

Demanda de N, P y K en líneas de maíz de Valles Altos de México

Lucila González-Molina^{1,§}

Juan Virgen-Vargas¹

Esaú del Carmen Moreno-Pérez²

Tranquilino de Jesús-Prado²

1 Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Estado de México. CP. 56250.

2 Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (esaump10@yahoo.com.mx; dejesusprado.uach@hotmail.com).

Autora para correspondencia: gonzalez.lucila@inifap.gob.mx.

Resumen

La producción comercial de semilla de maíces mejorados presenta diferentes limitaciones; entre éstas, sobresalen, los escasos estudios de nutrición mineral de líneas progenitoras que forman los híbridos comerciales. El objetivo del presente trabajo fue determinar la demanda de N, P y K de líneas de maíz progenitoras de híbridos adaptados a las condiciones de Valles altos de México y estimar su dosis de fertilización con N-P-K. El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental Valle de México del INIFAP. Se usó un diseño experimental en bloques completos al azar en arreglo factorial con dos factores: 1) año de evaluación (2014, 2015 y 2016) y 2) líneas de maíz (M-18 (♂-S2), M-55 (♀-S4), M-45 (♂-S3), M-48 (♂-S3) y CML-456 (♂-S4). En madurez fisiológica, las variables medidas fueron: materia seca, rendimiento de grano, índice de cosecha y la extracción de N, P, y K. La demanda y la dosis de fertilización de N, P (P_2O_5) y K (K_2O) ($kg\ ha^{-1}$), en las líneas fueron de: 70 a 115, 0 a 44, 42 a 80; 0, 120 a 249, 0; respectivamente. Las líneas de maíz difirieron en las extracciones y la demanda de N, P y K de acuerdo con el nivel de endogamia, producción de materia seca de planta y rendimiento de grano, y en consecuencia en las dosis de fertilización, aspecto que debe ser considerado en un programa de fertilización para la producción de semilla.

Palabras clave:

dosis de fertilización, etapas fenológicas, materia seca, rendimiento de grano.



Introducción

El maíz es el cultivo agrícola más importante en México, con una superficie cultivada de 7 472 356.82 ha y una producción anual de 27 424 527.55 Mg (SIAP, 2020). De esta superficie, 55.3% de la producción proviene de semilla de maíz mejorado (CEDRSSA, 2018); sin embargo, la producción comercial de semillas de maíces mejorados, presentan limitaciones como desarrollo de tecnología de producción inapropiada; factores climáticos que determinan la productividad y la calidad de semilla (Vallejo *et al.*, 2008; Virgen-Vargas *et al.*, 2016; Chassaigne-Ricciulli *et al.*, 2021), altos costos de producción (Ruiz y Hernández, 2017) y falta de empresas nacionales que cuenten con la infraestructura técnica y física para realizar investigaciones e implementar la tecnología de producción de semillas propias para el país (Chassaigne-Ricciulli *et al.*, 2021).

Las prácticas agronómicas que se realizan en las líneas en un lote de producción de semilla de maíz, en las que se incluye la dosis de fertilización, son en general las mismas que se practican para la producción de maíces híbridos comerciales (Ruiz y Hernández, 2017; Vallejo *et al.*, 2008; Chassaigne-Ricciulli *et al.*, 2021), aun cuando se sabe que en un lote de producción de semillas, las líneas endogámicas que se utilizan a diferencia de los híbridos, a lo largo de su desarrollo pierden más rápidamente vigor y productividad (Virgen-Vargas *et al.*, 2014), son más vulnerables a las deficiencias y los desequilibrios de nutrimentos minerales por su capacidad de enraizamiento menor (Wych, 1988) y en general tienden a ser débiles y más susceptibles al estrés ambiental a enfermedades, herbicidas e insecticidas (Ruiz y Hernández, 2017).

El programa de tecnología de semillas de los campos experimentales Valle de México (CEVAMEX) y Bajío (CEBAJ) del INIFAP, han realizado diferentes trabajos para fortalecer la tecnología de producción de semilla (Virgen-Vargas *et al.* 2016). No obstante, los estudios sobre nutrición mineral en líneas progenitoras de maíz son aún escasos. En la actualidad se desarrollan y promueven el manejo de los nutrientes a través de cuatro requisitos: a) aplicar la fuente y la dosis correcta en el momento y forma correctos (IAH, 2017) con el fin de garantizar una fertilización eficiente; b) reducir los costos de producción; c) incrementar la producción y d) prevenir impactos negativos al ambiente (Souza y Chaves, 2017).

Para lograrlo, una metodología con enfoque científico para generar fórmulas o dosis de fertilización es el método racional simplificado propuesto por Rodríguez (1993) quien indica que la dosis de fertilización depende de la demanda nutrimental en función del rendimiento máximo alcanzable de la zona de interés y el requerimiento nutrimental, además del suministro del nutrimento por el suelo, este último obtenido del análisis químico de suelo y la eficiencia en la recuperación del fertilizante aplicado.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la demanda de N, P y K de líneas de maíz progenitoras de híbridos trilineales adaptados a las condiciones climáticas de los Valles altos de México y estimar su dosis de fertilización N-P-K.

Materiales y métodos

Condiciones del sitio experimental

La investigación se realizó en el Campo Experimental Valle de México del INIFAP, en Coatlinchán, Estado de México (19° 17' latitud norte, 98° 53' longitud oeste y 2 250 msnm). El suelo era de textura franco arenoso, con pH de 6.2, materia orgánica de 2.1% y CE de 0.16 dS m⁻¹. El contenido de minerales del suelo (mg kg⁻¹) y grado de suficiencia según Castellanos *et al.* (2000) fueron: N (31, medio), P (47, alto), K (222, medio), Ca (2116, medio), Mg (615, moderadamente alto), Fe (15, moderadamente alto), Cu (0.7, moderadamente bajo), Zn (1.3, medio) y Mn (12, medio).

Material genético y manejo del experimento

El experimento se llevó a cabo de mayo a noviembre en los años 2014, 2015 y 2016, durante el ciclo de cultivo primavera verano. La precipitación acumulada y temperatura promedio mensual

fueron de 834, 755 y 543 mm; 19, 19 y 20 °C, respectivamente (SMN, 2017). Fueron evaluadas cinco líneas de maíz: M-18 (♂-S2), M-55 (♀-S4), M-45 (♂-S3), M-48 (♂-S3) y CML-456 (♂-S49), todas adaptadas a las condiciones de Valles Altos de México, las cuales son utilizadas como progenitoras en la formación de híbridos trilineales de alto rendimiento.

La línea M-18 proviene de Mich 21 Compl-7-2; M-55: Tlax 151 SFC1-11-2-2-2; M-43: Mich 21-181-14-1-16-5; M-45: T58Pob86/1-5-3; M-48: Pob87xSIB/-1-4-3 y CML-456: [(INIFAP cruza simple) x (Batán 8585-6)]-B-1-1-1-2-B-TL-B. El diseño experimental fue bloques completos al azar en arreglo factorial con tres repeticiones. Los factores fueron: 1) año de evaluación: 2014, 2015 y 2016 y 2) líneas de maíz: M-18 (♂-S2), M-55 (♀-S4), M-45 (♂-S3), M-48 (♂-S3) y CML-456 (♂-S49) y unidad experimental de dos surcos de 5 m de longitud separados a 0.8 m.

La densidad de población fue 62 500 plantas ha⁻¹. Se usó una dosis de fertilización de 150-00-00 con urea (46% N) como fuente de nitrógeno; la mitad del N se aplicó al momento de la siembra y el resto en la segunda escarda. Se realizaron cinco riegos por gravedad con una lámina de 12 cm en diferentes etapas fenológicas como las describe Schütte y Meier (1981): al momento de la siembra, cuello de la tercera hoja visible (V3), cuello de la hoja diez visible (V10), última rama de la panícula completamente visible (VT) y estigmas visibles (R1).

Para el control de malezas se aplicó en preemergencia Atrazina + S-metolaclor a una dosis de 1.5 L ha⁻¹ y Dicamba + Atrazina con una dosis de 2 L ha⁻¹ en postemergencia cuando la maleza tuvo una altura de 5 cm.

Variables de estudio

Las variables medidas en la etapa R₆ (madurez fisiológica) fueron: materia seca de planta, rendimiento de grano, índice de cosecha y las extracciones de N, P y K. La materia seca (MS) en g, se calculó de la siguiente forma: i) se cortaron dos plantas al nivel del suelo y se colocaron en una bolsa de papel; ii) se obtuvo el peso fresco (g) (P1); iii) se tomó una submuestra de 100-200 g (P2) y iv) se obtuvo el peso seco de la submuestra, esto con ayuda de una estufa de secado a una temperatura de 70 °C durante 72 h (P3), luego se usó la expresión siguiente para su cálculo: $MS (g) = [(100 - ((P2 - P3) / P2) \times 100)] / 100 \times P1 / 2$.

El rendimiento de grano (kg ha⁻¹ a 14% de humedad): se calculó con la ecuación: $REN = [PC \times \% MS \times \% G \times FC] / 8600$. Donde: PC= peso de campo de mazorca, en kilogramos por parcela útil; (%) MS= porcentaje de materia seca, mediante la diferencia, 100 menos el porcentaje de humedad; (%) G= porcentaje de grano, como promedio de la relación entre el peso de grano y el peso de mazorca desprovista de brácteas, de cinco mazorcas, multiplicado por 100; FC= factor de corrección, obtenido al dividir 10 000 m² (1 ha) entre la superficie útil de la parcela (8 m²); 8 600= es un valor constante, que permite estimar el rendimiento con una humedad uniforme del 14%, que es a la cual se manejan las semillas en forma comercial en México.

El índice de cosecha se obtuvo al dividir la materia seca de grano entre la materia seca aérea total. Extracción de N, P y K (g planta⁻¹) se obtuvo en la etapa fenológica R6. Para la determinación analítica, de la submuestra de 100-200 g para obtener materia seca (P2), se tomaron de 20-30 g que fueron molidas. La extracción de los macronutrientes, se calculó como el producto de: 1) la materia seca o tejido vegetal, producido en R₆ y la concentración de N, P y K en el tejido vegetal. Las determinaciones de N y P se realizaron por el método de Microkjeldahl y molibdovanadato amarillo, respectivamente (Chapman y Pratt, 1973) y la de K por flamometría (Sherwood M410, Cambridge, Inglaterra).

Dosis de fertilización

La dosis de fertilización de N se estimó con el modelo racional simplificado de Rodríguez (1993):

$$\text{Dosis de fertilización (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{demanda del cultivo (kg ha}^{-1}\text{)} - \text{suministro del suelo (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Eficiencia del uso de fertilizantes (adimensional)}}$$

Demanda del N, P y K del cultivo

La demanda nutrimental (DEM) estuvo en función del rendimiento máximo alcanzable (RMA) de la zona de interés y el requerimiento nutrimental (REQNUT) según Castellanos *et al.* (2000): $DEM (kg ha^{-1}) = RMA (kg ha^{-1}) \times REQNUT (kg \text{ del nutriente por Mg de grano})$. RMA para el presente estudio fue el promedio de rendimiento de los años de evaluación y el REQNUT de cada elemento (N, P y K) en madurez fisiológica se estimó con la expresión:

$$REQNUT (kg \text{ del nutriente por Mg de grano}) = \frac{\text{Extracción del nutriente } (kg ha^{-1})}{RMA (Mg)}$$

Para estimar el RENUT de P y K, la extracción de P se multiplicó por el factor 2.29 y para K se multiplicó por 1.2, para hacer la conversión a la forma química P_2O_5 y K_2O , que se usa en la dosis de fertilización.

Suministro de N por el suelo

Se constituyó del N orgánico de la materia orgánica del suelo (MOS) más el N inorgánico ($NO_3 + NH_4$) reportado del análisis químico de suelo. Para estimar el Nitrógeno orgánico se hicieron las consideraciones siguientes: la densidad aparente del suelo (D_a) corresponde a un suelo de textura gruesa, $1.4 (g cm^3)$, la MOS tuvo en promedio un 5% de N, el N se mineralizó a un ritmo del 2% al considerar el porcentaje de materia orgánica y textura del suelo (Castellanos *et al.*, 2000).

Al sumarse el nitrógeno orgánico e inorgánico, se tuvo un total de $145.9 kg ha^{-1}$, con una eficiencia de utilización por la planta asumida de 60%. Con base en lo anterior, la cantidad del nitrógeno inorgánico realmente disponible fue de $89.1 kg ha^{-1}$. Un ejemplo de cálculo para la dosis de N para la línea M-48 fue: a) la demanda de nitrógeno para producir $4.4 Mg ha^{-1}$ con una extracción de $25.9 kg ha^{-1}$ fue $114 kg ha^{-1}$; b) la oferta del suelo es $89.1 kg ha^{-1}$; c) la eficiencia del fertilizante nitrogenado fue de 60% y d) la dosis de nitrógeno por aplicar fue: $(114 - 89.1) / 0.6 = 44 kg de N ha^{-1}$. Estos cálculos se realizaron de acuerdo con la metodología de Castellanos *et al.* (2000).

Suministro de P y K por el suelo

El suministro de P y K se obtuvo con la metodología de Castellanos *et al.* (2000) que fue generada de información experimental y el uso del análisis químico de suelo. Para el P se consideró el nivel de contenido en el suelo de acuerdo con el método de extracción y meta de rendimiento para maíz de grano, para nuestro estudio se consideró un nivel alto de P ($47 kg ha^{-1}$) obtenido por el método Bray P1 y nivel de rendimiento de grano bajo ($< 2 a 6 Mg ha^{-1}$). Para el caso del K, se consideró el nivel medio ($222 kg ha^{-1}$), la clase de cultivo de baja respuesta, y el rendimiento meta que fue bajo. Para ambos elementos se hace la conversión a P_2O_5 y K_2O como se indicó anteriormente.

Eficiencia del uso del fertilizante

De acuerdo con Castellanos *et al.* (2000) para nitrogenados va de 0.25 a 0.9%, para fosfóricos de 15-25% y para potásicos de 30-50%.

Análisis de resultados

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias Tukey ($p = 0.05$) con el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS, 2014). Adicionalmente se evaluaron las correlaciones: 1) entre la MS y la extracción de N, P y K acumuladas y (2) el rendimiento de cada línea y el requerimiento nutrimental.



Resultados y discusión

Efecto de las condiciones ambientales y del N en la producción de líneas de maíz

La materia seca, el índice de cosecha y el rendimiento de grano, mostraron diferencias estadísticas significativas entre años de evaluación (Cuadro 1). La mayoría de las variables tuvieron el valor más alto en 2014, seguido de los obtenidos en 2015 y 2016, que correspondieron al orden decreciente de la precipitación promedio mensual: 2014 (834 mm) >2015 (755 mm) >2016 (543 mm). Las diferencias en MS en R₆, el rendimiento y el IC en 2014 respecto a 2015 y 2016, fueron del orden de 52 y 83%, 35 y 34% y 26 y 70%, respectivamente.

Cuadro 1. Efecto de las condiciones ambientales (años) en producción de grano promedio en líneas de maíz de Valles Altos (2014-2016).

Año de evaluación	Materia seca (kg ha ⁻¹)	Índice de cosecha (%)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
2014	13082 a	0.43 a	5719 a
2015	9281 b	0.32 b	2734 b
2016	7445 c	0.13 c	975 c
DSH	1416	0.05	524

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). DSH= diferencia significativa honesta.

Efectos similares fueron señalados por Virgen-Vargas *et al.* (2016); Zepeda *et al.* (2021) al estudiar el comportamiento agronómico de líneas e híbridos de maíz. Por su parte, Chakwizira *et al.* (2016), reportaron que el IC aumentó cuando el suministro de agua fue mayor, esto consecuencia de mejores condiciones ambientales que a su vez, favorecieron la producción de MS y rendimiento. Liu *et al.* (2020) al estudiar una base de datos indicaron que la MS y el IC contribuyeron al rendimiento de maíz en 77.36% y 26.28%, respectivamente.

Entre líneas de maíz, se encontraron diferencias significativas para las variables producción de grano (Cuadro 2) que puede explicarse, entre otros factores, por las diferencias genéticas y nivel de endogamia que reduce su vigor (MacRobert *et al.*, 2014). Las líneas machos (♂) con menor endogamia, presentaron valores más altos de materia seca, IC y rendimiento de grano respecto a la línea CML-456 (♂) con mayor nivel de endogamia.

Cuadro 2. Materia seca, índice de cosecha y rendimiento de grano promedio en líneas de maíz de Valles Altos (2014-2016).

Línea	Materia seca (kg·ha ⁻¹)	Índice de cosecha (%)	Rendimiento (kg·ha ⁻¹)
M-48 (♂-S3)	11316 ab	0.42 a	5132 a ²
M-18 (♂-S2)	12395 a	0.3 bc	3684 b
M-45 (♂-S3)	9614 b	0.38 ab	3527 b
M-55 (♀-S ₄)	9396 b	0.23 dc	2262 c
CML-456 (♂-S4)	6960 c	0.16 d	1085 d
DSH [†]	2152	0.12	1103

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). DSH= diferencia significativa honesta.

La línea M-55 (♀) a pesar de tener mayor endogamia, presentó materia seca similar a las líneas macho con bajo nivel de endogamia, lo cual es posible, ya que en los progenitores ♀ tienen esta

característica y como lo indican Ruiz y Hernández (2017), las hembras de los híbridos triples y dobles tienen un mayor potencial de rendimiento que las de híbridos simples.

Estos resultados tuvieron el mismo comportamiento que los realizados por Arellano *et al.* (2011); Virgen-Vargas *et al.* (2014) que incluyen algunas de las líneas evaluadas en el presente estudio. El bajo rendimiento de grano e índice de cosecha de la línea CML-456 se explicó por el alto nivel de endogamia que ésta posee, pues la depresión por endogamia conduce a líneas de maíz de bajo rendimiento (Virgen *et al.*, 2014).

Extracción de N, P y K

La comparación de medias de extracción nutrimental de N, P y K entre líneas de maíz indicó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$). Las extracciones de N, P y K en todas las líneas fueron mayores que las de la línea CML-456 (σ -S4) con menor nivel de endogamia (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de medias de extracción de N, P y K entre líneas de maíz de Valles Altos, en promedio de los años de evaluación 2014-2016.

Línea	Extracción nutrimental por planta (g)		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
M-48 (σ -S3)	1.83 a ²	0.52 a	3.31 a
M-18 (σ -S2)	1.78 a	0.56 a	3.25 a
M-45 (σ -S3)	1.5 ab	0.48 a	2.66 ab
M-55 (σ -S ₄)	1.59 ab	0.46 a	2.22 bc
CML-456 (σ -S4)	1.11 b	0.29 b	1.6 c
DSH [†]	0.5055	0.1056	0.7145

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$). DSH= diferencia significativa honesta.

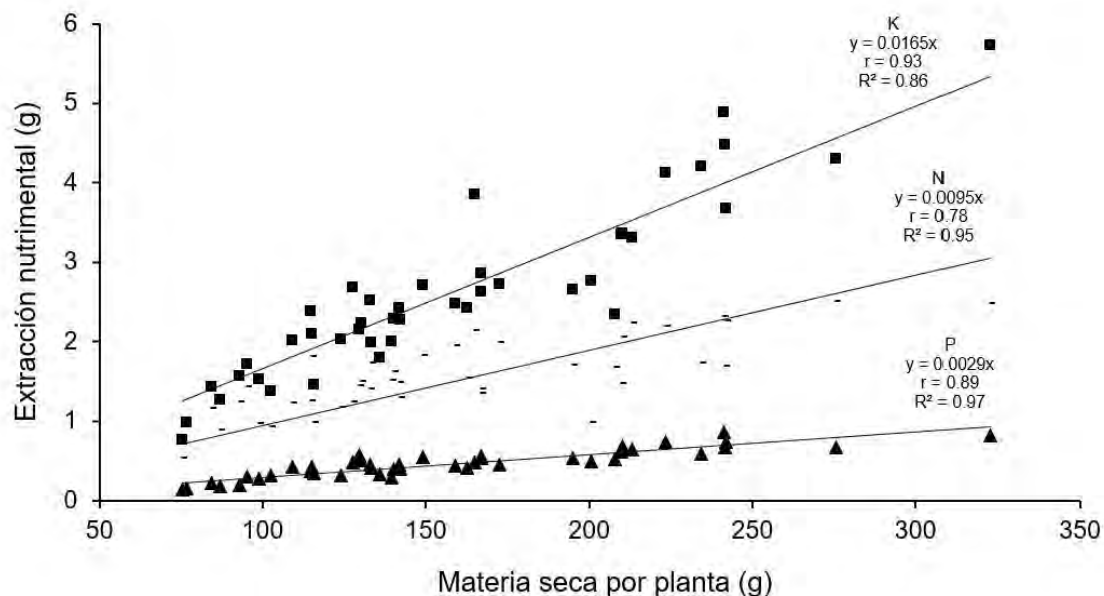
Las extracciones de la línea M-55 (σ -S₄) fueron mayores sólo respecto a la línea macho con mayor nivel de endogamia, CML-456 (σ -S4), esto puede explicarse porque las líneas más endogámicas tienen menor vigor y sistema radical menos desarrollado que los híbridos (Vallejo *et al.*, 2008), lo que disminuye su capacidad de absorber nutrientes. En el caso de las líneas hembra de los híbridos triples y dobles tienen un mayor potencial de rendimiento y extraen mayores cantidades de nutrientes que las hembras de los híbridos simples y que las líneas machos de los híbridos de cruza triple y simple (Ruiz y Hernández, 2017).

Extracción y demanda de N, P y K

Las extracciones totales promedio de N, P y K (kg ha^{-1}) en tres años de evaluación tuvieron una relación directa con la producción de MS en la etapa R₆, rendimiento de grano y una relación inversa con el nivel de endogamia de las líneas (Figura 1, Cuadro 4). El orden de extracción de mayor a menor fue el siguiente, para N: M-48 > M-18 > M-55 > M-45 > CML-456; para P: M-18 > M-48 > M-45 > M-55 > CML-456 y para K: M-48 > M-18 > M-45 > M-55 > CML-456.



Figura 1. Correlación entre materia seca y extracción nutricional en madurez fisiológica en líneas de maíz en los años 214, 2015 y 2016.



Cuadro 4. Extracción, requerimiento nutricional y demanda de N, P, K en líneas de maíz en promedio de tres años de evaluación.

NUT	Línea	REN (Mg ha ⁻¹)	Extracción		REQNUT (kg Mg ⁻¹)	DEM (kg ha ⁻¹)	DF (kg ha ⁻¹)
			Planta (g)	ha (kg)			
N	M-48 (♂-S3)	4.4	1.83	114.5	26	115	44
N	M-18 (♂-S2)	3.2	1.78	111.5	35	112	42
N	M-45 (♂-S3)	1.9	1.59	99.5	51	100	16
N	M-55 (♀-S ₄)	3	1.5	93.6	31	94	9
N	CML-456 (♂-S4)	0.9	1.11	69.5	75	70	0
P	M-48 (♂-S3)	4.4	0.52	32.6	17 [§]	75 [§]	0
P	M-18 (♂-S2)	3.2	0.56	35.1	25	80	0
P	M-45 (♂-S3)	1.9	0.48	30	35	69	0
P	M-55 (♀-S ₄)	3	0.46	29	22	66	0
P	CML-456 (♂-S4)	0.9	0.29	18.2	45	42	0
K	M-48 (♂-S3)	4.4	3.31	207.1	56 [¥]	249 [¥]	0
K	M-18 (♂-S2)	3.2	3.25	203	77	244	0
K	M-45 (♂-S3)	1.9	2.66	166.5	103	200	0
K	M-55 (♀-S ₄)	3	2.22	139	55	167	0
K	CML-456 (♂-S4)	0.9	1.6	100.2	129	120	0

NUT= nutriente; REN= rendimiento base seca; REQNUT= requerimiento nutricional (kg por Mg de grano); DF= dosis de fertilización; DEM= demanda; [§]= P en la forma química P₂O₅; [¥]= K en la forma química K₂O.

El requerimiento total promedio de N, P y K en las líneas para producir un megagramo (1x10⁶ g) de grano se incrementó conforme la extracción fue menor; el orden de mayor a menor fue: CML-456

>M-55 >M-18 >M-45 >M-48. Por ejemplo, la línea CML-456 con menor nivel de endogamia y rendimiento promedio de 0.99 t ha^{-1} de grano, requirió de 74.5 kg de nitrógeno, 44.6 kg de fósforo y 128.8 kg de potasio para producir 1 t ha^{-1} ; es decir, 65% de N, 62% de P y 57% de K más que los requeridos por la línea M-18 (Cuadro 4), valores que están por debajo del promedio internacional reportados por Bertsch (2009): 17.9 a 34.9 kg de N, de 3.3 a 7.3 kg de P y de 11.3 a 25 kg de K, y que según Castellanos *et al.* (2005) la extracción unitaria del nutrimento está en función del rendimiento potencial y no es un valor fijo.

Los requerimientos para un megagramo de grano de la línea CML-456 al multiplicarse por el rendimiento promedio, da la demanda durante el ciclo de cultivo (kg ha^{-1}): de N, 70; de P, 42 y de K, 120), resultados que concuerdan con Cervantes *et al.* (2013), quienes además indicaron que el nivel de endogamia de una línea influye en su respuesta a la fertilización nitrogenada.

Las líneas por su nivel de endogamia, producción de materia seca de planta y rendimiento de grano, difieren en las extracciones de N, P y K y en consecuencia en los requerimientos de fertilización, aspectos que deben ser considerados en el programa de fertilización en un lote de producción de semillas. En la Figura 1 se observa que, en general, hubo alta correlación entre materia seca y extracción de K, P y N, en el orden de 0.93, 0.89 y 0.78, respectivamente.

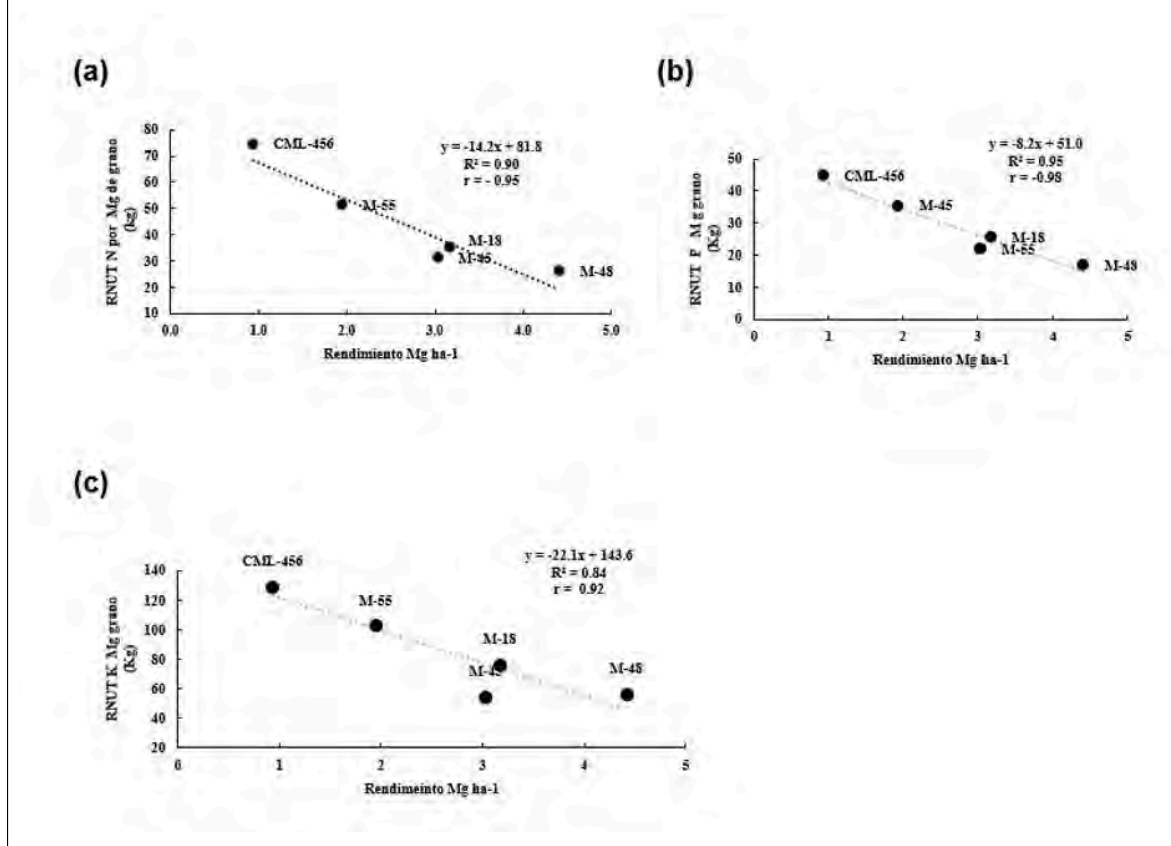
Los valores de R^2 fueron altos: K (0.97), N (0.95) y P (0.97), lo que indica que las extracciones se pueden estimar en función de la producción total de materia seca de las líneas. Grageda (1999) señala que la cantidad de nutrientes está correlacionada con la producción de materia seca y que a su vez es influenciada por las condiciones ambientales y constitución genética de la planta.

La dosis de fertilización estimada de N fue diferente entre líneas, de 0 a 44 kg ha^{-1} . En P y K no hubo necesidad de fertilización, seguramente porque las reservas en el suelo fueron suficientes para cubrir la demanda de las plantas, como también lo señalan Castellanos *et al.* (2005) para la mayoría de los suelos de México donde se cultivan cereales, excepto para suelos tropicales, donde la respuesta a la aplicación de K es baja (nivel crítico). Para P obtenido con el método Bray 1, 30 ppm puede considerarse como un valor crítico; en el presente estudio la concentración fue de 47 ppm de P, que es suficiente para las líneas de maíz y para la mayoría de los cultivos (Castellanos *et al.*, 2005).

El requerimiento de N, P y K por las líneas tuvo correlación alta y negativa con el rendimiento de las líneas que se relacionó con su nivel de endogamia. Rodríguez (1993) indicó que es posible estimar el requerimiento nutricional a partir del rendimiento máximo alcanzable, que en nuestro estudio correspondió al promedio de tres años de evaluación. Los resultados también indican que las líneas tienen diferentes necesidades nutrimentales (Figura 2).



Figura 2. Correlación en entre rendimiento en base seca y requerimiento de N, P y K en madurez fisiológica en líneas de maíz en los años 214, 2015 y 2016.



Conclusiones

Los resultados permiten concluir que las líneas de maíz progenitoras de híbridos trilineales adaptados a las condiciones de Valles Altos de México, difieren en la demanda y extracciones de N, P y K según el nivel de endogamia, producción de materia seca de planta y rendimiento de grano y en consecuencia difieren en los requerimientos totales de fertilización, aspecto que debe ser considerado en un programa de fertilización de producción de semilla para la formación de híbridos comerciales. La demanda de nutrimentos (kg ha^{-1}) en las líneas de maíz fue 70 a 115, para N, 42 a 80 para P_2O_5 y 120 a 249 para K_2O . La dosis de fertilización estimada de N fue de 0 a 44 kg ha^{-1} y para P y K las necesidades de fertilización fueron nulas.

Bibliografía

- 1 Arellano-Vázquez, J. L.; Virgen-Vargas, J.; Rojas-Martínez, I. y Ávila-Perches, M. A. 2011. H-70: Híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del Altiplano Central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(4):619-626.
- 2 Bertsch, F. 2009. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 308 p.
- 3 Castellanos, R. J. Z.; Uvalle-Bueno, J. X. y Aguilar-Santelises, A. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Intagri. Guanajuato, México. 210 p.
- 4 Castellanos, R. J. Z.; Cueto, W. J. A.; Macías, C. C. J.; Salinas, G. J. R.; Tapia, V. L. M.; Cortés, J. J. M.; González, A. I. J.; Mora, G. M.; Mata, V. H.; Vásquez, H. A.; Valenzuela,

- S. C. y Enríquez, S. A. R. 2005. La fertilización en los cultivos de maíz, sorgo y trigo en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. Folleto técnico núm. 1. 44 p.
- 5 CEDRSSA. 2018. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Uso de semillas mejoradas en México. Ciudad de México. <http://www.cedrssa.gob.mx/post-uso-de-n-semillas-mejoradas-n-en-mn-xico.htm>.
 - 6 Cervantes-Ortíz, F.; Covarrubias-Prieto, J.; Rangel-Lucio, J. A.; Terrón-Ibarra, A. D.; Mendoza-Elos, M. y Preciado-Ortiz, R. E. 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 24(1):101-110. <https://doi.org/10.15517/am.v24i1.9645>.
 - 7 Chakwizira, E.; Teixeira, E.; Ruitter, J.; Maley, S. and George, M. 2016. Harvest index for biomass and nitrogen in maize crops limited by nitrogen and water. *In: Proceedings of the 7th Int. Nitrogen Initiative Conf. Solutions to improve nitrogen use efficiency for the world.* The New Zealand Institute for Plant and Food Research. Christchurch, New Zealand. 4-8 pp.
 - 8 Chassaigne-Ricciulli, A. A.; Mendoza-Onofre, L. E.; Córdova-Téllez, L.; Carballo-Carballo, A.; San Vicente-García, F. M. and Dhliwayo, T. 2021. Effective seed yield and flowering synchrony of parents of CIMMYT three-way-cross tropical maize hybrids. *Agriculture*. 11:1-19. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020161>.
 - 9 Chapman, H. D. y Pratt, P. E. 1973. Métodos de análisis de suelos, plantas y agua. Trad. del inglés por: A. Contin. Ed. Trillas. México, DF. 195 p.
 - 10 Grageda, G. J. 1999. La fertilización en hortalizas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional del Noreste. Folleto técnico núm. 19. Sonora, México. 62 p.
 - 11 IAH. 2017. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. Programa Cono Sur. PCS. IAH 28-diciembre 2017 Versión Cono Sur. International Plant Nutrition Institute. <http://www.ipni.net>.
 - 12 Liu, W.; Hou, P.; Liu, G.; Yang, Y.; Guo, X.; Ming, B.; Xie, R.; Wang, K.; Liu, S. and Li, Y. 2020. Contribution of total dry matter and harvest index to maize grain yield-A multisource data analysis. *Food Energy Sec.* 9:e256. <https://doi.org/10.1002/fes3.256>.
 - 13 MacRobert, J. F.; Setimela, P. S.; Gethi, J. y Worku, M. 2014. Manual de producción de semilla de maíz híbrido. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Batán, Texcoco, Estado de México, 36 p.
 - 14 Rodríguez, S. J. 1993. La fertilización de los cultivos. Un método racional. Colección en Agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile. 287 p.
 - 15 Ruiz, R. S. y Hernández, V. R. 2017. Producción de semilla de maíz caso CIR Pacífico Centro. Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Tepatitlán de Morelos, México. Folleto técnico núm. 4. 61 p.
 - 16 Souza, R. S. and Chaves, L. H. G. 2017. Initial growth of chia (*Salvia hispanica* L.) submitted to nitrogen, phosphorus and potassium fertilization. *Aust. J. of Crop Sci.* 11(05):610-615.
 - 17 SAS Institute. 2014. SAS/STAT 9.3 User's guide. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 5121 p.
 - 18 Schütte, F. and Meier, U. 1981. Entwicklungsstadien des Mais, zum gebrauch für das versuchswesen, die beratung und die praxis in der landwirtschaft. Merkblatt 27. Biologische Bundesanstalt für Land und Forstwirtschaft. Nordrhein-Westfalen, Deutschland. 7 p.
 - 19 SIAP. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.

- 20 SMN. 2017. Servicio Meteorológico Nacional. Normales climatológicas por estación. Estado de México. Servicio Meteorológico Nacional. Ciudad de México. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=mex>.
- 21 Vallejo, D. H. L.; Ramírez, D. J. L.; Chuela, B. M. y Ramírez, Z. R. 2008. Manual de producción de semilla de maíz. Estudio de caso. Campo Experimental Uruapan. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Uruapan, Michoacán, México. Folleto técnico núm. 14. 96 p.
- 22 Virgen-Vargas, J.; Zepeda-Bautista, R.; Ávila-Perches, M. A.; Espinosa-Calderón, A.; Arellano-Vázquez, J. L. y Gámez-Vázquez, A. J. 2014. Producción de semilla de líneas progenitoras de maíz: densidad de población e interacción. *Agronomía Mesoamericana*. 25(2):323-335. <https://doi.org/10.15517/am.v25i2.15439>.
- 23 Virgen-Vargas, J.; Zepeda-Bautista, R.; Ávila-Perches, M. A.; Rojas-Martínez, I.; Espinosa-Calderón, A. y Gámez-Vázquez, A. J. 2016. Desespigamiento en cruza simples progenitoras de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para Valles Altos de México. *Agrociencia*. 50(1):43-59.
- 24 Wych, D. R. 1988. Production of hybrid seed corn. *In: corn and corn improvement*. Sprague, G. F. and Dudley, J. W. Ed. 3rd, Pioneer Hi-Bred International, Inc. Johnston, Iowa. USA. Agronomy monograph no. 18. 565-607 pp. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr18.3ed.c9>.
- 25 Zepeda-Bautista, R.; Virgen-Vargas, J.; Suazo-López, F.; Arellano-Vázquez, J. L. y Ávila-Perches, M. Á. 2021. Nitrógeno en fertirriego para producir semilla de líneas progenitoras y cruza simples de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 44(2):191-200. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.191>.



Demanda de N, P y K en líneas de maíz de Valles Altos de México

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 August 2024
Date accepted: 01 October 2024
Publication date: 16 December 2024
Publication date: Nov-Dec 2024
Volume: 15
Issue: 8
Electronic Location Identifier: e3185
DOI: 10.29312/remexca.v15i8.3185

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

dosis de fertilización
etapas fenológicas
materia seca
rendimiento de grano

Counts

Figures: 2

Tables: 4

Equations: 4

References: 25

Pages: 0