

## Producción de forraje y cinética de degradación en rumen del ensilado de híbridos de maíz de nervadura café *versus* convencionales

Omar Iván Santana <sup>a\*</sup>

Alfonso Peña Ramos <sup>a</sup>

Juan Isidro Sánchez Duarte <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Pabellón. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México.

<sup>b</sup> INIFAP. Campo Experimental La Laguna. Coahuila, México.

\*Autor de correspondencia: [santana.omar@inifap.gob.mx](mailto:santana.omar@inifap.gob.mx)

### Resumen:

El objetivo fue evaluar la producción y contenido de materia seca (MS), composición bromatológica, digestibilidad y cinética de degradación de la MS y fibra detergente neutro (FDN), y la producción estimada de leche en el ensilado de híbridos de maíz de nervadura café (HNC) y convencionales (HCV). Los HCV produjeron 21 % más MS que los HNC (27.4 vs 22.5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente) y hubo un incremento al cosechar en R5 (25.7 t ha<sup>-1</sup>) comparado con R4 (24.3 t ha<sup>-1</sup>). La etapa de cosecha no afectó la digestibilidad de la MS o DFDN, pero el año y tipo de híbrido afectaron la fracción de FND no digestible (uFDN, % MS), la cual fue superior en 2020 (25.6 %) que en 2019 (13.8 %) y en HCV (22.6 %) que en HNC (16.8 %). En consecuencia, la producción de leche por tonelada de MS (LET) fue superior en 2019 y en HNC comparado con 2020 y en HCV. En contraste, el año no afectó la producción de leche por hectárea (LEHA) ya que la mayor producción de MS de 2020 compensó la caída en LET, pero la menor producción de MS en HNC redujo el valor de LEHA comparado con HCV (29.1 vs 32.5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente). El estimado de LEHA se incrementó al cosechar en etapa R5 (31.8 t ha<sup>-1</sup>) comparado con R4 (29.7 t ha<sup>-1</sup>). Aunque los HNC tuvieron mejor digestibilidad y más potencial de producción de leche por tonelada de

MS, el mayor rendimiento de MS en HCV compensó la diferencia y se obtuvo más leche por hectárea.

**Palabras clave:** Digestibilidad, Leche, *Zea mays*.

Recibido: 01/04/2025

Aceptado: 14/07/2025

## Introducción

En las principales cuencas lecheras de México, el ensilado de maíz representa entre el 30 y 45 % de la base seca de la dieta de vacas lecheras<sup>(1,2)</sup>. Lo anterior ha puesto presión a las tierras de cultivo para abastecer la demanda de forraje que se contrapone a una escasez de agua<sup>(2)</sup>. Por consiguiente, es preponderante aumentar el rendimiento de maíz forrajero con alto contenido de grano y adecuada digestibilidad de la fibra detergente neutro (DFDN)<sup>(3)</sup>. La utilización de híbridos sobresalientes y cosechar en una etapa de madurez de grano adecuada puede ayudar a tener un ensilado de mejor calidad<sup>(4)</sup>. Recientes investigaciones han demostrado que al cosechar entre 33 y 38 % de MS se optimiza rendimiento y calidad nutricional sin afectarse la DFDN<sup>(3,4)</sup>. Por otra parte, el consumo de alimento se asocia negativamente con la FDN no digestible (uFDN), la cual se determina a 240 h de incubación *in vitro* o *in situ*<sup>(5)</sup>. La uFDN representa mayormente la FDN lignificada que se acumula en los tallos y que es influenciada por una interacción entre el genotipo y el medio ambiente<sup>(6,7)</sup>. Los forrajes con baja uFDN mejoran el consumo de alimento, mientras se aumenta la tasa de pasaje y se reduce la producción de metano entérico<sup>(8)</sup>. Así pues, la DFDN se relaciona con el suministro de energía en el rumen y la uFDN se asocia con el consumo de alimento<sup>(9,10)</sup>.

Los híbridos de nervadura café (HNC) con la mutación *bm* inducen menor acumulación de lignina al reducir la síntesis de fenoles en la pared celular<sup>(11)</sup>. En consecuencia, el forraje de los HNC tiene hasta 8 unidades porcentuales más de DFDN que los híbridos convencionales, pero estos últimos tienen entre 10 y 15 % mayor potencial de rendimiento de MS que los primeros<sup>(12)</sup>. En México se desconoce si hay un programa de mejoramiento genético para obtener HNC adaptados a las diferentes condiciones agroclimáticas. En contraste, en los establos lecheros hay un creciente interés por usar HNC para obtener un ensilado más digestible, aun cuando la producción interna de forraje de maíz es insuficiente<sup>(13)</sup>. Si a lo anterior se le agrega un marcado efecto de las variaciones agroclimáticas en la uFDN y DFDN<sup>(4,14)</sup>, entonces se tendría un mayor déficit de forraje y de menor calidad a lo esperado. Por consiguiente, la primera hipótesis fue probar que, independientemente de la etapa de cosecha y las condiciones del año de evaluación, el rendimiento de los híbridos

convencionales supera al de los HNC, y aun cuando estos tuvieran mejor calidad forrajera, los convencionales tendrían más producción de leche por hectárea, lo que compensaría la diferencia entre híbridos. La segunda hipótesis fue probar que la uFDN y la tasa de degradación de la FDN no disminuyen al cosechar en fase de madurez más avanzada de la planta o grano, pero sí se incrementa el rendimiento de MS y en consecuencia la producción de leche por hectárea. Así pues, el objetivo fue evaluar en dos años consecutivos la producción y contenido de MS del forraje, el perfil bromatológico, la digestibilidad y cinética de degradación de la MS y FDN, así como la producción de leche por tonelada de forraje y por hectárea en HNC y convencionales cosechados a dos estados de madurez de grano.

## Material y métodos

### Sitio de estudio

La investigación se realizó en condiciones de riego en los ciclos PV-2019 y PV-2020 en el Campo Experimental Pabellón ubicado a 1,907 msnm, 22.0936 ° N y 102.1733 ° O; clima templado semiseco con una temperatura media anual de 17 °C y precipitación anual de 471 mm. El suelo donde se estableció el experimento es de textura franco-arenosa, pH de 7.9, materia orgánica de 0.9 % y conductividad eléctrica de 1.2 dS/m.

### Diseño experimental y tratamientos

En cada año (2019 y 2020) se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y arreglo en parcelas divididas, la parcela grande fue el tipo de HNC (*bm3*) o convencional (HCV) y la parcela pequeña fue el estado de madurez del grano a cosecha a  $\frac{3}{4}$  de avance de la fase masosa y línea de leche terminal (R4 vs R5, respectivamente). En el grupo de HNC se incluyeron los genotipos (AG-0924 y AG-0917; Anzu Seeds®, Waco, TX); en el grupo HCV se utilizó Hércules (Aspros®, Toluca, México), Salamandra (Asgrow®, Guadalajara, México) y P3026W (Pioneer®, Guadalajara, México). Todos los híbridos utilizados fueron de cruza simple, de ciclo intermedio ( $863 \pm 24$  GDD a floración masculina); los HCV fueron de grano blanco semi-dentado con alturas de planta entre 300 y 330 cm, mientras los HNC fueron de grano amarillo dentado con alturas de planta entre 260 y 275 cm. La parcela experimental (n= 40 por año) fue de cuatro surcos a una distancia de 0.75 m de ancho y 5.0 m de largo, la parcela útil fueron los dos surcos centrales.

Las siembras se realizaron en suelo seco el día 19/05/2019 y 15/05/2020, utilizando una sembradora experimental (Almaco®, Nevada, IO). Después de sembrar se tiró una línea de cintilla por surco y se regó hasta que la humedad llegó a la semilla. A los 20 días post-emergencia se dejó una población uniforme de 92,400 plantas ha<sup>-1</sup> equivalente a 7 plantas por metro lineal. La fertilización total fue 303 N-86 P-00 K + 16 Mg aplicando el 30 % del

N, todo el P y el Mg a la siembra y el resto del N en cuatro aplicaciones semanales en el riego a partir del día 35 post-siembra. El riego se aplicó dos veces por semana para cumplir o exceder el 100 % del requerimiento de evaporación potencial ( $EV_0$ ) registrada en una estación de la Comisión Nacional del Agua ubicada a 170 m del sitio de trabajo.

### **Cosecha y procesamiento de las muestras**

Las parcelas se cosecharon cuando el grano alcanzó la etapa R4 (grano  $\frac{3}{4}$  fase masosa) o R5 (grano masoso con línea de leche terminal). Los días a cosecha en 2019 fueron a los 128/133 y 134/140 mientras que en 2020 a los 123/131 y 133/142 días en los HNC e HCV en fase R4 y R5, respectivamente. En cada parcela útil se cortó el total de plantas a una altura de ~20 cm sobre el nivel del suelo; enseguida se registró el peso fresco total y se tomó una muestra al azar de cinco plantas completas para picar en un molino (DPM-500, Nogueira, Brasil). Del forraje fresco picado, se homogeneizó manualmente y se tomaron dos sub-muestras, una de ~200 g para secar en estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante para determinar MS y calcular el rendimiento de forraje (en base seca) a cosecha; y otra muestra de 300 g para hacer micro-silos en bolsas gofradas de 20 × 40 cm y se extrajo el aire con una máquina de vacío (Nesco VS-02, Two Rivers, WI). Los micro-silos se dejaron fermentar por 90 días en un lugar fresco y oscuro.

### **Análisis de laboratorio**

Después del período de fermentación, los micro-silos se abrieron y cada uno se vació en una superficie plana, en donde se homogeneizó y se cuarteó para reducir a una muestra de 150 g que se secó a 55 °C para determinar MS. Posteriormente la muestra seca se molió para pasar una criba de 1 mm (Arthur P. Thomas, Filadelfia, PA) y proseguir a los análisis bromatológicos siguiendo las metodologías estandarizadas de la AOAC<sup>(15)</sup> y de digestibilidad *in situ*. Los contenidos de FDN, FDA y lignina se determinaron secuencialmente en bolsas F-57 en el analizador de fibras A-200 (Ankom Tech, Macedonia, NY). La determinación de FDN se realizó utilizando  $\alpha$ -amilasa y sulfito de sodio, enseguida se determinó FDA en solución 1N de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y CTAB, y finalmente se analizó el contenido de lignina al sumergir las bolsas por 3 h en solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 72 %. El contenido de N total se determinó utilizando el procedimiento semi-automatizado de Kjeldhal al digerir 1.0 g de muestra en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 400 °C por 1 h y luego destilar la reacción (Tecator-2508 y Kjeltex-8100; Foss, Hilerrød, Dinamarca) para titularla con HCl 0.5N; el contenido de proteína cruda (PC) se calculó como % N × 6.25. El contenido de almidón se analizó con el procedimiento de liberación enzimático-colorimétrico<sup>(16)</sup>, en donde 1.0 g de muestra se incubó por 60 min a 100 °C en 30 ml de solución buffer de acetato 100 mM + 100  $\mu$ l de  $\alpha$ -amilasa; luego la reacción se incubó 2 h en 3 ml de solución de GOPOD por 50 min (Megazyme Ltd., Wicklow, Irlanda) y la absorbancia de la reacción se leyó a 505 nm en un espectrofotómetro de luz

visible (Genesis 10S, Thermo Sci., Madison WI). El contenido de cenizas se determinó en 2.0 g de muestra incinerada en un crisol a 550 °C en una mufla. Finalmente, el extracto etéreo se asumió fue del 2.8 % para todas las muestras debido a la poca variación que existe en el ensilado de maíz<sup>(9)</sup>. El contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF) se obtuvo por diferencia [CNF = 100 – (% FDN + % PC + % cenizas + % extracto etéreo)] como se calcula en el modelo NASEM<sup>(9)</sup>.

### Cinética de degradación ruminal

Por cada año de evaluación (n= 2), de cada híbrido y etapa de cosecha se obtuvo una muestra compuesta a partir de las cuatro repeticiones (n= 40). De cada muestra, aproximadamente 4.5 g se introdujeron en bolsas R1020 de dacron (Ankom Tech., Macedonia, NY) para incubarse en duplicado a 12, 24, 36, 48 y 240 h en el saco ventral de dos vacas fistuladas del rumen. Todas las bolsas se removieron simultáneamente y se enjuagaron manualmente hasta obtener agua clara; las bolsas a 0 h para medir la fracción *a* (*fa*) se sumergieron por 10 min en una cubeta con agua del grifo previamente calentada a 37 °C y después se enjuagaron. Todas las bolsas incluyendo las de 0 h se secaron en estufa de aire forzado a 55 °C hasta peso constante. La digestibilidad de la MS (DMS) se obtuvo por la diferencia de peso final vs inicial; la digestibilidad de la FDN (DFDN) se determinó al analizar el residuo de la bolsa con el procedimiento antes descrito para FDN. La tasa de degradación (*kd*) de la MS y la FDN se calculó utilizando regresión lineal, a partir del logaritmo natural de la relación entre la DMS o DFDN a 12, 24, 36 o 48 h y la fracción digestible a 240 h<sup>(17,18)</sup>. Luego se calculó la pendiente utilizando los cuatro logaritmos calculados para obtener la *kd* con una regresión lineal en Excel (Microsoft®, Redmon, WA). La degradación efectiva en el rumen (DER) de la MS y FDN se calculó utilizando el siguiente modelo<sup>(19)</sup>:

$$DER = 100 \times \{ fa + fb \times [ kd / (kd + kp) ] \}$$

En donde *fa* es el porcentaje de la MS o FDN desaparecida a las 0 h, *fb* es el porcentaje potencialmente digestible de la MS o FDN calculado como 100 – % *fa* – % *fc*, siendo *fc* el porcentaje de MS o FDN no digerida a 240 h; *kd* es la tasa de degradación de la MS o FDN calculada y *kp* es la tasa de pasaje de la MS estimada en el modelo NASEM<sup>(9)</sup> usando el perfil bromatológico analizado, se asumió que la *kp* de la FDN fue 37% menor que la de la MS<sup>(5)</sup>.

### Producción estimada de leche

De cada observación (n= 80) se capturó el perfil bromatológico en el modelo Milk-2024, utilizando la DFDN a 48 h y la uFDN a 240 h calculada como el porcentaje de la *fc* multiplicado por el porcentaje de FDN en la MS total. Con lo anterior se obtuvieron los kilos

de leche por tonelada de forraje seco (LET), los cuales se multiplicaron por el rendimiento de MS ( $t\ ha^{-1}$ ) para obtener la producción estimada de leche por hectárea (LEHA).

### Análisis estadísticos

Todos los datos se analizaron en el programa R (R-Studio Inc. Boston, MA) para un análisis de varianza utilizando el paquete *agricolae* con el siguiente modelo estadístico:

$$Y = \mu + A_i + R_j + T_k + \beta_{ijk} + E_l + (E \times T)_{kl} + (A \times E \times T)_{ikl} + E_{ijkl}$$

En donde:

$Y$  es la variable respuesta,

$\mu$  es la media general,

$A$  es el efecto fijo del  $i$ -ésimo año de evaluación ( $i = 1$  a  $2$ ),

$R$  es el efecto aleatorio de la  $j$ -ésima repetición ( $j = 1$  a  $4$ ),

$T$  es el efecto fijo del  $k$ -ésimo tipo de híbrido ( $k = 1$  a  $2$ ),

$\beta$  es el error experimental asociado a la parcela grande,

$E$  es el efecto fijo de la  $l$ -ésima etapa de cosecha ( $l = 1$  a  $2$ ),  $E \times T$  es la interacción entre etapa de cosecha y tipo de híbrido,

$(A \times T \times E)$  es la interacción entre año, tipo de híbrido y etapa de cosecha,

$E_{ijkl}$  es el error residual.

Los datos de cinética de degradación, DMS y DFDN a 12, 24, 36 y 48 h se analizaron utilizando el mismo modelo, pero removiendo el efecto aleatorio de repetición y sustituyéndolo por el efecto aleatorio de la vaca ( $n=2$ ). Los valores que se reportan en los cuadros y figuras son medias de cuadrados mínimos obtenidos con el paquete EMMEANS. La significancia estadística se declaró a  $P \leq 0.05$ , de considerarse significativo la separación de medias se hizo con la prueba de Tukey con  $\alpha = 0.05$  utilizando el comando TukeyHSD.

## Resultados y discusión

### Condiciones agrometeorológicas

En el Cuadro 1 se presentan las temperaturas, precipitación y grados-días de desarrollo (GDD) registradas en 2019 y 2020, además del histórico de un período de 30 años (1989 – 2018). Comparado al histórico, las temperaturas 2019 se asemejaron más que las registradas en 2020, el cual se consideró más fresco sobre todo en el segundo trimestre. Cabe mencionar que 2019 y 2020 están registrados como neutros en el Estatus de Niño - Oscilación del Sur (ENOS)<sup>(20)</sup>, por lo tanto, se consideran años normales sin eventos extremos de sequía o humedad. La precipitación registrada en el ciclo PV fue de 288 mm en 2019 y 315 mm en

2020, mientras que la histórica es de 395 mm para el mismo período, lo cual representa una desviación de -27 y -20 %, respectivamente. La distribución de la lluvia difirió entre años, en 2019 la mayor precipitación se registró en los meses de agosto y septiembre, lo que coincidió con el llenado de grano (R1 – R4). En contraste, en 2020 la mayor precipitación ocurrió en los meses de julio y agosto, que coincidió con la floración (VT) y el inicio del llenado de grano (R0 – R1). En general, se infiere que los años de evaluación difirieron en régimen térmico, lo cual afectó en cierto grado la acumulación de GDD. Aunque solo se tuvo una diferencia de 8 % en precipitación en ambos años, la distribución de la lluvia contrastó en los ciclos evaluados.

**Cuadro 1:** Temperaturas, precipitación y grados-días de desarrollo registrados en el Campo Experimental Pabellón en 2019 y 2020 y el histórico de 30 años en la misma localidad

Año / mes	T. Máxima (° C)	T. Mínima (° C)	T. Media (° C)	Precipitación (mm)	GDD
2019					
Mayo	31	11	21	0	11.1
Junio	32	14	24	7	13.1
Julio	29	14	22	31	11.6
Agosto	29	15	22	85	11.9
Septiembre	28	13	21	152	10.8
Octubre	27	12	19	13	9.5
2020					
Mayo	30	10	20	0	10.5
Junio	31	15	22	4	12.6
Julio	29	15	22	155	11.7
Agosto	27	14	21	125	10.5
Septiembre	26	12	19	31	9.3
Octubre	25	9	17	0	7.6
Histórico <sup>1</sup>					
Mayo	31	13	22	11	11
Junio	30	15	22	75	12
Julio	28	14	21	105	11
Agosto	28	14	21	89	11
Septiembre	27	13	20	81	10
Octubre	27	11	18	34	9

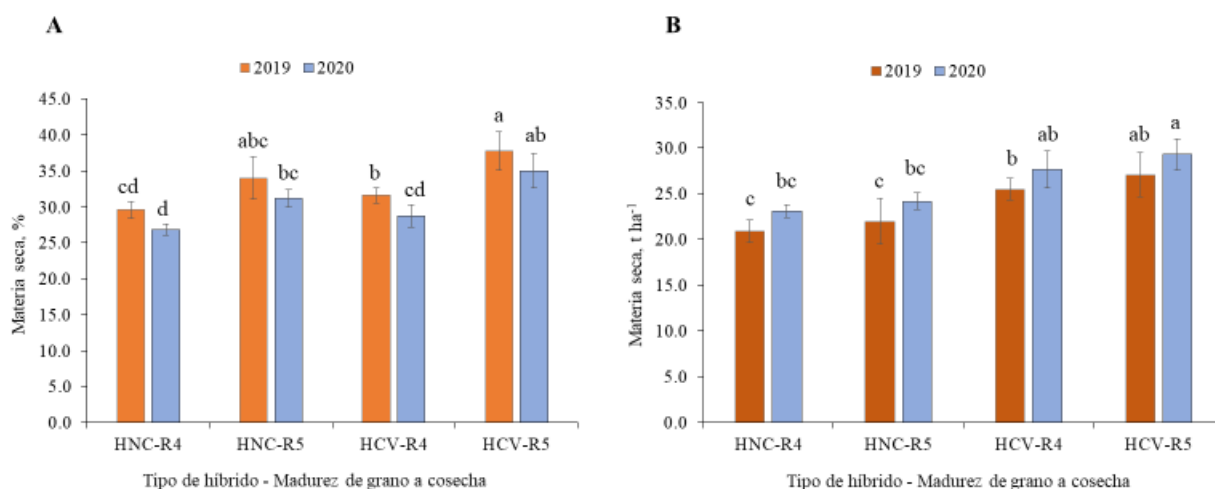
Históricos (1989 – 2018) obtenidos por cortesía del Dr. Arturo Corrales Suastegui, INIFAP-CEPAB (<https://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/>).

T= temperatura; GDD= grados-días de desarrollo calculados como la diferencia entre la T. Media y la temperatura base de maíz (i.e. 10 °C).

## Contenido de materia seca y producción de forraje

El contenido de MS fue afectado por la interacción entre el año  $\times$  tipo de híbrido  $\times$  etapa de cosecha ( $P < 0.01$ ) que se muestra en la Figura 1A. En 2019, los híbridos HNC tuvieron menor contenido de MS que los HCV cosechados en fase R4, mientras que en R5 ambos tipos de híbridos tuvieron similar porcentaje de MS. Lo anterior fue opuesto en 2020, donde el contenido de MS fue similar entre los híbridos HNC y HCV cosechados tanto en R4 como en R5. El contenido de MS a cosecha fue superior en 2019 que en 2020 ( $33.3 \pm 3.4$  vs  $30.4 \pm 3.5$  %, respectivamente;  $P < 0.01$ ); lo cual puede asociarse a que 2019 fue un año un poco más cálido que 2020 (Cuadro 1) y eso podría haber acelerado la pérdida de humedad de la planta o favorecer una mayor acumulación de MS al tener más GDD<sup>(4,21)</sup>. Los HCV tuvieron más porcentaje de MS a cosecha que los HNC ( $33.3 \pm 1.6$  vs  $30.4 \pm 2.4$  %, respectivamente;  $P < 0.01$ ). Resultados similares de menor contenido de MS en HNC comparados a HCV han sido reportados en otras investigaciones<sup>(12,22)</sup>; mientras que otros estudios han documentado similar contenido de MS o incluso mayor porcentaje de MS al cosechar en la misma fase de madurez de grano<sup>(23,24)</sup>. Como es esperado, el contenido de materia seca fue superior al cosechar en fase R5 que en R4 ( $34.5 \pm 2.7$  vs  $29.2 \pm 2.0$  %, respectivamente;  $P < 0.01$ ), lo que se asocia con el incremento en porcentaje de grano<sup>(4)</sup>.

**Figura 1:** A) Contenido de materia seca y B) Producción de materia seca de híbridos de maíz de nervadura café (HNC) y convencionales (HCV) cosechados a dos estados de madurez de grano



<sup>abcd</sup> Barras con diferente literal difieren ( $P \leq 0.05$ ) y en cada tipo de barra HNC (n= 8) y HCV (n= 12).



Como se muestra en la Figura 1B, la producción de forraje fue afectada por la interacción entre año  $\times$  tipo de híbrido  $\times$  etapa de cosecha ( $P < 0.01$ ); en ambos años de evaluación, el rendimiento de MS fue similar en los híbridos HNC cosechados tanto en R4 como en R5; mientras que en híbridos HCV la producción de forraje sí difirió entre año de evaluación y fase de cosecha. El rendimiento de MS fue  $2.2 \text{ t ha}^{-1}$  menor en 2019 comparado a 2020 ( $23.9 \pm 2.9$  vs  $26.1 \pm 2.9 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente;  $P = 0.02$ ), lo cual responde a una interacción del genotipo – manejo – ambiente<sup>(14)</sup>. En el presente estudio, se descarta el manejo ya que éste fue prácticamente idéntico en 2019 y 2020, y también los genotipos fueron los mismos en ambos ciclos. Es posible que el ambiente más templado en 2020 haya sido más favorable para el desarrollo vegetativo del maíz, ya que éste disminuye su rendimiento cultivado en ambientes más cálidos<sup>(14)</sup>. Los HCV produjeron  $4.8 \text{ t ha}^{-1}$  más MS que los HNC ( $27.4 \pm 1.6$  vs  $22.6 \pm 1.4 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente;  $P < 0.01$ ), lo cual es consistente con diferentes trabajos documentados<sup>(17)</sup>. La mutación del gen *bm* que confiere la característica de nervadura café genera plantas de menor altura que sus iso-génicos convencionales<sup>(11)</sup>, lo que explicaría el menor rendimiento. Por otra parte, la producción de MS tendió a ser mayor al cosechar en fase de grano R5 que en R4 con una diferencia de  $1.4 \text{ t ha}^{-1}$  ( $P = 0.10$ ). Lo anterior se debe a la acumulación de grano, aunque la planta de maíz tiene su máximo de depósito de grano y almidón entre R2 y R4<sup>(4)</sup>.

### Composición bromatológica

No se detectó ningún tipo de interacción para ninguno de los parámetros evaluados (Cuadro 2). Los contenidos de FDN y CNF, que en conjunto representaron alrededor del 84 % de la MS, fueron influenciados por el tipo de híbrido (ambos  $P < 0.05$ ), pero no por el año ni por la fase de cosecha. Los HNC tuvieron 2.9 unidades menos de FDN y 2.6 unidades más de CNF que los HCV, lo que resultó en una relación inversamente proporcional. Lo anterior podría asociarse a una menor altura de planta en los HNC que en los HCV (274 vs 314 cm, respectivamente; *datos no mostrados*), lo que concentra una mayor proporción del elote en la MS y diluye la FDN. El contenido de lignina fue afectado por el tipo de híbrido ( $P < 0.01$ ), pero no por el año de evaluación o fase de cosecha. En los HNC el contenido de lignina fue 0.9 unidades menor que en HCV (2.4 vs 3.3 %, respectivamente). Esa diferencia es consistente con lo reportado en otras investigaciones en las que se compara HNC *bm3* y convencionales<sup>(10,25)</sup>. Por otra parte, el contenido de almidón no fue afectado por el tipo de híbrido, pero tendió a ser ligeramente mayor al cosechar en fase R5 que en R4 ( $P = 0.06$ ). En contraste, el año de estudio afectó ( $P < 0.01$ ) el contenido de almidón y éste fue menor en 2019 ( $26.4 \pm 1.9$  %) que en 2020 ( $30.8 \pm 1.5$  %). Este resultado posiblemente se deba a que 2020 fue un año más templado, y eso pudo haber favorecido un mejor llenado de grano, lo cual incrementa la acumulación de almidón<sup>(26)</sup>. Finalmente, la concentración de ENL fue 0.13 unidades mayor en 2019 que en 2020 y una diferencia idéntica a favor de HNC comparado con HCV (1.53 vs 1.40 Mcal  $\text{kg}^{-1}$ , respectivamente; ambos  $P < 0.01$ ). Este resultado se explica

por una consistente mayor DFDN y menor uFDN en 2019 que en 2020 como se explica a detalle más adelante.

**Cuadro 2:** Composición bromatológica del ensilado de maíz de híbridos de nervadura café (HNC) y convencionales (HCV) cosechados en dos estados de madurez de grano

Variable	Composición, % MS							ENL Mcal kg <sup>-1</sup>
	PC	FDN	FDA	ADL	CEN	CNF	ALM	
HNC (n = 32)								
R4-2019	7.9 <sup>a</sup>	48.0	24.2	2.1	4.5	36.7	25.2 <sup>b</sup>	1.61
R4-2020	9.2 <sup>b</sup>	49.2	23.9	2.3	4.5	34.2	31.6 <sup>a</sup>	1.47
R5-2019	7.3 <sup>a</sup>	46.3	22.5	2.5	4.8	38.7	29.0 <sup>b</sup>	1.59
R5-2020	8.6 <sup>b</sup>	47.5	23.1	2.6	4.7	36.3	30.4 <sup>a</sup>	1.46
HCV (n = 48)								
R4-2019	7.3 <sup>a</sup>	51.6	21.6	3.2	4.3	33.9	24.3 <sup>b</sup>	1.44
R4-2020	8.6 <sup>b</sup>	51.7	20.9	3.4	4.6	32.2	30.7 <sup>a</sup>	1.30
R5-2019	7.9 <sup>a</sup>	49.4	22.5	3.1	4.8	35.0	27.2 <sup>b</sup>	1.49
R5-2020	8.2 <sup>b</sup>	49.7	22.1	3.3	4.8	34.4	30.6 <sup>a</sup>	1.35
EEM	0.18	1.59	0.91	0.22	0.40	1.63	1.79	0.08
Año	< 0.01	0.43	0.88	0.43	0.76	0.51	< 0.01	< 0.01
TH	0.11	0.04	0.29	< 0.01	0.58	0.05	0.45	< 0.01
Cos	0.09	0.65	0.79	0.80	0.88	0.08	0.06	0.96
TH × Cos	0.57	0.57	0.08	0.28	0.91	0.52	0.80	0.27

EEM= error estándar de la media; TH= tipo de híbrido (HNC vs HCV); Cos= fase de cosecha (R4 vs R5); TH × Cos= interacción entre tipo de híbrido y fase de cosecha.

PC= proteína cruda; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácido; ADL= lignina ácido detergente; CEN= cenizas; CNF= carbohidratos no fibrosos; ALM= almidón; ENL= energía neta de lactancia calculada a tres veces el mantenimiento con el perfil bromatológico determinado.

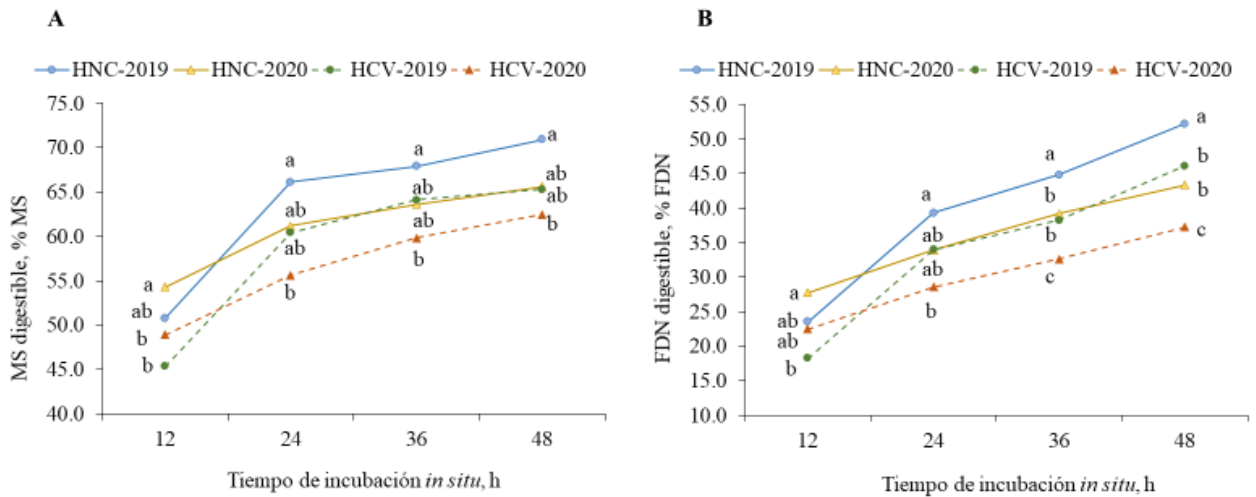
<sup>a,b</sup> Medias con diferente literal difieren ( $P \leq 0.05$ ).

### Digestibilidad de la MS y FDN

La DMS y DFDN fueron sensibles ( $P < 0.05$ ) únicamente al tipo de híbrido y año en cada tiempo de incubación (Figuras 2A y 2B). La DMS fue consistentemente mayor en HNC que en HCV para las 12, 24, 36 y 48 h de incubación (52.6 vs 47.1 %, 63.7 vs 58 %, 65.8 vs 62.0 % y 68.3 vs 63.9 % de la MS, respectivamente; todas  $P < 0.05$ ). La DFDN fue superior en HNC que en HCV a las 12, 24, 36 y 48 h de incubación (25.7 vs 20.4 %, 36.6 vs 31.3 %, 42.0 % vs 35.4 % y 47.8 vs 41.7 % de la FDN, respectivamente; todas  $P < 0.05$ ). Es conocido que la mayor DFDN en híbridos de nervadura café se debe a la menor lignificación de la FDN que confiere el gen *bm*<sup>(11)</sup>. En el presente estudio, los HNC tuvieron el 4.9 % de FDN

lignificada frente al 6.4 % de los HCV (valor calculado con datos del Cuadro 2). Con excepción a las 12 h, tanto la DMS como la DFDN fueron superiores en 2019 que en 2020. Las discrepancias en ambas digestibilidades a las 12 h puede deberse a la fase *Lag* o de retraso de la DFDN, lo cual se refiere al tiempo que se lleva antes de iniciar la degradación de la FDN<sup>(19,27)</sup>. Lo anterior deriva de una interacción entre la morfo-fisiología de la planta y la bioquímica estructural de las fibras<sup>(7,27)</sup>. Así pues, es posible que respecto a la cosecha 2019, los ensilados de 2020 hayan tenido menor tiempo *Lag* y eso favoreció la mayor DFDN a las 12 h de incubación. Por otra parte, se ha documentado que condiciones más cálidas en el desarrollo vegetativo de la planta induce mayor DFDN, lo cual se debe al acortarse la longitud de entrenudos y aumentar el grosor de los tallos<sup>(14)</sup>. Dado que 2019 fue ligeramente más cálido que 2020, eso podría explicar la mayor DFDN a 24, 36 y 48 h de incubación. En resumen, las diferencias observadas en DMS se deben en gran parte a la DFDN, en donde ambas siguieron un similar incremento en los cuatro tiempos de incubación.

**Figura 2:** A) Digestibilidad de la materia seca (MS) y B) Digestibilidad de la fibra detergente neutro (FDN) del ensilado de dos tipos de híbridos (TH) de maíz de nervadura café (HNC) y convencionales (HCV) cosechados a dos estados de madurez de grano



<sup>abcd</sup> Puntos con diferente literal difieren en cada tiempo de incubación ( $P \leq 0.05$ ) y en cada tipo de línea HNC (n= 4) y HCV (n= 6).

## Cinética de degradación ruminal

No se detectaron interacciones para ninguno de los parámetros determinados. Como se muestra en el Cuadro 3, la fracción *a* (*fa*) de la MS fue 3.0 unidades superior en 2019 que en 2020 (9.2 % vs 6.2 %, respectivamente;  $P < 0.01$ ). La *fa* de la MS se asocia al contenido de nitrógeno no proteico (NNP), azúcares simples y compuestos fenólicos hidrosolubles<sup>(9)</sup>. Es muy probable que en 2019 el contenido de azúcares fuera mayor que en 2020, ya que el contenido de CNF fue similar entre años, pero la diferencia en porcentaje de almidón sugiere que el remanente fueron azúcares. La *fb* de la MS fue 8.3 unidades mayor en 2019 que en 2020 (69.4 vs 61.1 %, respectivamente;  $P < 0.01$ ) y también se detectaron diferencias entre híbridos HNC e HCV, en donde los primeros tuvieron 3.1 unidades más de *fb* que los HCV (66.8 vs 63.7 %, respectivamente;  $P = 0.02$ ). La fracción *b* (*fb*) es la proporción de MS (o FDN) potencialmente digestible en el rumen y está en función del tiempo de retención y la tasa de degradación<sup>(19,27)</sup>. Las fracciones de PC (NNP y proteína verdadera) y de CNF tienen altas tasas de degradación ( $kd > 8\% \text{ h}^{-1}$ ) por lo que se retienen menos de 24 h en el rumen<sup>(9)</sup>. Por tanto, después de las 12 h en gran parte la *fb* de la MS depende del tamaño de la *fb* de la FDN, lo cual se puede comprobar al observar ambos parámetros en el Cuadro 3. La fracción *c* (*fc*) de la MS fue 11.2 unidades menor en 2019 que en 2020 y además 3.8 unidades menos en HNC que en HCV (32.7 vs 21.5 % y 29.0 vs 25.2 %, respectivamente; ambos  $P < 0.01$ ). La *fc* de la MS se refiere a la parte no digestible después de 48 h y está mayormente ligada a la *fc* de la FDN que representa la fibra indigestible. Considerando la *fa*, *fb* y *fc*, la degradación efectiva en el rumen (DER) de la MS contrastó entre HNC y HCV con una diferencia de 5.9 unidades porcentuales (43.0 vs 37.1 %, respectivamente). La etapa de cosecha afectó la DER de la MS con 2.9 unidades mayor en R5 (41.5 %) que en R4 (38.6 %). Sin embargo, la *kd* de la MS no se alteró y promedió en  $4.7 \pm 0.5\% \text{ h}^{-1}$ . En general, aunque el año de evaluación incidió en las fracciones *a*, *b* y *c*; al final la DER estuvo fuertemente influenciada por el tipo de híbrido y en menor grado por la etapa de cosecha.

**Cuadro 3:** Parámetros de cinética de degradación ruminal del ensilado de maíz de híbridos de nervadura café (HNC) y convencionales (HCV) cosechados en dos estados de madurez de grano

	Materia seca (MS)			Fibra detergente neutro (FDN)						
	<i>fa</i>	<i>fb</i>	<i>fc</i>	DER % MS	<i>kd</i> % h <sup>-1</sup>	<i>fa</i>	<i>fb</i>	<i>fc</i>	DER % FDN	<i>kd</i> % h <sup>-1</sup>
HNC (n= 16)										
R4-2019	10.4 <sup>a</sup>	70.8 <sup>a</sup>	18.8 <sup>b</sup>	42.8 <sup>B</sup>	4.0	9.8	68.4 <sup>a</sup>	21.8 <sup>b</sup>	44.2 <sup>a</sup>	3.0 <sup>b</sup>
R4-2020	7.4 <sup>b</sup>	62.6 <sup>b</sup>	30.0 <sup>a</sup>	40.1 <sup>B</sup>	5.1	10.3	44.6 <sup>b</sup>	45.1 <sup>a</sup>	34.6 <sup>b</sup>	3.5 <sup>a</sup>
R5-2019	8.7 <sup>a</sup>	71.1 <sup>a</sup>	20.3 <sup>b</sup>	46.7 <sup>A</sup>	5.4	8.8	66.0 <sup>a</sup>	25.2 <sup>b</sup>	41.9 <sup>a</sup>	3.0 <sup>b</sup>
R5-2020	5.7 <sup>b</sup>	62.8 <sup>b</sup>	31.5 <sup>a</sup>	42.4 <sup>A</sup>	6.6	9.3	42.2 <sup>b</sup>	48.5 <sup>a</sup>	32.2 <sup>b</sup>	3.5 <sup>a</sup>
HCV (n= 24)										
R4-2019	9.1 <sup>a</sup>	64.5 <sup>a</sup>	26.4 <sup>b</sup>	37.1 <sup>B</sup>	3.6	6.5	60.5 <sup>a</sup>	33.0 <sup>b</sup>	36.3 <sup>a</sup>	2.9 <sup>b</sup>
R4-2020	6.1 <sup>b</sup>	56.3 <sup>b</sup>	37.6 <sup>a</sup>	34.5 <sup>B</sup>	4.8	7.3	36.4 <sup>b</sup>	56.3 <sup>a</sup>	26.8 <sup>b</sup>	3.4 <sup>a</sup>
R5-2019	8.7 <sup>a</sup>	71.1 <sup>a</sup>	20.3 <sup>b</sup>	39.5 <sup>A</sup>	3.6	7.4	59.8 <sup>a</sup>	32.8 <sup>b</sup>	36.8 <sup>a</sup>	2.9 <sup>b</sup>
R5-2020	5.7 <sup>b</sup>	62.8 <sup>b</sup>	31.5 <sup>a</sup>	37.4 <sup>A</sup>	4.8	5.8	38.0 <sup>b</sup>	56.2 <sup>a</sup>	26.1 <sup>b</sup>	3.4 <sup>a</sup>
EEM	1.65	1.88	1.22	1.37	0.75	1.81	1.96	2.15	2.58	0.25
Año	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.08	0.06	0.81	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.03
TH	0.45	0.02	< 0.01	< 0.01	0.08	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.67
Cos	0.30	0.50	0.60	0.04	0.42	0.65	0.48	0.55	0.55	0.93
TH × Cos	0.97	0.88	0.52	0.80	0.34	0.94	0.29	0.40	0.82	0.96

*fa*= fracción A desaparecida a 0 h de incubación; *fb*= fracción digestible obtenida por diferencia [100 – (*fa* + *fc*)]; *fc*= fracción no digerida a 120 h de incubación *in situ*; *kd*= tasa de degradación; DER= digestibilidad efectiva en rumen.

EEM= error estándar de la media; TH= tipo de híbrido (HNC vs HCV), Cos= etapa de cosecha (R4 vs R5).

<sup>a,b</sup> Medias con diferente literal minúscula difieren estadísticamente en año de evaluación.

<sup>A,B</sup> Medias con diferente literal mayúscula difieren estadísticamente en fase de cosecha.

Como se muestra en el Cuadro 3, no se detectaron interacciones ni hubo efecto de etapa de cosecha en ninguno de los parámetros de cinética de degradación de la FDN. La *fa* solamente difirió entre tipo de híbrido y fue 2.8 unidades mayor en HNC que en HCV (9.5 vs 6.7 %, respectivamente;  $P < 0.01$ ). Usualmente, la *fa* de la FDN se asocia a compuestos fenólicos solubles no-degradables relacionados con la síntesis de lignina y otras fracciones de fibra hidrosoluble<sup>(28)</sup>. En la *fb*, se detectaron diferencias entre año de evaluación y tipo de híbrido y fue 1.6 veces mayor en 2019 que en 2020 y una diferencia de 6.6 unidades porcentuales en HNC que en HCV (63.7 vs 40.3 % y 55.3 vs 48.7 %, respectivamente para ambos  $P < 0.01$ ). Lo anterior estuvo fuertemente influenciado por las diferencias observadas en la DFDN; en donde las condiciones climáticas de 2019 podrían haber favorecido una FDN más digestible que en 2020, mientras que la menor FDN lignificada de los HNC explica la diferencia con

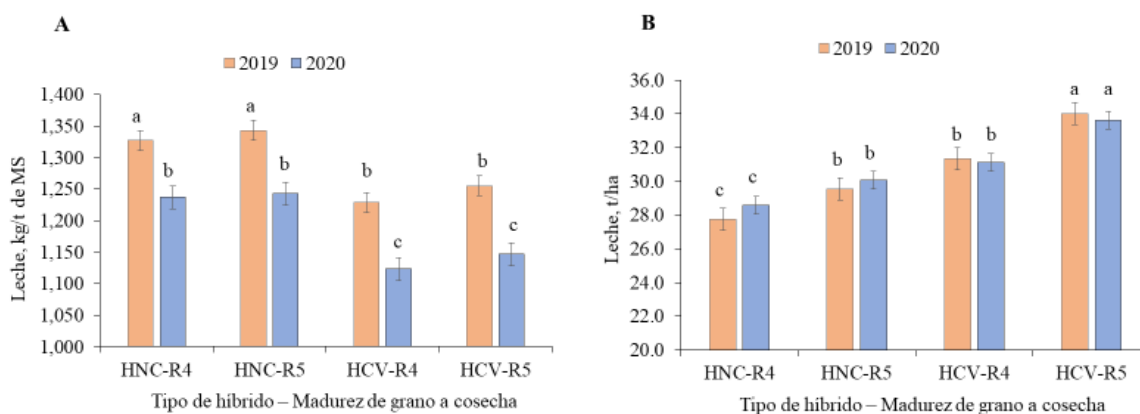
los HCV. En consecuencia, la *fc* también difirió entre años de evaluación y tipo de híbrido (ambos  $P < 0.01$ ) al ser 1.8 veces mayor en 2020 que en 2019 y 9.4 unidades porcentuales superior en HCV que en HNC (51.5 vs 28.2 % y 44.6 vs 35.2 % FDN, respectivamente). Por consiguiente, la DER de la FDN fue 9.9 unidades porcentuales mayor en 2019 que en 2020 y una diferencia de 6.7 unidades más en HNC que en HCV (39.8 vs 29.9 % y 38.2 vs 31.5 %, respectivamente; ambos  $P < 0.01$ ). La *kd* de la FDN únicamente difirió entre año de evaluación ( $P = 0.03$ ), y fue de 3.5 %  $\text{h}^{-1}$  en 2020 y de 2.9 %  $\text{h}^{-1}$  en 2019, esos valores están dentro del rango esperado para un ensilado de maíz<sup>(9)</sup>.

La *fc* de la FDN también se conoce como uFDN expresada en porcentaje de la MS y se puede estimar al multiplicar la *fc* por el porcentaje de FDN. La importancia de la uFDN es que se asocia negativamente con el consumo de alimento en vacas lecheras, y por ende, con la producción de leche<sup>(29)</sup>. En el presente estudio, los valores de *fc* o uFDN son superiores a los reportados en otros estudios<sup>(5,14,30)</sup>. En contraste, una investigación llevada a cabo en la región reportó valores de uFDN del 23 % de la MS en el forraje de maíz de cuatro híbridos convencionales<sup>(4)</sup>. Lo anterior es similar a la uFDN estimada en 2020 ( $25.6 \pm 3.5$  %) o en HCV ( $22.6 \pm 3.4$  %), pero difiere de la uFDN en 2019 ( $13.8 \pm 3.3$  %) o en HNC ( $16.8 \pm 3.1$  %). A grandes rasgos, la cinética de degradación de la FDN estuvo mayormente influenciada por el tamaño de la *fc*, la cual pudo haberse alterado por las diferencias meteorológicas entre los dos años de evaluación y el tipo de híbrido, pero no por la interacción de esos factores.

## Producción de leche

La interacción entre año y tipo de híbrido afectó la estimación de kilos de leche por tonelada de forraje seco (LET;  $P < 0.01$ ). Como se muestra en la Figura 3A, los HCV-2019 tuvieron similar valor de LET que los HNC-2020 ( $1,241 \pm 10.9$  kg  $\text{t}^{-1}$  de MS), mientras lo opuesto fue en los HNC-2019 que superaron en LET a sus contrapartes y el HCV-2020 que tuvo el menor valor ( $1,335$  vs  $1,135$  kg  $\text{t}^{-1}$  de MS, respectivamente). La etapa de cosecha no afectó el valor de LET, pero éste fue mayor en 2019 ( $1,289$  kg  $\text{t}^{-1}$  de MS) que en 2020 ( $1,188$  kg). Asimismo, el valor de LET fue superior en HNC ( $1,288$  kg  $\text{t}^{-1}$  de MS) que en HCV ( $1,189$  kg). El menor contenido de FDN, la mayor DFDN y la menor *fc* en los HNC comparado con los HCV explican el mayor valor de LET. La reducción en el valor de LET en HNC-2020 y su similitud con los HCV-2019 se puede asociar al incremento en la *fc* de la FDN en los primeros. Lo anterior implica que, pese a un mayor contenido de almidón en 2020, la *fc* (o uFDN) tiene un marcado impacto negativo que no se compensa con mayor contenido de grano.

**Figura 3:** A) Predicción de leche en kilogramos por tonelada de forraje seco y B) Predicción de leche en toneladas por hectárea en híbridos de maíz de nervadura café (HNC) y convencionales (HCV) cosechados a dos estados de madurez de grano



abcd Barras con diferente literal difieren ( $P \leq 0.05$ ) y en cada barra HNC ( $n = 8$ ) y HCV ( $n = 12$ ).

En producción de leche por hectárea (LEHA;  $t \text{ ha}^{-1}$ ), se detectó una interacción entre el tipo de híbrido y etapa de cosecha ( $P < 0.01$ ). Como se muestra en la Figura 3B, en ambos años de estudio, los HCV-R5, superaron en LEHA a todos los demás ( $33.8 \pm 0.5 t \text{ ha}^{-1}$ ) mientras los HNC-R4 tuvieron menor valor de LEHA ( $28.2 \pm 0.6 t$ ). En tanto que, los HNC-R5 e HCV-R4 tuvieron similar valor de LEHA ( $30.5 \pm 0.8 t$ ) y difirieron de sus contrapartes. El año de estudio no afectó el valor estimado de LEHA, pero el mayor potencial de producción de MS ( $t \text{ ha}^{-1}$ ) en los HCV incidió en que estos tuvieran un mayor valor de LEHA que los HNC ( $32.5 \pm 1.4$  vs  $29.1 \pm 1.0 t \text{ ha}^{-1}$ , respectivamente;  $P < 0.01$ ). Por otra parte, cosechar en madurez de grano en fase R5 incrementó en  $2.1 t \text{ ha}^{-1}$  la estimación de LEHA comparado con cosechar en fase R4 ( $31.8$  vs  $29.7 t$ , respectivamente;  $P = 0.01$ ). Aunque la etapa de cosecha tuvo poco efecto en la composición bromatológica y no afectó la digestibilidad del forraje, el incremento en  $1.4 t \text{ ha}^{-1}$  en producción de MS explica la diferencia en el valor estimado de LEHA.

## Conclusiones e implicaciones

En el presente estudio, independientemente del año y etapa de cosecha, el rendimiento de forraje fue mayor en híbridos convencionales que en híbridos de nervadura café; mientras el año y el tipo de híbrido alteraron la composición nutricional y digestibilidad del forraje, en donde los híbridos de nervadura café fueron consistentemente superiores a los convencionales. Lo anterior resultó en que los primeros tuvieran mayor producción de leche por tonelada de MS, pero el mayor rendimiento de forraje en híbridos convencionales contrabalanceó ese efecto y tuvieron mayor producción estimada de leche por hectárea. Los valores obtenidos de uFDN sugieren que deberían considerarse estrategias agronómicas para

reducir este parámetro, por lo que futura investigación puede enfocarse en mejorar la digestibilidad del forraje en ese sentido.

### Agradecimientos

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por el financiamiento otorgado para llevar a cabo el estudio, así como al equipo de trabajadores de campo que ayudaron al cuidado de los experimentos. Asimismo, se extiende un agradecimiento a la Escuela Nacional de Lechería Sustentable S.C. de R.L. (ENLS, Zapotlanejo, Jalisco) por las facilidades concedidas para utilizar las vacas fistuladas y el cuidado de las mismas durante los estudios de digestibilidad. Se agradece también a la Ing. Cassandra de la Cruz Espino por su esmero y dedicación en los análisis de laboratorio.

### Literatura citada:

1. SIAP. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Producción Agrícola y Ganadera. México. Consultado 15 Feb, 2025.
2. Núñez HG, Cruz-Cháirez JJ, Santana OI, Rodríguez K, Sánchez-Duarte JI, Ochoa E, *et al.* Modelo de proceso para el diagnóstico del uso de agua de riego en la producción de forrajes en explotaciones lecheras del sistema intensivo en ambientes cálido y templado. *Agrofaz* 2012;12(4):103-111.
3. Ferrareto LF, Shaver RD, Luck BD. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *J Dairy Sci* 2018;101:3937-3951.
4. Ramírez DE, Olmos JJ, Peña A, Sánchez-Duarte JI, Medina E, Gallardo S, Santana OI. Acumulación de materia seca, rendimiento y calidad nutricional del forraje de híbridos de maíz cosechados a diferentes días después de la siembra. *Rev Mex Cienc Pecu* 2024;15(2):287-301.
5. Lopes F, Cook DE, Combs DK. Validation of an *in vitro* model for predicting rumen and total-tract fiber digestibility in dairy cows fed corn silage with different *in vitro* neutral detergent fiber digestibilities at 2 levels of dry matter intake. *J Dairy Sci* 2015;98:574-585.
6. Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. New York, USA: Comstock Publishing Associates, Cornell University Press; 1994.
7. Kuoppala K, Ahvenjärvi S, Rinne M, Vanhatalo A. Effects of feeding grass or red clover silage cut at two maturity stages in dairy cows. 2. Dry matter intake and cell wall digestion kinetics. *J Dairy Sci* 2009;98:5634-5644.



8. Hassanat F, Gervais R, Benchaar C. Methane production, ruminal fermentation characteristics, nutrient digestibility, nitrogen excretion, and milk production of dairy cows fed conventional or brown midrib corn silage. *J Dairy Sci* 2017;100:2625-2636.
9. NASEM. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 8<sup>th</sup> Ed. Washington, D.C. Nat. Acad. Press; 2021.
10. Miller MD, Kokko C, Ballard CS, Dann HM, Fustini M, Palmonari A, *et al.* Influence of fiber degradability of corn silage in diets with lower and higher fiber content on lactational performance, nutrient digestibility, and ruminal characteristics in lactating Holstein cows. *J Dairy Sci* 2021;104:1728-1743.
11. Méchin V, Laluc A, Legée F, Cézard L, Denoue D, Barrière Y, Lapierre C. Impact of the Brown-Midrib *bm5* mutation on maize lignin. *J Agric Food Chem* 2014;62:5102-5107.
12. Peña OM, Velásquez C, Ferreira G, Aguerre MJ. Yield, nutritional composition, and *in vitro* ruminal digestibility of conventional and brown midrib (BMR) corn for silage as affected by planting population and harvest maturity. *Agronomy* 2023;13:1414.
13. 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.
14. Ferreria G, Teets CL, Kingori AM, Ondiek JO. Effect of drought stress on neutral detergent fiber degradation kinetics of corn silage. *J Dairy Sci Comm* 2023;4:196-200.
15. AOAC. Official Methods of Analysis. 20<sup>th</sup> ed. Washington, D.C. Association of Official Analytical Chemists. 2016.
16. Hall MB. Determination of dietary starch in animal feeds and pet food by an enzymatic-colorimetric methods: Collaborative study. *J AOAC Int* 2015;98(2):397-410.
17. Mertens DR. Kinetics of cell wall digestion and passage in ruminants. In: Forage cell wall structure and digestibility. 1<sup>st</sup> ed. American Society of Agronomy Book. 1993.
18. Harper MT, Oh J, Giallongo F, Roth GW, Hristov AN. Inclusion of wheat and triticale silage in the diet of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2017;100:6151-6163.
19. Ørskov ER, McDonald I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurement weighted according to rate of passage. *J Agric Camb* 1979;92:499-503.
20. NOAA. National Oceanic Atmospheric Administration. U.S. Department of Commerce. Accessed: 05/07/2024. [https://psl.noaa.gov/enso/past\\_events.html](https://psl.noaa.gov/enso/past_events.html).

21. Arriola KG, Kim SC, Huisden CM, Adegosan T. 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.
22. Kung L, Moulder BM, Mulrooney CM, Teller RS, Schmidt RJ. The effect of silage cutting height on the nutritive value of a normal corn silage hybrid compared with brown midrib corn silage fed to lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 2008;91:1451-1457.
23. Oba M, Allen MS. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 1. Feeding behavior and nutrient utilization. *J Dairy Sci* 2000;83:1333-1341.
24. Akins MS, Shaver RD. Influence of corn silage hybrid type on lactation performance by Holstein dairy cows. *J Dairy Sci* 2014;97:7811-7820.
25. Coons EM, Fredin SM, Cotanch KW, Dann HM, Ballard SC, Brouillette JP, Grant RJ. Influence of a novel bm3 corn silage hybrid with floury kernel genetics on lactational performance and feed efficiency of Holstein cows. *J Dairy Sci* 2019;102:9814-9826.
26. Ortez OA, McMechan AJ, Hoegemeyer T, Ciampitti IA, Nielsen RL, Thomison PR. Conditions potentially affecting corn ear formation, yield, and abnormal ears: A review. *Crop Forage Turfgrass Mgmt* 2022;8:e20173.
27. Thomas ME, Foster JL, McCuiston KC, Redmon LA, Jessup RW. Nutritive value, fermentation characteristics, and *in situ* disappearance kinetics of sorghum silage treated with inoculants. *J Dairy Sci* 2013;96:7120-7131.
28. Nasrollahi SM, Imani M, Zebeil Q. A meta-analysis and meta-regression of the effect of forage particle size, level, source and preservation method on feed intake, nutrient digestibility, and performance in dairy cows. *J Dairy Sci* 2015;98:8926-8939.
29. Raffrenato E, Ross DA, Van Amburgh ME. Development of an *in vitro* method to determine rumen undigested aNDFom for use in feed evaluation. *J Dairy Sci* 2018;101:9888-9900.
30. Palmonari A, Gallo A, Fustini M, Canestrari G, Masoero F, Sniffen CJ, Formigoni A. Estimation of the indigestible fiber in different forages types. *J Anim Sci* 2016;94(1):248-254.