

Productividad de forraje en maíces híbridos bajo diferentes densidades de población y dosis de fertilización

Fodder productivity in corn hybrids under different plant densities and fertilization rates

Flavio Antonio Rodríguez-Montalvo¹, Mauro Sierra-Macías¹ ,
Alejandro Espinosa-Calderón² , Marcos Ventura Vázquez-Hernández¹ ,
Sabel Barrón-Freyre³, Pablo Andrés-Meza⁴  y José Luis Del Rosario-Arellano⁴ 

¹ Campo Experimental Cotaxtla. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo-Centro (CIRGOC). Carretera federal Veracruz-Córdoba km 34.5. 94270 Medellín de Bravo, Veracruz, México.

² Autor para correspondencia (sierra.mauro@inifap.gob.mx)

³ Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Centro (CIRCE). Carretera federal los Reyes-Textcoco km 13.5, Coatlinchán. 56250 Textcoco, Estado de México, México.

⁴ Campo Experimental Huimanguillo. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional Golfo-Centro (CIRGOC). Carretera federal Huimanguillo-Cárdenas km 1. 86400 Huimanguillo Centro, Tabasco, México.

⁵ Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Región Orizaba-Córdoba. Universidad Veracruzana. Carretera Peñuela Amatlán km 177. 94500 Córdoba, Veracruz, México.

RESUMEN

La fertilización y densidad de planta son algunos componentes tecnológicos esenciales dentro de la agricultura moderna. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la densidad de planta y dosis de fertilización sobre la productividad de forraje de tres híbridos comerciales de maíz. El experimento se estableció en el Campo Experimental Cotaxtla perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), bajo un diseño en bloques completamente al azar con arreglo en parcelas subdivididas con tres repeticiones. Se estudiaron tres factores: dosis de fertilización (207-69-60 y 253-69-60), híbridos de maíz (H-564C, H-567 y HE-3B) y densidades de planta (62 500, 83 000 y 100 000 plantas ha⁻¹). Durante el periodo de estudio, la precipitación mensual acumulada fue de 489.30 mm y la temperatura promedio de 27.01 °C; la máxima temperatura ocurrió en el mes de agosto (27.83 °C) y la mínima en el mes de septiembre (26.30 °C). La prueba de Duncan ($P \leq 0.05$), demostró que la dosis de fertilización integrada por la fórmula 253-69-60, incrementó el rendimiento de forraje verde, un 15.06% más con relación a la fórmula 207-69-60.

Los híbridos H-564C y HE-3B expresaron los mejores rendimientos de forraje verde con 53 105 y 51 937 kg ha⁻¹, respectivamente. La mayor producción de forraje verde se obtuvo con el híbrido HE-3B y la dosis 253-69-60. El aumento de la densidad de planta (62 500 a 100 000 plantas ha⁻¹) incrementó el rendimiento de forraje verde cuando se aplicó altas unidades de N. El incremento de la densidad de planta no afectó las características agronómicas de los híbridos evaluados. Los híbridos H-564C y HE-3B, expresaron mayor rendimiento de forraje verde. Este último material es un candidato para ser liberado y comercializado con propósitos forrajeros en el área tropical del estado de Veracruz.

Palabras clave: híbridos trilineales, producción forrajera, trópico húmedo, *Zea mays* L.

SUMMARY

Fertilization and plant density are some essential technological components in modern agriculture. The aims of this research was to define the effect of plant density and fertilization rates on fodder productivity of three commercial corn hybrids. In the spring-summer

Cita recomendada:

Rodríguez-Montalvo, F. A., Sierra-Macías, M., Espinosa-Calderón, A., Vázquez-Hernández, M. V., Barrón-Freyre, S., Andrés-Meza, P. y Del Rosario-Arellano, J. L. 2021. Productividad de forraje en maíces híbridos bajo diferentes densidades de población y dosis de fertilización. *Terra Latinoamericana* 39: 1-12. e676. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.676>

Recibido: 29 de octubre de 2019. Aceptado: 15 de septiembre de 2020.
Artículo. Volumen 39, marzo de 2021.

2017 season, an experiment was established in the Cotaxtla Experimental Field of the National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock Research (INIFAP in Spanish), under a completely randomized block design arranged in subdivided plots with three replicates. Three factors were studied, fertilization rates (207-69-60 and 253-69-60), corn hybrids (H-564C, H-567 and HE-3B) and plant densities (62 500, 83 000 and 100 000 plants ha⁻¹). During the study period, the accumulated monthly precipitation was 489.30 mm and average temperature was 27.01 °C; the maximum temperature occurred in August (27.83 °C) and the minimum in September (26.30 °C) 2017. Duncan's test ($P \leq 0.05$) showed that the fertilization rates integrated by the formula 253-69-60 increased green fodder yield, 15.06% more than in the formula 207-69-60. Hybrids H-564C and HE-3B expressed the best green fodder yields with 53 105 and 51 937 kg ha⁻¹, respectively. Increasing plant density (62 500 to 100 000 plants ha⁻¹) and green fodder yield when high units of N were applied (253-69-60). Likewise, the increase in plant density did not affect the agronomic characteristics of the evaluated hybrids. The commercial H-564C hybrid expressed the highest green and dry fodder yields, followed by the experimental HE-3B hybrid. This last material is a candidate to be released and commercialized for fodder purposes in the tropical area of the state of Veracruz.

Index words: *trilinear hybrids, fodder production, humid tropics, Zea mays L.*

INTRODUCCIÓN

El territorio mexicano cuenta con 1 964 375 km² de superficie territorial, 24.6 millones de ha corresponden al sector agrícola y 109.8 millones de ha son destinadas a la ganadería (SIAP, 2019); en estas regiones, el maíz constituye una fuente primaria de energía como forraje o ensilado para la alimentación de rumiantes por su alto valor nutritivo y buena digestibilidad (Núñez *et al.*, 2001; Njoka *et al.*, 2004; Zaragoza-Esparza *et al.*, 2019).

En el ciclo agrícola 2018 se establecieron en México, alrededor de 603 326 ha con maíz para la producción de forraje, con un rendimiento medio de 29.06 Mg ha⁻¹. La mayor parte de esta producción, se localizó en los estados de Jalisco, Zacatecas y Durango que concentraron el 39, 16 y 12% del total nacional; no

obstante, el rendimiento promedio de forraje explorado fue bajo comparado con algunos estados como Querétaro y Guanajuato, que alcanzaron rendimientos de hasta 70 Mg ha⁻¹ de forraje verde (SIAP, 2020).

En el estado de Veracruz la ganadería ocupa aproximadamente el 70% de su territorio, lo que representa casi cuatro millones de ha cubiertas de pastizales. En estas zonas, para obtener una mayor producción ganadera, se recurre a especies forrajeras introducidas principalmente del género *Cynodon* spp., *Panicum* spp., *Digitaria* spp. y *Brachiaria* spp., entre otros (Cruz *et al.*, 2011). No obstante, la variación de las condiciones climáticas de la región interfiere en la estacionalidad de la producción, productividad y calidad del forraje (Andrieu *et al.*, 1993; Khair *et al.*, 2007; Vilaboa y Díaz, 2009; Getachew *et al.*, 2016; Montemayor-Trejo *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2018); ante esta problemática, durante la época de estiaje el productor pecuario busca alternativas como la siembra de maíces nativos o mejorados que ofrecen algunas ventajas contenido de proteína cruda, fibra y digestibilidad de la materia seca (Elizondo y Boschini, 2002; Mera y Caballero, 2013; Tóthné *et al.*, 2013; Sánchez-Hernández *et al.*, 2019; Zaragoza-Esparza *et al.*, 2019); asimismo, al emplearse como alimento ensilado logra cubrir las necesidades de alimentación para la ganadería y su reconversión para la producción de carne y leche (Núñez *et al.*, 2003; Sierra-Macías *et al.*, 2003; Peña *et al.*, 2006).

Actualmente, los programas de mejoramiento genético de maíz se han enfocado hacia la generación de variedades altamente productivas y calidad de forraje (Núñez *et al.*, 2001; Sierra-Macías *et al.*, 2008 y 2011; Sánchez-Hernández *et al.*, 2011 y 2013); sin embargo, aún existe información limitada de como la fertilización (Rossini *et al.*, 2011; Mahama *et al.*, 2016), arreglo topológico (Van Roekel and Coulter, 2012; Cueto *et al.*, 2006; Tinoco *et al.*, 2008), o la densidad de planta (Reta *et al.*, 2000; Njoka *et al.*, 2004; Marsalis *et al.*, 2010; Ferreira *et al.*, 2014; Ferreira y Teets, 2017) afectan el rendimiento de forraje y su calidad agronómica.

En los sistemas de producción del área tropical del estado de Veracruz, los productores generalmente utilizan bajas densidades de siembra entre 30 000 y 62 500 plantas ha⁻¹ (Mejía y Molina, 2002; Mendoza-Elos *et al.*, 2006; Tinoco *et al.*, 2008; De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2009), estos métodos de siembra dependen de diversos factores como estatus nutricional del suelo,

disponibilidad de agua, riesgo de acame, radiación, entre otros (Reta *et al.*, 2000; Widdicombe y Thelen, 2002; Van Der Wal *et al.*, 2006; Aguilar *et al.*, 2015; Martínez, 2015). Un aumento en la densidad de plantas promueve el rendimiento de materia fresca, seca y variables agronómicas (Zhang *et al.*, 2006); sin embargo, se reduce el diámetro y la relación hoja/tallo y mazorca/planta (Baghdadi *et al.*, 2012), en parte, por el aumento en el desarrollo del dosel e intercepción de la radiación solar (Baron *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2019).

Otro factor importante es la nutrición, el nitrógeno se considera el elemento de mayor relevancia, debido a que reduce o limita el rendimiento de los cultivos. Para cubrir las necesidades en el cultivo de maíz, es frecuente la aplicación de fertilizantes químicos (Jurado *et al.*, 2014; Getachew *et al.*, 2016; Moreno-Reséndez *et al.*, 2017). El Zubair *et al.* (2015), observaron un aumento de 38.77 a 49.43 Mg ha⁻¹ de forraje verde con la aplicación de 110 kg ha⁻¹ de nitrógeno (N). Mendoza-Elos *et al.* (2006) también reportaron un incremento de 237 g planta⁻¹ con la aplicación de 100 kg ha⁻¹ de N.

Santiago *et al.* (2018), indicaron que existen genotipos de maíz con alto rendimiento de forraje con una amplia variación en materia fresca (55.5 a 60.92 Mg ha⁻¹), materia seca (18.75 a 28.25 Mg ha⁻¹) y proteína cruda (8.67 a 11.66%) (Cañadas *et al.*, 2016; Incognito *et al.*, 2016). Sin embargo, es necesario generar maíces específicos para alta productividad de forraje (Soto *et al.*, 2002; Núñez *et al.*, 2003; Oleague *et al.*, 2006; Gaytán-Bautista *et al.*, 2009; Palemón *et al.*, 2012 y 2019; Santiago *et al.*, 2018). Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar el efecto de la densidad de planta y dosis de fertilización sobre la productividad de forraje de tres híbridos comerciales de maíz para el área tropical del estado de Veracruz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Sitio

El experimento se realizó en los terrenos del Campo Experimental Cotaxtla perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) del Centro de Investigaciones de la Región Golfo Centro (CIRGOC), localizado geográficamente a 19° 05' N y 96° 09' O, a 15 m de altitud, ubicado en el municipio de Medellín de Bravo,

Veracruz. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw₁). La precipitación y temperatura media anual son de 1336.8 mm y 25.4 °C, respectivamente (Díaz *et al.*, 2006). De acuerdo con la IUSS (2015), el tipo de suelo es un vertisol de textura franca, con un pH de 6.4 (INEGI, 2020).

Material Genético

Se utilizaron tres híbridos de maíz de grano blanco, generados por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz del Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP-CIRGOG. El híbrido H-564C se caracteriza por presentar un endospermo con alta calidad de proteína, mientras que, H-567 y HE-3B son de endospermo normal; es importante mencionar que los tres híbridos cumplen con tres propósitos: grano, elote y forraje (Sierra-Macías *et al.*, 2011 y 2017; Rodríguez *et al.*, 2016).

Procedimiento Experimental

La siembra del experimento se realizó el 6 de julio de 2017 bajo condiciones de temporal. A las parcelas grandes (PG) se les asignó el factor dosis de fertilización con dos niveles (253-69-60 y 207-69-60), mientras que a las parcelas medianas (PM) se les asignaron tres híbridos comerciales de maíz (H-564C, H-567 y HE-3B) y, por último, a las parcelas chicas (PC) tres densidades de planta (62 500, 83 000 y 100 000 plantas ha⁻¹), se obtuvo un total de 18 tratamientos. Todos los tratamientos se distribuyeron en un diseño de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas subdivididas con tres repeticiones, que generó 54 unidades experimentales (Reyes, 1990). Cada unidad experimental consistió de cuatro surcos de 5 m de largo separados a 0.8 m de ancho. La parcela útil fue de dos surcos centrales para el registro de las variables. La fertilización química se realizó con una mezcla de N-P-K; la dosis 253-69-60 consistió en la aplicación de 510 kg ha⁻¹ de 46-00-00, 150 kg ha⁻¹ de 18-46-00 y 100 kg ha⁻¹ de 00-00-46; mientras que, la dosis 207-69-60, se cubrió con 410 kg ha⁻¹ de 46-00-00, 150 kg ha⁻¹ de 18-46-00 y 100 kg ha⁻¹ de 00-00-46. Ambas dosis se aplicaron de forma manual, en dos fechas: la primera se realizó a los 15 días después de la siembra (dds) en etapa vegetativa V2 (50%N-100%P-100%K), la segunda aplicación se realizó a los 35 dds en etapa V4 previo al atierre del cultivo (50%N). La fuente de fertilización utilizada fue

urea (46-00-00), fosfato diamónico (18-46-00) y cloruro de potasio (00-00-60). El manejo del experimento se realizó de acuerdo al paquete tecnológico para el cultivo de maíz en Veracruz (Tinoco *et al.*, 2002).

Registro de Variables y Datos

Altura de planta (ALPTA): se registró en 10 plantas la altura en cm, desde la superficie del suelo hasta la última hoja bandera; altura de mazorca (ALMZ): se registró en las mismas 10 plantas su altura en cm, desde la superficie del suelo hasta la inserción de la hoja de la mazorca principal; floración masculina (FM): se contabilizaron los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas se encontraron liberando polen; floración femenina (FF): se contabilizaron los días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas mostraron los estigmas receptivos; acame de raíz (ACRZ): se contabilizó el total de plantas con una inclinación de $<45^\circ$; índice de área foliar (IAF): se estimó el área foliar total por planta en cm^2 , se consideró el largo (cm) \times ancho (cm) \times 0.75 (Tinoco *et al.*, 2008); rendimiento de forraje verde (RFV): se determinó a los 70 dds durante la etapa de grano lechoso (R3), la planta de maíz se separó en tallo, hoja, espiga, mazorca y se pesaron; rendimiento de forraje seco (RFS): la biomasa seca por órgano se obtuvo utilizando una estufa (Riossa[®], modelo HCFD-82, México) para llevar los órganos deshidratados a peso constante a una temperatura de 60°C durante 48 horas. Durante

el desarrollo del estudio se registró la temperatura media y la precipitación, datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA, 2019).

Análisis de Datos

Todas las variables se sometieron a una prueba de homogeneidad de varianzas de Shapiro-Wilk, aquellas variables registradas en porcentaje se transformaron mediante la fórmula $\sqrt{x+1}$, para su conversión a datos normales (López y González, 2013). Todos los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza bajo el procedimiento PROC GLM (Modelo Lineal Generalizado) de acuerdo con Castillo (2007). La separación de medias se realizó mediante la prueba de comparación múltiple de Duncan ($P \leq 0.05$). Se utilizó el paquete estadístico SAS/STAT[®] versión 9.3 (SAS, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características Climáticas del Sitio de Evaluación

Durante el periodo de estudio que comprendió los meses de julio a septiembre de 2017, la precipitación mensual acumulada fue de 489.30 mm y la temperatura promedio de 27.01°C ; la máxima temperatura ocurrió en el mes de agosto (27.83°C) y la mínima durante el mes de septiembre (26.30°C) (CONAGUA, 2019) (Figura 1). La fotosíntesis es uno de los procesos más

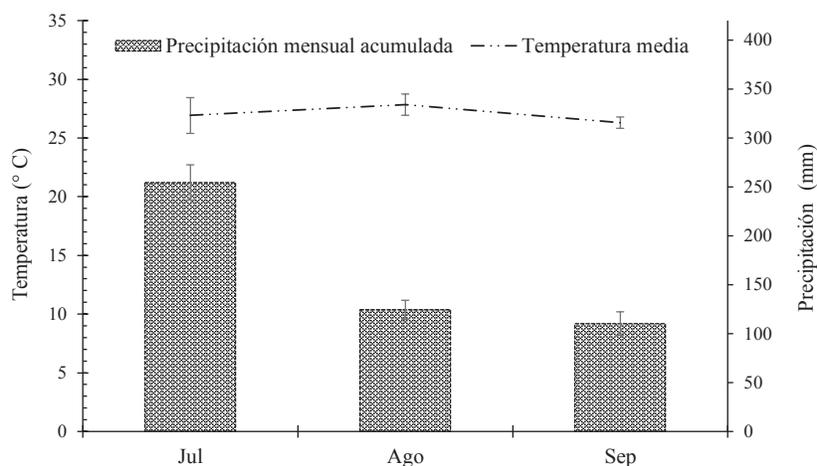


Figura 1. Características climáticas durante el periodo de estudio de julio a septiembre de 2017, en el Campo Experimental Cotaxtla, Medellín de Bravo, Veracruz, México.

Figure 1. Climate characteristics during the study period from July to September 2017, in the Cotaxtla Experimental Field, Medellín de Bravo, Veracruz, Mexico.

sensibles al calor, ésta disminuye significativamente en maíz a temperaturas mayores a 30 °C, debido a la inactivación de la enzima RUBISCO, hasta su degradación a 45 °C. Por lo tanto, esta variación es determinante en los procesos de crecimiento y desarrollo del cultivo (Rincón-Tuexi *et al.*, 2006).

La precipitación total acumulada desde la siembra hasta el momento en que ocurrió la floración (6 julio a 4 de septiembre) fue de 445 mm, lo que sugiere una buena distribución de lluvia durante el periodo crítico del cultivo. Aguilar *et al.* (2015) mencionan que los requerimientos hídricos del cultivo son de aproximadamente de 550 a 575 mm. Greaves y Wang (2017) demostraron que, con la aplicación de 235 a 555 mm de agua total en el ciclo, la producción de materia seca varió de 10.1 a 17.7 Mg ha⁻¹, sugieren utilizar genotipos de maíz altamente eficientes en la conversión de agua a grano y materia seca, especialmente en áreas con poca o errática precipitación. Pandey *et al.* (2000) reportaron que cuando existe baja disponibilidad de agua a inicios de la etapa reproductiva, se reduce de un 23 a 26% el rendimiento de grano, acumulación de biomasa e índice de cosecha.

Características Agronómicas

Se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para la variable rendimiento de forraje verde (RFV) en la fuente de variación dosis de fertilización (DF), híbridos (H), densidad de planta (DP) y en la interacción DF*H; para la variable rendimiento de forraje seco (RFS) solo se detectaron diferencias significativas en la fuente de variación DP y en la interacción DF*H. En contraste, no hubo significancia estadística ($P \geq 0.05$) en todas las fuentes de variación para las variables días floración masculina (FM) y días a floración femenina (FF). El resto de las variables cuantificadas solo mostraron diferencias significativas para la fuente de variación híbridos (Cuadro 1a y 1b). Lo anterior sugiere, que los materiales evaluados muestran una semejanza genética y que las estrategias genotécnicas enfocadas hacia la producción de forraje han sido eficientes.

Cusicanqui y Lauer (1999) sugieren que los híbridos recientemente liberados tienen mayor rendimiento de grano y forraje, y soportan altas densidades de población. Ferreira *et al.* (2014) atribuyeron el incremento de forraje a una mayor densidad de siembra, a la cantidad de lluvia durante el ciclo del cultivo o a la combinación de ambos.

Cuadro 1a. Cuadrados medios y significancia en híbridos de maíz para producción de forraje, INIFAP, Campo Experimental Cotaxtla, primavera verano 2017.

Table 1a. Mean squares and significance in corn hybrids for forage production, INIFAP, Cotaxtla Experimental Field, spring summer 2017.

Fuente de variación	GL	RFV	RFS	FM	FF	ALPTA	ALTMZ
		----- kg ha ⁻¹ -----	-----	----- días -----	-----	----- cm -----	-----
Dosis de fertilización (DF)	1	838406210*	NS	NS	NS	NS	NS
Error A (Bloque*DF)	2	70392713	91925264	21.46296296	16.72222222	644.019074	276.782963
Híbridos (H)	2	940806830**	NS	NS	NS	1946.78**	963.33**
DF*H	2	793913559**	163422393*	NS	NS	NS	NS
Error B (BLO*H(DF))	8	116399471	42394496	5.57407407	12.620370	275.722407	115.830741
Densidad de planta (DP)	2	774521124**	161907715*	NS	NS	NS	NS
H*DP	4	NS	NS	NS	NS	NS	NS
DF*DP	2	NS	NS	NS	NS	NS	NS
DF*H*DP	4	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Error C	24	113799661	48697337	10.8634259	11.3981481	165.14588	116.418519
Promedio		48360.62	18190.04	61.94	62.25	188.45	88.91
CV (%)		22.06	38.36	5.32	5.42	6.82	12.13

*Significativo al 0.05, según la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$). GL = grados de libertad; RFV = rendimiento de forraje verde; RFS = rendimiento de forraje seco; FM = días a floración masculina; FF = días a floración femenina; ALPTA = altura de la planta; ALTMZ = altura de la mazorca; NS = no significativo.

**Significant at 0.05, according to Duncan's test ($P \leq 0.05$). GL = degrees of freedom; RFV = green forage yield; RFS = dry forage yield; FM = days to male flowering; FF = days to female flowering; ALPTA = height of the plant; ALTMZ = height of ear; CV = coefficient of variation; NS = not significant.

Cuadro 1b. Cuadrados medios y significancia en híbridos de maíz para producción de forraje, INIFAP, Campo Experimental Cotaxtla, primavera verano 2017.**Table 1b. Mean squares and significance in corn hybrids for forage production, INIFAP, Cotaxtla Experimental Field, spring summer 2017.**

Fuente de variación	GL	IAF	LHOJ	AHOJ	NHOJ	ACRZ
		- - - cm ² - - -	- - - - - cm - - - - -			%
Dosis de fertilización (DF)	1	NS	NS	1.71**	NS	NS
Error A (Bloque*DF)	2	486582	11.98297	0.050556	0.605185	0.361788
Híbridos (H)	2	4927316.71**	130.92**	1.29**	1.60*	NS
DF*H	2	NS	NS	NS	NS	NS
Error B (BLO*H(DF))	8	738291	16.487037	0.138148	0.417407	0.555706
Densidad de planta (DP)	2	NS	NS	NS	NS	NS
H*DP	4	NS	NS	0.62*	NS	NS
DF*DP	2	NS	NS	NS	NS	NS
DF*H*DP	4	NS	NS	0.6	NS	NS
Error C	24	446068	21.594259	0.19884259	0.36296296	0.55780667
Promedio		81.2	91.8	9.65	12.21	0.67
CV (%)		8.87	5.06	4.62	4.93	53.72

*Significativo al 0.05, según la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$). GL = grados de libertad; IAF = índice de área foliar; LHOJ = longitud de hoja; AHOJ = ancho de hoja; NHOJ = número de hojas; ACRZ = acame de raíz; CV = coeficiente de variación; NS = no significativo.

*Significant at 0.05, according to Duncan's test ($P \leq 0.05$). GL = degrees of freedom; IAF = leaf area index; LHOJ = blade length; AHOJ = sheet width; NHOJ = number of leaves; ACRZ = root lodge; CV = coefficient of variation; NS = not significant.

Sobre este aspecto, Marsalis *et al.* (2010) reportaron resultados similares al estudiar el efecto de dos tipos de cultivos, densidad de planta y dosis de fertilización a través de dos años consecutivos. Los coeficientes de variación para las variables cuantificadas oscilaron entre 4.80 y 38.78%, mismos que sugieren que la conducción del experimento y los resultados obtenidos son confiables a través de las repeticiones (Reyes, 1990; Castillo, 2007).

Al realizar el análisis de comparación de medias mediante la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$), se constató que la dosis de fertilización integrada por la fórmula 253-69-60, incrementó el rendimiento de forraje verde, es decir, se obtuvo 15.06% más con relación a la fórmula 207-69-60 (Cuadro 2). Los híbridos H-564C y HE-3B expresaron los mejores rendimientos de forraje verde con 53 105 y 51 937 kg ha⁻¹, respectivamente. Fallah y Tadayyon (2010) reportan un aumento de biomasa total al aumentar la dosis de nitrógeno (N) de 240 a 320 kg N ha⁻¹. Budakli *et al.* (2010) observaron un incremento de materia seca en el híbrido ADA-523 con la aplicación de 300 y 400 kg N ha⁻¹. El incremento de la densidad de planta de 83 000 a 100 000 plantas ha⁻¹ condujo a un aumento de materia fresca por unidad

de superficie. Estos resultados indican una relación entre el forraje y la densidad de planta. Varios estudios han determinado diferentes densidades de planta para obtener mayor rendimiento de forraje en el rango de 38 400 a 220 000 plantas ha⁻¹ (Mendoza-Elos *et al.*, 2006; Tinoco *et al.*, 2008; De la Cruz-Lázaro *et al.*, 2009; Budakly *et al.*, 2010; Fallah y Tadayyon, 2010; Van Roekel y Coulter, 2011; Sánchez-Hernández *et al.*, 2013; Ferreira y Teets, 2017). La máxima productividad de forraje seco se observó solo al aumentar la densidad de planta (Cuadro 2). Los altos rendimientos observados por los híbridos, se explican por la mayor cantidad de plantas que en su conjunto interceptan una mayor cantidad de luz (Tinoco *et al.*, 2008). Varios investigadores han reportado que la densidad de planta afecta positivamente el rendimiento de materia seca y la calidad de sus componentes (Jiwang *et al.*, 2004; Sheaffer *et al.*, 2006; Marsalis *et al.*, 2010; Sánchez-Hernández *et al.*, 2019).

Todos los híbridos evaluados expresaron en 62 dds, el 50% de la floración masculina y floración femenina. Las condiciones ambientales imperantes durante el desarrollo del experimento (Figura 1), no afectó el ciclo ontogénico de los híbridos evaluados.

Cuadro 2. Rendimiento de forraje y características agronómicas de híbridos de maíz con diferentes densidades de población y fertilización, INIFAP, Campo Experimental Cotaxtla, primavera verano 2017.**Table 2. Forage yield and agronomic characteristics of corn hybrids with different population densities and fertilization, INIFAP, Cotaxtla Experimental Field, spring summer 2017.**

Factor principal	RFV	RFS	FM	FF	ALPTA	ALTMZ	IAF	LHOJ	AHOJ	NHOJ	ACRZ
	--- kg ha ⁻¹ ---	---	--- Días ---	---	--- cm ---	---	cm ²	--- cm ---	---	---	%
Fertilización											
253-69-60 (2)	52 301a [†]	19 153a	61a	62a	191.5a	90.5a	7955.4a	91.3a	9.5b	12.2a	0.6a
207-69-60 (1)	44 420b	17 227a	63a	63a	185.4a	87.3a	8283.9a	92.3a	9.8a	12.3a	0.7a
Media	48 360	18 190	62	62	188.5	88.9	8119.7	91.8	9.7	12.2	0.7
Híbrido											
H-564 C (3)	53 105a	19 249a	63a	64a	184.6b	87.0b	7967.7b	91.7b	9.4b	12.4a	0.9a
HE-3B (2)	51 937a	19 700a	62a	62a	200.2a	97.0a	8702.0a	94.9a	9.9a	12.3b	0.7a
H-567 (1)	40 040b	15 621a	61a	61a	180.5b	82.7b	7689.3b	89.9b	9.6b	11.9b	0.4a
Media	48 360	18 190	62	62	188.5	88.9	8119.7	91.8	9.7	12.2	0.7
Densidad											
100 000 (3)	54 281a	20 343a	62a	62a	188.8a	87.7a	8099.9a	92.0a	9.6a	12.2a	0.4a
83 000 (2)	49 492a	19 462ab	62a	63a	192.0a	91.6a	7961.5a	90.9a	9.6a	12.2a	0.7a
62 500 (1)	41 309b	14 765b	62a	62a	184.5a	87.4a	8297.7a	92.5a	9.8a	12.2a	1.0a
Media	48 360	18 190	62	62	188.5	88.9	8119.7	91.8	9.7	12.2	0.7

[†]Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$). RFV = rendimiento de forraje verde; RFS = rendimiento de forraje seco; FM = días a floración masculina; FF = días a floración femenina; ALPTA = altura de planta; ALTMZ = altura de mazorca; IAF = índice de área foliar; LHOJ = longitud de hoja; AHOJ = ancho de hoja; NHOJ = número de hojas; ACRZ = acame de raíz.

[†]Different letters in the same column indicate significant differences, according to Duncan's test ($P \leq 0.05$). RFV = green forage yield; RFS = dry forage yield; FM = days to male flowering; FF = days to female flowering; ALPTA = plant height; ALTMZ = height of ear; IAF = leaf area index; LHOJ = blade length; AHOJ = sheet width; NHOJ = number of leaves; ACRZ = root lodge.

Estos híbridos están integrados por líneas de diferente origen genético y que en su proceso de obtención presentan entre siete y ocho autofecundaciones, con un 95% de endogamia; lo que confiere a la progenie, homogeneidad y plasticidad fenotípica a ambientes con amplia variabilidad ambiental. Resultados similares fueron reportados por De la Cruz-Lázaro *et al.* (2009) quienes contabilizaron 52 y 55 días a la floración masculina, en un grupo de maíces tropicales. Así también, Mejía y Molina (2002) encontraron que la floración en un grupo de maíces en el trópico húmedo de México ocurrió entre 57 y 62 días a floración durante el ciclo primavera verano y entre 75 y 80 días durante el ciclo otoño-invierno, lo anterior sugiere un efecto del termoperíodo, lo que concuerda con los resultados obtenidos.

Martínez (2015) menciona que algunos factores desfavorables como: sequía, nubosidad, deficiencias de nutrientes y altas densidades de planta, pueden llegar a postergar o adelantar la liberación de polen y emisión

de estigmas, afectando directamente el rendimiento de grano y acumulación de biomasa del cultivo.

La dosis de fertilización y la densidad de planta no afectaron la altura de la planta y de mazorca. El híbrido HE-3B superó en altura de planta y mazorca a los híbridos H-564C y H-567 (Cuadro 2). Sierra-Macias *et al.* (2011), estimaron alturas de planta ligeramente superiores a las encontradas en el presente trabajo para el híbrido H-564. Sánchez-Hernández *et al.* (2011), reportaron una altura de planta promedio de 153 a 192 cm, al estudiar la respuesta de híbridos tropicales de maíz bajo diferentes densidades de siembra.

El índice de área foliar (IAF) al final del experimento fue mayor en el híbrido HE-3B (8702.08 cm²), de igual manera se presentaron altos valores en las variables LHOJ, AHOJ y NHOJ; en contraste, el híbrido H-567 desarrolló el menor IAF. La densidad de planta que presentó áreas foliares mayores fue la establecida con 62 500 plantas ha⁻¹ (Cuadro 2), esto se atribuye a que las plantas que crecieron a densidades de población

bajas tuvieron menor competencia por agua, nutrientes, radiación solar, lo que incidió directamente en plantas más vigorosas (Reta *et al.*, 2000; Soto *et al.*, 2002; Núñez *et al.*, 2003; Peña *et al.*, 2006). Budakly *et al.* (2010) mencionan que el número de hojas por planta disminuye significativamente con el aumento de la densidad de planta, y que el mayor número de hojas se obtuvo con 60 000 plantas ha⁻¹. Efectos similares de densidad de planta sobre el número de hojas fueron reportados por Saruhan y Sireli (2005) en maíces forrajeros.

Purcell *et al.* (2002) consideran que, si el uso eficiente de la radiación es constante y que la duración del ciclo del cultivo no es afectada por la densidad de planta, el incremento de ésta, podría acortar el tiempo requerido para alcanzar el mayor índice de intercepción de luz, aumentar la acumulación total de la radiación fotosintéticamente activa durante el ciclo, y causar una mayor producción de biomasa en la maduración del cultivo. Los valores encontrados para la variable acame de raíz, son relativamente bajos (< 1%) lo que sugiere una mayor resistencia a altas densidades de planta, lo anterior representa una ventaja para el productor debido a la presencia de frentes fríos tempranos en la región (CONAGUA, 2019). Resultados similares fueron reportados por Palemón *et al.* (2012) en cruza intervarietales de maíz. Asimismo, Palemón *et al.* (2019) en un grupo de genotipos con potencial forrajero para las áreas de secano del estado de Guerrero.

En virtud de que la interacción DF*H resultó significativa ($P \leq 0.05$) para rendimiento de forraje verde; en la Figura 2, se observa que el nuevo híbrido experimental HE-3B combinado con la dosis de fertilización alta (253-69-60), expresó el mayor rendimiento de forraje verde por unidad de área (57 732 kg ha⁻¹) (datos no mostrados).

Asimismo, el híbrido H-564C combinado con la dosis de fertilización alta (253-69-60), se mantuvo dentro del grupo significativo alto con 49 497 kg ha⁻¹. Por otra parte, solo el híbrido H-567 con mayor dosis de nitrógeno fue sensible a la producción de forraje verde.

Estos resultados difieren con los reportados por Sánchez-Hernández *et al.* (2011), quienes encontraron que las variedades e híbridos A-7573, V-556AC, HE-1A17, HE-2A15, H-520, VS-536 y H-564C, alcanzaron rendimiento de forraje de 25.5 26.0, 28.2, 28.4, 30.5, 32.8, 36.6 Mg ha⁻¹, respectivamente. Además, en el presente estudio, todos los híbridos superaron el rendimiento medio nacional de 29.06 Mg ha⁻¹ de forraje (SIAP, 2020), donde la producción en su mayoría es de riego; es importante mencionar, que el ensayo se condujo bajo condiciones de temporal, con una tecnología de producción similar a la que tradicionalmente utiliza el productor. En contraste, la Comarca Lagunera de México, una de las principales cuencas lecheras del país, se reportan rendimientos promedio de 44.6 a 70 Mg ha⁻¹ de forraje verde, bajo condiciones de riego (Cueto *et al.*, 2006; Olague *et al.*, 2006).

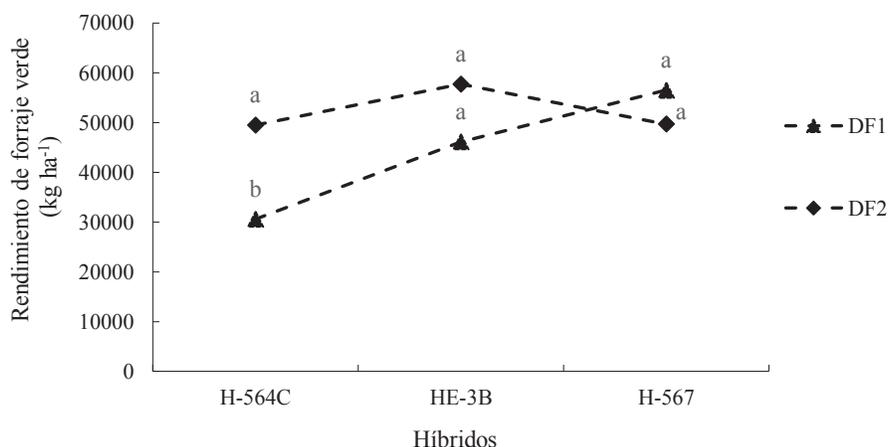


Figura 2. Rendimiento de forraje verde de tres híbridos de maíz, en la interacción entre híbridos y dosis de fertilización, INIFAP, Campo Experimental Cotaxtla, primavera verano 2017. DF1 = dosis de fertilización (207-69-60); DF2 = dosis de fertilización (253-69-60). Figure 2. Green forage yield of three maize hybrids, in the interaction between hybrids and fertilization dose, INIFAP, Cotaxtla Experimental Field, spring summer 2017. DF1 = fertilization dose (207-69-60); DF2 = fertilization dose (253-69-60).

CONCLUSIONES

La producción de forraje en los sistemas agropecuarios del estado de Veracruz, es baja si se compara con estados como Jalisco, Zacatecas y Durango, que reportan altos volúmenes de producción; no obstante, los resultados en el presente estudio muestran las ventajas de nuevos materiales sobresalientes para la producción de forraje para ensilado, que podría incidir positivamente para aliviar la demanda de forraje en épocas de estiaje. El aumento de la densidad de planta (62 500 a 100 000 plantas ha⁻¹) incrementa el rendimiento de forraje verde por unidad de área cuando se aplica la dosis 253-69-60. El híbrido comercial H-564C expresó el mayor rendimiento de forraje verde, seguido del híbrido experimental HE-3B. Este último material es un candidato para ser liberado y comercializado con propósitos forrajeros en el área tropical del estado de Veracruz.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

Los autores de esta contribución manifestamos que contamos con la debida autorización de las instituciones a las que pertenecemos para la publicación de esta contribución en los formatos y particularidades que establece la Revista Terra Latinoamericana.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

FONDOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) del Centro de Investigación Regional Golfo Centro (CIRGOC) por el Fondo Fiscal 2017, para la subvención del presente proyecto de investigación.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Diseño de la investigación: F.A.R.M., M.S.M., A.E.C. y S.B.F. Conducción y manejo de la investigación: M.V.V.H. y F.A.R.M. Análisis de datos: P.A.M. y J.L.R.A. Redacción del escrito: M.S.M.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al personal de campo por la conducción del experimento, y a los dos revisores anónimos por las observaciones y sugerencias para mejorar el presente manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Aguilar Carpio, C., J. A. S. Escalante Estrada e I. Aguilar Mariscal. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 33: 51-62.
- Andrieu, J., C. Demarquilly, P. Dardenne, Y. Barrière, M. Lila, P. Maupetit, F. Rivière, and N. Femenias. 1993. Composition and nutritive value of whole maize plants fed fresh to sheep. I. Factors of variation. *Ann. Zootech.* 42: 221-249. doi: <https://doi.org/10-1051/animres:19930301>.
- Baghdadi, A., R. A. Halim, M. Majidian, N. Daud, and I. Ahmad. 2012. Forage corn yield and physiological indices under different plant densities and tillage systems. *J. Food Agric. Environ.* 10: 707-712.
- Baron, V. S., H. G. Najda, and F. C. Stevenson. 2006. Influence of population density, row spacing and hybrid on forage corn yield and nutritive value in a cool-season environment. *Can. J. Plant Sci.* 86: 1131-1138. doi: <https://doi.org/10.4141/P05-136>.
- Budakli Carpici, E., N. Celik, and G. Bayram. 2010. Yield and quality of forage maize as influenced by plant density and nitrogen rate. *Turk. J. Field Crops* 15: 128-132.
- Cañadas L., A., C. Molina H., D. Rade L., and F. Fernández M. 2016. Seasons and planting densities interaction on forage production of eight hybrids maize, Ecuador. *Rev. MVZ Córdoba* 21: 5112-5123. doi: <https://doi.org/10.21897/RMVZ.22>.
- Castillo Márquez, L. E. 2007. Introducción al SAS para Windows. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, México. ISBN: 978-968-02-0439-7.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2019. Normales climatológicas por estado. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=ver>. (Consulta: marzo 1, 2020).
- Cruz López, P. I., A. Hernández Garay, J. F. Enríquez Quiroz, S. I. Mendoza Pedroza, A. R. Quero Carrillo y B. M. Joaquín Torres. 2011. Desempeño agronómico de genotipos de *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick en el trópico húmedo de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 34: 123-131.

- Cueto Wong, J. A., D. G. Reta Sánchez, J. L. Barrientos Ríos, G. González Cervantes y E. Salazar Sosa. 2006. Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 97-101.
- Cusicanqui, J. A. and J. G. Lauer. 1999. Plant density and hybrid influence on corn forage yield and quality. *Agron. J.* 91: 911-915. doi: <https://doi.org/10.2134/agronj1999.916911x>.
- De la Cruz-Lázaro, E., H. Córdova-Orellana, M. A. Estrada-Botello, J. D. Mendoza-Palacios, A. Gómez-Vázquez y N. P. Brito-Manzano. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Univ. Cienc.* 25: 93-98.
- Díaz Padilla, G., J. U. Ruíz Corral, M. Á. Cano García, V. Serrano Altamirano y G. Medina García. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (Período 1961-2003). INIFAP. Libro técnico Núm. 13. Medellín de Bravo, Veracruz, México.
- Elizondo J. y C. Boschini. 2002. Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agron. Mesoam.* 13: 13-17.
- El Zubair, R. M., B. Fadlalla, A. H. M. Husien, and M. Abdelkreim. 2015. Effect of different nitrogen fertilization levels on yield of maize (*Zea mays* L.) as winter forage. *Int. J. Sci. Technol. Res.* 4: 197-201.
- Fallah, S. and A. Tadayyon. 2010. Uptake and nitrogen efficiency in forage maize: effects of nitrogen and plant density. *Agrociencia* 44: 549-560.
- Ferreira, G., M. Alfonso, S. Depino, and E. Alessandri. 2014. Effect of planting density on nutritional quality of green-chopped corn for silage. *J. Dairy Sci.* 97: 5918-5921. doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8094>.
- Ferreira, G. and C. L. Teets. 2017. Effect of planting density on yield, nutritional quality, and ruminal in vitro digestibility of corn for silage grown under on-farm conditions. *Profess. Anim. Sci.* 33: 420-425. doi: <https://doi.org/10.15232/pas.2017-01621>.
- 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. *Agric. Téc. Méx.* 35: 295-304.
- Getachew, G., D. H. Putnam, C. M. De Ben, and E. J. De Peters. 2016. Potential of sorghum as an alternative to corn forage. *Am. J. Plant Sci.* 7: 1106-1121. doi: <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.77106>.
- Greaves, G. E. and Y. M. Wang. 2017. Effect of regulated deficit irrigation scheduling on water use of corn in southern Taiwan tropical environment. *Agric. Water Manage.* 188: 115-125. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.008>.
- Incognito, S., G. Eyhérbide, and C. López. 2016. Can elite maize landraces help to improve forage yield and quality? A genetic analysis. *Maydica* 61: 1-10.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2020. Edafología. <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/> (Consulta: marzo 2, 2020).
- IUSS Working Group WRB (International Union of Soil Sciences-World Reference Base for Soil Resources). 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Actualización 2015 Sistema Internacional de Clasificación de Suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos 106. FAO, Roma. ISBN: 978-92-5-308369-5.
- Jiwang, Z., H. Changhao, W. Kongjun, D. Shuting, and L. Peng. 2004. Effects of plant density on forage nutritive value of whole plant corn. *Sci. Agric. Sin.* 38: 842-848.
- Jurado Guerra, P., C. Lara Macías y R. Saucedo Terán. 2014. Paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en Chihuahua. Folleto Técnico Núm. 53, septiembre 2014. INIFAP. CIRNOC. Sitio Experimental la Campana. Aldama, Chihuahua.
- Khair, M. A., S. A. Salih, F. M. Elhag, and E. Eltayeb. 2007. Dry matter yield and quality of some winter sown forage crops in the Sudan Gezira. *Univ. Khartoum J. Agric. Sci.* 15: 204-219.
- Mahama, G. Y., P. V. Vara Prasad, K. L. Roozeboom, J. B. Nippert, and C. W. Rice. 2016. Response of maize to cover crops, fertilizer nitrogen rates, and economic return. *Agron. J.* 108: 17-31. doi: <https://doi.org/10.2134/agronj15.0136>.
- Marsalis, M. A., S. V. Angadi, and F. E. Contreras-Govea. 2010. Dry matter yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates. *Field Crops Res.* 116: 52-57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.11.009>.
- Martínez Álvarez, D. L. 2015. Ecofisiología del cultivo de maíz. pp. 6-30. *In:* J. A. Garay y J. Cruz Colazo (eds.). El cultivo de maíz en San Luis Potosí. Información Técnica 188. INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Mejía Contreras, J. A. y J. D. Molina G. 2002. Respuesta a la selección en variedades tropicales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 25: 305-310.
- Mendoza-Elos, M., C. Mosqueda-Villagómez, J. A. Rangel-Lucio, A. López-Benítez, S. A. Rodríguez-Herrera, L. Latournerie-Moreno y E. Moreno-Martínez. 2006. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la clorofila, materia seca y rendimiento de maíz normal y QPM. *Agric. Téc. Méx.* 32: 89-99.
- Mera, O. L. M. y N. J. Caballero. 2013. Importancia del maíz en Mesoamérica a partir de las representaciones prehispánicas. *In:* C. de León y R. Rodríguez M. (eds.). El cultivo del maíz temas selectos. Fundación COLPOS. Texcoco, Edo. México, México. ISBN: 9786077151845.
- Montemayor-Trejo, J. A., E. Suárez-González, J. P. Munguía-López, M. A. Segura-Castruita, R. Mendoza Villarreal y J. L. Woo-Reza. 2018. Acolchados plásticos para la producción de maíz (*Zea mays* L.) forrajero en la Comarca Lagunera. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9: 4107-4115. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.982>
- Moreno-Reséndez, A., J. E. Cantú Brito, J. L. Reyes-Carrillo, and V. Contreras-Villarreal. 2017. Forage maize nutritional quality according to organic and inorganic fertilization. *Sci. Agropec.* 8: 127-135. doi: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.05>.
- Njoka, E. M., G. R. Muraguri, and C. M. Ndirangu. 2004. Estimation of maize fodder/grain yield before flowering in the Kenya Highlands. *East Afr. J. Life Sci.* 5: 59-65.
- Núñez Hernández, G., R. Faz Contreras, Ma. del R. Tovar Gómez y A. Zavala Gómez. 2001. Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. *Téc. Pec. Méx.* 39: 77-88.

- Núñez Hernández, G., E. F. Contreras G. y R. Faz Contreras. 2003. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. *Téc. Pec. Méx.* 41: 37-48.
- Olague Ramírez, J., J. A. Montemayor Trejo, S. R. Bravo Sánchez, M. Fortis Hernández, R. A. Aldaco Nuncio y E. Ruiz Cerda. 2006. Características agronómicas y calidad del maíz forrajero con riego sub-superficial. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 44: 351-357. doi: 10.22319/rmcp.v44i3.1736.
- Palemón Alberto, F., N. O. Gómez Montiel, F. Castillo González, P. Ramírez Vallejo, J. D. Molina Galán y S. Miranda Colín. 2012. Potencial productivo de cruza intervarietales de maíz en la región semicálida de Guerrero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3: 157-171.
- Palemón Alberto F., G. Reyes García, N. O. Gómez Montiel, M. Sierra Macías, R. E. Preciado Ortiz y S. Á. Ortega Acosta. 2019. Genotipos de maíz con potencial forrajero para las condiciones de secano del estado de Guerrero, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10: 1895-1901. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1691>.
- Pandey, R. K., J. W. Maranville, and M. M. Chetima. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment: II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. *Agric. Water Manage.* 46: 15-27. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00074-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00074-3).
- Peña Ramos, A., F. González Castañeda, G. Núñez Hernandez, M. del R. Tovar Gómez, R. Preciado Ortiz, A. Terrón Ibarra, N. Gómez Montiel y A. Ortega Corona. 2006. Estabilidad del rendimiento y calidad forrajera de híbridos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 109-114.
- Purcell, L. C., R. A. Ball, J. D. Reaper, and E. D. Vories. 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. *Crop Sci.* 42: 172-177. doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1720>.
- Reta Sánchez, D. G., A. Gaytán Mascorro y J. S. Carrillo Amaya. 2000. Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 23: 37-48.
- Reyes, C. P. 1990. Diseño de experimentos aplicados. Trillas. México, D.F., México.
- Rincón-Tuexi, J. A., S. Castro-Nava, J. A. López-Santillán, A. J. Huerta, C. Trejo-López y F. Briones-Encinia. 2006. Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical. *Phyton* 75: 31-40.
- Rodríguez Montalvo, F., P. Andrés Meza, M. Sierra Macías, A. Palafox Caballero, O. Leyva Ovalle, A. Espinosa Calderón, M. Tadeo Robledo, M. Vázquez Carrillo, G. López Romero, P. Zetina-Cordoba y V. Apolinar Hidalgo. 2016. Calidad de grano y forraje en nuevos híbridos tropicales de maíz. pp. 125-131. In: J. Martínez Herrera, M. A. Ramírez Guillermo y J. Cámara-Córdova (eds.). *Innovación tecnológica para la seguridad alimentaria*. UJAT – INIFAP. Villahermosa, Tabasco, México. ISBN: 978-607-606-324-8.
- Rossini, M. A., G. A. Maddonni, and M. E. Otegui. 2011. Inter-plant competition for resources in maize crops grown under contrasting nitrogen supply and density: Variability in plant and ear growth. *Field Crops Res.* 121: 373-380. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.01.003>.
- Sánchez-Hernández, M. Á., C. U. Aguilar-Martínez, N. Valenzuela-Jiménez, C. Sánchez-Hernández, M. C. Jiménez-Rojas y C. Villanueva-Verduzco. 2011. Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agron. Mesoam.* 22: 281-295.
- Sánchez-Hernández, M. Á., C. U. Aguilar Martínez, N. Valenzuela Jiménez, B. M. Joaquín Torres, C. Sánchez Hernández, M. C. Jiménez Rojas y C. Villanueva Verduzco. 2013. Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 4: 271-288.
- Sánchez-Hernández, M. A., M. Cruz Vázquez, C. Sánchez Hernández, G. Morales Terán, M. A. Rivas Jacobo y C. Villanueva Verduzco. 2019. Rendimiento forrajero de maíces adaptados al trópico húmedo de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10: 699-712. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1546>.
- Santiago López, U., C. A. Rosales Nieto, E. Santiago López, N. Santiago López, P. Preciado Rangel, A. Palmo Gil, and D. Real. 2018. Yield of forage, grain and biomass in eight hybrids of maize with different sowing dates and environmental conditions. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 9: 86-104. doi: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4403>.
- Saruhan, V. and H. D. Sireli. 2005. An investigation on the effect of plant densities and nitrogen doses on ear, stem and leaf yields of maize (*Zea mays* L.). *J. Agric. Fac. HR U* 9: 45-53.
- SAS Institute. 2011. Statistical Analysis System. SAS/STAT 9.3. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Sheaffer, C. C., J. L. Halgerson, and H. G. Jung. 2006. Hybrid and N fertilization affect corn silage yield and quality. *J. Agron. Crop Sci.* 192: 278-283. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2006.00210.x>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2019. Panorama agroalimentario 2019. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Atlas-Agroalimentario-2019. (Consulta: marzo 1, 2020).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Anuario estadístico de la producción agrícola. Acciones y programas. Cierre de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. (Consulta: marzo 1, 2020).
- Sierra-Macías, M., A. Palafox Caballero, F. Rodríguez Montalvo, A. Espinosa Calderón, H. Córdova, H. Román P. y N. Gómez Montiel. 2003. V-556AC, variedad de maíz de grano amarillo con alta calidad de proteína. *Desplegable Técnica Núm. 5*. División Agrícola. Campo Experimental Cotaxtla CIRGOC INIFAP. Veracruz, México.
- Sierra-Macías, M., A. Palafox Caballero, F. Rodríguez Montalvo, A. Espinosa Calderón, N. Gómez Montiel, F. Caballero Hernández, S. Barrón Freyre, A. Zambada Martínez y G. Vázquez Carrillo. 2008. H-520, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agric. Téc. Méx.* 34: 119-122.
- Sierra-Macías, M., A. Palafox Caballero, F. Rodríguez Montalvo, A. Espinosa Calderón, G. Vázquez Carrillo, N. Gómez Montiel y S. Barrón Freyre. 2011. H-564C, Híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. *Agric. Téc. Méx.* 2: 71-84.

- Sierra-Macías, M., F. A. Rodríguez-Montalvo, N. Gómez-Montiel y A. Espinosa-Calderón. 2017. H-567, híbrido de maíz para el trópico húmedo de México. *Rev. Oper. Tecnol.* 1: 6-14.
- Soto, O. P., E. Jhan y S. Arredondo. 2002. Densidad de población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilaje en el Valle Central Regado. *Agric. Téc. (Chile)* 62: 255-265.
- Tóthné Zsubori, Z., J. Pinter, T. Spitko, Z. Hegyi, and C. L. Marton. 2013. Yield and chemical composition of plant parts of silage maize (*Zea mays* L) hybrids and their interest for biogas production. *Maydica* 58: 34-41.
- Tinoco Alfaro, C. A., F. A. Rodríguez Montalvo, J. A. Sandoval Rincon, S. Barron Freyre, A. Palafox Caballero, V. Esqueda Esquivel, M. Sierra Macías y J. Romero Mora. 2002. Manual de producción de maíz para Veracruz y Tabasco. INIFAP. México. ISBN: 9789688005347.
- Tinoco Alfaro, C. A., A. Ramírez Fonseca, E Villarreal Farías y A. Ruiz Corral. 2008. Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento. *Agric. Téc. Méx.* 34: 271-278.
- Van Der Wal, H., J. D. Golicher, S. Caudillo Caudillo, and M. Dominguez. 2006. Plant densities, yields and area demands for maize under shifting cultivation in the Chinantla, Mexico. *Agrociencia* 40: 449-460.
- Van Roekel, R. J. and J. A. Coulter. 2011. Agronomic responses of corn to planting date and plant density. *Agron. J.* 103: 1414-1422. doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0071>.
- Van Roekel, R. J. and J. A. Coulter. 2012. Agronomic responses of corn hybrids to row width and plant density. *Agron. J. Crop Econ. Product. Manage.* 104: 612-620. doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0380>.
- Vilaboa Arroniz, J. y P. Díaz Rivera. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. *Zoo. Trop.* 27: 427-436.
- Widdicombe, W. D. and K. D. Thelen. 2002. Row width and plant density effect on corn forage hybrids. *Agron. J.* 94: 326-330. doi: <https://doi.org/10.2134/agronj2002.3260>.
- Zaragoza-Esparza, J., M. Tadeo-Robledo, A. Espinosa-Calderón, C. López-López, J. C. Garcia-Espinosa, B. Zamudio-González, A. Turrent-Fernández y F. Rosado-Núñez. 2019. Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10: 101-111. doi: <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403>.
- Zhang, J., S. Dong, K. Wang, C. Hu, and P. Liu. 2006. Effects of shading on the growth, development and grain yield of summer maize. *J. Appl. Ecol.* 17: 657-662.
- Zhang, Q., L. Bell, Y. Shen, and J. Whish. 2018. Indices of forage nutritional yield and water use efficiency amongst spring-sown annual forage crops in north-west China. *Eur. J. Agron.* 93: 1-10. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.11.003>.
- Zhang, Z., M. Christensen, Z. Nan, J. Whish, L. Bell, J. Wang, Z. Wang, and R. Sim. 2019. Plant development and solar radiation interception of four annual forage plants in response to sowing date in a semi-arid environment. *Ind. Crops Prod.* 131: 41-53. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.028>.