

RENDIMIENTO DE FORRAJE Y GRANO EN TRES ETAPAS FENOLOGICAS DE MAÍCES DE DOBLE PROPÓSITO

FORAGE AND GRAIN YIELD AT THREE PHENOLOGICAL STAGES OF DUAL-PURPOSE MAIZE

Yessica Torrero-Garza¹, Juan de Dios Guerrero-Rodríguez^{1*}, J. Arahón Hernández-Guzmán¹, Pedro Antonio López¹, Higinio López-Sánchez¹ y Javier Francisco Enríquez-Quiroz²

¹Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Programa en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental La Posta, Medellín, Veracruz, México.

*Autor de correspondencia (rjuan@colpos.mx)

RESUMEN

En sistemas de ganadería familiar, la planta de maíz generalmente se cosecha en madurez comercial, pero se asocia con pérdidas en rendimiento y calidad del forraje, por lo que es necesario conocer los cambios en la producción de forraje de maíz de doble propósito en etapas fenológicas previas. El objetivo del presente estudio fue evaluar el rendimiento de forraje en variedades de maíz de doble propósito en tres etapas fenológicas y determinar la mejor etapa para cosecha considerando el rendimiento de grano. En el ciclo primavera-verano 2020 y 2021 se evaluaron 15 cultivares de maíz en San Mateo Capultitlán y Domingo Arenas, Puebla, México en un diseño experimental de bloques completos al azar. Se realizó análisis de varianza combinado y comparación múltiple de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Las variables medidas fueron días a floración, días de secado de hojas, rendimiento de forraje en estado lechoso-masoso, madurez fisiológica madurez comercial y rendimiento de grano. El rendimiento promedio de forraje en estado lechoso-masoso fue de 13,360 kg MS ha⁻¹, en madurez fisiológica se redujo en 13 % ($P \leq 0.05$) y en madurez comercial en 23 %. El rendimiento de forraje de variedades de polinización libre fue similar al de los híbridos. En madurez comercial, el rendimiento promedio de grano (8968 kg ha⁻¹) y forraje (11,159 kg MS ha⁻¹) de las variedades con mayor número de días a floración femenina fue superior en 23 y 20 %, respectivamente, en comparación con el de variedades con menor número de días a dicha etapa. Para producción de forraje y grano en sistemas de ganadería familiar se pueden utilizar cultivares de polinización libre e híbridos de ciclo intermedio y cosechar en etapa de madurez fisiológica, pues resulta en mayores rendimientos de forraje sin comprometer el rendimiento de grano.

Palabras clave: *Zea mays* L., ciclo intermedio, híbridos, rastrojo, variedades de polinización libre.

SUMMARY

In family livestock systems, the maize plant is usually harvested at commercial maturity, but it is associated with losses in yield and forage quality; thus, it is necessary to know about the changes in the production of dual-purpose maize forage at earlier phenological stages. The objective of this study was to evaluate forage yield in maize cultivars of dual-purpose at three phenological stages and determine the best stage for harvest considering grain yield. In the Spring-Summer 2020 and 2021 seasons, 15 maize cultivars were evaluated in San Mateo Capultitlán and Domingo Arenas, Puebla, Mexico in a randomized complete block experimental design. Combined analysis of variance and Tukey multiple means comparison ($P \leq 0.05$) were performed.

The variables measured were days to flowering, days to leaf drying, forage yield at the milky-doughy state, physiological maturity, commercial maturity, and grain yield. The average forage yield at the milky-dough stage was 13,360 kg DM ha⁻¹ it and was reduced by 13 % ($P \leq 0.05$) at physiological maturity and by 23 % at commercial maturity. Forage yield of open-pollinated varieties was similar to that of hybrids ($P \leq 0.05$). At commercial maturity, the average yield of grain (8968 kg ha⁻¹) and forage (11,159 kg ha⁻¹) of the varieties with the highest number of days to silking was higher ($P \leq 0.05$) by 23 and 20 %, respectively, compared to varieties with lowest number of days to this stage. For production of both forage and grain in family livestock systems, open-pollinated varieties and intermediate-cycle hybrids can be used and harvested at the stage of physiological maturity, as this results in higher forage yields without compromising grain yield.

Index words: *Zea mays* L., hybrids, intermediate cycle, open-pollinated varieties, stubble.

INTRODUCCIÓN

En la producción de maíz, los rendimientos de grano y forraje son elementos importantes para los sistemas agropecuarios del pequeño productor. El grano se destina al consumo humano, mientras que el rastrojo complementa la dieta de rumiantes; por tanto, es esencial abordar ambas necesidades simultáneamente en un solo evento, buscando obtener la mejor calidad y rendimiento posibles.

La producción de materia seca de rastrojo puede variar en función de las condiciones ambientales, la densidad de población, altura de planta, ciclo biológico y también por el momento de cosecha (Xue *et al.*, 2018). Se ha encontrado que los maíces híbridos no siempre tienen mayor rendimiento, tanto de grano, o materia seca de forraje que las variedades de polinización libre (Hurtado-Anchondo *et al.*, 2020) y pueden obtenerse mayores rendimientos de materia seca de forraje con maíces nativos en comparación con híbridos, dependiendo de las condiciones de siembra y del ambiente (Muñoz-Tlahuiz

et al., 2013; Sánchez *et al.*, 2013); debido a ello, conocer el tipo de variedad más adecuado para los sistemas de ganadería familiar es fundamental.

Así mismo, se reporta que el ciclo biológico afecta al rendimiento de forraje; los genotipos de ciclo tardío tienen mayor potencial de rendimiento de grano y materia seca de forraje en comparación con los más precoces (Sánchez e Hidalgo-Ardón, 2018); sin embargo, existen estudios donde maíces de ciclos intermedios han resultado con mayor rendimiento de materia seca de forraje (Ventimiglia y Torrens, 2015), lo cual hace necesario que se investigue sobre el ciclo biológico en maíces de doble propósito.

La etapa fenológica de cosecha es otro factor importante en el rendimiento de forraje. Estudios realizados con maíz forrajero para ensilaje señalan que se tiene mayor rendimiento de materia seca en estado lechoso-masoso, con una pérdida de forraje entre 25 y 30 % si la cosecha se realiza en madurez fisiológica (Crowley y Jorgensen, 1988). Otros estudios en híbridos forrajeros indican que si se cosecha para ensilaje en estado masoso se obtiene una baja proporción de elote, en contraste con la cosecha en madurez fisiológica del grano, etapa donde el rendimiento de grano es mayor y se obtienen altos rendimientos de forraje con el ensilaje de la planta completa (González *et al.*, 2006; Millner *et al.*, 2005). Debido a que en sistemas de ganadería familiar no existen investigaciones acerca de la fluctuación del rendimiento del forraje de maíz entre las etapas fenológicas de estado lechoso-masoso (LM), madurez fisiológica (MF) y madurez comercial (MC), el objetivo del presente estudio fue evaluar las variaciones de materia seca del forraje por etapas fenológicas, considerando el rendimiento final de grano, e hipotetizando que la mejor etapa para cosecha es en madurez fisiológica. El propósito del estudio es que el conocimiento de los cambios en el rendimiento de materia seca de forraje en las diferentes etapas, del tipo de material genético y de la duración del ciclo biológico de maíces de doble propósito, ayude a eficientar la nutrición de rumiantes en los sistemas de producción de ganadería familiar proporcionando forraje en suficiencia, sin comprometer el rendimiento de grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

En 2020 se estableció un experimento en San Mateo Capultitlán, municipio de Huejotzingo, Puebla, México (19° 13' 32" N y 98° 20' 18" O), a una altitud de 2260 msnm, en suelo fértil profundo de textura franco-arenosa, con lluvias de finales de abril hasta octubre (Weather Spark, 2020). La precipitación acumulada, medida con un pluviómetro

(TFA Dostmann, modelo 47.1008, GmbH & Co., Wertheim am Main, Alemania) en este sitio durante el periodo experimental fue de 444 mm; las temperaturas, medidas con un registrador de temperatura del aire y humedad relativa (Extech Instruments, modelo RHT10, Nashua, New Hampshire, USA) promediaron en las máximas 28.3 °C y en las mínimas 2 °C. En el experimento de 2020, dado que las lluvias en suficiencia se retrasaron, se aplicó un único riego por gravedad (lámina de riego de 9.3 mm), con la finalidad de mejorar la humedad disponible en el suelo para favorecer la germinación de la semilla y tener establecimiento exitoso del cultivo; la continuación del ciclo de cultivo fue en condiciones de temporal.

En 2021 en esa misma localidad se estableció un segundo experimento en las mismas condiciones de suelo, donde se tuvo una precipitación acumulada de 371 mm, un promedio de temperaturas máximas de 29.5 °C y de mínimas de 2.8 °C. Un tercer experimento se estableció en Domingo Arenas, Puebla, México (19° 08' 35" N y 98° 27' 37" O), a altitud de 2367 msnm, en suelo fértil profundo de textura franco-arenosa, con lluvias entre mayo y octubre. En este sitio, durante el periodo experimental se acumularon 396 mm de precipitación y el promedio de temperaturas máximas fue de 30 °C, mientras que el de mínimas fue de 4.5 °C. En 2021, ambos experimentos fueron solo de temporal.

Manejo de los experimentos

La preparación del suelo consistió en arar, rastrear y surcar mecánicamente. La siembra fue manual y consistió en colocar tres semillas por mata cada 40 cm a 5 cm de profundidad. A los 40 días después de la siembra se aclaró a dos plantas por mata, para tener una densidad de población de 63,000 plantas por ha. La fertilización fue con la fórmula N-P-K 160-40-40, con Triple 17 y Urea como fuentes; en la siembra se aplicaron 40-40-40 unidades, el resto del nitrógeno se aplicó en dos ocasiones más, 60 unidades en la primera escarda (30 días después de la siembra) y 60 unidades en la segunda escarda (45 días después de la siembra). El control de malezas fue con tracción animal y manual; no se tuvieron problemas de plagas. Se evaluaron 15 variedades de maíz (Cuadro 1).

Diseño y unidad experimental

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones en los experimentos de 2020, y con tres repeticiones en 2021. Las unidades experimentales fueron de cuatro surcos de 6 m de largo y 0.80 m de separación entre sí. La toma de datos se realizó en los dos surcos centrales.

Cuadro 1. Variedades evaluadas, color de grano y tipo de cruce en dos localidades del Valle de Puebla, México.

Tratamiento	Descripción	Variedad	Color de grano	Tipo de variedad
1	HE	SM-18 114X108	Amarillo	Híbrido de cruce simple
2	HE	SM-19 119X11	Amarillo	Híbrido trilineal
3	HE	SM-19 120X11	Amarillo	Híbrido trilineal
4	HE	SM-19 121X11	Amarillo	Híbrido trilineal
5	HE	SM-19 122X11	Amarillo	Híbrido trilineal
6	HE	SM-19 123X11	Amarillo	Híbrido trilineal
7	HE	SM-19 124X11	Amarillo	Híbrido trilineal
8	HE	SM-19 126X11	Amarillo	Híbrido trilineal
9	HE	SM-19 133X11	Amarillo	Híbrido trilineal
10	HE	SM-19 Lote 2	Blanco	Híbrido de cruce simple
11	VME	SM-19 POB12A	Blanco	Var. polinización libre
12	HC	HS2	Blanco	Híbrido trilineal
13	VME	Tropical 1	Blanco	Var. polinización libre
14	HC	SBA470	Amarillo	Híbrido trilineal
15	HC	Niebla	Blanco	Híbrido trilineal

HC: híbridos comerciales, HE: híbridos experimentales, VME: variedad mejorada experimental. HS2, ColpoSeed®; Niebla, Ceres®; SBA470, Berentsen®. Tropical 1 está en registro para incluirse en ColpoSeed®, la variedad SM-19 POB12A continúa en proceso de selección.

Las variables de rendimiento de forraje y sus componentes en base seca (kg ha^{-1}) se registraron en las etapas fenológicas de estado lechoso-masoso (lm), madurez fisiológica (mf) y madurez comercial (mc). Estas variables fueron rendimiento de tallo (Rtlm, Rtmf y Rtmc), rendimiento de hoja (Rhlm, Rhmf, Rhmc), relación hoja-tallo, (Rhtlm, Rhtmf y Rhtmc), rendimiento de forraje (RFlm, RFmf y RFmc) y rendimiento de grano por hectárea en madurez comercial (Rgra).

Para el rendimiento de forraje por etapa, en cada unidad experimental, se cortaron en los dos surcos centrales tres plantas representativas con competencia completa, que no tuvieran hojas faltantes, y la determinación se hizo en base seca en horno de aire forzado (Shel Lab, Sheldon Manufacturing, Cornelius, Oregon, EUA) a 90 °C hasta alcanzar peso constante (Hurtado-Anchondo *et al.*, 2020); el material se pesó en una báscula (Ohaus Compass™ Modelo CX5200, Parsippany-Troy-Hills, New Jersey, EUA) con precisión de 1 g. Para estimar el rendimiento de grano se registró el peso de mazorcas producidas por unidad experimental; se obtuvieron tres mazorcas representativas para determinar el factor de desgrane (%), pesando el grano y olote por separado en la báscula Ohaus Compass™;

además, se determinó la humedad del grano con un analizador de humedad (Ohaus® MC2000, Parsippany-Troy-Hills, New Jersey, EUA). El peso de campo se ajustó por el factor de desgrane (SNICS, 2024) y por el contenido de humedad a 14 %.

Las variables fenológicas registradas fueron: 1) días a floración masculina (DFM) como los días transcurridos después de la siembra hasta que 50 % de plantas presentaran anteras liberando polen de acuerdo con los lineamientos del SNICS (2024); 2) días a floración femenina (DFF) como los días transcurridos después de la siembra hasta que 50 % de plantas tuvieran estigmas expuestos (SNICS, 2024). Para fines de este estudio se tomó como base la división para Valles Altos de SNICS (2014), y se consideró el intervalo de 80 a 100 días a floración femenina para los maíces intermedios; 3) días a estado lechoso-masoso (DLM) fueron los días transcurridos después de la siembra hasta la presencia de material lechoso-masoso en el grano del elote al momento de perforarlo con la uña (DuPont Pioneer, 2015) en el 50 % de las plantas; 4) días a madurez fisiológica (DMF) fueron los días transcurridos desde la siembra hasta la madurez fisiológica del grano de acuerdo con el SNICS (2024); 5) días a madurez comercial

(DMC) los días transcurridos a madurez comercial; es decir, cuando la planta estaba totalmente seca (SNICS, 2024).

En el periodo de secado de la planta, las variables registradas fueron: días transcurridos desde la siembra hasta que 50 % de las plantas tuvieron en su mazorca principal el totomoxtle seco (DST); días a secado de hoja (DSH) fueron los días transcurridos desde la siembra hasta que 50 % de las plantas presentaron hojas secas arriba de la mazorca principal; periodo de secado del totomoxtle (PST) resultó de la diferencia DST-DMF, y periodo de secado de hojas (PSH) fue la diferencia de DSH-DMF. Estas variables se tomaron en consideración de su relación con la capacidad de formar fotosintatos por la permanencia de tejido verde por mayor tiempo.

Análisis estadístico

Se verificó que los datos cumplieran con los supuestos de normalidad y homocedasticidad y se realizó análisis de varianza combinado y la prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS OnDemand for Academics (SAS Institute, 2022).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias estadísticas debido al factor variedades para todas las variables ($P \leq 0.01$; Cuadro 2). Para localidades existieron diferencias en rendimiento de materia seca de forraje en las etapas estudiadas, y no hubo interacción de localidad por cultivar, excepto para DFM y DMC.

En la comparación entre etapas fenológicas, el rendimiento de forraje en base seca disminuyó conforme las etapas avanzaron (Cuadro 3). Las variedades en estado lechoso-masoso mostraron el mayor rendimiento de forraje en materia seca. De la etapa de estado lechoso-masoso ($13,360 \text{ kg MS ha}^{-1}$) a madurez fisiológica ($11,571 \text{ kg MS ha}^{-1}$) se redujeron ($P \leq 0.05$) 1789 kg de forraje en base seca, lo que representó 13 %, mientras que de madurez fisiológica a madurez comercial ($8898 \text{ kg MS ha}^{-1}$) la reducción ($P \leq 0.05$) fue de 2673 kg , lo que representó 23 %. En estado lechoso-masoso se tiene un nivel alto de reservas de fotoasimilados que se están moviendo de las fuentes como tallos y hojas hacia el grano para llenarlo (Wang *et al.*, 2021), esto quiere decir que la cantidad de materia seca será mayor en el forraje en esta etapa, comparada con la etapa de madurez fisiológica, debido a que en esta última el grano terminó de crecer y llenarse, deteniéndose la movilización de proteínas y carbohidratos solubles (Wang *et al.*, 2021). En madurez fisiológica, aunque las reservas acumuladas en el tejido vegetal se han transferido al grano, la planta de maíz aún tiene actividad fotosintética,

ya que aunque comienza a manifestarse la senescencia, mantiene todavía hojas verdes (Liu *et al.*, 2023). Lo anterior hace suponer que existe una cierta cantidad de materia seca en fotoasimilados que son cuantificables. Chibane *et al.* (2018) mencionaron que la presencia de clorofila es un indicador de fotosíntesis y presencia de asimilados que forman parte de materia seca; por tanto, dicha situación hace diferencia con la etapa de madurez comercial, donde se agotaron ya todas las reservas.

En la etapa de grano lechoso-masoso las variedades que presentaron rendimiento superior de forraje en base seca fueron los híbridos comerciales Niebla y HS2, la VPL Tropical 1 y el híbrido de cruza simple SM19Lote2 (Cuadro 3).

En las etapas de madurez fisiológica y madurez comercial, los rendimientos mayores de forraje en materia seca fueron compartidos entre las VPL con híbridos comerciales e híbridos experimentales; solamente los híbridos experimentales SM19123X11 y SM19126X11 tuvieron los rendimientos más bajos ($P \leq 0.05$).

En rendimiento de grano se encontró mínima diferencia entre variedades; tanto las VPL los híbridos comerciales y experimentales fueron iguales, con excepción de la comparación entre el híbrido HS2 con el SM19133X11, que se diferenciaron estadísticamente, y donde el híbrido experimental tuvo el valor más bajo ($P \leq 0.05$). Estos resultados indican que la selección genética realizada en los híbridos experimentales, así como en las variedades de polinización libre probadas ha sido igual de efectiva que la selección que se ha hecho en los híbridos comerciales probados. Esta tendencia concuerda con algunos otros estudios realizados en maíz, donde se ha documentado progreso en la selección y mejoramiento (Amas *et al.*, 2024).

Para las variables fenológicas, se observaron diferencias entre variedades ($P \leq 0.0001$) para días a floración masculina y femenina (Cuadro 4). Con base en los días a floración femenina (DFF) se formaron dos grupos de precocidad. En el primer grupo de floración femenina (de 82 y 84 días) se incluyeron ocho variedades, entre ellas SBA470 y SM19121X11. En el segundo grupo (floraciones femeninas entre 86 y 90 días), se encontraron siete variedades, entre ellas los híbridos comerciales HS2 y Niebla, cuatro híbridos experimentales y la variedad de polinización libre Tropical 1. Hubo una fuerte tendencia de este grupo de precocidad (de 86 a 90 días a floración femenina) de rendir más forraje que el grupo más precoz. Ruiz *et al.* (2000) clasificaron genotipos de maíz en intermedios precoces, intermedios e intermedios tardíos, mencionando que estos últimos tuvieron mayor potencial

Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza combinado de 15 variedades de maíz de doble propósito evaluadas en dos localidades del Valle de Puebla, México. 2020-2021.

Variable	Localidad	Variedad	Interacción Loc × Variedad	CME	R ²	CV (%)
Variables de rendimiento						
RtIm	39,615,967.80 **	19,000,684.50 **	3,332,187.10 ns	1,933,773.30	0.73	24.46
RhIm	16,471,046.60 ns	7,989,091.10 **	1,707,090.90 ns	2,017,901.70	0.52	18.57
Rtmf	391,711.70 ns	13,561,680.30 **	2,481,963.90 ns	1,625,467.40	0.66	27.66
Rhmf	15,422,463.40 ns	8,300,947.50 **	1,923,919.50 ns	2,153,250.00	0.54	21.05
Rtmc	430,858.10 ns	72,773,63.20 **	1,428,540.00 ns	607,048.90	0.73	22.73
Rhmc	13,670,338.84 ns	5,760,931.94 **	1,481,254.74 ns	1,430,151.90	0.57	21.83
RhtIm	1.17 **	0.50 **	0.10 ns	0.06	0.70	16.57
Rhtmf	1.42 **	0.54 **	0.14 ns	0.11	0.61	20.21
Rhtmc	1.37 ns	0.87 **	0.23 ns	0.19	0.56	25.12
Rgra	179,136,840.40 **	6,627,877.60 **	3,730,430.40 ns	2,827,396.10	0.71	22.94
RfIm	101,169,211.50 **	46,067,907.80 **	8,343,218.30 ns	6,640,451.00	0.66	19.32
Rfmf	10,781,374.80 ns	39,487,118.00 **	7,469,607.90 ns	6,520,166.00	0.60	22.02
Rfmc	15,247,352.10 ns	22,669,327.40 **	5,230,045.50 ns	3,056,991.10	0.67	19.65
Variables fenológicas						
DFM	923.21 **	81.57 **	21.40 **	5.37	0.88	2.81
DFF	759.09 **	84.91 **	15.22 ns	7.36	0.83	3.18
DLM	1074.78 **	61.41 **	17.52 ns	7.12	0.85	2.32
DMF	52.81 ns	24.55 **	5.53 ns	4.92	0.64	1.58
DMC	353.72 **	170.24 **	35.27 **	10.65	0.82	1.98
DTS	56.01 **	144.61 **	14.03 ns	17.44	0.74	2.61
DSH	8.71 ns	192.35 **	15.33 ns	14.58	0.81	2.34
PST	236.84 ns	132.42 **	16.94 ns	23.00	0.68	25.45
PSH	117.88 ns	169.24 **	23.14 ns	23.47	0.72	21.53

** : Diferencia significativa $P \leq 0.01$, ns: diferencia no significativa ($P > 0.05$), Loc: localidades, R²: coeficiente de determinación, CV: coeficiente de variación, CME: cuadrado medio del error, RtIm: rendimiento de tallo en estado lechoso-masoso, RhIm: rendimiento de hoja en estado lechoso-masoso, Rtmf: rendimiento de tallo en madurez fisiológica, Rhmf: rendimiento de hoja en madurez fisiológica, Rtmc: rendimiento de tallo en madurez comercial, Rhmc: rendimiento de hoja en madurez comercial, RhtIm: relación hoja tallo en estado lechoso-masoso, Rhtmf: relación hoja tallo en madurez fisiológica, Rhtmc: relación hoja tallo en madurez comercial, Rgra: rendimiento de grano, RfIm: rendimiento de forraje en estado lechoso-masoso, Rfmf: rendimiento de forraje en madurez fisiológica, Rfmc: rendimiento de forraje en madurez comercial, DFM: días al 50% de floración masculina, DFF: días al 50% de floración femenina, DLM: días a estado lechoso-masoso, DMF: días a madurez fisiológica, DMC: días a madurez comercial, DST: días a secado de totomoxtle, DSH: días a secado de hoja, PST: periodo de secado de totomoxtle, PSH: periodo de secado de hoja.

Cuadro 3. Comparación de medias para rendimiento de forraje en base seca en tres etapas fenológicas y rendimiento de grano de maíz de tres experimentos en dos localidades del Valle de Puebla, México en los años 2021-2022.

Genotipo	Variables				
	RFlm (kg MS ha ⁻¹)	RFmf (kg MS ha ⁻¹)	RFmc (kg MS ha ⁻¹)	DSH	RGra (kg ha ⁻¹)
HS2	17001 ab A	14430 ab B	11005 ab C	2537	8968 a
Niebla	17251 a A	15492 a A	11159 a B	3523	7813 ab
SBA470	12224 bc A	9987 bc B	8811 ab B	1813	6913 ab
SM18114X10	12483 bc A	12164 ab A	9160 ab B	1987	7635 ab
SM19119X11	11765 bc A	10279 bc A	8344 bc B	2432	8213 ab
SM19120X11	13143 b A	11202 ab A	9014 ab B	2577	7052 ab
SM19121X11	11895 bc A	11148 ab A	8051 bc B	2545	6456 ab
SM19122X11	10894 c A	9316 ab B	7017 bc B	2207	6664 ab
SM19123X11	13209 b A	11060 ab A	6048 c B	1990	7620 ab
SM19124X11	11335 c A	9799 bc B	8530 ab B	1820	7534 ab
SM19126X11	11957 bc A	9217 c B	7903 bc B	2408	7002 ab
SM19133X11	11439 c A	9865 bc A	7190 bc B	2040	5749 b
SM19Lote2	16981 ab A	13623 ab B	10461 ab B	3559	7893 ab
SM19POB12A	13103 b A	12477 ab A	9869 ab B	2522	6679 ab
Tropical 1	15718 a A	13511 ab B	10903 ab B	2914	7756 ab
DSH	4010	3974	2721		2616
Promedio	13360	11571	8898		7330

Medias con letras minúsculas iguales en columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). Medias con letras mayúsculas iguales en hileras para la comparación entre etapas por variedad no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). DSH: diferencia significativa honesta. RFlm: rendimiento de forraje estado lechoso-masoso, RFmf: rendimiento de forraje en madurez fisiológica, RFmc: rendimiento forraje en madurez comercial, RGra: rendimiento de grano.

de rendimiento de grano y forraje, lo cual concuerda con lo obtenido en este estudio. Esto también concuerda con Godina *et al.* (2020), en un estudio realizado en Tamaulipas, México, donde evaluaron variedades tardías y precoces y encontraron diferencias en rendimiento y calidad de forraje, siendo las tardías las que mostraron mayor potencial, con una diferencia de 58 kg de MS ha⁻¹. Asimismo, Muñoz-Tlahuiz *et al.* (2013) con cosecha en madurez comercial, también reportan rendimiento menor en genotipos precoces (2143 kg de MS ha⁻¹) respecto a los tardíos (6220 kg de MS ha⁻¹). De acuerdo con Papucci *et al.* (2016) y Parker *et al.* (2016), en maíces tardíos el rendimiento de grano se incrementa debido a que el periodo de llenado y acumulación de reservas es mayor, teniendo la planta

más tiempo para el desarrollo y crecimiento, así como mayor oportunidad de utilizar los recursos como el agua, la radiación y los nutrientes, y se presenta, por tanto, mayor acumulación de materia seca.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede inferir que entre los maíces de doble propósito, los genotipos de polinización libre tienen un potencial de rendimiento de grano y forraje similar a los híbridos, lo cual confirma la hipótesis planteada y concuerda con estudios donde se ha comparado el rendimiento de forraje de maíces híbridos con el de maíces nativos (Elizondo y Boschini, 2002; Hurtado-Anchondo *et al.*, 2020; Sánchez *et al.*, 2013); sin embargo, otros estudios reportan un rendimiento de forraje mayor en

híbridos que en VPL (Espinosa *et al.*, 1997) en condiciones experimentales. Se menciona también que el rendimiento de grano es significativamente mayor en híbridos, pero en forraje, el rendimiento de híbridos es similar o menor que el de VPL (Gaytán-Bautista *et al.*, 2009). El rendimiento superior de forraje que muestran algunos híbridos y VPL es debido a su alta capacidad de adaptación a los ambientes (Velasco-García *et al.*, 2019).

También se observaron diferencias entre variedades en el tiempo para alcanzar los estados lechoso-masoso, madurez fisiológica de grano y madurez comercial, diferencias distintivas de cada variedad de acuerdo con su acervo genético.

Para la variable días de secado de totomoxtle (DTS) se

encontraron diferencias entre variedades; el promedio observado fue de 164 días, con un intervalo de 159 a 169 días. En cuanto a los días a hoja seca (DHS), las variedades fueron diferentes ($P \leq 0.0001$). Los maíces Niebla, HS2, Tropical 1, SM18114X10 y SM19Lote2 presentaron DHS de 167 a 173, mientras que en otros cultivares su tiempo de secado fue menor de 160 días, como en SBA470 y SM19122X11. En la duración del periodo de secado de hojas los cultivares fueron diferentes ($P \leq 0.0001$); por ejemplo, se observaron cultivares con un periodo de secado más prolongado, como Tropical 1 con PST de 28 días y PSH de 31 días y SM19Lote2, con 26 y 30 días, respectivamente, comparados con cultivares con PST y PSH más cortos, como SBA470 (11 y 12 días, respectivamente) y SM19126x11 (12 y 15 días, respectivamente). Cuando el periodo de secado de hojas es más rápido, se afecta la

Cuadro 4. Comparación de medias para variables fenológicas y variables de secado de 15 variedades de maíz de doble propósito en dos localidades del Valle de Puebla. 2020-2021.

Genotipo	Variables								
	DFM	DFF	DLM	DMF	DMC	DST	DSH	PST	PSH
HS2	85 ab	88 ab	116 b	143 ab	171 a	168 ab	171 a	24 ab	28 ab
NIEBLA	86 ab	90 a	117 ab	144 a	172 a	169 a	173 a	22 ab	27 ab
SBA470	81 bc	82 c	113 bc	141 ab	160 c	159 b	154 c	11 bc	12 bc
SM18114X10	83 b	86 ab	116 bc	142 ab	169 ab	165 ab	167 ab	20 ab	26 ab
SM19119X11	81 bc	83 bc	112 C	139 b	165 bc	164 ab	163 bc	23 ab	24 ab
SM19120X11	81 bc	82 bc	113 bc	139 b	162 bc	161 c	160 bc	17 bc	20 bc
SM19121X11	82 b	84 b	114 bc	140 ab	163 cb	161 c	160 bc	16 ab	20 bc
SM19122X11	81 bc	83 bc	114 bc	138 b	162 bc	160 c	159 b	18 bc	20 bc
SM19123X11	80 bc	83 bc	113 bc	139 b	163 bc	161 b	162 bc	18 ab	22 ab
SM19124X11	79 c	82 c	113 bc	140 ab	164 bc	161 c	161 bc	16 bc	21 b
SM19126X11	81 bc	83 bc	113 bc	141 ab	161 b	159 c	157 c	12 bc	15 bc
SM19133X11	88 a	90 a	120 a	141 ab	164 bc	161 c	163 b	16 bc	21 b
SM19Lote2	86 a	88 ab	117 ab	140 ab	169 ab	166 ab	170 a	26 ab	30 ab
SM19POB12A	83 b	87 ab	116 b	141 ab	164 bc	162 bc	162 bc	17 bc	21 b
TROPICAL1	85 ab	88 ab	117 ab	140 ab	170 a	168 a	171 a	28 a	31 a
DSH	4	4	4	3	5	8	8	10	10
Promedio	83	85	115	141	165	160	164	19	23

Medias con letras iguales en columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). DSH: diferencia significativa honesta, DFM: días a floración masculina, DFF: días a floración femenina, DLM: días a estado lechoso-masoso, DMF: días a madurez fisiológica, DMC: días a madurez comercial, DTS: días a totomoxtle seco, DHS: días a hoja seca, PST: periodo de secado de totomoxtle, PSH: periodo de secado de hoja.

calidad del forraje, principalmente porque pueden ocurrir pérdidas de materia seca si hay retraso en la cosecha (Thomas y Howarth, 2000; Yang y Zhang, 2006), además de que experimenta más temprano un posible deterioro de forraje por lavados que pueden hacer las lloviznas y porque el viento puede desprender las hojas secas quedando más proporción de tallo que de hojas, como comunmente se observa en los campos con cosechas atrasadas.

CONCLUSIONES

El mayor rendimiento de materia seca de forraje se obtuvo en estado lechoso-masoso del grano, el intermedio en madurez fisiológica y el menor en madurez comercial, debido principalmente a la movilización de reservas y asignación de materia seca de fotosintatos al grano. Las variedades con mayor tiempo a floración media femenina mostraron los mayores rendimientos de grano y forraje en la etapa de madurez comercial por un mayor periodo de crecimiento. En la etapa de madurez fisiológica del grano se logran mayores rendimientos de materia seca forraje comparado con madurez comercial, sin que se afecte el rendimiento de grano, puesto que persiste la actividad fotosintética y se interrumpe la respiración de la etapa final al cortar la planta, lo que resulta en valores mayores de materia seca. Las variedades tuvieron diferencias en los días a inicio de secado del totomoxtle y de hojas, presentando algunas de ellas mayor tiempo con hojas verdes en la etapa de madurez fisiológica del grano.

BIBLIOGRAFÍA

- Amas J. I., F. Curin, K. E. D' Andrea, S. F. Luque and M. E. Otegui (2024) Maize breeding effects on grain yield genetic progress and its contribution to global yield gain in Argentina. *Field Crops Research* 316:109520. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109520>
- Chibane N., P. Revilla T., M. Caicedo y B. Ordás L. (2018) Relación entre "Stay Green" y características agronómicas y fisiológicas en maíz. In: Actas de Horticultura: IX Congreso de Mejora Genética de Plantas. J. García B., O. Pérez T., J. Cos T., L. Ruiz G. y E. Sánchez L. (eds.). Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario. Murcia, España. pp:395-398.
- Crowley W. y N. Jorgensen (1988) Ensilaje de Maíz para el Ganado: Producción, Cosecha, Almacenamiento y Utilización en Raciones de Establecimientos Lecheros. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay, 51 p.
- DuPont Pioneer (2015) Maíz Crecimiento y Desarrollo. DuPont Pioneer. Johnston, Iowa USA. 19 p. https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Spain/images/Agronomy/maiz_crecimiento_desarrollo.pdf (Julio 2025).
- Elizondo J. y C. Boschini (2002) Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agronomía Mesoamericana* 13:13-17, <https://doi.org/10.15517/am.v13i1.13227>
- Espinosa A., M. Tadeo, A. Piña y R. Martínez (1997) Capacidad productiva de cruza de variedades de maíz, de polinización libre combinadas con híbridos simples. *Agronomía Mesoamericana* 8:139-142, <https://doi.org/10.15517/am.v8i2.24678>
- Gaytán-Bautista R., M. I. Martínez-Gómez y N. Mayek-Pérez (2009) Rendimiento de grano y forraje en híbridos de maíz y su generación avanzada F₂. *Agricultura Técnica en México* 35:295-304.
- Godina R. J. E., J. R. Garay M., S. I. Mendoza P., S. Joaquín C., M. Rocandío R. y F. Lucio R. (2020) Rendimiento de forraje y composición morfológica de maíces nativos en condiciones semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 24:59-68, <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2358>
- González C. F., A. Peña R. y G. Núñez H. (2006) Etapas de corte, producción y calidad forrajera de híbridos de maíz de diferente ciclo biológico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29:103-107, https://doi.org/10.35196/rfm.2006.Especial_2.103
- Hurtado-Anchondo J. R., J. A. Hernández-Guzmán, J. I. Olvera-Hernández, L. C. Lagunes-Espinoza, E. Pérez-Ramírez y J. D. Guerrero-Rodríguez (2020) Producción y calidad de grano y rastrojo en maíces en el altiplano poblano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 24:69-80, <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2359>
- Liu G., Y. Yang, X. Guo, W. Liu, R. Xie, B. Ming, ... and P. Hou (2023) A global analysis of dry matter accumulation and allocation for maize yield breakthrough from 1.0 to 25.0 Mg ha⁻¹. *Resources, Conservation & Recycling* 188:106656, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106656>
- Millner J. P., R. Vill Aver and A. K. Hardacre (2005) The yield and nutritive value of maize hybrids grown for silage. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 48:101-108, <https://doi.org/10.1080/00288233.2005.9513637>
- Muñoz-Tlahuiz F., J. D. Guerrero-Rodríguez, P. A. López, A. Gil-Muñoz, H. López-Sánchez, E. Ortiz-Torres, ... y M. Valadez-Ramírez (2013) Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4:515-530.
- Papucci S., A. González, M. Cruciani, G. Tuttolomondo y M. González (2016) Maíces tempranos versus tardíos. *Agromensajes* 46:39-45.
- Parker P. S., J. S. Shonkwiler and J. Aurbacher (2016) Cause and consequence in maize planting dates in Germany. *Journal of Agronomy and Crop Science* 203:227-240, <https://doi.org/10.1111/jac.12182>
- Ruiz C. J., J. L. Ramírez D., F. J. Flores M. y J. J. Sánchez G. (2000) Cambio climático y efectos sobre las áreas potenciales para maíz en Jalisco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 23:183-194, <https://doi.org/10.35196/rfm.2000.2.183>
- Sánchez H. M. A., C. U. Aguilar M., N. Valenzuela J., B. M. Joaquín T., C. Sánchez H., M. C. Jiménez R. y C. Villanueva V. (2013) Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 4:271-288.
- Sánchez L. W. y C. Hidalgo-Ardón (2018) Potencial forrajero de nueve híbridos de maíz en la zona alta lechera de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 29:153-164, <https://doi.org/10.15517/ma.v29i1.27732>
- SAS Institute (2022) SAS® OnDemand for Academics. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA.
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2014) Guía Técnica para la Descripción Varietal de Maíz (*Zea mays* L.). Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, SAGARPA. México, D. F. 39 p.
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (2024) Protocolo para la evaluación de variedades de maíz con fines de inscripción en el Listado de Variedades Evaluadas. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México, 12 p.
- Thomas H. and C. J. Howarth (2000) Five ways to stay green. *Journal of Experimental Botany* 51:329-337, https://doi.org/10.1093/jexbot/51.suppl_1.329
- Velasco-García A. M., J. J. García-Zavala, J. Sahagún-Castellanos, R. Lobato-Ortiz, C. Sánchez-Abarca e I. M. Marín-Montes (2019) Rendimiento, componentes de rendimiento y heterosis de germoplasma de maíz adaptado a valles altos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42:367-374, <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.367-374>
- Ventimiglia L. y L. Torrens B. (2015) Maíz: comportamiento de tres ciclos, tres densidades y dos espaciamientos entre líneas, en la producción de materia verde, seca y rendimiento de grano. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. 11 p.
- Wang F., R. Xie, B. Ming, K. Wang, P. Hou, J. Chen, ... and S. Li. (2021) Dry matter accumulation after silking and kernel weight are the

key factors for increasing maize yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management* 254:106938

Weather Spark (2020) El clima y el tiempo promedio en todo el año en San Mateo Capultitlán. Cedar Lake Ventures, Inc. Minneapolis, Minnesota, USA. <https://es.weatherspark.com/y/6800/Clima-promedio-en-San-Mateo-Capultitlan-Mexico-durante-todo-el-año> (Junio 2020)

Xue J., Q. Wang, L. Li, W. Zhang, R. Xie, K. Wang, ... and S. Li (2018) Changes of maize lodging after physiological maturity and its influencing factors. *Acta Agronomica Sinica* 44:1782-1792, <https://doi.org/10.3724/SP.J.1006.2018.01782>

Yang J. and J. Zhang (2006) Grain filling of cereals under soil drying. *New Phytologist* 169:223-236, <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01597.x>