

Intercepción de radiación solar y rendimiento de forraje de brásicas y cereales de otoño-invierno

Solar radiation interception and forage yield of brassicas and autumn-winter cereals

David Guadalupe Reta-Sánchez^{1*}, Juan Isidro Sánchez Duarte², Esmeralda Ochoa Martínez², Arturo Reyes González², Karla Rodríguez Hernández²

¹Campo Experimental Delicias, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 2 Carretera Delicias-Rosales C.P. 33000, Centro, Cd. Delicias, Chihuahua, México.

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

Autor para correspondencia: reta.david@inifap.gob.mx

RESUMEN

La capacidad de rebrote de las brásicas permite un mejor desarrollo del índice de área foliar (IAF) respecto a los cereales, con un mayor potencial de rendimiento de materia seca (MS) en un segundo periodo de producción. El objetivo del estudio fue determinar la relación entre el desarrollo del IAF con la capacidad de intercepción de radiación solar y el rendimiento de MS de brásicas forrajeras y cereales de otoño-invierno. Las brásicas forrajeras fueron Winfred y rábano Graza, y los forrajes tradicionales fueron triticale facultativo y triticale+rye grass. El estudio se realizó en Delicias, Chihuahua, México en el ciclo 2021-2022, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se determinó el IAF e intercepción de radiación solar durante el ciclo, capacidad de rebrote y el rendimiento de MS. En el primer periodo de producción el desarrollo del IAF, la intercepción de radiación solar y el rendimiento de MS fueron similares en todas las especies. Después del primer corte, debido a su mayor capacidad de rebrote, el rábano Graza alcanzó más temprano (56 días) que las otras especies (68-74 días) el 95% de intercepción de radiación solar (IAF crítico), conservando esta cobertura del dosel hasta la cosecha. Esta característica le permitió al rábano Graza obtener el mayor rendimiento de MS (7,355 kg ha⁻¹) respecto a brásica Winfred, triticale y triticale+rye grass, que produjeron de 5,545 a 5,857 kg ha⁻¹. La mayor y más temprana intercepción de radiación solar de brásicas como rábano Graza, debido a su mayor capacidad de rebrote, resultó en la producción de mayor rendimiento de MS que los cereales tradicionales de otoño-invierno.

Palabras clave: Índice de área foliar, rebrote, materia seca

ABSTRACT

The regrowth capacity of brassicas allows a better development of leaf area index (LAI) compared to cereals, with a greater potential for dry matter (DM) yield in a second production period. The objective of the study was to determine the relationship between the development of LAI with solar radiation interception capacity and DM yield of forage brassicas and autumn-winter cereals. The forage brassicas were Winfred and Graza radish, and the traditional forages were facultative triticale and triticale+rye grass. The study was carried out in Delicias, Chihuahua, Mexico in the 2021-2022 cycle, under a randomized complete block experimental design with four replications. The LAI and interception of solar radiation during the cycle, regrowth capacity and DM yield were determined. In the first production period, the development of LAI, interception of solar radiation and DM performance were similar in all species. After the first cut, due to its greater regrowth capacity, the Graza radish reached 95% of solar radiation interception (critical LAI) earlier (56 days) than the other species (68-74 days), maintaining this coverage of the canopy until harvest. This characteristic allowed Graza radish to obtain the highest DM yield (7355 kg ha⁻¹) compared to Winfred brassica, triticale and triticale+rye grass, which produced 5545 to 5857 kg ha⁻¹. The greater and earlier



interception of solar radiation of brassicas such as Graza radish, due to its higher regrowth capacity, resulted in the production of higher DM yield than traditional autumn-winter cereals.

Keywords: Leaf area index, regrowth, dry matter

INTRODUCCIÓN

La producción de forraje de buena calidad para ganado bovino de leche y carne es de gran importancia en el norte-centro de México. Los sistemas de producción se basan principalmente en especies como alfalfa, maíz, sorgo, avena, triticale y rye grass. La producción de estos cultivos enfrenta problemas de escasez de agua, salinidad en el suelo y elevadas temperaturas ambientales (Santamaría et al., 2006). Estas condiciones se agravarán en las próximas décadas debido al cambio climático, principalmente en Chihuahua, Coahuila y Durango (Andrade y Montero, 2014). Dicha situación obliga a innovar los sistemas de producción con alternativas forrajeras que tengan capacidad de rebrote, presenten buenos rendimientos y calidad nutritiva; especialmente durante el ciclo otoño-invierno, cuando la demanda de agua de los cultivos es más baja.

Las brásicas forrajeras como canola, colza, nabos, colinabo, col y rábano son alternativas para la región debido a su potencial de producción y calidad nutritiva; además de que tienen capacidad de rebrotar (Bell et al., 2020; Umami et al., 2022; Reta et al., 2023) y de conservarse como ensilaje (Sánchez et al., 2014; Kilic et al., 2021). Las brásicas forrajeras producen en la región de 8,569 a 12,016 kg ha⁻¹ de MS en un periodo de 144 a 154 días. Estos niveles de producción son similares o mayores a los obtenidos por cereales como triticale, trigo y avena (9,402 a 11,244 kg ha⁻¹) (Reta et al., 2022; Reta et al., 2023). El principal beneficio de las brásicas es su capacidad de producir forraje con alto valor nutritivo durante un periodo relativamente largo, ya que con el avance del ciclo no disminuye marcadamente el contenido de PC ni la digestibilidad de la MS (Villalobos y Brummer, 2015).

Para mejorar la producción de los cultivos forrajeros alternativos es necesario conocer su desarrollo y crecimiento, y así aplicar en forma oportuna el mejor manejo agronómico. Una característica importante en los cultivos es el índice de área foliar (IAF) ya que de esta depende la capacidad del cultivo para la interceptación de radiación solar, lo cual determina la cantidad de MS producida durante el ciclo (Fletcher et al., 2012). Para lograr la máxima producción de

MS los cultivos tienen que alcanzar el 95% de interceptación de radiación solar (IAF crítico) en etapa temprana del ciclo de crecimiento, y mantener esta cobertura del dosel el mayor tiempo posible (Chakwizira et al., 2015; Reta et al., 2015). El objetivo del estudio fue determinar la relación entre el desarrollo del IAF con la capacidad de interceptación de radiación solar y el rendimiento de MS de brásicas forrajeras y cereales de otoño-invierno.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental Delicias del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, localizado en Delicias, Chihuahua, México a 28° 11' latitud norte y 105° 30' longitud oeste, con una altitud de 1178 m. La textura del suelo es franco arenoso en el estrato 0-30 cm y franco arcilloso arenoso en el estrato 30-60 cm. La preparación del terreno consistió en realizar un paso de arado, doble rastreo y nivelación del terreno. Antes de la siembra se aplicó un fertilizante nitrogenado de liberación lenta y fosfato monoamónico a dosis de 120 kg N ha⁻¹ y 80 kg P₂O₅ ha⁻¹.

La siembra se realizó en suelo seco el 29 de octubre de 2021, aplicando el riego de siembra dos días después. Las especies y cultivares evaluados fueron los siguientes: triticale facultativo cultivar TFX 20 (x *Triticosecale* Wittmack), triticale facultativo cultivar TFX 20 + rye grass cultivar Oregon, brásica cultivar Winfred (*Brassica oleracea* L. x *Brassica rapa* L.) y rábano forrajero cultivar Graza (*Raphanus sativus* L. x *Brassica oleracea* L., *Raphanus maritimus* L.). La parcela experimental fue de 16 surcos de 0.19 m de separación y 7 m de longitud. La parcela útil para estimar el rendimiento de forraje fue de 5.7 m², cosechando 12 surcos de 2.5 m de longitud. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Se realizaron dos cortes, el primero a los 70 días después de la siembra (dds), y el segundo a los 75 días después del primer corte. Para el primer periodo de producción se aplicaron el riego de siembra y un riego de auxilio (39 dds). Para el segundo periodo, se aplicaron tres riegos de auxilio (79, 93, y 129 dds),

con una lámina total durante el ciclo de 75 cm. Después del primer corte, previo al segundo y tercer riego de auxilio, se aplicaron 70 y 50 kg N ha⁻¹, respectivamente.

Se determinó semanalmente el índice de área foliar (IAF) en todas las parcelas del experimento. Para ello se utilizó un ceptómetro AccuPAR modelo Lp-80 PAR/LAI (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, USA). Se tomaron tres lecturas por parcela entre las 1200 y 1400 h tiempo solar. Se realizaron tres mediciones arriba y tres abajo del dosel, en forma paralela a la superficie del suelo. El sensor se colocó a un ángulo de 45° respecto a los surcos.

En cada cosecha se determinaron los rendimientos de forraje fresco y de materia seca (MS). El contenido de MS se obtuvo en una muestra al azar de 0.72 m², muestreando dos de los surcos centrales de cada parcela de 2 m de longitud. Las plantas muestreadas se secaron a 60 °C en una estufa de aire forzado hasta alcanzar peso constante. El rendimiento de MS se determinó multiplicando el rendimiento de forraje seco por el contenido de MS de cada parcela. Se realizaron análisis de regresión lineal para determinar la relación entre el IAF, intercepción de radiación solar y días con 95% de

intercepción de radiación solar con el rendimiento de MS en cada cosecha (SAS Institute, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones meteorológicas durante el ciclo

En el Tabla 1 se presentan las condiciones meteorológicas durante el desarrollo de los cultivos en los dos periodos de producción. Las mayores temperaturas ocurrieron durante el inicio del primer periodo (31 oct-30 nov) y al final del segundo periodo (1 marzo-23 marzo); mientras que las menores temperaturas se presentaron en el final del primer periodo (1 ene-7 ene) y en el inicio del segundo periodo de producción (8 enero-15 febrero). Estas condiciones favorecieron un crecimiento rápido en el inicio del desarrollo de los cultivos, mientras que las condiciones frías después del corte provocaron un rebrote y crecimiento inicial lento en el segundo periodo, con un crecimiento más rápido a partir del 16 de febrero (Figura 1). La precipitación fue escasa y sólo ocurrió en el primer periodo de producción. La evapotranspiración fue de 220.3 mm y 332.0 mm en el primero y segundo periodo de producción, respectivamente.

Tabla 1. Temperatura, precipitación y evapotranspiración durante el desarrollo de especies forrajeras en dos periodos de producción durante el ciclo 2021-2022 en Delicias, Chihuahua, México

Período	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)	Et (mm)
	Media de máximas	Media de mínimas	Media		
31 oct-15 oct	27.8	6.1	16.4	0	61.6
16 nov-30 nov	22.1	6.4	14.0	19	43.9
1 dic-15 dic	24.8	6.1	14.8	0	42.2
16 dic-31 dic	24.1	7.4	15.1	2.2	48.5
1 ene-7 ene	21.8	-0.9	10.2	0	24.1
8 ene-15 ene	20.5	3.2	11.8	0	25.9
16 ene-31 ene	19.7	0.8	10.4	0	51.1
1 feb-15 feb	19.0	-0.8	9.1	0	55.2
16 feb-28 feb	25.2	5.7	15.6	0	66.3
1 mzo-15 mzo	26.8	5.6	17.1	0	84.5
16 mzo-23 mzo	25.5	5.5	16.6	0	49.9

Et = evapotranspiración

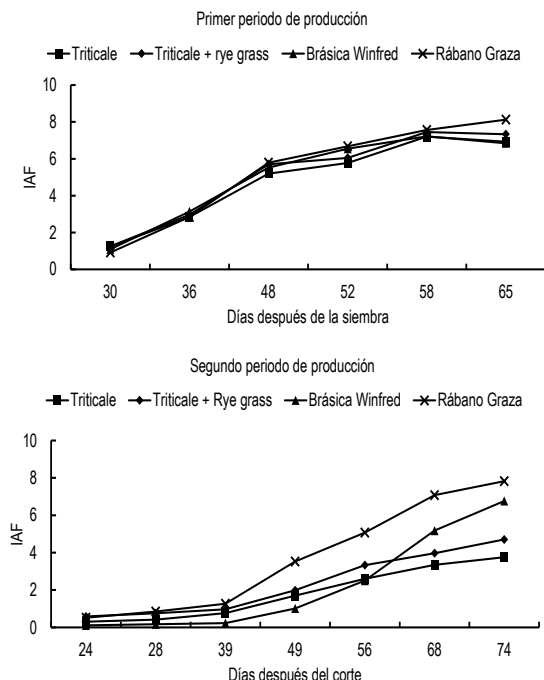


Figura 1. Índice de área foliar (IAF) durante el ciclo de crecimiento de especies forrajeras en dos periodos de producción.

Índice de área foliar durante el ciclo

El desarrollo del IAF durante el ciclo en las especies evaluadas fue similar en el primer periodo de producción con valores máximos de 6.85 a 8.12; mientras que en el segundo periodo las dos brásicas, Winfred y rábano Graza presentaron mayores valores al final del ciclo (6.76 a 7.82) respecto a los cultivos tradicionales, triticale y triticale+rye grass (3.75 a 4.70). El rábano Graza superó a las otras especies desde los 39 dds, mientras que brásica Winfred presentó mayores valores de IAF que los cultivos tradicionales desde los 62 dds hasta el corte (Figura 1).

Los valores de IAF observados en los dos periodos de producción en las brásicas fueron similares a los obtenidos por las mismas especies en la Comarca Lagunera (Reta et al., 2023), con valores de 7.20 a 6.44 en el primer periodo y de 6.26 a 8.03 en el segundo periodo. En los cereales, los valores del IAF observados en el primer periodo en la Comarca Lagunera en avena, triticale y trigo (4.20 a 6.08) fueron menores a los del presente estudio; mientras que en el segundo periodo los valores del IAF (2.92 a 4.48) fueron similares en ambos trabajos.

En el primer periodo de producción todas las especies presentaron un desarrollo del IAF mayor y

más rápido que el observado en el segundo periodo. Sin embargo, las brásicas mostraron mayor capacidad de recuperación del IAF después del corte (Figura 1). A los 48 dds las especies alcanzaron valores de IAF de 71.3 a 80.7% del total alcanzado en el primer periodo (6.85 a 8.12); mientras en el segundo, a los 49 dds sólo alcanzaron el 19.5 y 45.3% de los valores máximos producidos (3.75 a 7.82). Las brásicas del segundo periodo alcanzaron valores similares de IAF (6.76 a 7.82) a los observados en el primer periodo (6.85 a 8.12); mientras que el triticale y triticale+rye grass sólo alcanzaron valores de 54.7 a 67.8% del valor producido en el primer periodo (6.93 a 7.34). En la mezcla de triticale + rye grass, se logró incrementar el valor del IAF (25%) respecto al triticale al final del ciclo, aprovechando la alta capacidad de rebrote del rye grass (Reta et al., 2023).

En rábano, el mayor valor del IAF se asoció a una mayor capacidad de rebrote (94%) (Bell et al., 2020; Umami et al., 2022; Reta et al., 2023) y un mayor crecimiento a partir de los 39 dds, en tanto que en brásica Winfred, con un menor porcentaje de rebrote (65.8%), se debió a una mayor tasa de crecimiento en los últimos 18 días del ciclo (Figura 1). El retraso del rebrote de todas las especies y la menor tasa de crecimiento del IAF en el segundo periodo de producción (Figura 1), se relacionaron con la menor temperatura ambiental durante el inicio del periodo, con temperaturas medias de 9.1 a 10.4 °C en comparación a los 14.0 a 16.4 °C en el primer periodo (Tabla 1).

Intercepción de radiación solar

Para una máxima producción de MS, los cultivos tienen que alcanzar lo más pronto posible el IAF crítico que permita lograr una intercepción de radiación solar del 95%, y mantener esta cobertura lo más posible durante el ciclo. En el presente estudio, la intercepción de radiación solar durante el primer periodo de producción fue similar en las especies evaluadas, alcanzando el valor de 95% a los 45 dds y se mantuvo a niveles de 98 a 99% hasta el corte (Figura 2). En el segundo periodo se observaron diferencias entre especies en la capacidad de intercepción de radiación solar, con un incremento de la intercepción más lento respecto al observado en el primer periodo durante los primeros 40 días del desarrollo, con una lenta recuperación del IAF debido al proceso de rebrote. El rábano Graza y la brásica



Winfred fueron los primeros que alcanzaron el 95% de intercepción de radiación solar a los 56 y 68 dds, respectivamente; mientras que en el triticale y el triticale + rye grass se alcanzó su punto máximo de intercepción, 90 y 95%, respectivamente, a los 74 dds.

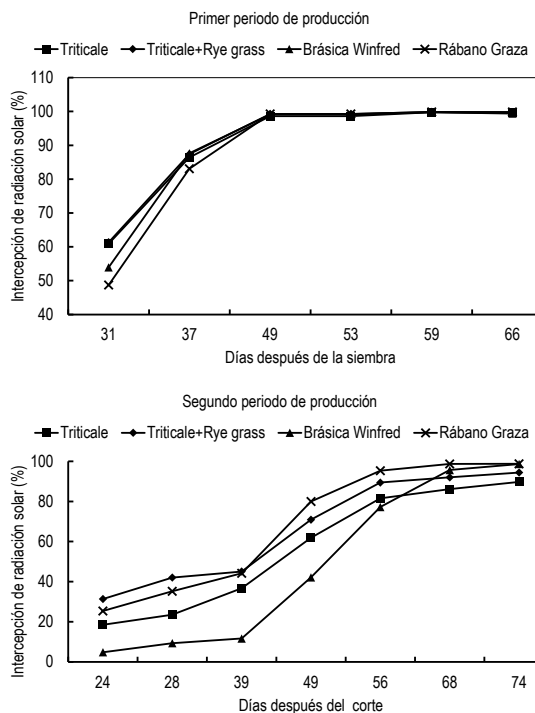


Figura 2. Intercepción de radiación solar durante el ciclo de crecimiento de especies forrajeras en dos periodos de producción.

Rendimiento de materia seca e intercepción de radiación solar

El rendimiento de MS en el primer periodo de producción alcanzó valores de 3,951 a 4,889 kg ha⁻¹; mientras que en el segundo periodo se presentó mayor variabilidad entre especies, con rendimientos similares en brásica Winfred, triticale y triticale+rye grass (5,545 a 5,857 kg ha⁻¹) y un mayor rendimiento en rábano Graza con 7,355 kg ha⁻¹ (Figura 3). Los rendimientos totales de MS fueron de 10,747 kg ha⁻¹ en brásica Winfred, 11,706 kg ha⁻¹ en rábano Graza, 9,428 kg ha⁻¹ en triticale y 9,983 kg ha⁻¹ en triticale+rye grass, en un periodo de 144 días. Los rendimientos de MS de las brásicas obtenidos en el estudio se encuentran dentro del intervalo reportado en otras áreas del mundo, los cuales alcanzan de 8,000 a 15,000 kg ha⁻¹ en un periodo de 80 a 150 días (Bell et al., 2020; Watt et al., 2021). También los

rendimientos de MS producidos fueron similares a los reportados por Reta et al. (2023) en la Comarca Lagunera con 12,016 kg ha⁻¹ en brásica Winfred, 10,480 kg ha⁻¹ en rábano Graza y 9,402 kg ha⁻¹ en triticale.

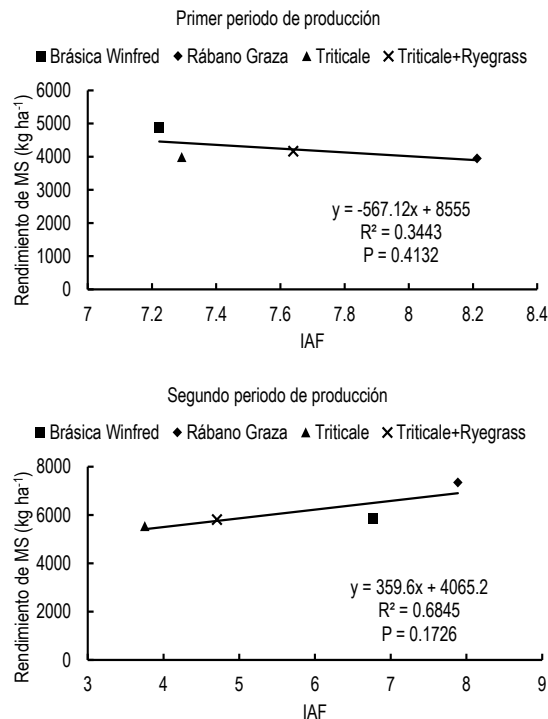


Figura 3. Relación entre el índice de área foliar (IAF) y el rendimiento de materia seca (MS) de especies forrajeras en dos periodos de producción.

En el primer periodo de producción no se observó relación significativa entre el IAF máximo de las especies evaluadas y el rendimiento de MS, debido a que las especies presentaron valores de IAF similares durante el ciclo. Por el contrario, en el segundo periodo, los mayores valores de IAF (Figura 3), y la mayor cantidad radiación solar interceptada debido al periodo más largo con 95% de cobertura en rábano Graza (Figura 4), se asociaron a los mayores rendimientos de MS respecto a las otras especies. En otros trabajos con brásicas, también se ha observado que las diferencias en producción de biomasa entre especies, se relacionan principalmente con la tasa de cobertura del dosel y la duración de esta cobertura, lo cual determina la cantidad de radiación aprovechada por el cultivo (Fletcher et al., 2012; Chakwizira et al., 2015).

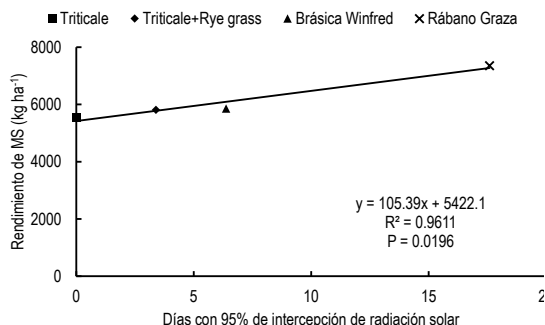


Figura 4. Relación entre días con 95% de intercepción de radiación solar con el rendimiento de materia seca (MS) de especies forrajeras en el segundo periodo de producción.

CONCLUSIONES

La buena capacidad de rebrote de brásicas forrajeras como el rábano Graza, les permite una mayor recuperación del IAF después del corte respecto a los cereales tradicionales de otoño-invierno triticale y triticale+rye grass, por lo que presentan una mayor y más temprana intercepción de radiación solar, lo cual resulta en un mayor rendimiento de MS.

LITERATURA CITADA

- Andrade, V. M., Montero, M. J. (2014). Nuevas proyecciones de cambio de precipitación y temperatura para el siglo XXI en el Norte de México. Herrera E, López M, Carrillo J editores.
- Memorias del segundo congreso cambio climático del Estado de Chihuahua. (pp. 26-35). Primera edición.
- Bell, L. W., Watt, L. J., Stutz, R. S. (2020). Forage brassicas have potential for wider use in drier, mixed crop-livestock farming systems across Australia. *Crop & Pasture Science*, 71(10), 924-943. <https://doi.org/10.1071/cp20271>.
- Chakwizira, E., de Ruiter, J. M. and Maley, S. (2015). Effects of nitrogen fertiliser application rate on nitrogen partitioning, nitrogen use efficiency and nutritive value of forage kale. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 58(3), 259-270. DOI:10.1080/00288233.2015.1016538
- Fletcher, A. L., Chakwizira, E., Maley, S., George, M. (2012). Canopy development and radiation use efficiency of four forage brassica crops.

Capturing opportunities and overcoming obstacle in Autralian Agronomy. Proceedings of the 16th ASA Conference, 14-18 October 2012, Armidale, Australia. www.agronomy.org.au. 4 p.

Kilic, U., Erisek, A., Garipoğlu, A. V., Ayan, I., Onder, H. (2021). The effects of different forage types on feed values and digestibilities in some brassica fodder crops. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Science*, 8(1), 94-102.

<https://doi.org/10.30910/turkjans.747031>

Reta, S. D. G., Sánchez, D. J. I., Ochoa, M. E., González, C. A. I., Reyes, G. A., Rodríguez, H. K. (2023). Rendimiento y valor nutricional de brásicas forrajeras en comparación con forrajes tradicionales. *Rev. Mex. Cienc. Pec.*, 14(1), 237-247. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i1.6225>.

Reta, S. D. G., Sánchez, D. J. I., Ochoa, M. E., Reyes, G. A., Rodríguez, H. K. (2022). Potencial forrajero de brásicas en comparación con cereales de otoño-invierno en la Comarca Lagunera. pp:731-738. Memoria de XXXIV Semana Internacional de Agronomía. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. 7 al 9 de septiembre de 2022. Venecia, Durango, México.

Reta-Sánchez, D. G., Serrato-Corona, J. S., Quiroga-Garza, H. M., Gaytán-Mascorro, A., Figueroa-Viramontes, U. (2015). Forage yield and chemical composition of canola (*Brassica napus* L.) as affected by sowing methods. *Grass and Forage Science*, 71, 281-290. doi:10.1111/gfs.12174

Sánchez, D. J. I., Serrato, C. J. S., Reta, S. D. G., Ochoa, M. E., Reyes, G. A. (2014). Assessment of ensilability and chemical composition of canola and alfalfa forages with or without microbial inoculation. *Indian Journal of Agricultural Research*, 48(6), 421-428. <https://doi.org/10.5958/0976-058x.2014.01325.0>

Santamaría, C. J., 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 Núm. 2. INIFAP-CIRNOC-CELALA. Cd. Matamoros, Coahuila, México.



- SAS Institute. The SAS system for windows, release 93. Cary, NC: Statistical Analysis Systems Inst; 2011.
- Villalobos, L. A., Brummer, J. E. (2015). Forage brassicas stockpiled for fall grazing: yield and nutritive value. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 1(1), 1-6. <https://doi.org/10.2134/cftm2015.0165>
- Umami, N., Prasojo, Y. S., Haq, M. S. (2022). Morphological characteristics and biomass production brassica rapa var. Marco during the dry season. *Animal Production*, 24(1), 31-36. <https://doi.org/10.20884/1.jap.2022.24.1.107>
- Watt, L. J., Bell, L. W., Cocks, B. D., Swan, A. D., Stutz, R. S., Toovey, A., De Faveri, J. (2021). Productivity of diverse forage brassica genotypes exceeds that of oats across multiple environments within Australia's mixed farming zone. *Crop & Pasture Science*, 72(5), 393-406. <https://doi.org/10.1071/CP21034>.