



Acumulación de materia seca, rendimiento y calidad nutricional del forraje de híbridos de maíz cosechados a diferentes días después de la siembra



Diego Eduardo Ramírez Gutiérrez ^a

José de Jesús Olmos Colmenero ^a

Alfonso Peña Ramos ^b

Juan Isidro Sánchez Duarte ^c

Ernesto Medina Núñez ^d

Silviano Gallardo Ramírez ^e

Omar Iván Santana ^{b*}

^a Centro Universitario de los Altos – Universidad de Guadalajara. Jalisco, México.

^b Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) – Campo Experimental Pabellón. Aguascalientes, México.

^c INIFAP – Campo Experimental La Laguna. Coahuila, México.

^d Escuela Nacional de Lechería Sustentable SPR de RL. Jalisco, México.

^e Proteína Animal S. A. de C.V. San Juan de los Lagos, Jalisco, México.

*Autor de correspondencia: santana.omar@inifap.gob.mx

Resumen:

El objetivo fue evaluar la acumulación de materia seca (MS) por componente, rendimiento y composición nutricional del forraje de cuatro híbridos de maíz cosechados a 121, 128, 135 y 142 días después de la siembra. En cada cosecha, se tomaron al azar cinco plantas y se

separaron en sus componentes (tallos, hojas, grano, olote, brácteas y espiga) y se determinó la MS; en una muestra compuesta de planta completa se analizó la composición química y digestibilidad *in situ*. La acumulación de grano en la MS total se incrementó de 35.8 a 43.9 % de los 121 a 142 días a cosecha, respectivamente, y diluyó a los demás componentes, sobre todo la proporción de tallo y de hojas, que decrecieron inversamente proporcional a la acumulación de grano. El contenido de MS total difirió entre híbridos de 3.8 y hasta 8.3 unidades porcentuales a mismos días a cosecha. Sin embargo, el híbrido no afectó el rendimiento de MS ni la producción de grano incrementándose 2.1 y 1.4 t ha⁻¹ entre cosecha, respectivamente. El contenido de FDN disminuyó y el almidón se incrementó (ambos linealmente), afectando la energía neta de lactancia que aumentó de 1.49 a 1.56 Mcal kg⁻¹ de los 121 a 142 días a cosecha, respectivamente. La interacción entre días a cosecha e híbrido afectó el contenido de almidón, el cual fue 5.2 unidades superior en un híbrido con similar contenido de CNF y FDN que sus contrapartes. Las digestibilidades de la MS, de la FDN y del almidón fueron afectadas por el híbrido, pero no por los días a cosecha.

Palabras clave: Almidón, Ensilaje de maíz, Vaca lechera.

Recibido: 12/09/2023

Aceptado: 15/02/2024

Introducción

En el norte y centro de México, el forraje de maíz es ampliamente utilizado como ensilado en las dietas de vacas lecheras⁽¹⁾, en donde representa entre el 40 y 60 % de la base seca de la dieta⁽²⁾. El nivel de inclusión del ensilado de maíz en la ración está en función del rendimiento y la calidad nutritiva del forraje⁽³⁾. En México, en los últimos 10 años, el rendimiento por hectárea de maíz forraje (en verde) en riego se ha mantenido relativamente sin cambios⁽⁴⁾. Lo anterior se asocia principalmente con una inadecuada selección de híbridos y cosechas tempranas^(2,5); lo cual merma el rendimiento de materia seca (MS) y el contenido de grano, que es donde se concentra el mayor valor energético del forraje⁽⁶⁾.

En el centro de México, la cuenca lechera de Aguascalientes y de los Altos norte de Jalisco comparten características agroclimáticas similares, contribuyen con el 9 y 19 % de la producción nacional de leche y se cultivan alrededor de 15,000 y 45,000 ha de maíz forraje en riego, respectivamente⁽⁴⁾. En esta región, la escasez de agua, la creciente demanda de ensilado de maíz y los altos costos de granos y concentrados instan a hacer una producción de maíz más eficiente por unidad de superficie y por m³ de agua utilizado⁽²⁾. Así pues,

incrementar el rendimiento y la calidad del forraje es preponderante para lograr una producción de leche más sustentable^(1,2,7).

La utilización de híbridos sobresalientes es el primer paso para tener alto rendimiento y calidad nutritiva del forraje⁽⁸⁾. La selección del híbrido y cosechar en una etapa de madurez óptima es esencial para lograr una máxima acumulación MS en el grano en un tiempo razonable^(8,9). El ensilado de maíz con mejor calidad nutricional y producido localmente puede desplazar de la dieta el grano de maíz importado y reducir costos de alimentación. Conforme se retrasan los días a cosecha, ocurre mayor acumulación de grano en la planta, incrementándose el valor energético del forraje al diluirse la proporción de otros componentes en la planta con menor digestibilidad⁽⁹⁾. No obstante, al incrementarse los días a cosecha para favorecer la acumulación de grano se disminuye la digestibilidad de la fibra detergente neutra (FDN), lo cual afecta negativamente el consumo de alimento en ganado lechero^(6,9). Así pues, la hipótesis del presente estudio fue que al retrasar los días a cosecha se incrementa el rendimiento de MS y acumulación de grano sin afectarse la digestibilidad de la MS y FDN que son mayormente influenciadas por el efecto de híbrido. Por consiguiente, el objetivo fue determinar la respuesta de cuatro híbridos cosechados a 121, 128, 135 o 142 días en la acumulación de MS por componente, rendimiento de MS total, composición bromatológica y digestibilidad de la MS, FDN y almidón.

Material y métodos

Área de estudio y diseño experimental

El estudio se realizó bajo condiciones de riego con goteo superficial en el ciclo PV-2019 en un predio ubicado en San Juan de los Lagos, Jalisco (21°17'40" N y 102°18'01" O) a 1,838 msnm; en donde el clima es templado semi-seco con una precipitación media de 600 mm. El suelo es alcalino (pH 7.8) con un 1.9 % de contenido de materia orgánica y 71 mg kg⁻¹ de N inorgánico. Se utilizó un diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones, en donde la parcela grande fue el híbrido y las parcelas chicas los días a cosecha. Los híbridos utilizados fueron DK-4018 (H1, Dekalb®), Noble (H2, Aspros®), Antílope (H3; Asgrow®) y XR-49 (H4, Ceres®); los cuales se seleccionaron por tener un rendimiento superior a la media de una evaluación local en el año anterior. Todos los híbridos fueron de ciclo intermedio y grano blanco semi-dentado. La cosecha se realizó a los 121, 128, 135 y 142 días después de la siembra, lo cual correspondió aproximadamente a una etapa de madurez de grano aproximada a R2, R3, R4 y R5, respectivamente. La parcela experimental fueron cuatro surcos de 5.0 m de largo y 0.75 m de ancho, y la parcela útil los dos surcos centrales. La siembra se realizó el 30 de mayo en suelo húmedo depositando la semilla manualmente a 15 cm de distancia en el fondo del surco; la densidad de población a cosecha promedió en 93,211 ± 2,090 plantas ha⁻¹.

Manejo agronómico, toma de datos y muestreo

Previo a la siembra entre el primer y segundo paso de rastra se aplicaron 4 t ha⁻¹ de composta de bovino y gallinaza con una concentración de 1.1% de N y 0.8% de P; adicionalmente se aplicaron 200 kg de nitrato de amonio entre las etapas vegetativas V3 y V6. El total de N disponible en el suelo para el cultivo se estimó en 340 kg ha⁻¹. No se presentaron enfermedades y solo fue necesario una aplicación para gusano cogollero (*Spaidoptera frugiperda*) en etapa V3 que se controló con una aplicación de clorantraniliprol (Coragen, FMC®, Mobile, AL). La precipitación y las temperaturas mínima y máxima se registraron en una estación meteorológica (Em50, Meter Group Inc., Pullman, WA) ubicada a 80 m del terreno experimental. Los grados días de desarrollo (GDD) se calcularon como la diferencia entre la temperatura media y la temperatura base del maíz (10 °C). La floración se registró cuando el 50 % de la parcela experimental exhibió inflorescencia masculina (espigas liberando polen) e inflorescencia femenina (estigmas en el jilote).

A los 121, 128, 135 y 142 días después de la siembra (DDS), se cosecharon el total de plantas de parcela útil a 15 cm sobre nivel del suelo y se registró el peso fresco total. Una muestra aleatoria de cinco plantas completas se separó en cinco componentes: elote, tallo, hojas, espiga y brácteas. Cada componente se pesó en fresco y se introdujo en bolsas de papel para secar a 55 °C hasta peso constante para determinar MS. Después de secar, el elote se separó en olote y grano, y las muestras de cada componente se molieron (SR300 Retsch®, Staufen, Alemania) para pasar una criba de 1 mm; posteriormente se hizo una muestra compuesta de 100 g (peso seco) de planta completa en proporción de cada componente al peso seco total. La muestra completa se utilizó para realizar análisis bromatológicos y de digestibilidad *in situ*.

Análisis bromatológicos y de digestibilidad

Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio de forrajes de la Unión de Cooperativas de Consumo Alteñas S.C. de R.L. (UCCA, San Juan de los Lagos, Jal.). El contenido de cenizas se determinó al introducir 1.0 g de muestra en un crisol e incinerar a 550 °C por 6 h en una mufla. El contenido de FDN y FDA se determinó de manera secuencial en 0.5 g de muestra introducida en bolsa F-57 en el analizador de fibras (A200, Ankom Tech., Macedonia, NY); primero se realizó la determinación de FDN utilizando alfa-amilasa y sulfito de sodio y enseguida la determinación de FDA en solución de CTAB y H₂SO₄. La concentración de nitrógeno (N) total se determinó con el procedimiento de Dumas en combustión en seco (Leco FP-528, St. Joseph, MO) y el contenido de proteína cruda (PC) se calculó como % N × 6.25. El contenido de almidón se determinó con el procedimiento enzimático-colorimétrico⁽¹⁰⁾. Inicialmente se liberó la glucosa al incubar 1.0 g de muestra a 100 °C por 1 h en 30 ml de solución buffer de acetato 100 mM a pH 5.0 y se adicionaron 100

μ l de alfa-amilasa (Megazyme Ltd., Wicklow, Irlanda), enseguida la reacción se incubó por 2 h a 50 °C en 3 ml de solución GOPOD (Megazyme Ltd., Wicklow, Irlanda) y después se determinó la absorbancia a 505 nm en un espectrofotómetro de luz visible (Genesys 10S, Thermo Sci., Madison, WI). Finalmente, el contenido de extracto etéreo (EE) se analizó con el método gravimétrico en el equipo Golfish (Novatech GF-6, Tlaquepaque, Jal.) utilizando hexano como solvente.

La digestibilidad se determinó *in situ* utilizando dos vacas rumen-fistuladas entre los 70 y 95 días en leche (ENLS, Zapotlanejo, Jal.) alimentadas con una ración totalmente mezclada compuesta de 50 % ensilado de maíz, 25 % grano de maíz molido y 25 % de núcleo proteico-mineral. Primeramente, 4.5 g de muestra se introdujeron en bolsas de dacrón de 10 × 20 cm (R1020, Ankom Tech., Macedonia, NY) y se aseguraron con un cincho. Las muestras en duplicado se introdujeron en el saco ventral del rumen para determinar la digestibilidad de la MS, la digestibilidad de la FDN (DFDN) a 48 h, la fracción no digestible de la FDN (uFDN) a 120 h y digestibilidad del almidón a 12 y 24 h. Todas las muestras fueron removidas simultáneamente y se enjuagaron en un ciclo de 12 min en una lavadora hasta obtener agua clara. Posteriormente, las bolsas se secaron a 55 °C hasta peso constante para calcular la digestibilidad de la MS por diferencia de peso inicial vs final; la DFDN, uFDN y la digestibilidad del almidón se calcularon al analizar el residuo de la bolsa con los procedimientos ya descritos para FDN y almidón.

Análisis estadísticos

Todos los datos fueron analizados en el programa estadístico R (R Studio Inc., Boston, MA) utilizando el paquete *agricolae* y la instrucción *aov* para el análisis de varianza (ANOVA) con el siguiente modelo:

$$Y = \mu + A_i + H_j + \delta_{ij} + D_k + (H \times D)_{jk} + E_{ijk}$$

En donde:

Y es la variable respuesta,

μ es la media general,

A es el efecto aleatorio de la repetición i ($i= 1$ a 4),

H es el efecto fijo del j -ésimo híbrido ($j= 1$ a 4),

δ es el error experimental asociado con la parcela grande (híbrido),

D es el efecto fijo del k -ésimo días a cosecha ($k= 1$ a 4),

$(D \times H)$ es la interacción entre híbrido y días a cosecha,

E_{ijk} es el error residual. Para los datos de digestibilidad, se incluyó el efecto aleatorio de la vaca ($l = 1$ a 2) empleando el modelo antes descrito.

Todos los datos son medias de cuadrados mínimos y la significancia estadística se declaró a $P \leq 0.05$. Las medias de híbridos y de días a cosecha cuando se detectó un efecto lineal o cuadrático, se separaron utilizando la prueba de Tukey (*TukeyHSD test*).

Resultados y discusión

Floración, días a cosecha y acumulación de GDD

Los días a floración fueron de 73 para los híbridos H1, H2 y H3 y de 71 para el híbrido H4. Los días a cosecha fueron el 29 de septiembre (121 días), 6 de octubre (128 días), 13 de octubre (135 días) y 20 de octubre (142 días); para cada fecha se acumularon 1,266, 1,329, 1,397 y 1,470 GDD, respectivamente. En los primeros 34 días del cultivo, la temperatura media promedió en 25 °C y después fluctuó entre los 19 y 23 °C.

Acumulación de MS por componente

Como se muestra en el Cuadro 1, el análisis de varianza no detectó interacciones significativas entre DDS e híbrido en cinco componentes de la planta, con la excepción en porcentaje de olote ($P=0.01$) en donde las diferencias fueron mínimas. Los componentes con menor proporción fueron espiga, olote y brácteas; los cuales se mantuvieron relativamente con similar proporción en las cuatro cosechas y juntos sumaron alrededor del 14.5 % de la MS total. En contraste, los componentes de mayor proporción fueron tallo, hojas y grano, incrementándose el porcentaje de este último al avanzar en días a cosecha.

Cuadro 1: Acumulación de materia seca (MS) por componente de la planta, contenido de MS y rendimiento en planta completa de cuatro híbridos cosechados a diferentes días después de la siembra (DDS)

	Componente, % de la MS total						Planta completa	
	Tallo	Hojas	Espiga	Grano	Olote	Brácteas	MS, %	MS, t/ha
DDS ¹								
121	20.4 ^A	28.3 ^A	0.8	35.8 ^C	6.7	8.0 ^A	25.8 ^D	24.9 ^C
128	18.6 ^B	26.2 ^B	0.8	40.2 ^B	6.6	7.6 ^B	29.5 ^C	25.7 ^C
135	18.7 ^B	25.6 ^B	0.8	41.7 ^B	6.4	6.8 ^{BC}	34.6 ^B	30.3 ^B
142	19.3 ^B	23.3 ^C	0.6	43.8 ^A	6.4	6.6 ^C	37.8 ^A	33.3 ^A
Híbrido ²								
H1	19.7 ^b	25.8	0.7 ^b	39.9 ^b	6.2	7.7 ^a	32.3 ^b	29.0
H2	19.2 ^b	26.7	0.6 ^b	39.7 ^b	7.0	6.8 ^b	29.0 ^c	28.1
H3	17.3 ^c	25.3	0.7 ^b	42.0 ^a	6.7	8.0 ^a	35.2 ^a	28.9
H4	20.7 ^a	25.6	1.0 ^a	40.0 ^b	6.1	6.6 ^b	31.2 ^b	28.3
EEM	0.354	0.451	0.025	0.481	0.074	0.163	0.885	0.791
DDS	Q**	L**	NS	Q*	NS	L**	L**	L**
Híbrido	< 0.01	0.184	< 0.01	< 0.01	NS	< 0.01	< 0.01	0.805
D × H	0.662	0.089	0.468	0.226	0.013	0.061	0.014	0.865

¹Fecha de siembra: 30 de mayo de 2019.

²Híbrido: (H1: DK-4018; H2: Noble; H3: Antílope; H4: XR-49).

EEM= error estándar de la media; DDS= respuesta de días a cosecha lineales (L) o cuadráticos (Q) denotada por: *0.01 < P ≤ 0.05 y ** (P < 0.01), D × H= interacción entre DDS e híbrido, NS= no significativo.

^{ABC} Medias con diferente literal en mayúscula difieren estadísticamente en DDS (P < 0.05)

^{abc} Medias con diferente literal en minúscula difieren estadísticamente entre híbridos (P < 0.05).

El porcentaje de tallo exhibió una respuesta cuadrática (P < 0.01) al disminuir de 121 a 128 días a cosecha y a partir del cual se mantuvo sin cambios significativos. Además, se observó que el híbrido afectó el porcentaje de tallo (P < 0.01), el H4 superó al H1, H2 y H3 con 1.1, 1.6 y 3.5 unidades, respectivamente. El porcentaje de hojas decreció linealmente (P < 0.01) al disminuir 1.2 unidades porcentuales entre cada cosecha, pero no se detectaron efectos de híbrido en este componente. El porcentaje de grano se incrementó de manera cuadrática (P = 0.02) con los días a cosecha al aumentar 4.5 unidades porcentuales de los 121 a los 128 días, y entre 0.6 y 2.2 unidades de los 135 y 142 días respectivamente. El híbrido H3 superó en porcentaje de grano a los híbridos H1, H2 y H4 con 2.1, 2.3 y 2.1 unidades, respectivamente. El mayor incremento en proporción de grano de 121 a 128 correspondió con una disminución del porcentaje de tallo en ese mismo lapso.

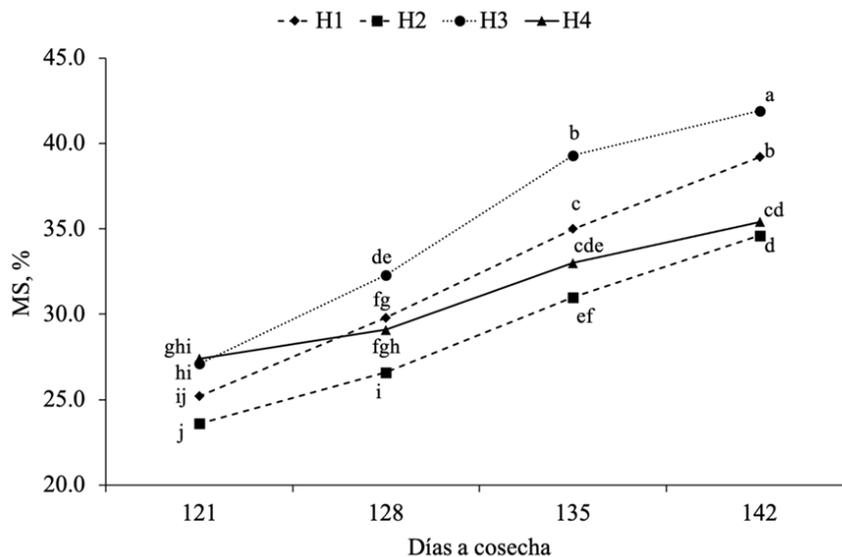
La proporción de espiga no fue afectada por los días a cosecha, pero sí se detectaron diferencias entre híbridos (P < 0.01) que pueden ser no trascendentales en la composición total de la planta por su baja proporción a la MS total. El porcentaje de olote no fue afectado por

los días a cosecha o híbrido y se mantuvo relativamente constante al promediar en 6.5 ± 0.3 % de la MS total. La proporción de brácteas exhibió una respuesta lineal ($P < 0.01$) al decrecer a razón de 0.3 unidades porcentuales entre cada cosecha; también se detectó diferencia entre híbridos ($P < 0.01$) y fue mayor en H1 y H3 comparado a los híbridos H2 y H4 (7.7 y 8.1 vs 6.8 y 6.6 %, respectivamente). Los híbridos H1 y H3 con mayor proporción de brácteas también tuvieron mayor acumulación de grano.

Contenido y rendimiento de MS de planta completa

La interacción entre híbrido y días a cosecha afectó el contenido de MS ($P < 0.01$), como se muestra en la Figura 1. Los híbridos H3 y H2 fueron los que tuvieron en las cuatro cosechas el mayor y menor contenido de MS, respectivamente; en tanto que el híbrido H1 exhibió una acumulación de MS casi lineal e intermedia entre H3 y H2. En contraste, el híbrido H4 mostró mayor variación en acumulación de MS entre cada cosecha. Esas discrepancias pueden estar asociadas mayormente a la acumulación de grano, pero también podría ser que el carácter *stay-green* (del inglés ‘que permanece verde’) de cada híbrido para conservar la humedad (principalmente en los tallos) afectara el contenido de MS⁽¹¹⁾. La acumulación de MS se incrementó linealmente ($P < 0.01$) a razón de 3 unidades porcentuales semanales equivalentes a 0.4 % por día (Cuadro 1). Se ha reportado que la acumulación de MS es de alrededor de 0.7 a 1.0 % por día en condiciones templadas^(12,13). En el presente estudio, el riego por goteo y la distribución regular de lluvias registrada en el ciclo, podría haber ayudado a mantener constante la humedad en el suelo y reducir la pérdida de humedad de la planta.

Figura 1: Contenido de materia seca (MS, %) en el forraje de cuatro híbridos de maíz (H1= DK-4018, H2= Noble, H3= Antílope y H4= XR-49) cultivados en condiciones de riego y cosechados a 121, 128, 135 y 142 días después de la siembra



Medias con diferente literal difieren estadísticamente ($P < 0.05$).

La producción de MS se incrementó linealmente ($P<0.01$) a razón de 2.1 t ha^{-1} por semana, pero no hubo efecto de híbrido pese a la interacción detectada en el contenido de MS. El aumento en producción de MS se debió principalmente a la acumulación de grano, ya que fue el único componente que incrementó en proporción a la MS total con los días a cosecha. La producción de grano (t ha^{-1}) se incrementó linealmente con los días a cosecha ($P<0.01$) y fue de 8.9, 10.3, 12.6 y 14.6 t ha^{-1} a los 121, 128, 135 y 142 días a cosecha, respectivamente; pero no se detectó efecto de híbrido o su interacción con los días a cosecha.

Composición química

Con la excepción del contenido de PC y EE, las demás variables bromatológicas se afectaron por los días a cosecha e híbrido (Cuadro 2). Los contenidos de PC y EE se mantuvieron dentro de los rangos normales y relativamente estables, con diferencias significativas entre híbridos, pero éstas fueron mínimas. En contraste, los valores de FDN, FDA, CNF y almidón difirieron en mayor grado con los días a cosecha y entre híbridos. El contenido de FDN disminuyó linealmente ($P<0.01$) a razón de 1.6 unidades porcentuales entre cada cosecha; mientras que la proporción de FDA se incrementó linealmente ($P<0.01$) a razón de 0.9 unidades porcentuales por semana. También se detectaron diferencias entre híbridos para los contenidos de FDN y FDA (ambos $P<0.01$), en donde los híbridos H3 y H4 acumularon menor porcentaje de FDN y FDA que H1 y H2 (Cuadro 2). Estos hallazgos difieren de lo reportado en un estudio local en el cual la FDN y FDA se redujeron alrededor de 3.1 y 1.0 unidades porcentuales, respectivamente, en un lapso de 10 días⁽¹⁴⁾. En otra investigación en donde se realizaron cuatro cosechas a similar contenido de MS, también se reportó una reducción de FDN y FDA; lo cual se atribuyó a la dilución de estos componentes por el aumento en porcentaje de grano⁽⁹⁾. En el presente trabajo, se especula que la baja altura de corte (15 cm) a la que se cosechó pudo haber influido en tener más celulosa a expensas de hemi-celulosa; lo cual ha sido documentado en otros trabajos en los que el tallo más bajo acumula más FDA y lignina^(15,16).

Cuadro 2: Composición química de la materia seca (MS) en planta completa de maíz de cuatro híbridos cosechados a diferentes días después de la siembra (DDS)

	% MS ¹							
	PC	FDN	FDA	ALM	CNF	EE	CEN	ENL Mcal kg ⁻¹
DDS ²								
121	8.0	52.1 ^A	22.5 ^D	19.8 ^D	30.9 ^D	2.4	6.6 ^A	1.49 ^D
128	7.8	49.9 ^B	24.2 ^C	20.9 ^C	33.4 ^C	2.6	6.3 ^A	1.51 ^C
135	7.5	48.3 ^C	24.8 ^B	23.2 ^B	35.1 ^B	2.8	6.3 ^A	1.52 ^B
142	7.9	45.6 ^D	25.9 ^A	25.4 ^A	38.1 ^A	2.8	5.6 ^B	1.56 ^A
Híbrido ³								
H1	7.6 ^c	49.5 ^a	25.1 ^a	20.6 ^d	33.6 ^b	2.8 ^b	6.5 ^a	1.51 ^b
H2	7.3 ^d	49.4 ^a	25.0 ^a	21.5 ^c	34.5 ^{ab}	2.2 ^d	6.6 ^a	1.50 ^c
H3	7.9 ^b	48.7 ^b	23.7 ^b	25.2 ^a	34.5 ^a	3.0 ^a	5.9 ^b	1.54 ^a
H4	8.5 ^a	48.2 ^b	23.7 ^b	22.0 ^b	34.7 ^a	2.7 ^c	5.9 ^b	1.53 ^a
EEM	0.020	0.246	0.062	0.034	0.286	0.022	0.064	0.006
DDS	NS	L**	L**	L**	L**	NS	Q*	L*
Híbrido	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.042	< 0.01	< 0.01	< 0.01
D × H	0.610	0.054	0.201	< 0.01	0.072	< 0.01	< 0.01	0.060

¹Expresado en % de materia seca (MS) total de planta completa, a menos que se indique lo contrario.

PC= proteína cruda, FDN= fibra detergente neutro, FDA= fibra detergente ácido, ALM= almidón, CNF= carbohidratos no fibrosos, EE= extracto etéreo, CEN= cenizas; ENL= energía neta de lactancia calculada con la composición química aquí presentada y digestibilidad de la FDN a 48 h (Eq. 2.11; NRC, 2001).

²Fecha de siembra: 30 de mayo de 2019.

³Híbrido: (H1= DK-4018; H2= Noble; H3= Antílope; H4= XR-49).

EEM= error estándar de la media; DDS= respuesta de días a cosecha lineales (L) o cuadráticos (Q) denotados por: *0.01 < P ≤ 0.05 y ** (P < 0.01), D × H = interacción entre DDS e híbrido, NS= no significativo.

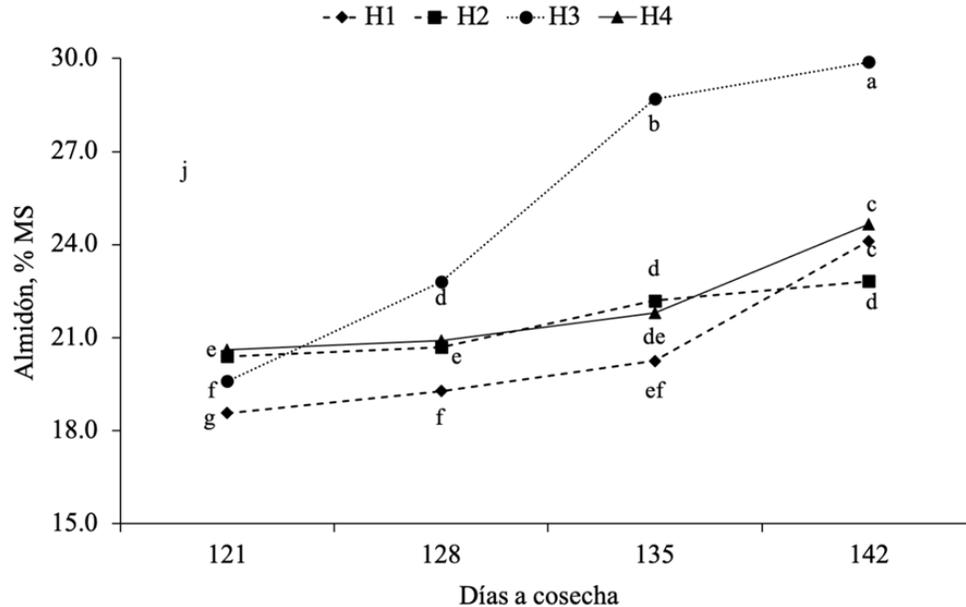
^{ABC} Medias con diferente literal en mayúscula difieren estadísticamente en DDS (P ≤ 0.05)

^{abc} Medias con diferente literal en minúscula difieren estadísticamente entre híbridos (P ≤ 0.05).

El contenido de CNF se incrementó linealmente (P < 0.01) a razón de 1.8 unidades porcentuales por semana. El aumento en CNF fue inversamente proporcional al decremento en FDN. Aunque hubo diferencias en CNF entre híbridos (P < 0.01), éstas fueron mínimas de 0.9 al 1.1 % y solo difirió el híbrido H1 con el menor contenido de CNF. En el presente estudio, los valores obtenidos de CNF a los 135 o 142 días a cosecha fueron inferiores a los reportados en otras investigaciones a similares días a cosecha^(9,14). La acumulación de almidón fue afectada por la interacción entre días a cosecha e híbrido (P < 0.01); el híbrido H3 superó consistentemente a los demás materiales a los 128, 135 y 142 días a cosecha, excepto a los 121 días a cosecha, cuando el contenido de almidón difirió levemente entre híbridos (Figura 2). Lo anterior podría estar relacionado a la variabilidad observada en acumulación de MS y de grano que afecta la síntesis de almidón en el grano⁽¹⁷⁾. En días a

cosecha, se detectó un efecto lineal ($P<0.01$) en la acumulación de almidón, el cual se incrementó a razón de 1.4 unidades entre cosecha.

Figura 2: Contenido de almidón en la materia seca (MS) del forraje de cuatro híbridos de maíz (H1= DK-4018, H2= Noble, H3= Antflope y H4= XR-49) cultivados en condiciones de riego y cosechados a 121, 128, 135 y 142 días post-siembra



abcdfg Medias con diferente literal difieren estadísticamente ($P\leq 0.05$).

Digestibilidad

En el Cuadro 3 se presentan los parámetros de digestibilidad evaluados a diferente tiempo de incubación *in situ*. No se detectaron interacciones entre híbrido y días a cosecha para ninguno de los parámetros evaluados. Contrario a lo esperado, los días a cosecha no afectaron ni digestibilidad de la MS, la digestibilidad de la FDN (DFDN) y tampoco la del almidón. Estos hallazgos difieren de lo reportado en otros estudios en los que la DFDN a 36 o 48 h disminuye al retrasar los días a cosecha y la madurez de la planta^(14,18). Por otra parte, los valores de DFDN aquí reportados, son inferiores a los reportados en otros trabajos locales utilizando el mismo método *in situ* y tiempo de incubación^(14,19). Por otra parte, la digestibilidad de la MS y DFDN se afectaron por el híbrido ($P=0.02$ y $P=0.01$, respectivamente). El híbrido H1 que tuvo la mayor digestibilidad de MS también obtuvo la superior DFDN. El incremento en DMS se asocia con la acumulación de grano, mientras que la disminución se atribuye a una menor DFDN^(9,20). Sin embargo, en el presente estudio, la mayor acumulación de grano del híbrido H3 no compensó su menor digestibilidad de la FDN.

Cuadro 3: Digestibilidad *in situ* de la materia seca, fibra detergente neutro y almidón de cuatro híbridos de maíz cosechados a diferentes días después de la siembra (DDS)

	Digestibilidad <i>in situ</i>				
	DMS₄₈ % MS	DFDN₄₈ % FDN	uFDN₁₂₀ % FDN	DAL₁₂ % almidón	DAL₂₄ % almidón
DDS ¹					
121	59.6	32.2	47.3	46.9	96.7
128	59.0	30.1	47.6	47.0	95.6
135	60.2	30.2	48.8	46.6	94.5
142	60.7	30.0	49.3	44.6	94.4
Híbrido ²					
H1	62.0 ^a	34.2 ^a	47.1	43.2 ^c	96.9
H2	57.9 ^c	30.5 ^{ab}	49.6	48.6 ^a	95.3
H3	60.0 ^b	29.6 ^b	49.2	46.8 ^b	93.8
H4	59.5 ^b	28.2 ^b	48.2	46.5 ^b	95.1
EEM	1.600	1.130	1.530	1.230	1.620
DDS	NS	NS	NS	NS	NS
Híbrido	0.021	0.041	0.257	0.014	0.265
D × H	0.140	0.072	0.128	0.124	0.202

¹Fecha de siembra: 30 de mayo de 2019.

²Híbrido: (H1: DK-4018; H2: Noble; H3: Antílope; H4: XR-49).

DMS₄₈= digestibilidad de la materia seca (MS) a 48 h de incubación, DFDN₄₈= digestibilidad de la fibra detergente neutro (FDN) a 48 h de incubación, uFDN₁₂₀= FDN no digestible a 120 h de incubación, DAL₁₂= digestibilidad del almidón a 12 h de incubación, DAL₂₄= digestibilidad del almidón a 24 h de incubación.

EEM= error estándar de la media; DDS= efectos de días a cosecha lineales (L) o cuadráticos (Q) denotados por: *0.01 < P ≤ 0.05 y ** (P < 0.01), D × H= interacción entre DDS e híbrido.

^{abc} Medias con diferente literal difieren (P ≤ 0.05).

La fracción de FDN no digestible a 120 h (uFDN) no difirió entre días a cosecha ni entre híbridos, y las medias fueron de 48.2 ± 0.9 y 48.2 ± 1.4 %, respectivamente. En el presente estudio, los valores de uFDN fueron hasta 10 unidades mayores a la reportada en otras investigaciones^(18,19). Un alto valor de uFDN se asocia con fracciones de fibra lignificadas principalmente de la base del tallo; en donde se acumula más lignina con la senescencia de la planta y aumento en contenido de MS^(19,20,21). Así pues, es posible que los bajos valores de uFDN encontrados en este trabajo se asocien con la baja la altura de corte utilizada en el presente estudio comparado con trabajos antes citados (15 vs 25 cm, respectivamente) y otro local utilizando hasta 40 cm de altura de corte⁽²²⁾. Finalmente, la digestibilidad del almidón a 12 o 24 h no fue afectada al avanzar en días a cosecha, y solamente se detectó un efecto de híbrido (P=0.01) en la digestibilidad del almidón a 12 h. Aunque todos los híbridos utilizados fueron de grano semi-dentado, es posible que el gradiente de vitreosidad al madurarse el grano afectara la digestibilidad del almidón a 12 h y éste quedara sin efecto a las 24 h⁽²³⁾.

Conclusiones e implicaciones

En el presente estudio, la acumulación de grano y contenido de MS se incrementaron al retrasar los días a cosecha y estuvieron influenciados por el efecto del híbrido. Sin embargo, el rendimiento de MS no fue afectado por el híbrido y solo se incrementó con los días a cosecha. El contenido de FDN disminuyó y el de almidón se incrementó al avanzar en días a cosecha, pero este factor no afectó los parámetros evaluados de digestibilidad. En general, se pudo maximizar el rendimiento de MS y acumulación de grano al retrasar hasta 142 días a cosecha sin afectarse la digestibilidad de la FDN, pero es necesario explorar algunas estrategias agronómicas a la cosecha para reducir el valor de la uFDN.

Agradecimientos

Al CONAHCyT el apoyo otorgado al primer autor para llevar a cabo sus estudios de posgrado. Un agradecimiento a Proteína Animal S.A. de C.V (PROAN), a la Unión de Cooperativas de Consumo Alteñas S.C. de R.L. (UCCA) y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) quienes facilitaron los medios financieros, técnicos y científicos para la realización del estudio. Asimismo, se agradece a la Escuela Nacional de Lechería Sustentable S.P.R. de R.L. (ENLS) por el cuidado de las vacas rumen-fistuladas utilizadas en el estudio de digestibilidad.

Literatura citada:

1. Reta SDG, Figueroa VU, Serrato CJS, Quiroga GHM, Gaytán MA, Cueto WJA. Potencial forrajero y productividad del agua en patrones de cultivos alternativos. *Rev Mex Cienc Pecu* 2015;6(2):153-170.
2. Santana OI. Impact of forage source and level in intensive dairy systems: whole-farm nutrient balance, lactation performance, and feeding behavior [doctoral thesis]. Madison, Wisconsin, USA: University of Wisconsin-Madison; 2018.
3. Akins MS, Shaver RD. Influence of corn silage hybrid type on lactation performance by Holstein dairy cows. *J Dairy Sci* 2014;(97):7811-7820.
4. SIAP. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción Agrícola y Ganadera. México. Consultado 15 Feb, 2023.
5. Martínez-García CD, Rayas-Amor AA, García-Martínez A, Estrada-Flores JG, Arriaga-Jordan CM. Small-scale dairy producers' intention to use corn silage and the role of socioeconomic and socio-psychological factors in decision making. *Trop SubTrop Agroecosyst* 2021;(24):1-16.

6. Ferrareto LF, Shaver RD, Luck BD. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractioned corn silage harvesting. *J Dairy Sci* 2018;(101):3937-3951.
7. Martin NP, Ruselle MP, Powell JM, Sniffen CJ, Smith SI, Tricarico JM, Grant RJ. Invited review: Sustainable forage and grain crop production for the US dairy industry. *J Dairy Sci* 2017;(100):9479-9494.
8. Bal MA, Shaver RD, Joveile HA, Coors JG, Lauer JG. Corn silage hybrid effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J Dairy Sci* 2000;(83):2849-2858.
9. Hatew B, Bannink A, van Laar H, de Jonge LH, Dijkstra J. Increasing harvest maturity of whole-plant corn silage reduces methane emission of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2016;(99):354-368.
10. Hall MB. Determination of dietary starch in animal feeds and pet food by an enzymatic-colorimetric method: collaborative study. *J AOAC Intl* 2015;98(2):397-409.
11. Arriola KG, Kim SC, Huisden CM, Adesogan AT. Stay-green ranking and maturity of corn hybrids: 1. Effects on dry matter yield, nutritional value, fermentation characteristics, and aerobic stability of silage hybrids in Florida. *J Dairy Sci* 2012;(95):964-974.
12. Amador AL, Boshcini CF. Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje [nota técnica]. *Agronomía Mesoam* 2000;11(1):171-177.
13. The Ohio State University – Agronomic Crops Network. Corn silage harvest timing [newsletter] Columbus, Ohio, USA 2020. <https://agcrops.osu.edu/newsletter/corn-newsletter/2020-28/corn-silage-harvest-timing>.
14. Santana OI, Sánchez-Duarte JI, Granados NJA, Peña RA, Ochoa ME. Rendimiento, composición química y cinética de degradación ruminal del forraje de híbridos de maíz cultivados en dos ambientes agroclimáticos [resumen]. Reunión nacional de investigación pecuaria. Ciudad de México. 2021:230-232. <http://reunionescientificas2021.inifap.gob.mx/>.
15. Bernard JK, West JW, Trammell DS, Cross GH. Influence of corn variety and cutting height on nutritive value of silage fed to lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2004;(87):2172-2176.
16. Der Bedrosian MC, Nestor KE, Kung L Jr. The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. *J Dairy Sci* 2012;(95):5115-5126.

17. Kosgey JR, Moot D, Fletcher AL, McKenzie BA. Dry matter accumulation and post-silking N economy of 'stay-green' maize (*Zea mays* L.) hybrids. *European J Agron* 2013;51(10):43-52.
18. Ferrareto LF, Shaver RD. Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. *J Dairy Sci* 2015;(98):2662-2675.
19. Bender RW, Cook DE, Combs DK. Comparison of *in situ* versus *in vitro* methods of fiber digestion at 120 and 288 hours to quantify the indigestible neutral detergent fiber fraction of corn silage samples. *J Dairy Sci* 2016;(99):5394-5400.
20. Weiss WP, Wyatt DJ. Effect of corn silage hybrid and metabolizable protein supply on nitrogen metabolism of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2006;(89):1644-1653.
21. González CF, Peña RA, Núñez HG, Jiménez GCA. Efecto de la densidad y altura de corte en el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Rev Fitotec Mex* 2005;28(4):393-397.
22. Santana OI, Peña RA, Sánchez-Duarte JI, Reyes-González A. Effects of tillage system and cutting height at harvest on dry matter yield, chemical composition, and digestibility of forage maize. *J Dairy Sci* 2021;(104):246-247.
23. Philippeau C, Michalet-Doreau B. Influence of genotype and ensiling of corn grain on *in situ* degradation of starch in the rumen. *J Dairy Sci* 1998;(81):2178-2184.