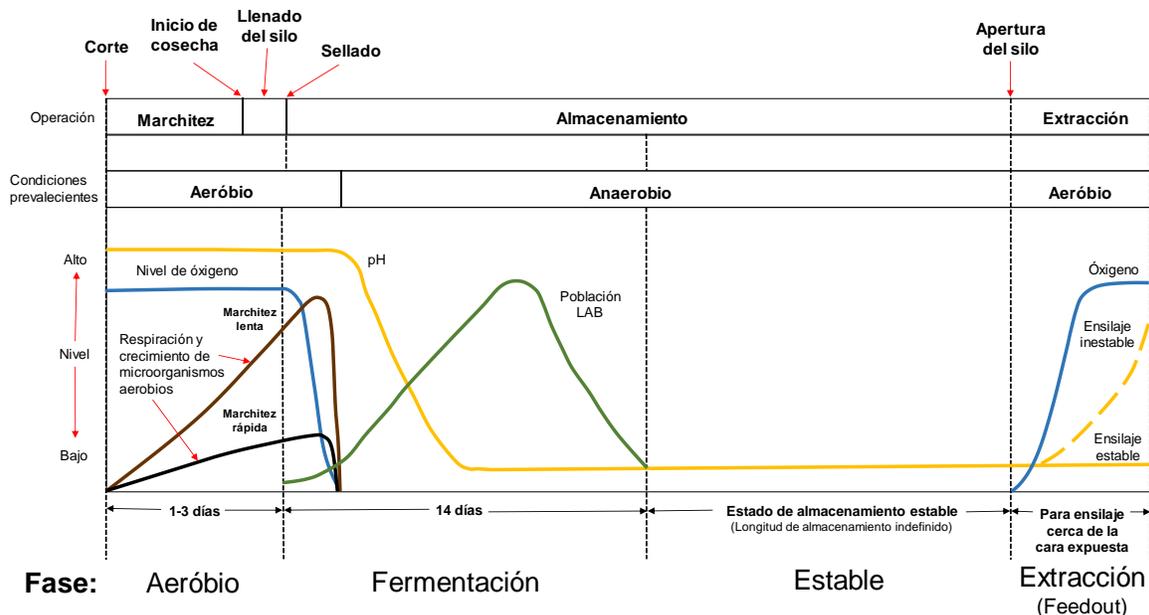


Figura 3. Etapas del proceso de ensilaje (adaptado de Kaiser *et al.*, 2004).

2.7 Valor nutritivo del ensilado de canola y remolacha

La canola puede ser un cultivo alternativo en la temporada otoño-invierno con un gran potencial forrajero, presenta un alto rendimiento, un aporte nutricional favorable para el ganado, tolera varios tipos de suelo, es de rápido crecimiento, se adapta a condiciones frías y hace un uso eficiente del agua (Sánchez-Gutiérrez *et al.*, 2018). Las plantas del género Brassica presentan una elevada concentración de azufre y glucosinatos en comparación con otros forrajes. Dichas sustancias contienen propiedades anti-nutricionales que reducen el consumo de alimento y la digestibilidad de aminoácidos en los animales (CIGI, 2009). Estudios han demostrado que el proceso de ensilaje es un método que contribuye a disminuir estos efectos negativos de la canola y además permite conservar el forraje sin afectar sus propiedades para que sea utilizado en los períodos de escases (Fales *et al.*, 1987). En la Comarca Lagunera, Sánchez-Duarte *et al.* (2011), elaboraron

ensilado de canola con 29% de materia seca, el cual fue debido al bajo contenido de materia seca del forraje (31%) al momento de la cosecha. Una de las características más importantes de este ensilado fue su alto contenido de PC, el cual llegó hasta 24%. Estos autores mencionaron que este nivel de proteína forrajera es muy importante; específicamente porque la proteína es uno de los ingredientes de mayor costo en la ración. Los valores de FDN y FDA en el ensilado fueron de 29.31% y 26.71% respectivamente. Respecto al contenido energético, la concentración de EM fue de 2.39 Mcal/kg de MS y la ENL fue de 1.49 Mcal/kg de MS.

Otro estudio en el norte de Estados Unidos también realizó pruebas de ensilaje de canola obteniendo resultados favorables para considerar el uso de canola como un forraje alternativo. Neely *et al.*, (2009) obtuvieron un ensilado con un nivel de PC de 21%, así como buen porcentaje en las concentraciones de las fracciones fibrosas de 20.7% de FDN y 19.9% de FDA, lo que asociaron con una buena digestibilidad y consumo al proporcionarse a los animales.

Respecto a la remolacha forrajera, se sabe que puede producir alimento nutritivo para toda clase de ganado, además de obtener un buen rendimiento de MS por hectárea. Las raíces son altas en energía, pero bajas en PC (6%); sin embargo, la parte aérea de la remolacha puede llegar a tener niveles de PC de 15% (Álvarez-Moreno, 2015); la cual puede ser usada para pastoreo o ensilaje. El ensilado de forraje proveniente de la parte aérea de la remolacha puede obtener valores de 13% de PC y 1.13 Mcal kg de ms de ENL (Reta-Sánchez *et al.*, 2008).

Debido a al valor nutritivo de la remolacha, la investigación ha declarado que este cultivo puede ser un forraje alternativo para utilizarse para la alimentación de

rumiantes durante el invierno. Un estudio en Egipto por Ahmed *et al.*, (2019) realizaron ensilaje de la parte aérea de remolacha inoculada con BAL obtuvieron un ensilado con 27% de MS, 6.85 de PC y 35% de carbohidrato no estructurales. Las porciones fibrosas fueron de 44% de FDN y 29% de FDA. Otra investigación en Costa Rica realizó pruebas de ensilaje de remolacha forrajera como posible cultivo alternativo y obtuvo resultados similares a los obtenidos en la Comarca Lagunera. Se encontró un ensilado con 17.7% de PC y 38.6% y 5.99% de FDN y FDA respectivamente. El nivel de energía fue muy bueno, llegando a alcanzar 1.5 Mcal/kg de MS, lo que indica que la remolacha forrajera puede ser considerada para su uso durante el invierno o como remplazo de otros ingredientes en raciones para rumiantes (Nieto-Sierra *et al.*, 2020).

2.8 Comparación del valor nutritivo del ensilado de canola y remolacha con cereales de invierno

Añadir ensilado de canola en dietas de ganado bovino puede ser una buena opción si consideramos que este tiene un alto nivel de PC entre 21 y 24% en comparación al de algunos otros ingredientes comúnmente usados como, por ejemplo, la avena (10%) y el silo de maíz (11%). El ensilado de canola también contiene un alto nivel de carbohidratos lo que lo convierte en un alimento que aporta una buena cantidad de energía (2.39 Mcal/kg MS), muy similar a la que encontraríamos en el silo de maíz (2.33 Mcal/kg MS) o de alfalfa (2.14 Mcal/kg MS). Por otro lado, el ensilado de remolacha forrajera contiene un nivel de PC que puede variar de 6 a 13%, el cual

es ligeramente inferior al que contienen los cereales de invierno como la avena (10%) y la alfalfa cosechada en invierno (16%). Sin embargo, aporta el ensilado de remolacha puede aportar una buena cantidad de FDN (38-44%) y FDA (29%), valores fibrosos superiores a las que se pueden encontrar en avena (29% de FDN y 14% de FDA).

Si comparamos los valores nutricionales de estos forrajes alternativos con los usados tradicionalmente en la región, podemos inferir estos podrían ser utilizados reemplazar una parte de los forrajes tradicionales o simplemente incrementar los forrajes disponibles en los sistemas de producción en otoño-invierno (McDonald *et al.*, 2011). Una comparación nutricional entre los ensilados de canola y remolacha con otros ensilados puede verse en el **Cuadro 1** (adaptado de la NRC, 2001).

Cuadro 1. Valores nutricionales del ensilado de remolacha, canola y algunos cultivos utilizados en la Comarca Lagunera.

Ensilado	MS (%)	PC (%)	FDN (%)	FDA (%)	EM (Mcal/kg MS)	ENL (Mcal/kg MS)
Canola	29	21-24	20-29	19-26	2.39	1.49
Remolacha	27	13	38-44	29	1.49	1.18
Alfalfa	90	19	41	32	1.96	1.19
Maíz	32	8.8	45	28	2.33	1.45
Avena	90	9.1	58	36	1.83	1.10
Triticale	32	13.8	59	39.6	1.94	1.18

2.9 Uso potencial del ensilado de canola y remolacha en la alimentación de rumiantes

Utilizar ensilados de forrajes alternativos como canola y remolacha forrajera, se podría recomendar como una posible opción para diversificar el patrón de forrajes disponibles en otoño-invierno en la Comarca Lagunera. La introducción de nuevos forrajes puede permitir mejorar la alimentación de rumiantes en esta región.

La remolacha forrajera posee un alto contenido de azúcares, tiene un alto nivel de energía permitiendo una buena fermentación ruminal. La suplementación de energía que aporta este cultivo a los rumiantes, mejora los contenidos de proteína y grasa en la leche (Rodríguez *et al.*, 2007). Según Nieto-Sierra *et al.*, (2020) las vacas suplementadas con ensilaje de remolacha forrajera produjeron mayor cantidad de litros de leche por día con mayor contenido de grasa y nitrógeno ureico en la leche.

Respecto al ensilado de canola no se observaron efectos sobre el rendimiento de la leche ni la composición de la leche por la sustitución del heno de alfalfa o ensilado de maíz, sin embargo, resulta ser de adecuada gustocidad en la ración para el ganado (Kincaid *et al.*, 2012). Sánchez-Duarte *et al.*, (2011) realizó una prueba de consumo de ensilado de canola en vaquillas en crecimiento y este no afectó negativamente su consumo de alimento, por el contrario, los animales alimentados con ensilaje de canola consumieron una cantidad ligeramente mayor (8.4 kg/día de MS) a aquellos que se alimentaron con ensilaje de avena (8.2 kg/día de MS). Adicionalmente, esta prueba demostró que las vaquillas alimentadas con la dieta que contenía ensilaje de canola tuvieron una mayor ganancia de peso diaria (1,140 g) que las vaquillas que recibieron la dieta con ensilaje de avena (997 g).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo en el ciclo de producción de otoño-invierno 2018-2019, en el Campo Experimental La Laguna, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Matamoros, Coahuila, México (25° 32' N, 103° 14' O y 1,150 m sobre el nivel del mar). El suelo en el sitio experimental presenta una textura franco arcillosa, un contenido de materia orgánica de 1.6% y un pH de 8.3.

Tratamientos evaluados

El estudio consistió en evaluar la producción de materia seca del forraje a la cosecha, la composición bromatológica, el perfil de fermentación y el rendimiento de nutrientes entre ensilaje de canola, remolacha, avena, cebada y triticale. Las variedades utilizadas fueron canola Ortegón, remolacha Starmon, avena Cuauhtémoc, cebada Narro-95 y triticale Río Nazas. Cada parcela experimental se estableció en 20 hileras con una distancia entre surcos de 18 cm y 6 m de longitud (21.6 m²). Las parcelas fueron distribuidas aleatoriamente en el terreno bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Preparación del terreno, siembra, manejo agronómico y cosecha

La preparación del terreno consistió en un barbecho, doble rastreo y nivelación con escrepa. La siembra se realizó manualmente en suelo seco el 12 de octubre de 2018, y un día después se aplicó el riego de siembra. Las densidades de siembra por hectárea fueron de 12 kg para canola, 40 kg para remolacha, 100 kg para avena y cebada y 120 kg para triticale. En canola y remolacha se realizó un aclareo de plantas a los 25 días, para dejar una densidad de población de 120 plantas m⁻². La

dosis de fertilización para N y P se estimó considerando la capacidad de extracción del cultivo: 250 y 80 kg de N, P_2O_5 ha^{-1} respectivamente. Antes de la siembra se aplicaron 50 kg de N ha^{-1} y 80 kg P_2O_5 , utilizando como fuentes sulfato de amonio y fosfato monoamónico. Antes del primer riego de auxilio, se aplicaron 55 kg N ha^{-1} en todos los cultivos para completar una dosis de 105 kg ha^{-1} para el primer corte. Después del corte se fertilizó con 90 kg N ha^{-1} , y posteriormente en el primer riego de auxilio después del corte se aplicaron 55 kg N ha^{-1} para completar la dosis de 145 kg N ha^{-1} para el segundo corte. La fuente de nitrógeno fue sulfato de amonio granulado. No se aplicó fertilizante potásico porque los suelos en la región presentan un alto contenido de potasio disponible (3,030 kg ha^{-1} a 0.30 m de profundidad; Santamaría *et al.*, 2006). La avena y el triticale requirieron seis riegos de auxilio, tres en cada corte; en remolacha se aplicaron dos riegos de auxilio en el primer corte y tres en el segundo, mientras que en cebada y canola se aplicaron dos en el primer corte y dos en el segundo. En total se aplicaron láminas de riego de 870 mm en avena y triticale; 750 mm en remolacha; y 630 mm en cebada, cártamo y canola.

En todos los cultivos se realizaron manualmente dos cosechas, en la etapa de embuche en avena, cebada y triticale, en inicio de floración en canola, y en la etapa vegetativa en la remolacha. La primera y segunda cosecha se realizaron a los 76 y 132 dds en cebada; 88 y 140 dds en triticale; 88 y 143 dds en avena; 97 y 149 dds en canola, y 110 y 149 dds en remolacha. La parcela útil fue de 5 m de longitud de los 10 surcos centrales (9 m^2). El forraje fresco de cada parcela útil se pesó para estimar el rendimiento de forraje en base verde por hectárea. En cada parcela útil se tomó una muestra de forraje al azar de 0.4 m^2 para determinar el contenido de

MS. Esto consistió en muestrear 0.74 m de tres de los surcos centrales de cada parcela útil. El forraje muestreado fue pesado en fresco y posteriormente se realizó un pre-secado de este en un invernadero durante cinco días. Posteriormente, estas muestras fueron secadas a 65 °C en una estufa de aire forzado durante 72 horas. La producción de MS se estimó multiplicando el rendimiento de forraje fresco por el porcentaje de MS del forraje en cada parcela útil. El resto del forraje se dejó secar en el terreno para realizar los ensilajes.

Elaboración de los ensilajes

Al forraje deshidratado en campo se le determinó de manera regular el contenido de MS utilizando el horno de microondas (Griggs, 2005) hasta que alcanzó un porcentaje de MS entre 35 y 40%. Una vez que el forraje alcanzó la MS deseada fue recogido del terreno para elaborar los ensilajes. Los ensilajes se elaboraron con tubos de PVC (10.5 cm de diámetro x 18 cm de largo) sellados de la parte superior e inferior con una tapa de inserción del mismo material. En la parte central de la tapa inferior de cada mini-silo se realizó un orificio con una broca de 2.78 mm para permitir escurrimiento al momento de realizar la compactación del forraje.

Inicialmente, el forraje fresco de cada tratamiento se trituró a un tamaño de partícula teórico de 3.5 a 12 mm utilizando un molino (Modelo JF5; Terramark, JF Máquinas Agrícolas). Posteriormente, el forraje de cada tratamiento fue empacado en cada mini-silo utilizando una densidad de 240 kg m⁻³ de MS (Holmes, 1998). La densidad de cada tratamiento en el mini-silo fue lograda utilizando el contenido de MS de cada forraje picado y el volumen de cada mini-silo. El volumen de cada mini-silo se calculó como: $V = \pi r^2 \times h$, donde r es el radio y h es la altura de cada mini-silo. La compactación del forraje picado en cada mini-silo se realizó con una prensa manual,

la cual está compuesta de un brazo metálico fijado en la parte superior que entra en el mini-silo y un gato hidráulico de 4 toneladas que genera la presión levantando el mini-silo. Finalmente, los mini-silos se sellaron y se dejaron fermentar durante un periodo de 60 días en el laboratorio. En el presente estudio, el análisis de mini-silos consideró el mismo diseño experimental con el que fueron establecidos los forrajes en el terreno y el mismo número de repeticiones.

Análisis de laboratorio

Al abrir los mini-silos se desecharon los primeros cinco centímetros de forraje de la parte superior. En cada mini-silo se tomó una muestra de 20 g de ensilaje fresco a los que se le añadió 200 ml de agua desionizada y se mezcló por 30 segundos en una licuadora de alta velocidad. La mezcla se filtró a través de tres capas de malla quesera y el pH se midió en la fase líquida utilizando un potenciómetro portátil (OHAUS Modelo ST2100, Parsippany, NJ, USA; Contreras-Govea *et al.*, 2006). El nitrógeno amoniacal de los ensilajes se determinó utilizando el procedimiento Kjeldhal de acuerdo a los métodos AOAC (1990). Del remanente de material de cada mini-silo se tomaron aproximadamente 500 g de muestra y se secaron a 60 °C en una estufa de aire forzado por 72 horas para posteriores análisis bromatológicos. Las muestras secas fueron molidas para pasar una criba de 1 mm en un molino Wiley (Arthur T. Thomas, Swedesboro, NJ.). En cada muestra molida se determinó el contenido de N total con el método de Dumas mediante combustión en seco (Leco FP-528, St. Joseph, MO) y el porcentaje de PC se calculó como $N \text{ total} \times 6.25$. El análisis de fibras se realizó de manera secuencial iniciando con la determinación de FDN en 0.5 g de muestra que se introdujo en bolsas Ankom F-57 (Ankom Tech., Macedonia, NY) y utilizando α -amilasa termo-estable y sulfito de sodio en el

analizador de fibras (A200, Ankom Tech., Macedonia, NY); después de que las bolsas se secaron y se registró el peso, se prosiguió con la determinación de FDA con CTAB y H₂SO₄ en el mismo analizador de fibras. Finalmente, en las mismas bolsas se determinó lignina utilizando H₂SO₄ al 72%. El contenido de cenizas se determinó al incinerar 2.0 g de muestra seca introducida en crisoles que fueron colocados en una mufla a 550°C por 6 h. El contenido de CNF se obtuvo por diferencia como: $CNF (\%) = 100 - (\% PC + \% FDN + \% \text{Cenizas} + \% EE)$, en donde el EE (extracto etéreo) se asumió fue de 2.8% para todas las muestras (NRC, 2001). La estimación de TND y de EN_L se calculó en el modelo NRC (2001) con las ecuaciones 2-5 y 2-11, respectivamente, utilizando los análisis bromatológicos obtenidos en cada muestra.

Para el análisis de digestibilidad se utilizaron 4.5 g de la muestra seca y se introdujo en bolsa Ankom R1020 de 10 × 20 cm (Ankom Tech., Macedonia, NY) para incubarse en duplicado por 120 y 30 h en el saco ventral de dos vacas fistuladas del rumen (ENLS, Zapotlanejo, Jal.). Primeramente, se introdujeron las muestras a incubarse a 120 h para determinar el potencial digestible de la FDN (pdFDN₁₂₀) y la FDN no digestible a 120 h (uFDN₁₂₀ = 100 - pdFDN); en tanto que las muestras introducidas a 30 h antes de cumplirse las 120 h de incubación fueron para determinar la digestibilidad de la FDN a 30 h (DFDN₃₀). Todas las bolsas se removieron del rumen simultáneamente y se sumergieron por 10 minutos en una cubeta con agua helada inicialmente a 4°C. Posteriormente, todas las muestras se enjugaron hasta obtener agua clara. Después las bolsas se secaron a 55°C por 48 h para determinar peso seco y calcular la MS digestible por diferencia de peso inicial respecto al peso final. Al final, se extrajeron aproximadamente 0.5 g de muestra

remanente y se introdujeron en bolsa F57 (Ankom Tech., Macedonia, NY) para determinar FDN residual y calcular la pdFDN y DFDN₃₀.

El rendimiento de nutrientes y de la MS y FDN digestible se obtuvieron multiplicando el rendimiento de MS por hectárea de cada parcela experimental en el campo por el contenido de cada nutriente del ensilaje. Para esta estimación se asumió que no hubo pérdidas de MS durante el proceso de ensilaje.

Análisis estadístico

La producción de forraje a la cosecha, la fermentación y el valor nutritivo, el rendimiento de nutrientes y las digestibilidades de los ensilajes fueron analizados mediante un análisis de varianza de una sola vía de acuerdo al diseño de bloques completamente al azar utilizando el PROC MIXED de SAS versión 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC. USA).

El modelo utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + C_j + (E \times C)_{ij} + B_k + e_{ijk}$$

Dónde: Y_{ijk} es la variable dependiente representando los valores de producción, fermentación, valor nutritivo, rendimiento de nutrientes y digestibilidad, μ es la media general, E_i es el efecto de la especie i ($i = 1$ a 5), C_j es el efecto del corte j ($i = 1$ a 2), $(E \times C)_{ij}$ es el efecto de la interacción entre la especie i y el corte j , B_k es el efecto aleatorio del bloque k ($k = 1$ a 4) y e_{ijk} es el error residual aleatorio.

Se utilizó la prueba de Tukey-Kramer para separar las medias de los tratamientos, declarando una diferencia estadística en todas las variables a un valor de $P \leq 0.05$.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fermentación de los ensilados

La fermentación de los ensilajes de los forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno con dos cortes se presenta en el Cuadro 2. No hubo diferencia estadística entre especies ni entre cortes para el pH de los ensilajes evaluados ($P > 0.05$). Sin embargo, la interacción especie \times corte afectó significativamente la concentración de $\text{NH}_3\text{-N}$ de los ensilajes ($P = 0.03$). El ensilaje de la cebada Narro-95 fue el que tuvo el valor más alto de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el corte 1 (18.20%) y la avena Cuauhtémoc la que presentó el valor más bajo en el corte 2 (10.27%). Entre los forrajes alternativos, solo el ensilaje de la canola Ortegón en el corte 2 puede presentar las mismas concentraciones de $\text{NH}_3\text{-N}$ (14.42%) que el ensilaje de avena. El $\text{NH}_3\text{-N}$ en los ensilajes es resultado de la ruptura de las proteínas que ocasionan las enzimas proteolíticas de las plantas o de los microorganismos clostridiales (Ohshima y McDonald, 1978). Concentraciones superiores a 11% de $\text{NH}_3\text{-N}$ en el ensilaje afectan negativamente el CMS, reportan Sánchez-Duarte y García (2017).

Calidad nutritiva de los ensilados

El Cuadro 3 muestra la calidad nutritiva de los ensilajes de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno. No hubo diferencia estadística en la interacción especie \times corte para ninguno de los componentes analizados ($P > 0.05$). Sin embargo, el corte afectó significativamente el contenido de MS ($P = 0.003$) y el porcentaje de FDN ($P = 0.01$). En general, se observó más MS y menos FDN en el corte 2 respecto al corte 1.

Las concentraciones de PC, FDN, FDA, lignina, cenizas y la LFDN fueron afectados significativamente por la especie ($P < .0001$; Cuadro 3). La PC fue mayor en los

ensilados de canola (19.52%) y remolacha (18.17%) que la observada en los ensilados de avena (13.76), cebada (14.78%⁹ y triticale (15.06%). Las proteínas del alimento son utilizadas, principalmente para la formación de estructuras como músculos, pelo y piel, o para la funcionalidad de enzimas, hormonas, neurotransmisores (Stritzler y Rabotnikof, 2019). Además, la FDN fue inferior en los ensilados de canola (30.27%) y remolacha (23.75%) que la de los ensilados de avena (52.03%), cebada (53.41%) y triticale (49.79%%). No obstante, el ensilado de remolacha presentó mayor FDA (28.06%) que el resto de los ensilados (12.84-14.96%). El contenido de FDN de un forraje se relaciona negativamente con el consumo de MS en del animal. Es decir, entre mayor sea el porcentaje de FDN del forraje que se incluye en la ración, menor será la ingesta de MS por el animal (Foss, 2018). Reta-Sánchez *et al.*, (2017) compararon el valor nutricional del forraje de canola con el de avena en diferentes secuencias de forrajes. Encontraron mejor contenido en el forraje de canola, indicando una mayor concentración de PC (18.2%) y menor contenido de FDN (40%) que los obtenidos en el forraje de avena; la cual presentó valores de PC de 11.5% y de FDN de 58.4%.

Respecto al contenido de lignina (Cuadro 3), se encontró mayor lignina en los ensilados de remolacha (7.48%) y canola (5.12) que en los ensilados de avena (4.26%), cebada (4.78%) y triticale (1.43%). Esto está de acuerdo con la lignificación de la FDN, ya que se observó mayor LFDN en los ensilados de remolacha (31.52%) y canola (16.89%) que en los ensilados de avena (8.12%), cebada (8.94%) y triticale (9.11%). Similar que la FDN, el contenido de lignina en los forrajes ha sido asociado negativamente con la degradación de la fibra y se sabe que la lignina actúa como

una barrera física a la degradación microbiana de la fibra en el rumen. Por lo tanto, influye para que un forraje sea menos digestible (Barahona y Sánchez, 2005).

El contenido de carbohidratos no fibrosos y la estimación de los parámetros energéticos se presentan en el Cuadro 4. El porcentaje de CNF se vio afectado únicamente por la especie ($P=0.0001$) y por el corte ($P=0.03$). Los ensilados de canola (23.22%) y remolacha (27.54%) fueron superiores en CNF respecto a los ensilados de avena (18.88%), cebada (15.60%) y triticale (17.70%). El ensilado del corte uno fue superior en 1.12% en CNF al compararlo con el ensilado del corte dos. Las estimaciones de TND, ED, EM y EN_L fueron afectado por la interacción especie \times corte (Cuadro 4). El ensilado de canola fue superior en todas estas estimaciones en ambos cortes que los ensilados del resto de los forrajes. Los ensilados de cebada y triticale del corte dos fueron los que presentaron las estimaciones de TND, ED, EM y EN_L más bajas en el estudio. El contenido de energía del ensilado de canola indica un perfil energético que puede satisfacer los requerimientos de mantenimiento y tasas de ganancia de peso diario, así como para la producción de leche (NRC, 2001). Reta-Sánchez *et al.*, (2017) encontraron que el forraje de canola tuvo mayor EN_L (1.41Mcal/kg) que el forraje de avena y triticale; los cuales presentaron valores de 1.36 Mcal/kg y 1.33 Mcal/kg de EN_L respectivamente. Sánchez-Duarte *et al.*, (2011) encontró en una evaluación de forrajes alternativos que el ensilado de canola presenta el mismo contenido de EN_L (1.50 Mcal/kg) que el ensilado de triticale a escala comercial (1.53 Mcal/kg).

Rendimiento de MS y de nutrientes de los ensilados

El rendimiento de forraje en base a MS al momento de la cosecha y el rendimiento de nutrientes de los ensilados se presenta en el Cuadro 5. El rendimiento de MS de las especies forrajeras evaluadas fue afectado únicamente por el corte ($P=0.004$), obteniéndose un rendimiento superior en el corte dos (5,381 kg/ha) que en el corte uno (4,232 k/ha). Reta-Sánchez *et al.*, (2008) reportaron que el rendimiento de MS en canola fue 15-20% menor en canola que en triticale bajo el mismo manejo agronómico utilizando un solo corte.

Similarmente, el rendimiento de PC también fue diferente por el corte ($P=0.01$; Cuadro 5). Se obtuvo en promedio 163 kg/ha mas en el corte dos respecto al corte uno, lo cual estuvo regido principalmente por el mayor rendimiento de MS obtenido en el corte 2. El rendimiento de las fracciones fibrosas (FDN y FDA) de los ensilados fueron afectados por la interacción Especie \times Corte ($P = 0.04-0.05$; Cuadro 5). Los mayores rendimientos de FDN y FDA la presentaron la avena y el triticale en el segundo corte y la canola y remolacha presentaron los valores de rendimientos más bajos en ambos cortes; solo la canola en el corte uno igualó el rendimiento de FDA mostrados por la avena y el triticale.

Al igual que con el contenido de lignina en los ensilados, el rendimiento de este polímero fue afectado por la especie ($P=0.04$; Cuadro 5), indicando un mayor rendimiento con los ensilados de canola y remolacha que con avena, cebada y triticale.

Los rendimientos de CNF y parámetros energéticos de los ensilados se muestran en el Cuadro 6. El rendimiento de CNF fue afectado por la especie ($P=0.0001$) y por el corte ($P=0.04$). Los ensilados de canola y la remolacha presentaron los mayores

rendimientos de CNF que los ensilados de los otros forrajes y el corte dos fue donde se observaron mayores rendimientos de CNF.

Los rendimientos de TND, ED, EM y ENL de los ensilados fueron afectados únicamente por el corte ($P=0.02-0.04$; Cuadro 6). Se observó que los rendimientos de todos estos parámetros en los ensilados fueron superiores en el corte dos al compararlos con los del corte uno. Esto fue principalmente también por el mayor rendimiento de MS obtenidos en el corte dos respecto al corte 1.

Digestibilidad *in situ* de la MS y FDN de los ensilados

La digestibilidad *in situ* de la MS y la FDN a 30 horas de incubación y sus rendimientos se presentan en las Figuras 4 y 5. La digestibilidad de la MS fue diferente por la especie ($P=0.0002$; Figura 4), indicando que la digestibilidad de la MS fue superior en los ensilados de forrajes alternativos que los tradicionales (79.50 vs. 61.31%, respectivamente), en donde el cártamo fue el que tuvo menor digestibilidad de la MS que sus contrapartes. Lo anterior posiblemente asociado al elevado contenido de FDN en los ensilados de forrajes tradicionales comparado a los alternativos. La mayor digestibilidad de la MS de los ensilados de forrajes alternativos comparada con la de los forrajes tradicionales observada en el presente estudio es consistente con investigaciones previas, ya que se han reportado digestibilidades superiores en canola (84%; Sun *et al.*, 2012), remolacha (76%; Olomonchi *et al.*, 2019) y cártamo (65%; Landau *et al.*, 2004) a las de la avena (64%), cebada (58%) y triticale (59%; McCartney y Vaage, 1994). El rendimiento de MS digestible fue similar entre los ensilados de las especies evaluadas ($P=0.17$).

La digestibilidad de la FDN fue similar ($P=0.20$) entre los diferentes ensilados evaluados, aunque se detectaron diferencias en los rendimientos de la FDN

digestible por hectárea ($P=0.002$; Figura 5). Aun cuando los ensilados de forrajes alternativos contuvieron menos FDN, la lignificación de la FDN (LFDN) fue superior en éstos que en los forrajes tradicionales (Cuadro 3). Lo anterior pudo haber conducido a que una menor o mayor fracción de la FDN fuera $pFDN_{120}$ o $uFDN_{120}$ en los ensilados de forrajes alternativos, respectivamente (Figura 6), lo cual podría explicar la similar digestibilidad de la FDN pese a diferencias en magnitud de FDN. Para nuestro conocimiento, no hay suficiente literatura que documente la digestibilidad de la FDN en los forrajes alternativos; mientras que los resultados de los forrajes tradicionales coinciden con los reportados por otros autores (Brown *et al.*, 2018).

Nuevamente, estas diferencias son el resultado del mayor contenido de FDN en los ensilados de forrajes tradicionales con respecto a los ensilados de los forrajes alternativos.

Cuadro 2. Parámetros de fermentación de ensilajes de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno.

Especie	Corte	pH	NH₃-N (% N total)
Canola Ortegón	1	5.16	15.79 ^{abc}
	2	5.10	14.42 ^{abcd}
Remolacha Starmon	1	5.14	16.34 ^{ab}
	2	5.16	15.63 ^{abc}
Avena Cuauhtémoc	1	4.84	12.70 ^{bcd}
	2	4.65	10.27 ^d
Cebada Narro-95	1	4.96	18.20 ^a
	2	5.09	10.53 ^{cd}
Triticale Río Nazas	1	4.97	14.98 ^{abcd}
	2	5.04	12.90 ^{abcd}
<i>Efectos (P>F)</i>			
EE		0.15	0.99
Especie		0.13	0.008
Corte		0.95	0.0007
Especie x Corte		0.84	0.03

^{abcd}Medias dentro de cada columna son estadísticamente diferentes de acuerdo

al

nivel de significancia y efecto indicado.

NH₃-N = nitrógeno amoniacal.

EE = error estándar

Cuadro 3. Composición nutritiva de ensilajes de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno.

Especie	Corte	MS (% del ensilado)	PC (% MS)	FDN (% MS)	FDA (% MS)	Lignina (% MS)	LFDN (%FDN)	Cenizas (% MS)
Canola Ortegón	1	38.92	19.61	31.17	12.82	5.12	16.38	12.83
	2	39.72	19.42	29.36	15.41	5.12	17.40	15.41
Remolacha Starmon	1	42.08	18.37	23.87	27.00	7.78	32.61	27.00
	2	41.82	17.96	23.62	29.11	7.18	30.44	29.11
Avena Cuauhtémoc	1	33.74	13.77	52.91	11.67	4.30	8.02	11.67
	2	43.87	13.75	51.14	14.01	4.22	8.21	14.01
Cebada Narro-95	1	31.56	14.90	53.84	12.11	4.61	8.55	12.11
	2	42.61	14.66	52.97	15.33	4.95	9.31	15.32
Triticale Río Nazas	1	36.76	15.09	50.12	14.19	4.51	9.21	14.19
	2	42.38	15.03	49.45	15.72	4.35	9.01	15.72
<i>Efectos (P>F)</i>								
EE		2.31	0.22	0.56	0.31	0.25	0.50	0.31
Especie		0.38	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Corte		0.003	0.28	0.01	0.62	0.52	0.81	<.0001
Especie x Corte		0.10	0.80	0.56	0.46	0.49	0.06	0.16

MS = materia seca, PC = proteína cruda, FDN = fibra detergente neutro, FDA = fibra detergente ácida. EE = error estándar

Cuadro 4. Carbohidratos no fibrosos y estimaciones de parámetros energéticos en ensilajes de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno.

Especie	Corte	CNF (% MS)	TND (% MS)	ED (Mcal/kg)	EM (Mcal/kg)	EN_L (Mcal/kg)
Canola Ortegón	1	33.90	72.82 ^a	3.27 ^a	2.83 ^a	1.80 ^a
	2	33.31	70.48 ^a	3.18 ^a	2.73 ^a	1.73 ^a
Remolacha Starmon	1	28.26	63.08 ^{cd}	2.85 ^{bc}	2.40 ^{bc}	1.50 ^{bc}
	2	26.82	61.15 ^{cd}	2.76 ^{cd}	2.31 ^{cd}	1.44 ^{cd}
Avena Cuauhtémoc	1	19.17	60.06 ^{de}	2.66 ^{de}	2.22 ^{de}	1.37 ^{de}
	2	18.58	60.78 ^{cd}	2.69 ^d	2.25 ^d	1.39 ^d
Cebada Narro-95	1	16.65	57.71 ^e	2.58 ^e	2.13 ^e	1.31 ^e
	2	14.55	54.75 ^f	2.45 ^f	1.99 ^f	1.22 ^f
Triticale Río Nazas	1	18.16	65.27 ^b	2.90 ^b	2.45 ^b	1.53 ^b
	2	17.24	53.67 ^f	2.41 ^f	1.96 ^f	1.19 ^f
<i>Efectos (P>F)</i>						
EE		0.73	0.47	0.02	0.02	0.01
Especie		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Corte		0.03	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Especie x Corte		0.81	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

CNF carbohidratos no fibrosos, TND = total de nutrientes digestibles, ED = energía digestible, EM = energía metabolizable, EN_L = energía neta de lactancia.

^{abcd} Medias dentro de cada columna son estadísticamente diferentes de acuerdo al nivel de significancia y efecto indicado.

EE = error estándar

Cuadro 5. Rendimiento de nutrientes de ensilajes de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno.

Especie	Corte	MS (kg/ha)	PC (kg/ha)	FDN (kg/ha)	FDA (kg/ha)	Lignina (kg/ha)
Canola Ortegón	1	4,493.80	880.76	1,398.25 ^{cd}	1,348.26 ^{abc}	228.44
	2	4,442.92	862.60	1,304.20 ^d	1,129.41 ^{bc}	226.87
Remolacha Starmon	1	4,442.54	824.37	1,068.99 ^d	790.18 ^c	350.38
	2	4,385.18	785.50	1,025.45 ^d	806.68 ^c	313.78
Avena Cuauhtémoc	1	4,688.91	642.92	2,491.55 ^{abc}	1,504.73 ^{abc}	203.86
	2	6,471.66	892.44	3,296.79 ^a	2088.57 ^a	270.46
Cebada Narro-95	1	3,999.91	595.89	1,57.45 ^{abcd}	1,353.48 ^{abc}	184.48
	2	5,783.76	872.92	3,050.09 ^a	1,970.99 ^a	278.30
Triticale Río Nazas	1	3,532.80	530.99	1,794.39 ^{bcd}	1,103.09 ^{bc}	152.74
	2	5,822.19	878.38	2,881.94 ^{ab}	1,827.32 ^{ab}	251.46
<i>Efectos (P>F)</i>						
EE		510.95	90.96	219.24	155.81	38.18
Especie		0.21	0.44	0.002	0.0003	0.04
Corte		0.004	0.01	<.0001	0.004	0.09
Especie x Corte		0.11	0.20	0.05	0.04	0.34

MS = materia seca, PC = proteína cruda, FDN = fibra detergente neutro, FDA = fibra detergente ácida.

^{abcd}Medias dentro de cada columna son estadísticamente diferentes de acuerdo al nivel de significancia y efecto indicado.

EE = error estándar

Cuadro 6. Rendimiento de CNF y de parámetros energéticos en ensilajes de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno.

Especie	Corte	CNF (kg/ha)	TND (kg/ha)	ED (Mcal/ha)	EM (Mcal/ha)	ENL (Mcal/ha)
Canola Ortegón	1	1528.73	3276.15	14702	12723	8091
	2	1480.07	3131.22	14072	12111	7670
Remolacha Starmon	1	1238.53	2797.96	12617	10641	6637
	2	1195.11	2692.90	12136	10183	6325
Avena Cuauhtémoc	1	884.74	2805.07	12448	10354	6388
	2	1219.42	3945.11	17494	14608	9040
Cebada Narro-95	1	660.79	2304.82	10285	8496	5213
	2	853.63	3196.79	14303	11710	7133
Triticale Río Nazas	1	647.48	2324.75	10308	8740	5473
	2	1007.00	3128.40	14033	11420	6922
<i>Efectos (P>F)</i>						
EE		110.70	304.02	1464	1260	707
Especie		0.0001	0.15	0.19	0.13	0.07
Corte		0.04	0.02	0.02	0.03	0.04
Especie x Corte		0.24	0.16	0.18	0.21	0.18

CNF carbohidratos no fibrosos, TND = total de nutrientes digestibles, ED = energía digestible, EM = energía metabolizable, ENL = energía neta de lactancia.

EE = error estándar

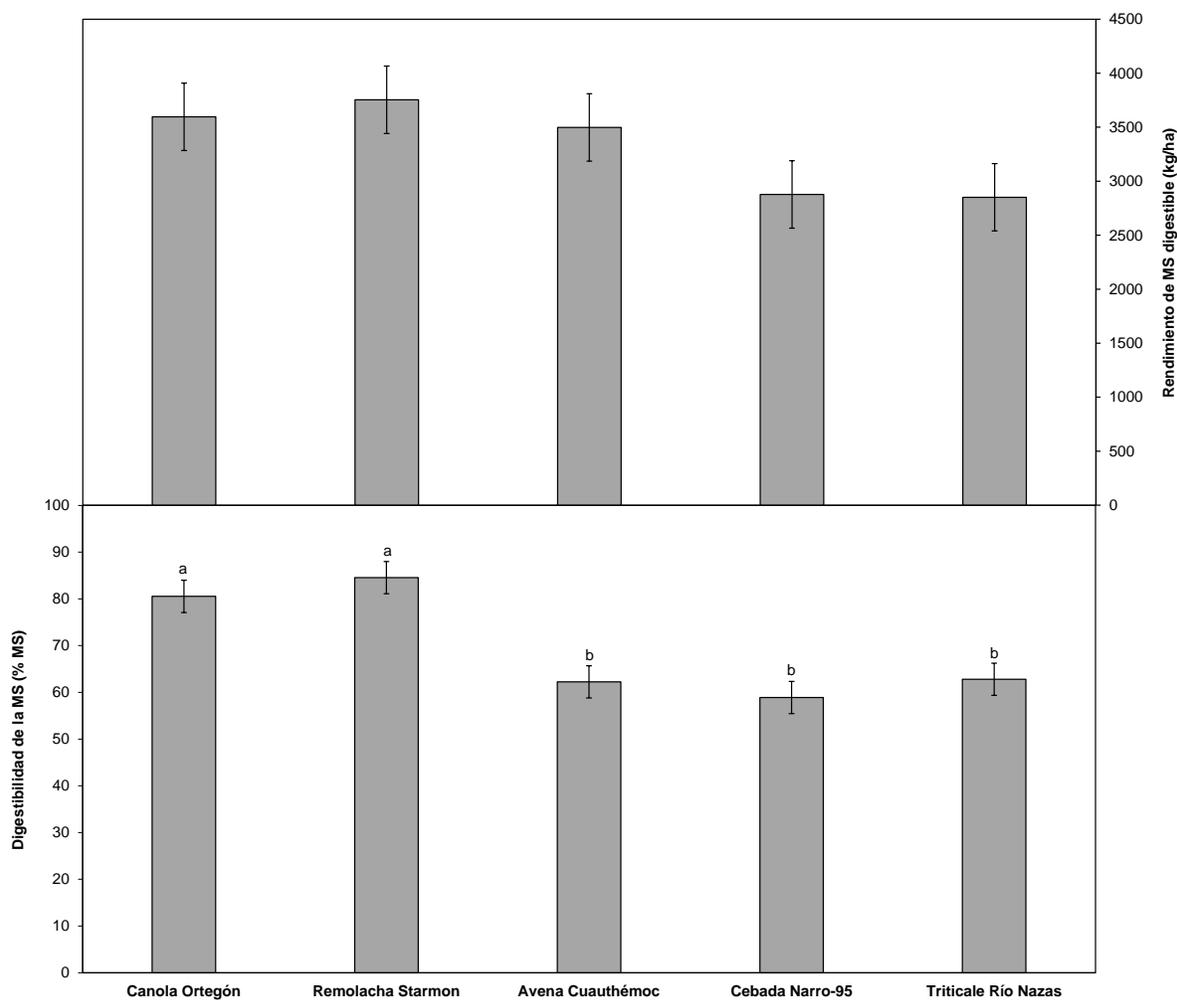


Figura 4. Efecto de la especie sobre la DMS_{30h} y rendimiento de MS digerible en forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno. Medias con letra desigual son estadísticamente diferentes (digestibilidad de la MS [$P = 0.0002$; $EE = 3.45\%$]; rendimiento de MS digerible [$P = 0.17$; $EE = 311.78$ kg/ha]).

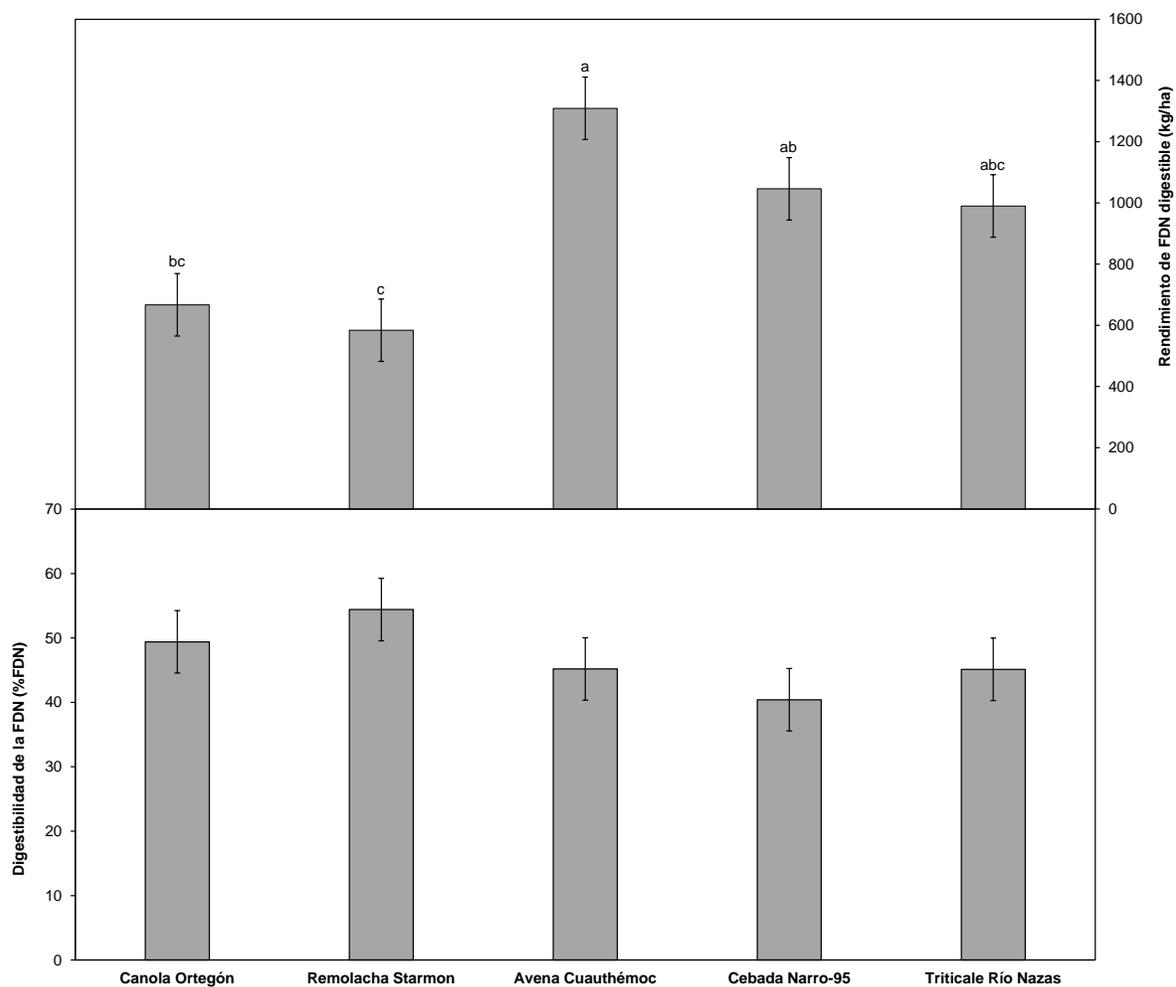


Figura 5. Efecto de la especie sobre la $DFDN_{30h}$ y rendimiento de FDN digestible en forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno. Medias con letra desigual son estadísticamente diferentes (digestibilidad de la FDN [$P = 0.20$; $EE = 4.85\%$]; rendimiento de FDN digestible [$P = 0.002$; $EE = 101.83$ kg/ha]).

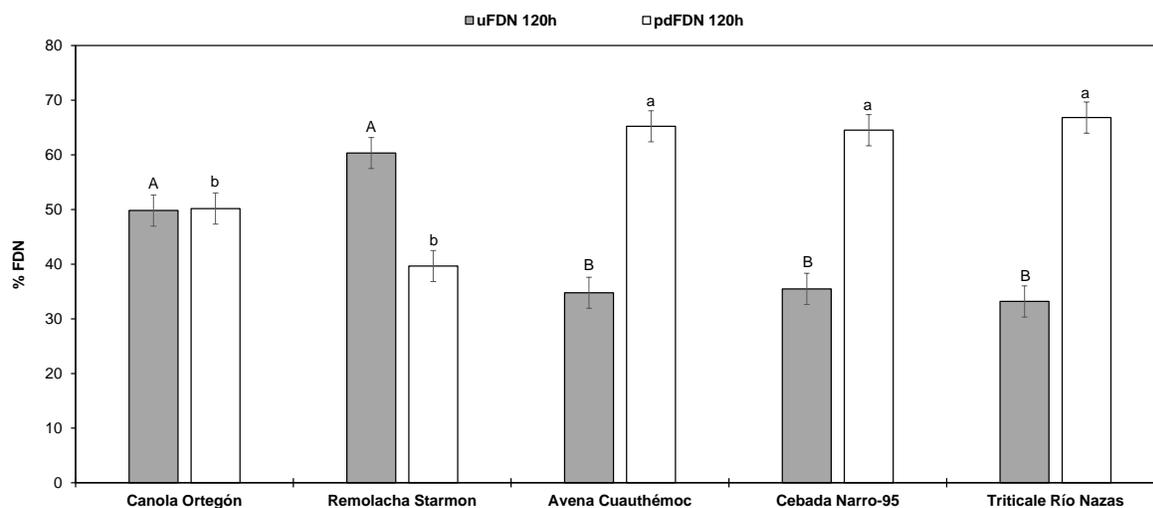


Figura 6. Potencial digestible de la FDN (pdFDN₁₂₀) y FDN no digestible (uFDN₁₂₀) a 120 horas de incubación de ensilajes de forrajes alternativos y tradiciones de otoño-invierno. Medias con letra desigual dentro de cada categoría son estadísticamente diferentes (pdFDN₁₂₀ [P=0.0001, EE = 2.85%]; uFDN₁₂₀ [P =0.0001, EE = 2.85%]).

5. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio indican que los forrajes alternativos evaluados tienen potencial productivo y de calidad nutritiva para incluirse en el patrón de forrajes tradicionales de otoño-invierno en granjas lecheras porque presentan rendimientos de MS similares a los forrajes tradicionales. Además, los forrajes alternativos pueden conservarse como ensilados y llegar a tener un valor nutritivo mejor que los ensilados de forrajes tradicionales por su mayor contenido de PC, menor FDN y superior digestibilidad de la MS; lo cual puede llegar a mejorar el consumo y producción de leche en vacas lecheras.

6. LITERATURA CITADA

- Ahmed, M. A. E., Ahmed, E. K., Ayman, M. H., Osama, H. M., Salah, A. A. E., Olurotimi, A. O. and Mostafa, S. A. H. 2019. Feed utilization and lactational performance of Friesian cows fed beet tops silage treated with lactic acid bacteria as a replacement for corn silage. *Animal Biotechnology*. 31(6):473-482.
- Alvarado, R. S., Guerrero, M. S., Anchondo, N. J. A., Rivas, L. B. A. y Palacios, M. A. 2017. Importancia económica y biológica de la alfalfa en el centro de Chihuahua. *Rev. Biológico Agropecuaria Tuxpan*. 5(2):68-74. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v5i2.114>
- Álvarez-Moreno, P. A. 2015. Evaluación nutricional y económica de diferentes planes de fertilización en remolacha forrajera *Beta vulgaris*, L. para alimentación de bovinos. Tesis de Licenciatura. Universidad de La Salle, Bogotá.
- Amador, B. M., Escobar, A. H., Mancillas, H. F. y Lara, R. P. 2001. Rendimiento de Grano y Forraje de Lineas de Triticale y Centeno en Baja California Sur, México. *RevFitotec. México*. 24(2): 145-153.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th Edition. 2200 Wilson Boulevard, Arlington. Virginia 22201, USA.
- Barahona, R. R. y Sánchez, P. S. 2005. Limitaciones físicas y químicas de la digestibilidad de pastos tropicales y estrategias para aumentarla. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 6(1): 69-82.
- Brown, A. N., Ferreira, G., Teets, C. L., Thomason, W. E. and Teutsch, C. D. 2018. Nutritional composition and in vitro digestibility of grass and legum winter (cover) crops. *J. Dairy Sci.* 101:2037-2047. <http://doi.org/10.3168/jds.2017-13260>
- Buza, M. H, Holden, L. A., White, R. A. and Ishler, V. A. 2014. Evaluating the effect of ration composition on income over feed cost and milk yield. *J. Dairy Sci.* 97(5):3073-3080. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7622>

- Chase, L. E. and Grant, R. J. 2013. High forage ration – What do we know. *In*: Proceedings Cornell Nutrition Conference. Organized by the Department of Animal Science in the College of Agriculture and Life Sciences at Cornell University. Syracuse, NY. Cornell University, Ithaca, NY. <https://hdl.handle.net/1813/36474>
- CIGI. 2009. Pasta de Canola. Guía para la industria de forrajes. 4ª Edición. Canola Council.
- CONASIPRO. 2005. Oleaginosas que se promueven-Canola. Disponible en: http://www.oleaginosas.org/cat_61.shtml. Consultado: Febrero 2022.
- CONASIPRO. 2008. El cultivo de canola en México. Disponible en: http://www.oleaginosas.org/art_196.shtml. Consultado: Febrero 2022.
- Contreras-Govea, F. E., Albrecht, K. A. and Muck R. E. 2006. Spring yield and silage characteristics of kura clover, winter wheat, and mixtures. *Agron. J.* 98:781-787. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0248>
- Fales, S. L., Gustine, D. L., Bosworth, S. C. and Hoover, R. J. 1987. Concentrations of glucosinolates and S-methylcysteinesulfoxide in ensiled rape (*Brassica napus* L). *Journal of Dairy Science.* 70:2402-2405.
- Filippi, R. D. 2017. El Renacer de la Remolacha Forrajera. Plan Lechero Watts.
- Filippi, R. D. y Cartes, C. C. 2020. Manual Remolacha Forrajera. Plan lechero Watts. Universidad de la Frontera. Universidad de la Frontera.
- Flores, O. M. A., Palomo, R. M. y Figueroa, V. U. 2011. Producción de forraje con cereales de grano pequeño. Folleto Técnico No. 37. Inifap-Campo Experimental Zacatecas. ISBN: 978—607-425-743-4. 54 pp.
- Foss. 2018. El análisis de la fibra en el pienso animal Fibra cruda, fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) - los estándares y las opciones de automatización. *Analytics Beyond Measure.*

- Garay, H. A. 2018. Planeación de la producción animal con base al crecimiento estacional de los pastos. Programa de ganadería, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/clima-calido-planeacion-produccion-t41967.htm>.
- Garcés-Molina, A. M., Berrio, R. L., Ruíz, A. S., Serna- De León, J. G. y Builes-Arango, A. F. 2004. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. Revista Lasallista de Investigación. 1(1): 66-71.
- Gibbs, S. J. 2011. Fodder Beet in the New Zealand Dairy Industry. South Island Dairy Event Conference Proceedings, Lincoln University.
- Griggs, T. C. 2005. Determining forage dry matter concentration with a microwave oven. Utah State University. Cooperative Extension. AG/Forage & Pasture/205-01. https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2739&context=extension_curall
- González, H. F. y Vázquez, J. A. E. 1992. Aprovechamiento de especies forrajeras de invierno en el centro de Michoacán. TecPec. México. 30(1): 85-90.
- Holmes, B. J. 1998. Choosing forage storage facilities. Prepared for Dairy Feeding Systems Management, Components and Nutrients (NRAES-16) Natural Resource, Agriculture and Engineering and Service. Cornell University, Ithaca, NY. 1-22. <https://fyi.extension.wisc.edu/forage/files/2014/01/Choosing.pdf>
- Kaiser, A. G., Piltz, J. W., Burns, H. M., and Griffiths, N. W. 2004. *TOPFODDER Successful silage*, 2nd Edn. Australia: Dairt Australia and New South Wales Department of Primary Industries.
- Kincaid, R. L., Johnson, K. A., Michael, J. J., Huisman, A. C., Hulbert, S. H. and Pan, W. L. 2012. Production of silage containing biennial canola and peas for use as forage in a dairy ration. The Professional Animal Scientist. 28:120-124.
- Kung, L. J. 2014. A review on silage additives and enzymes. Department of Animal and Food Sciences University of Delaware.

- 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 tinctorious*) hay and sialgegrown under Mediterranean conditions as forage for dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* 88:263-271. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2003.11.011>
- Marzocca, A. 1984. "Manual de malezas". Ed. Hemisferio sur. <http://cipm.ncsu.edu/names/index.cfm>. Consultado: Febrero 2022.
- Mayer, A. F. 1999. El ensilaje y los procesos fermentativos. Sitio Argentino de Producción Animal. INTA Bordenave.
- McCartney, D. H. and Vaage, A. S. 1994. Comparative yield and feeding value of barley, oat and triticale silage. *Can. J. Anim Sci.* 74:91-96. <https://doi.org/10.4141/cjas94-014>
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A. and Wilkinson, R. G. 2011. *Nutrición Animal*. Séptima Edición. Editorial Acribia.
- National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. Seventh Revised Edition.
- Neely, C. B., Hunt, C. W., Brown, J. and Davis, J. B. 2009. Increasing the value of winter canola crops by developing ensiling systems (canolage) to produce cattle feed. Idaho Alfalfa and forage conference 3-4 Feb.
- Nieto-Sierra, D. F., Lagos-Burbano, E., Avellanada-Avellanada, Y. y Castro-Rincón, E. 2020. Productividad de vacas lecheras suplementadas con ensilaje de haba alpargata o remolacha forrajera. *Agronomía Mesoamericana*. 31(2):341-351.
- Ohshimaa, M. and McDonald, P. 1978. A review of the changes in nitrogenous compounds of herbage during ensilage. *J Sci Food Agric*. 29:491-505.
- Olomonchi, E. O. A, Kilic, U., Garipoglu, A. V. and Erisek A. 2019. Comparison of forage quality and *in vitro* digestibilities of fodder beet (*Beta vulgaris var. Rapa*) fresh and material and silage. *J. Scientific. Engin. Res.* (11):172-178.

- Ortega, S. S. 2003. Importancia del Cultivo de Alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el Estado de Baja California Sur. Monografía. UAAAN-Salttillo. México.
- Ortega-Alcocer, A. E. 2011. Caracterización Física, Química y Nutricional de la Remolacha Roja (*Beta vulgaris*) cultivada en el Ecuador. Universidad Tecnología Equinoccial. Tesis Licenciatura.
- Ramírez-Ordóñez, S., Domínguez-Díaz, D., Salmerón-Zamora, J. J., Villalobos-Villalobos, G. y 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. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(4):395-403. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.4.395>
- Ramos, A. C. 2018. Conservación de forrajes: fundamentos del ensilado. *Revista Frisona Española.* 223: 70-78.
- Reta, S. D. G., Serrato, C. J. S., Figueroa, V. R., Cueto, W. J. A., Berúmen, P. S. y Santamaría, C. J. 2008. Cultivos alternativos con potencial de uso forrajero en la Comarca Lagunera. Libro Técnico Núm. 3. ISBN: 978-607-425-042-8. INIFAP-CIRNOC-CELALA. Torreón, Coahuila, México. 268 p.
- Reta, S. D. G., Serrato, C. J. S., Quiroga, G. H. M., Gaytan, M A. y Figueroa V. U. 2017. Secuencia de cultivo alternativas para incrementar el potencial forrajero y productividad del agua. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 8(4):397-406. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i4.4645>
- Reta-Sánchez, D. G., Sánchez-Duarte, J. I., Quiroga-Garza, H. M., Mascorro, A. G. y Viramontes, U. F. 2013. Canola: Cultivo alternativo para incrementar la productividad forrajera durante el ciclo otoño-invierno en la comarca lagunera. INIFAP Laguna.
- Reta-Sánchez, D. G., Serrato-Corona, J. S., Quiroga-Garza, H. M., Figueroa-Viramontes, U., Gaytán-Mascorro, A. y Cueto-Wong, J. A. 2016. Respuesta de canola para forraje a la densidad de población. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(3).

- Reta-Sánchez, D. G., Serrato-Corona, J. S., Viramontes, R. F., Wong, J. A. C., Padilla, S. B. y César, J. S. 2008. Cultivos alternativos con potencial de uso forrajero en la Comarca Lagunera. INIFAP. Libro Tecnico 3.
- Ríos, F. J. L., Torres, M. M., Castro, R. F., Torres, M. A. M. y Ruiz, J. T. 2015. Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México. Rev. FCA UNCUYO. 47(1):93-107. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382841103007.pdf>
- Robles-Sanchez, R. 1985. Producción de Granos y Forrajes 4 ta Ed. Editorial Limusa, impreso en México s.a de c.v, p.159.
- Rodríguez, R., Sosa, A. y Rodríguez, Y. 2007. La síntesis de proteína microbiana en el rumen y su importancia para los rumiantes. Rev. Cub. Cienc. Agríc. 41(4):303-311.
- Sánchez-Duarte, J. I. y García, A. 2017. Concentración del nitrógeno amoniacal en el ensilaje de alfalfa y sus efectos sobre el desempeño de vacas lecheras: Meta-análisis. Rev Colomb Cienc Pecu. 30:175-184.
- Sánchez-Duarte, J. I., Reta-Sánchez, D. G., Ochoa, M. E. y Serrato, J. S. 2011. Ensilado de canola, una nueva alternativa forrajera en la alimentación de ganado lechero: primeras pruebas de ensilaje realizadas en la Comarca Lagunera. Hoards Dairyman en español. 17(201):582-584.
- Sánchez-Duarte, J. I., Reta-Sanchez, D. G., Ochoa, M. E., Santana, O. I. y Rodríguez, H. K. 2019. Producción y uso de ensilaje de canola en establos lechero de la Comarca Lagunera. Desplegable para productores No. 35. Inifap-CIRNOC Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila, México.
- Sánchez-Gutiérrez, R. A., Espinoza-Canales, A., Muro-Reyes, A. y Gutiérrez-Bañuelos, H. 2018. Crecimiento y producción de forraje de canola (*brassica napus* L.) de otoño-invierno en Zacatecas, México. Rev. Fitotec. Mex. 41(2): 211-216.
- Sánchez-Martínez, H., Reta-Sánchez, D. G., Serrato-Corona, J. S., Viramontes, U. F., Cueto-Wong, J. A. y Castellanos-Perez, E. 2018. Efecto de la fecha de

siembra sobre el potencial forrajero de cultivares primaverales de canola en la Comarca Lagunera, México. ITEA. 114 (3): 223-242.

Santamaría, J. C., Reta, S. D. G., Chávez, G. J. F., Cueto, W. J. A. y 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.
<http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/1944>.
Consultado: 26 febrero 2021.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022a. Producción agrícola. Accesado: abril del 2022. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022b. Producción pecuaria. Avance por producto. Leche de bovino. Accesado: abril del 2022. http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp

Stritzler, N. P. y Rabortnikof, C. M. 2019. Nutrición y alimentación de rumiantes en la región semiárida central argentina. Libros de texto para estudiantes universitarios. 1era Edición. Universidad Nacional de La Pampa.

Sun, X. Z., Waghorn, G. C., Hoskin, S. O., Harrison, S. J., Muetzel, S. and Pacheco, D. 2012. Methane emissions from sheep fed fresh Brassicas compared to perennial ryegrass. Anim. Feed Sci. Technol. 176:107-116.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.013>

Toapanta, A. F. L. 2015. Evaluación de la remolacha forrajera (*Beta Vulgaris* L) al 5%, 10% y 15% en la alimentación de cuyes hembras de reemplazo en el centro experimental y de producción Salache. Tesis Licenciatura. Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador.

SADER (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural). 2021. Delegación en la Región Lagunera, Sector Agropecuario. El Siglo de Torreón. Suplemento especial. Diciembre 31/1/2021. 24.

Vibrans, H. 2009. Malezas de México.
<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/chenopodiaceae/beta-vulgaris/fichas/ficha.htm#1.%20Nombres>.

Wangsness, P. J. and Muller, L. D. 1981. Maximum forage for dairy cows: Review. J. Dairy Sci. 64:1-13. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82522-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82522-2)

Zamora, D. M., Pérez, R. J. A., Huerta, Z. R., López, C. M. L., Gómez, M. R. y Rojas, M. I. 2017. Maravilla: Variedad de cebada forrajera para los valles altos de México. Rev. Mex. Cienc. Agric. 8(6):1449-1454. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i6.317>