

Efecto del ciclo de producción sobre el potencial de rendimiento y calidad nutricional del maíz forrajero en la Comarca Lagunera

Jorge Alberto Granados-Niño¹
Juan Isidro Sánchez-Duarte²
Esmeralda Ochoa-Martínez²
Karla Rodríguez-Hernández²
David Guadalupe Reta-Sánchez³
Magali Jeaneth López-Calderón^{1§}

¹Facultad de Agricultura y Zootecnia-Universidad Juárez del Estado de Durango. Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo km 32, Venecia, Gómez Palacio, Durango, México. CP. 35000. (lmi_granados@hotmail.com).

²Campo Experimental La Laguna-INIFAP. Blvd. José Santos Valdéz 1200 Pte. Matamoros, Coahuila, México. (sanchez.juan@inifap.gob.mx; ochoa.esmeralda@inifap.gob.mx; rodriguez.karla@inifap.gob.mx). ³Campo Experimental Delicias-INIFAP. Carretera Delicias-Rosales km 2, Centro, Ciudad Delicias, Chihuahua, México. CP. 33000. (reta.david@inifap.gob.mx).

§Autora para correspondencia: magali.lopezcalderon@gmail.com.

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del ciclo de producción sobre el potencial de rendimiento y calidad nutricional del maíz forrajero en la Comarca Lagunera. El experimento se estableció en el Campo Experimental-INIFAP. Se utilizó el híbrido de maíz SB-302 en los ciclos agrícolas de primavera y verano bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones durante 2018, 2020 y 2021. La información se analizó con el PROC MIXED de SAS usando el ciclo agrícola como un efecto fijo y el año como efecto aleatorio. Se evaluaron los rendimientos de forraje verde (RFV) y seco (RFS), materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra ácido detergente (FDA), fibra neutro detergente (FDN), digestibilidad in vitro de la FDN a las 30 horas de incubación (DFDN-30 h), energía neta de lactancia (EN_L), almidón y lignina, producción potencial de leche por tonelada y por hectárea y rendimientos de FDN, DFDN-30 h y EN_L, almidón y lignina. El RFV y RFS fueron mayores en primavera que en verano por 8.8 y 3.7 t ha⁻¹, respectivamente. El ciclo de producción no afectó la MS, FDN, EN_L, almidón y lignina. Sin embargo, para el ciclo de primavera los contenidos PC, FDA y DFDN-30 h fueron mayores que en el verano con 0.57, 1.98 y 7.87%, respectivamente. Además, la producción potencial de leche por tonelada y los rendimientos de FDN, DFDN-30 h y EN_L fueron superiores en primavera que en verano. En general, el maíz sembrado en primavera presentó mayores rendimientos de forraje por hectárea y mejor digestibilidad de la fibra que el maíz sembrado en verano en la Comarca Lagunera.

Palabras clave: *Zea mays* L., forraje, primavera, verano.

Recibido: abril de 2022

Aceptado: julio de 2022

Introducción

El maíz es uno de los cultivos más importantes en México porque se utiliza para la alimentación humana y la nutrición animal. El maíz forrajero se distingue del maíz grano porque el primero se ofrece como rastrojo o ensilaje a los rumiantes. El potencial de rendimiento y calidad nutricional del maíz forrajero está influenciado por muchos factores agronómicos, pero los ciclos de producción de este cultivo influyen significativamente en los parámetros de producción y calidad nutricional del forraje (Fassio *et al.*, 2018).

La Comarca Lagunera es una de las zonas con mayor producción de maíz forrajero en México (SIAP, 2021). Las condiciones ambientales de esta región permiten producir maíz forrajero durante la primavera y el verano. La producción de maíz durante estos dos ciclos de producción permite que se cubra potencialmente la gran necesidad de forraje que demanda el ganado bovino lechero en esta zona. No obstante, la producción de forraje por hectárea y la calidad nutricional del forraje de maíz son afectadas por el ciclo de producción. Esto depende en gran parte a las condiciones climáticas que se presentan en cada ciclo de producción (Moore *et al.*, 2021).

El potencial de rendimiento y calidad del maíz forrajero pueden ser modificados por el efecto que tiene el ambiente sobre la fisiología de la planta. Este cultivo muestra una alta tasa fotosintética al incrementar la temperatura (Escalante *et al.*, 2008) e intensidad de luz (Velasco *et al.*, 2010). Si existe escasez de radiación solar en la planta de maíz desde que el cultivo tiene una cobertura total hasta su etapa reproductiva, el rendimiento de forraje por hectárea será limitado (Endicott *et al.*, 2015). Entonces, la temperatura ambiental es un factor clave para el crecimiento y desarrollo del maíz forrajero (Noriega *et al.*, 2011).

Todo esto es debido a que la temperatura promueve la fotosíntesis, la respiración y el crecimiento celular en las plantas. Generalmente las condiciones ambientales en la Comarca Lagunera durante la primavera y el verano son diferentes. Las fechas de siembra recomendadas para primavera son del 20 de marzo al 15 de abril y para el verano del 20 de junio al 30 de julio (Núñez *et al.*, 2011). Durante el ciclo de producción de verano se presentan temperaturas más elevadas que en el ciclo de producción de primavera, pero con una mayor precipitación durante el verano.

Consecuentemente, el periodo más húmedo del año está asociado principalmente al ciclo de verano. Adicionalmente, la temperatura nocturna alta durante el verano es un factor importante, ya que acelera el desarrollo del cultivo y reducen el rendimiento del maíz debido a la menor intercepción de radiación solar (Carter *et al.*, 2016; Lizaso *et al.*, 2018). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del ciclo de producción sobre el potencial de rendimiento y calidad nutricional del maíz forrajero en la Comarca Lagunera.

Materiales y métodos

Los experimentos se establecieron durante los ciclos de producción de primavera y verano de 2018, 2020 y 2021 en el Campo Experimental La Laguna del INIFAP en Matamoros, Coahuila, México. El sitio experimental se ubica en 25° 53' 31'' latitud norte y 103° 24' 11'' longitud oeste a una altitud de 1 116 m. El suelo donde se establecieron los experimentos tiene una textura arcillosa, con una densidad aparente de 1.07 g cm⁻³, un contenido de materia orgánica de 1.5% y pH de 8.4.

La preparación del terreno consistió en un barbecho, rastreo y nivelación con escrepa. En los tres años la siembra se realizó en suelo húmedo (tierra venida) con una sembradora John Deere garantizando una densidad de 90 000 plantas ha^{-1} . El manejo agronómico del cultivo en cada año y ciclo de producción se apegó a las recomendaciones de Núñez *et al.* (2011). En cada ciclo de producción se utilizó la variedad SB-302. Cada parcela experimental consistió en cuatro surcos de 0.75 m de ancho y 8 m de longitud. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Las fechas de siembra y cosecha en los tres años por ciclo de producción se pueden ver en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Fechas de siembra y cosecha en cada ciclo de producción durante tres años de estudio.

Concepto	2018		2020		2021	
	Primavera	Verano	Primavera	Verano	Primavera	Verano
Siembra	02/04/2018	03/07/2018	15/04/2020	15/07/2020	23/04/2021	15/07/2021
Cosecha	31/07/2018	10/11/2018	03/08/2020	31/10/2020	18/08/2021	03/11/2021

La dosis de fertilización que se aplicó en el ciclo de primavera fue de 300-80-00 y en verano de 280-80-00 unidades de nitrógeno, fósforo y potasio por hectárea, respectivamente. Esta dosis fue para garantizar que al cultivo no le faltaran nutrientes y así expresara su máximo potencial de producción. El total del fósforo se aplicó en la siembra, mientras que el nitrógeno se fraccionó aplicando 40% de la dosis total en la siembra y 60% antes del primer riego de auxilio.

En cada ciclo de producción se aplicaron cuatro riegos de auxilio a los 28, 47, 65 y 85 días después de la siembra. Estos riegos fueron independientes del riego de pre-siembra. Las láminas de riego aplicadas que se estimaron en cada riego variaron de 15 a 20 cm. Con estas láminas de riego se garantizó dar una lámina de riego total no menor a 70 cm durante todo el ciclo del cultivo. Se utilizó un sistema de riego por multi compuertas con agua de pozo del mismo sitio experimental.

Durante el desarrollo del cultivo en cada ciclo de producción se realizaron aplicaciones de Clorver[®] granulado planta por planta para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). Además, se aplicó clorpirifos (750 ml ha^{-1}) y cipermetrina (400 ml ha^{-1}) para el control de esta misma plaga. El control de la araña roja (*Tetranychus urticae*) se realizó con aplicaciones del insecticida Abamectina[®] (500 ml ha^{-1}). En cada ciclo de producción se monitorearon los días a floración masculina y femenina en cada unidad experimental. La floración masculina se registró cuando el tallo impulsó la panoja, quedando totalmente desplegada e inició la liberación del polen. La floración femenina se registró cuando aparecieron los estilos a través de las brácteas.

La cosecha del cultivo en cada ciclo de producción se llevó a cabo cuando el cultivo alcanzó la etapa fenológica de un tercio de la línea de leche de la madurez en el grano. Se utilizaron los dos surcos centrales como parcela útil; eliminando 1 m de cada extremo para excluir el efecto de orilla. El corte se realizó dejando aproximadamente 10 cm del tallo desde la base del suelo. En total se cosecharon seis metros de longitud para cada uno de los tratamientos (9.12 m^2). Antes de cosechar se contaron el número total de plantas de la parcela útil para estimar la densidad de plantas en cada ciclo de producción, se midió la altura de tres plantas tomadas al azar en los dos surcos centrales y se anotó la fecha de cosecha para tener los días después de la siembra (DDS). El forraje fresco de cada parcela útil se pesó para estimar el RFV por hectárea.

Del total de plantas completas cortadas de cada parcela útil se seleccionaron siete plantas al azar; cinco de ellas se diseccionaron en hojas, tallos, brácteas y mazorcas para estimar el porcentaje de mazorca en base seca. Las otras dos se picaron a un tamaño de partícula de 1 cm y se mezclaron para pre secarse en bolsa de papel en un invernadero durante 10 días consecutivos. De igual manera, fueron pres secados las muestras de plantas diseccionadas. Posterior a este pre secado, todas las muestras se secaron a 60 °C hasta peso constante en una estufa de aire forzado para determinar el contenido de MS.

El RFS se determinó multiplicando el RFV por hectárea por el contenido de MS de las muestras. Las plantas secas que se mezclaron de cada parcela útil fueron posteriormente molidas en una licuadora y consecutivamente en un molino utilizando una malla de 1 mm. En estas muestras se analizaron los contenidos de PC, FDN, FDA, lignina, DFDN-30 h, almidón, EN_L y cenizas. La determinación de la calidad nutricional se basó en las ecuaciones de predicción y bases de datos generadas por ‘Cumberland Valley Analytical Services (CVAS) y Rock River Laboratory’.

La calibración del equipo consideró el siguiente procedimiento: selección de la muestra al azar, toma de los espectros de la muestra, selección de los espectros que representan las muestra, análisis de laboratorio de la muestra seleccionada usando la metodología de referencia, confrontación de los resultados de la metodología de referencia con sus respectivos espectros, validación interna con las muestras y realización del análisis por la metodología de referencia y validación de la ecuación de calibración con los resultados de referencia de las muestras de validación interna. Una vez que la ecuación de calibración con los resultados de referencia de la validación interna fue satisfactoria, esta fue utilizada para el análisis de todas las muestras.

Los rendimientos de FDN, DFDN-30 h, lignina, almidón y EN_L fueron estimados considerando el contenido de estos nutrientes en el forraje y el rendimiento de MS por hectárea de cada parcela útil en cada ciclo de producción durante los tres años de estudio. La producción de leche por tonelada y por hectárea se estimó utilizando la calidad nutricional de cada híbrido con el programa Milk2006 desarrollado por la Universidad de Wisconsin, Madison, EUA (Shaver, 2007).

Análisis estadístico

La información del rendimiento de MS, calidad nutricional y rendimiento de calidad nutricional se analizó mediante un Anova de dos factores utilizando el procedimiento Mixed de SAS versión 9.3 (SAS, 2011). En el modelo estadístico se incluyó el efecto del año (2018 vs 2020 vs 2021), el ciclo de producción (primavera vs verano) y la interacción del año × ciclo de producción. El bloque se utilizó como un efecto aleatorio. Debido a que se encontró que la mayoría de las variables fueron afectadas por el año, ya que se observó un efecto significativo en la interacción año × el ciclo de producción y un efecto altamente significativo por el año, se decidió realizar un segundo análisis utilizando el año como un efecto aleatorio.

En el segundo análisis, la información del rendimiento de MS, calidad nutricional y rendimiento de la calidad nutricional se analizó mediante un Anova de un solo factor utilizando el procedimiento Mixed de SAS. En el modelo estadístico se incluyó el efecto del ciclo de producción (primavera vs verano) como efecto fijo y el año se utilizó como un efecto aleatorio. Se utilizó la prueba de Tukey-Kramer para comparar las medias de los tratamientos. Se declaró una diferencia estadística en todas las variables a un valor de $p \leq 0.05$ y una tendencia cuando $0.05 < p \leq 0.1$.

Resultados y discusión

Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas de los ciclos de producción durante los tres años de estudio se presentan en el Cuadro 2. Las temperaturas mínimas y medias en el ciclo de primavera fueron mayores hasta los 50 días después de la siembra (dds) comparadas con las del ciclo de verano. Durante el ciclo de crecimiento las temperaturas máximas fueron mayores en el ciclo de primavera, con una diferencia más grande entre ciclos durante y después de floración. La precipitación total fue mayor durante el verano.

Cuadro 2. Condiciones climáticas de temperatura y precipitación en primavera (P) y verano (V) durante tres años de estudio en el Campo Experimental La Laguna-INIFAP.

Concepto	2018		2020		2021		Promedio ciclo		Promedio año		
	P	V	P	V	P	V	P	V	2018	2020	2021
T. Máxima (°C)	34.93	32.42	34.59	28.76	33.73	32.35	34.42	31.18	33.68	31.68	33.04
T. Media (°C)	27.52	26.16	27.25	22.72	26.38	25.62	27.05	24.83	26.84	24.99	26
T. Mínima (°C)	19.58	20.23	19.92	16.67	19.33	18.89	19.61	18.6	19.91	18.3	19.11
Precipitación (mm)	18.2	222	5.26	18.56	49.4	65	24.29	101.85	120.1	11.91	57.2

Respecto a las condiciones climáticas por año, podemos observar en el Cuadro 2 que tanto las temperaturas (máxima, mínima y promedio) como las precipitaciones fueron muy variadas en cada año (2018, 2020 y 2021). Esto demuestra claramente porque el factor año de producción afectó estadísticamente las variables evaluadas cuando ocurrió o no interacción con el ciclo de producción. Por esta razón se decidió utilizar el año como un efecto aleatorio en el análisis estadístico.

Análisis de varianza mostrando el efecto del año, ciclo de producción y su interacción

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 3, 4 y 5) muestran los efectos del año, la estación y la interacción año \times ciclo de producción sobre las variables de rendimiento, calidad nutricional, leche y rendimiento de calidad nutricional en maíz forrajero. Hubo interacción año \times ciclo de producción para la mayor parte de las variables evaluadas, con excepción del porcentaje de mazorca, el porcentaje de brácteas y el RFS (Cuadro 3), los contenidos de FDN y lignina en el forraje (Cuadro 4) y los rendimientos de FDN, RDFDN30 h, EN_L, almidón y lignina (Cuadro 5).

En la mayoría de estas últimas variables que no fueron afectadas por la interacción año \times ciclo de producción, se observó que fueron afectadas estadísticamente por el año de producción, con una excepción para el contenido de lignina, el cual no fue afectado por ningún factor (Cuadro 4). Yang (2010), aconseja utilizar el análisis de modelos mixtos donde se use un efecto aleatorio cuando se usa un diseño de bloque completamente al azar si se quiere enfocar en hacer inferencia sobre el rendimiento promedio de un tratamiento individual más allá de un experimento actual.

Cuadro 3. Análisis de varianza mostrando el efecto del año, la estación de producción y su interacción sobre las variables de rendimiento de maíz forrajero sembrado en primavera y verano durante tres años en la Comarca Lagunera.

Fuente de variación	gl	F. fem. (DDS)	F. masc. (DDS)	DDS (días)	Altura (m)	RFV (t ha ⁻¹)	MS (%)	RFS (t ha ⁻¹)	Hojas (%MS)	Tallos (%)	Bráctea (%)	Mazorca (%MS)
Año (A)	2	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.5	0.03	0.03	0.0007	0.23	<0.0001	0.41	0.0002
Estación (E)	1	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.03	0.02	0.63	0.01	0.97	0.003	0.01	0.004
A × E	2	<0.0001	0.06	<0.0001	0.0004	0.01	0.004	0.91	0.05	0.002	0.17	0.27

F. fem= floración femenina; F. masc= floración masculina; DDS= días después de la siembra; RFV= rendimiento de forraje verde; RFS= rendimiento de forraje seco; gl= grados de libertad.

Cuadro 4. Análisis de varianza mostrando el efecto del año, la estación de producción y su interacción sobre las variables calidad nutricional de maíz forrajero sembrado en primavera y verano durante tres años en la Comarca Lagunera.

Fuente de variación	gl	PC (%MS)	FDA (%MS)	FDN (%MS)	DFDN-30 h (%FDN)	EN _L (Mcal kg ⁻¹ MS)	Almidón (%MS)	Lignina (%MS)
Año (A)	2	<0.0001	0.009	0.003	<0.0001	0.005	0.001	0.17
Estación (E)	1	0.02	0.02	0.7	<0.0001	0.37	0.11	0.95
A × E	2	0.01	0.01	0.48	<0.0001	0.02	0.08	0.99

PC= proteína cruda; FDA= fibra detergente ácida; FDN= fibra detergente neutra; DFDN-30 h= digestibilidad *in vitro* de la FDN a 30 h de incubación; EN_L= energía neta de lactancia; gl= grados de libertad.

Cuadro 5. Análisis de varianza mostrando el efecto del año, la estación de producción y su interacción sobre las variables de leche por tonelada y por hectárea y las variables de rendimiento de nutrientes de maíz forrajero sembrado en primavera y verano durante tres años en la Comarca Lagunera.

Fuente de variación	gl	Leche (kg t ⁻¹)	Leche (kg ha ⁻¹)	RFDN (kg ha ⁻¹)	RDFDN-30 h (kg ha ⁻¹)	REN _L (Mcal ha ⁻¹)	RAlmidón (kg ha ⁻¹)	RLignina (kg ha ⁻¹)
Año (A)	2	0.0009	0.006	0.001	0.003	0.0005	<0.0001	0.0004
Estación (E)	1	0.002	0.04	0.02	0.03	0.01	0.11	0.14
A × E	2	0.0002	0.007	0.8	0.69	0.74	0.43	0.81

RFDN= rendimiento de fibra detergente neutra; RDFDN 30 h= rendimiento de FDN digestible; REN_L= rendimiento de energía neta de lactancia; R = rendimiento; gl= grados de libertad.

Variables agronómicas y rendimiento de forraje

El Cuadro 6 muestra el efecto del ciclo de producción sobre algunas variables agronómicas en maíz forrajero en la Comarca Lagunera. La floración masculina y femenina del maíz forrajero en esta región fue cinco y ocho días más corta, respectivamente, en verano que en primavera ($p < 0.0001$). Similarmente, los días a los que se realizó la cosecha fueron nueve días menos en verano en comparación a la primavera ($p < 0.0001$). La altura de planta tendió a ser 32 cm mayor en verano que en primavera ($p = 0.07$).

Cuadro 6. Efecto del ciclo de producción sobre algunas variables agronómicas en maíz forrajero en la Comarca Lagunera.

Concepto	Primavera	Verano	EE	Valor de P
Floración masculina (días)	69 a	64 b	2	<0.0001
Floración femenina (días)	76 a	68 b	3	<0.0001
Días después de siembra	112 a	103 b	2	<0.0001
Altura (m)	2.42	2.74	0.12	0.07
Hojas (%MS)	17.47	17.43	1.02	0.97
Tallos (%MS)	26.91 b	31.25 a	3.74	0.02
Bráctea (%MS)	8.26 b	10.73 a	0.69	0.02
Mazorca (%de MS)	47.36 a	40.59 b	4.33	0.004

a, b= promedios dentro de cada fila con distinta letra difieren al nivel de probabilidad; EE= error estándar de la media.

El porcentaje de mazorca observado durante la primavera fue superior a la observada durante el verano ($p= 0.004$). Sin embargo, los porcentajes de bráctea fueron superiores en el verano ($p= 0.02$). Santiago *et al.* (2018) también observaron en maíz forrajero que la floración masculina y femenina es ocho días más corta en el verano que en primavera y la producción de grano fue 2.7 t ha^{-1} menor en el maíz forrajero sembrado en verano. Ellos atribuyeron la diferencia en producción de grano al tiempo de floración, ya que el maíz sembrado en primavera desarrolla mejor capacidad fotosintética debido a un estado vegetativo más prolongado que el maíz sembrado en verano.

Los rendimientos de FV y FS (Figura 1) también fueron afectados por el ciclo de producción. Los rendimientos de FV y FS fueron 8.8 y 3.7 t ha^{-1} mayores, respectivamente, en el maíz sembrado en primavera que en verano ($p < 0.05$). El rendimiento y la productividad del maíz forrajero (Santiago *et al.*, 2018) o grano (Franco *et al.*, 2016) es inferior en el verano. Este efecto ha sido asociado directamente a la diferencia en temperatura y precipitación entre ambos ciclos de producción (Brachtvogel *et al.*, 2009; Santiago *et al.*, 2018). La alta temperatura y escasa precipitación causa estrés en el maíz y hace que se acelere el desarrollo fisiológico del cultivo, resultando en una inhibición del desarrollo de la planta y reducción del área de la hoja (Santiago *et al.*, 2018).

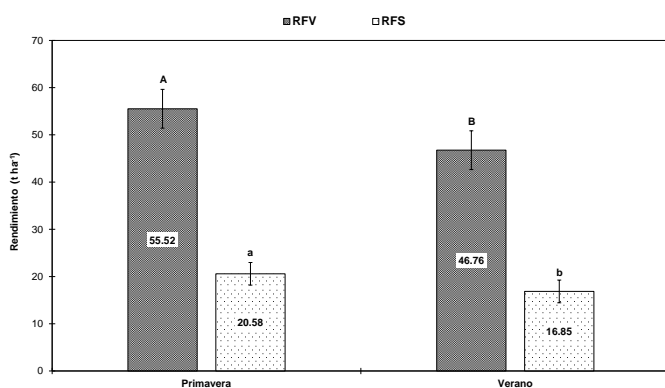


Figura 1. Rendimientos de forraje verde (RFV) y seco (RFS) en maíz forrajero en respuesta al ciclo de producción en la Comarca Lagunera. Medias con letra desigual dentro de cada categoría son estadísticamente diferentes (Tukey-Kramer: RFV ($p \leq 0.04$; EE= 4.1 t ha^{-1}) y RFS ($p \leq 0.008$; EE= 2.4 t ha^{-1}).

En el presente estudio, el menor rendimiento de MS en el ciclo de verano se relacionó a una reducción de su ciclo de crecimiento, resultado de una mayor temperatura durante el período de prefloración y posiblemente a un fotoperiodo más corto en la Comarca Lagunera, ya establecido en 12 h (Delgadillo *et al.*, 2012). Durante el ciclo de primavera, el fotoperiodo es más largo en esta región (14 h; Delgadillo *et al.*, 2012) y las menores temperaturas mínimas y medias hasta los 50 dds, provocaron un ciclo de crecimiento más largo, mayor desarrollo de mazorca y mayor acumulación de materia seca total.

Es bien conocido que el fotoperiodo más largo (Hunter *et al.*, 1977; Struik, 1983) y las temperaturas más frescas (Hunter *et al.*, 1977) propician una mayor producción final de materia seca en la planta de maíz. Esto ocurre principalmente porque el fotoperiodo influye en la altura final de la planta mediante un aumento en el número de entrenudos, longitud de los entrenudos y un mayor incremento del área de la hoja (Struik, 1983).

Calidad nutricional en maíz forrajero

Los parámetros de calidad nutricional del maíz forrajero sembrado en primavera y en verano se encuentran en el Cuadro 7. No hubo diferencia en el porcentaje de MS del forraje de maíz a la cosecha entre un ciclo de producción y otro ($p= 0.7$). Esto indica que los cambios en rendimiento de forraje y calidad nutricional no fueron afectados por diferencias en etapas de cosecha entre tratamientos. Tampoco se observaron diferencias estadísticas en los contenidos de FDN ($p= 0.69$), EN_L ($p= 0.45$), almidón ($p= 0.14$) y lignina ($p= 0.95$). Estos resultados fueron diferentes a los observados por Santiago *et al.* (2018), quienes encontraron 17% más FDN en el forraje del maíz sembrado en verano respecto al maíz de primavera.

Cuadro 7. Efecto promedio de tres años (2018, 2020 y 2021) del ciclo de producción sobre la calidad nutricional de maíz forrajero en la Comarca Lagunera.

Concepto	Primavera	Verano	EE	Valor de p
MS (% del forraje)	37.39	36.33	2.69	0.7
PC (%MS)	8.24 a	7.67 b	0.8	0.04
FDA (%MS)	30.04 a	28.06 b	1.05	0.05
FDN (%MS)	45.19	44.8	1.48	0.69
DFDN-30 h (%FDN)	57.39 a	49.52 b	4.31	0.01
EN_L (Mcal kg^{-1} MS)	1.32	1.3	0.02	0.45
Almidón (%S)	30.12	27.91	2.18	0.14
Lignina (%MS)	5.03	4.99	0.56	0.95

MS= materia seca; PC= proteína cruda; FDA= fibra ácido detergente; FDN= fibra neutro detergente; DFDN-30 h= digestibilidad *in vitro* de la FDN a las 30 h de incubación; EN_L = energía neta de lactancia. a, b= promedios dentro de cada fila con distinta letra difieren al nivel de probabilidad indicado; EE= error estándar de la media.

Los mismos autores también reportaron que la producción de grano, el peso del grano, el número de hileras por mazorca y el número de granos por hileras fueron estadísticamente superiores en el maíz de primavera respecto al maíz de verano, por lo que el contenido de almidón también pudo haber sido superior en la primavera que en el verano. En el estudio el mayor porcentaje de mazorca en el maíz de primavera no influyó el contenido de almidón en ambos ciclos de producción.

Las concentraciones de PC, FDA y DFDN-30 h fueron influenciadas por el ciclo de producción ($p < 0.05$). Los contenidos de PC, FDA y DFDN-30 h fueron 0.57, 1.98 y 7.87%, respectivamente, mayores en el forraje de maíz sembrado en primavera respecto al de verano. Entre estos nutrientes el de mayor importancia es la digestibilidad de la fibra, ya que forrajes con baja fibra digestible en vacas lecheras han demostrado reducir el consumo voluntario de alimento y la producción de leche (Oba y Allen, 1999). La mayor DFDN-30 h en el forraje de maíz sembrado en primavera se asoció a la menor proporción de tallos y la mayor proporción de mazorca (Cuadro 6) respecto al maíz de verano. Masoero *et al.* (2006) encontró que la mayor DFDN-30 h en la planta de maíz se encuentra en las hojas (49.81%), seguido por la mazorca (39.45%) y finalmente por los tallos (34.99%).

Producción potencial de leche y rendimiento de la calidad nutricional

La producción potencial de leche y el rendimiento de la calidad nutricional en el maíz forrajero sembrado en primavera y verano se muestra en el Cuadro 8. La producción de leche por hectárea en el maíz forrajero tendió a ser mayor en la primavera que en el verano ($p = 0.09$). No obstante, la producción potencial de leche por tonelada fue superior en el maíz de primavera respecto al maíz de verano ($p = 0.03$). Similarmente, los rendimientos de FDN, DFDN-30 h y EN_L fueron superiores en 1 772 kg ha⁻¹, 855 kg ha⁻¹ y 4 766 Mcal ha⁻¹, respectivamente, en el maíz de primavera que en el maíz de verano.

Cuadro 8. Efecto promedio de tres años (2018, 2020 y 2021) del ciclo de producción sobre la producción potencial de leche y el rendimiento de calidad nutricional en maíz forrajero en la Comarca Lagunera.

Concepto	Primavera	Verano	EE	Valor de <i>p</i>
Leche por tonelada (kg t ⁻¹)	1 491.66 a	1 392.86 b	49.36	0.03
Leche por hectárea (kg ha ⁻¹)	30 385	26 379	2 694	0.09
Rendimiento de FDN (kg ha ⁻¹)	9 329.63 a	7 557.65 b	1 125.64	0.01
Rendimiento de DFDN-30 h (kg ha ⁻¹)	4 255.87 a	3 400.92 b	560.05	0.02
Rendimiento de EN_L (Mcal ha ⁻¹)	26 854 a	22 088 b	3 218	0.009
Rendimiento de almidón (kg ha ⁻¹)	5 772.82	5 081.9	943.64	0.1
Rendimiento de lignina (kg ha ⁻¹)	1 037.81	865.81	202.8	0.12

FDN= fibra neutro detergente; EN_L = energía neta de lactancia; a, b= promedios dentro de cada fila con distinta letra difieren al nivel de probabilidad indicado; EE= error estándar de la media.

Tanto la producción potencial de leche por tonelada como el mayor rendimiento de la calidad nutricional observado en el maíz sembrado en primavera respecto al maíz de verano son debidos al mayor RFS y mejor calidad nutricional del forraje de maíz sembrado en primavera. Los rendimientos de almidón y lignina fueron similares entre el maíz de primavera y el de verano.

Conclusiones

El ciclo de producción afecta significativamente la producción de maíz forrajero en la Comarca Lagunera. El maíz sembrado en primavera presenta mayor rendimiento de forraje que el maíz de verano. Este efecto está asociado a un ciclo de crecimiento más largo y un mayor desarrollo de la mazorca, lo cual puede estar asociado a menores temperaturas mínimas y medias durante la etapa

de prefloración respecto a las condiciones del ciclo de verano. La calidad nutricional fue menos influenciada por el ciclo de producción. Los valores más sobresalientes fueron la mayor digestibilidad de la fibra y la superior producción potencial de leche por tonelada en el maíz sembrado en primavera respecto al maíz sembrado en verano.

La mayor digestibilidad de la fibra fue debido a la menor proporción de tallos y mayor proporción de mazorca durante la primavera. La mayor producción potencial de leche por tonelada en primavera es el resultado de un mayor rendimiento de forraje y una mejor digestibilidad de este forraje durante este ciclo de producción.

Literatura citada

- Brachtvogel, E. L.; Pereira, F. R. S.; Cruz, S. C. S. y Bicudo, S. J. 2009. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. *Ciência Rural*. 39(8):2334-2339. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000193>.
- Carter, E. K.; Melkonian, J. X.; Riha, S. J. and Shaw, S. B. 2016. Separating heat stress from moisture stress: analyzing yield response to high temperature in irrigated maize. *Environ. Res. letters*. 11(9):1-11. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/9/094012>.
- Delgadillo, A. J.; Duarte, G.; Flores, J. A.; Vielma, J.; Hernández, H.; Fitz, R. G.; Bedos, M.; Fernández, I. G.; Muñoz, G. M.; Retana, M. M. S. y Keller, M. 2012. Control de la actividad sexual de los caprinos sin hormonas exógenas: uso del fotoperiodo, efecto macho y nutrición. *Trop. Subtrop. Agroecosys*. 1(15):S15-S27.
- Endicott, S.; Brueland, B.; Keith, R.; Schon, R.; Bremer, C.; Farnham, D.; Bruin, J.; Clausen, C.; Strachan, S. and Carter, P. 2015. Corn growth and development. Pioneer Dupoint. United States, IA. 7-8 pp.
- Escalante, C. L.; Trejo, C. R.; Esquivel, A. O.; Arreola, A. J. G. y Flores, H. A. 2008. Comparación de tasas fotosintéticas en algunas plantas cultivadas y malezas. *Rev. Chapingo Ser. Zonas Áridas*. 7(2):165-172.
- Fassio, A.; Ibañez, W.; Fernández, E.; Cozzolino, D.; Pérez, O.; Restaino, E.; Pascal, A.; Rabaza, C. y Vergara, G. 2018. El cultivo de maíz para la producción de forraje y grano y la influencia del agua. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Serie técnica núm. 239. ISBN: 978-9974-38-390-6. Montevideo, Uruguay. 31-37 pp.
- Franco, A. A. N.; Vidigal, F. P. S.; Scapim, C. A.; Okumura, R. S.; Marques, O. J. and Numoto, A. Y. 2016. Effect of sowing time on the growth and yield of sweet corn (*Zea mays* L.) cultivated during fall-winter period in Subtropical climate. *Austr. J. Crop Sci*. 10(6):831-841. <https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.06.p7460>.
- Hunter, R. B.; Tollenaar, M. and Breuer, C. M. 1977. Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive growth of a maize (*Zea mays*) hybrid. *Canadian J. Plant Sci*. 57(4):1127-1133. <https://doi.org/10.4141/cjps77-167>.
- Lizaso, J. I.; Ruiz, R. M.; Rodríguez, L.; Gabaldon, L. C.; Oliveira, J. A.; Lorite, I. J.; Sánchez, D.; García, E. and Rodríguez, A. 2018. Impact of high temperatures in maize: phenology and yield components. *Field Crops Res*. 216(1):129-140. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.013>.
- Masoero, F.; Rossi, F. and Pulimeno, A. M. 2006. Chemical composition and *in vitro* digestibility of stalks, leaves and cobs of four corn hybrids at different phenological stages. *Italian J. Animal Sci*. 5(3):215-227. <https://doi.org/10.4081/ijas.2006.215>.

- Moore, C. E.; Meacham, Hensold, K.; Lemonnier, P.; Slattery, R. A.; Benjamin, C.; Bernacchi, C.; Lawson, T. and Cavanagh, A. P. 2021. The effect of increasing temperature on crop photosynthesis: from enzymes to ecosystems. *J. Exp. Bot.* 72(8):2822-2844. <https://doi.org/10.1093/jxb/erab090>.
- Noriega, L. A.; Preciado, R. E.; Andrio, E.; Terrón, A. D. y Covarrubias, J. 2011. Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz QPM h-374c. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(4):489-500.
- Núñez, H. G.; Faz, C. R.; Figueroa, V. U.; Sánchez, D. J. I.; Ochoa, M. E. y Ramírez, M. D. 2011. Producción de maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Desplegable para productores núm. 7. 2 p. INIFAP-CIRNOC Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila.
- Oba, M. and Allen, M. S. 1999. Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82(3):589-596. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75271-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75271-9).
- Santiago, L. U.; Rosales, N. C. A.; Santiago, L. E.; Santiago, L. N.; Preciado, R. P.; Palmo, G. A. and Real, D. 2018. Yield of forage, grain and biomass in eight hybrids of maize with different sowing dates and environmental conditions. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 9(1):86-104. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4403>.
- SAS, Institute. 2011. *Statistical Analysis System User's Guide*. SAS Institute. Cary, USA.
- Shaver, R. 2007. Evaluating corn silage quality for dairy cattle. Factor set. University of Wisconsin, Madison. 1-11 pp.
- SIAP. 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Base de datos de producción agrícola. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.a.php>.
- Struik, P. C. 1983. The effects of switches in photoperiod on crop morphology, production pattern and quality of forage maize (*Zea mays* L.) under field conditions. *Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen, Nederland.* 83(2):1-27.
- Velasco, S. P.; Pineda, S.; Méndez, A.; España, M. L.; Cárdenas, N. R.; Bayuelo, J. J. S.; Valle, J.; Figueroa, J. I.; Lobit, P. y Martínez, C. A. M. 2010. Reflectancia foliar, crecimiento y respuestas fisiológicas de maíz y tomate a un abrillantador óptico. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(1):45-52.
- Yang, R. C. 2010. Towards understanding and use of mixed-model analysis of agricultural experiments. *Canadian J. Plant Sci.* 90(5):605-627. <https://doi.org/10.4141/cjps10049>.