

## Eficiencia fisiológica de N, P, K y Mg en maíces H-47 y H-59\*

### Physiological efficiency of N, P, K and Mg in maize H-47 and H-59

Benjamín Zamudio-González<sup>1</sup>, Margarita Tadeo-Robledo<sup>2§</sup>, Alejandro Espinosa-Calderón<sup>1</sup>, Juan Nelson Martínez Rodríguez<sup>1</sup>, David Israel Celis Euan<sup>1</sup>, Antonio Turrent Fernández<sup>1</sup> y Roberto Valdivia Bernal<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sitio Experimental Metepec-INIFAP. Vialidad Adolfo López Mateos. Carretera Toluca-Zitácuaro, km 4.5 C. P. 51350, Zinacantepec, Estado de México, México. Tel: 01 722 510 42 20. (bzamudiog@yahoo.com.mx; espinoale@yahoo.com.mx; hollyday46@hotmail.com; aturrent37@yahoo.com.mx). <sup>2</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucán, Cuautitlán Izcalli km 2.5. Estado de México. <sup>3</sup>Universidad Autónoma Nayarit. (beto49\_2000@yahoo.com.mx). <sup>§</sup>Autora para correspondencia: tadeorobledo@yahoo.com.

## Resumen

La baja eficacia del uso de fertilizantes en suelos agrícolas impacta negativamente en la productividad y sustentabilidad de los sistemas de producción. Se calcularon los índices de la eficiencia fisiológica aparente (EFA) de diferentes tratamientos de fertilización al suelo para los híbridos H-47 y H-59. La EFA de un nutriente es el cociente de los kg de grano cosechado por kg de N, P, K o Mg en la biomasa del cultivo para una hectárea. Se utilizó un factorial completo de cinco híbridos por ocho tratamientos de fertilización bajo el concepto de "parcelas de omisión", modalidad de la Ley del Mínimo de Leibniz. La fórmula "completa y suficiente" en kg ha<sup>-1</sup> para cosechar al menos 10 t ha<sup>-1</sup> de grano de maíz fue: 240N-90P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-80K<sub>2</sub>O-60S-50MgO-380CaO (T<sub>8</sub>). Con la sucesiva omisión de un macro nutriente se obtuvieron: T<sub>1</sub> (-N), T<sub>2</sub> (-P), T<sub>3</sub> (-K), T<sub>4</sub> (-S), T<sub>5</sub> (-Mg), T<sub>6</sub> (-Ca) y T<sub>7</sub> ("agricultor" con 70% de la dosis de NPK de "dosis completa"; pero sin S, Mg y Ca). Se sembró con 90 mil semillas por hectárea en suelo con "punta de riego" el 13 de mayo. Características de mazorca y cosecha se midieron por cuadruplicado. Con los contenidos de macro nutrientes en biomasa y producción de grano de H-47 y H-59 se calcularon las EFA,s de tratamientos de omisión de N, P, K y Mg. Las variables se analizaron con SAS y se separaron las medias con prueba de Tukey al 5%. Las EFA,

## Abstract

The low efficiency of fertilizer use in agricultural soils negatively impacts productivity and sustainability of production systems. Rates of apparent physiological efficiency (EFA) were calculated regarding different fertilization treatments on the soil for hybrid H-47 and H-59. The EFA of a nutrient is the ratio of grain harvested in kg per kg of N, P, K or Mg in the crop's biomass for one hectare. We used a full factorial of five hybrid for eight fertilization treatments under the concept of "omission plot", a mode of minimum act by Leibniz. The "complete and sufficient" formula in kg ha<sup>-1</sup> to harvest at least 10 t ha<sup>-1</sup> of maize grain was: 240N-90P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-80K<sub>2</sub>O-60S-50MgO-380CaO (T<sub>8</sub>). With the successive omission of a macro nutrient we obtained: T<sub>1</sub> (-N), T<sub>2</sub> (-P), T<sub>3</sub> (-K), T<sub>4</sub> (-S), T<sub>5</sub> (-Mg), T<sub>6</sub> (-Ca) and T<sub>7</sub> ("farmer" with 70% NPK dose of "full dose", but without S, Mg and Ca). Sowing with 90 thousand seeds per hectare in soil with "irrigation tip" on May 13<sup>th</sup>. Cobs and crop characteristics were measured in quadruplicate. With the contents of macro nutrient and biomass production of grain H-47 and H-59, calculating EFA, of treatments omission of N, P, K and Mg. The variables were analysed with SAS, separating the means by Tukey 5% test. The EFA, of all the fertility treatments were: for H-47 de 33.6/N, 232.4/P, 51.7/K

\* Recibido: agosto de 2015  
Aceptado: noviembre de 2015

s del conjunto de los tratamientos de fertilización fueron: para H-47 de 33.6/N, 232.4/P, 51.7/K y 553.4/Mg; y para H-59 de 39.0/N, 181.1/P, 67.1/K y 421.8/Mg. Los valores de EFA cambian más asociado a genotipo en comparación a la omisión de algún macro nutriente.

**Palabras clave:** maíz (*Zea mays* L.), eficiencia de fertilización, nutrición vegetal.

## Introducción

La asociación de la absorción y extracción de nutrientes con los rendimientos permite una mejora del manejo de fertilizantes al considerar la interacción genotipo x ambiente (Ciampitti y Vyn, 2011; Hill y Clérico, 2013). El uso excesivo de fertilizante comercial al suelo no sólo puede ocasionar problemas graves ambientales y ecológicos (Advent-Borve *et al.*, 2007; Bianchini *et al.*, 2008; Snyder *et al.*, 2009); sino que además puede afectar negativamente la absorción por el cultivo de otros nutrientes como Zn, Ca y K (Yu-kui *et al.*, 2009). La eficiencia del uso de los fertilizantes depende de su manejo agronómico, el cultivo y tecnología de fabricación de fertilizantes para evitar pérdidas por volatilización, lixiviación, fijación, precipitación, entre otras reacciones en el suelo (Roberts, 2007; Bruulsema *et al.*, 2008).

La demanda de nutrientes por el maíz se asocia a sus etapas de desarrollo (Ritchie *et al.*, 2002). Para una mayor eficiencia del uso de los nutrientes se considera el concepto de sin localización o posición del fertilizante cerca de las raíces; y la sincronización o mejor momento de aplicar el fertilizante según su demanda (Marschner, 1994). Los momentos críticos de absorción de nutrientes del maíz se asocian al período de 4 a 6 hojas ( $V_{4-6}$ ) a 10 hojas ( $V_{10}$ ), Ritchie *et al.* (2002). La aplicación solo de N da un incremento significativo en rendimiento seguido por la adición de P (fósforo), pero en los suelos que tienen una fertilidad media se requieren adicionar cationes base (K y Ca) y micronutrientes (Zn y B). La adición de materia orgánica incrementa la retención de agua y nutrientes, mejora la sincronía entre la aplicación de fertilizantes y la demanda de nutrientes, y la biodiversidad del suelo crece (Zingore, 2011).

La eficiencia del uso de nitrógeno (EFN) se relaciona al genotipo de maíz, aspectos de manejo y ambiente (Carneiro *et al.*, 2013). Guohua *et al.* (2008) identificaron genotipos eficientes con bajo suministro de N al suelo por plantas con

and 553.4/Mg and for H-59 de 39.0/N, 181.1/P, 67.1/K and 421.8/Mg. EFA values change more associated with the genotype compared to omission of some macro nutrients.

**Keywords:** maize (*Zea mays* L.), fertilization efficiency, plant nutrition.

## Introduction

The association of nutrient absorption and extraction with the yields allows improved fertilizer management to consider the genotype x environment interaction (Ciampitti and Vyn, 2011; Hill and Clérico, 2013). The excessive use of commercial fertilizer to the soil may not only cause serious environmental and ecological problems (Advent-Borve *et al.*, 2007; Bianchini *et al.*, 2008; Snyder *et al.*, 2009); but also can adversely affect crop uptake of other nutrients such as Zn, Ca and K (Yu-kui *et al.*, 2009). The efficiency of fertilizer use depends on their agronomic management, crop and fertilizer manufacturing technology to avoid losses by volatilization, leaching, fixation, precipitation, among other reactions in the soil (Roberts, 2007; Bruulsema *et al.*, 2008).

The demand for nutrients of maize is associated with its development stages (Ritchie *et al.*, 2002). For a better efficiency of nutrient efficiency is considered the concept of location or position without fertilizer near the roots; and synchronization or best time to apply fertilizer according to its demand (Marschner, 1994). The critical moments of maize nutrient uptake are associated with period of 4 to 6 leaves ( $V_{4-6}$ ) to 10 leaves ( $V_{10}$ ), Ritchie *et al.* (2002). The application of N only gives a significant increase in yield followed by the addition of P (phosphorus), but in soils having an average fertility, it's required to add base cations (K and Ca) and micronutrients (Zn and B). The addition of organic matter increases the retention of water and nutrients, improves synchrony between fertilizer application and demand for nutrients, and soil biodiversity grows (Zingore, 2011).

Nitrogen use efficiency (EFN) is related to maize genotype, environment and management issues (Carneiro *et al.*, 2013). Guohua *et al.* (2008) identified efficient genotypes with low soil N supply to plants with strong roots by exploring and stored reserves of N, by a higher rate of translocation in the formation of grain and quality to maintain active green

raíces vigorosas que exploran y almacenan reservas de N, por una mayor tasa de translocación en la formación de grano y la cualidad de mantener las hojas verdes activas después de la antítesis. Bolaños (1994) en once localidades estudió la EFN y concluyó los maíces híbridos rindieron de 1 a 1.5 t ha<sup>-1</sup> más de grano en contra de variedades de polinización libre; y sugirió el mejoramiento de semilla se oriente a materiales con una combinación de eficiencia de llenado de grano y una mayor duración de la fase de llenado. Hefny y Aly, (2008) en estudio de 16 cruzas de maíces encontraron que la deficiencia de N retrasó la floración, aceleró la senescencia, redujo biomasa y componentes de rendimiento y contenido de proteína en el grano, por lo cual se debe seleccionar cruzas con alta eficiencia de uso de N.

Gallais y Hirel (2004) citan es complejo el fenómeno de la interacción de genotipo-suministro de N y agobios en medio ambiente con relación a la expresión de genes y procesos enzimáticos para que la planta de maíz sea eficiente en el aprovechamiento de N; por lo cual sugieren estudios integrados de genética cuantitativa, marcadores moleculares y genómica con diversos aspectos de manejo agronómico y de fisiología a fin de identificar genes con cualidades de dar mayor tasa de absorción de N por las raíces en suelos de baja fertilidad y además tengan rapidez de translocación hacia la mazorca, a fin de incluirlos en programas de mejoramiento de semillas.

El objetivo del estudio fue calcular índices de la eficiencia fisiológica aparente (EFA) de diferentes tratamientos de fertilización al suelo asociado a la producción de los híbridos de grano H-47 y H-59.

## Materiales y métodos

El manejo nutricional por sitio específico (MNSE) es una metodología propuesta por el Instituto Internacional de Nutrición Vegetal (IPNI, 2009); donde el agricultor en su predio identifica las cantidades de nutrimentos faltantes en el suelo al comparar el máximo rendimiento en una parcela con "fertilización completa, balanceada y suficiente" contra una serie sucesiva de "parcelas de omisión de nutrimentos" y su fertilización tradicional. Se probaron cinco híbridos de maíz grano (Puma 1076, H-59, H-47, H-50 y Z-60) con ocho dosis de fertilización (Cuadro 1). Se usó como base la fórmula de fertilización "completa" en kg ha<sup>-1</sup> de 240N - 90P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 80K<sub>2</sub>O - 380CaO - 50MgO - 60S (T<sub>8</sub>); y con la sucesiva omisión de un macro-nutrimento se diseñaron los tratamientos

leaves after antithesis. Bolaños (1994) studied in eleven localities and concluded EFN hybrid maize yielded from 1 to 1.5 t ha<sup>-1</sup> more grain against open-pollinated varieties; and he suggested improving seed is directed to a combination of materials with grain filling efficiency and a longer duration of the filling phase. Hefny and Aly (2008) on the study of 16 crosses of maize found deficiency of N delaying flowering, accelerating senescence, reduced biomass and yield components and protein content in the grain, so cross with high efficiency of use of N must be selected.

Gallais and Hirel (2004) cited that this phenomenon quite is complex regarding the interaction of genotype-N supply and environmental burdens in relation to gene expression and enzymatic processes for the maize plant is efficient in the use of N; for this reason, studies are suggested that integrate quantitative genetics, molecular markers and genomics to various aspects of physiology and agronomic management to identify genes with qualities to give a higher N uptake rate by the roots in soils of low fertility and also have rapidly translocation to the cob, for inclusion in seed improvement programs.

The study aimed to calculate rates of apparent physiological efficiency (EFA) in different soil fertilization treatments associated with the production of the grain hybrid H-47 and H-59.

## Materials and methods

The site-specific nutrient management (SSNM) is a methodology proposed by the International Plant Nutrition Institute (IPNI, 2009); where the farmer on the property identifies the missing amounts of nutrients in the soil to compare the maximum yield in a plot with "comprehensive, balanced and sufficient fertilization" against a succession of "nutrient omission plot" and its traditional fertilization. Five grain maize hybrids (Puma 1076, H-59, H-47, H-50 and Z-60) were tested with eight fertilization doses (Table 1). The formula of complete fertilization was used as a basis in kg ha<sup>-1</sup> 240N - 90P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 80K<sub>2</sub>O - 380CaO - 50MgO - 60S (T<sub>8</sub>); and the subsequent omission of a macro-nutrient, the treatments T<sub>1</sub>(-N), T<sub>2</sub>(-P), T<sub>3</sub>(-K), T<sub>4</sub>(-S), T<sub>5</sub>(-Mg), T<sub>6</sub>(-Ca) and T<sub>7</sub> were designed (named as fertilization of the farmer, equivalent to 70% of the dose of NPK of the "full" dose, but without Ca, Mg and S). Planting in soil with "irrigation tip" with 90 thousand seeds per hectare was made on May

de: T<sub>1</sub>(-N), T<sub>2</sub>(-P), T<sub>3</sub>(-K), T<sub>4</sub>(-S), T<sub>5</sub>(-Mg), T<sub>6</sub>(-Ca) y T<sub>7</sub> (nombrado como fertilización del “agricultor” equivalente al 70% de la dosis de NPK de la dosis “completa”; pero sin Ca, Mg y S). La siembra en suelo con “punta de riego” con 90 mil semillas por hectárea se hizo el 13 de mayo en el municipio de Temascalcingo, Estado de México a 2 372 msnm. El temporal de lluvia se estableció de forma “regular y suficiente” durante el ciclo.

El suelo se analizó por métodos normalizados de la SMCS (1987) y se calificaron por el rango de suficiencia de acuerdo a Alarcón (2004). El análisis reportó: 6.5 unidades de pH (extracción 2 partes de agua: por una de suelo seco, calificado como ligeramente alcalino), no salino (0.52 dS m<sup>-1</sup>), pobre en materia orgánica (1.15%), bajo de N (0.08%, micro-Kjeldhal), muy alto en P (88 mg kg<sup>-1</sup> Bray I), alto de K (1.04 cmol kg<sup>-1</sup> F. Flama), bajo en Ca<sup>2+</sup> (5.87 cmol kg<sup>-1</sup> EDTA) y alto en Mg (3.67 cmol kg<sup>-1</sup> EDTA).

Para la estimación de la eficiencia fisiológica aparente (EFA) de tratamientos de omisión de N-P-K-Mg se hizo sólo para los híbridos H-47 y H-59; y se calculó con la relación de kilogramos de grano de maíz producido por kg de NPKMg medido en tejidos de la biomasa total (paja con olote y grano). Los tratamientos por material genético de maíz (H), de fertilización (F) y la interacción H x F, fueron procesados con el paquete SAS (1998) y se separaron las medias con prueba de Tukey al 5%.

## Resultados y discusión

El análisis permitió declarar con honestidad matemática existió diferencia significativa a las variables de estudio por efecto de tratamientos de híbridos (H), fertilización (F) y por la interacción H x F (Cuadro 2).

### Cuadro 2. Significancia estadística de cinco variables por efecto de diseño cinco híbridos de maíz (H) x ocho tratamientos de fertilización al suelo (F) e interacción HF.

Table 2. Statistical significance of five variables by design effect of five maize hybrids (H) x eight treatments of soil fertilization (F) and HF interaction.

Núm.	Variable	Unidad	R <sup>2</sup>	CV	Media	F Valor	Pr>F
1	Paja	t ha <sup>-1</sup>	0.817	7.97	11.61	13.78	<.0001
2	Peso hectolítrico	g L <sup>-1</sup>	0.72	2.27	776.87	7.92	<.0001
3	Peso 200 granos	g	0.714	6.68	56.79	7.69	<.0001
4	Humedad grano	%	0.56	6.11	12.15	3.92	<.0001
5	Grano al 14% H	t ha <sup>-1</sup>	0.868	6.02	9.88	20.26	<.0001

13<sup>th</sup> in the town of Temascalcingo, State of Mexico at 2 372 meters. The rainfed season was established as "regular and sufficient" during the cycle.

### Cuadro 1. Tratamientos de fertilización al suelo en parcelas de omisión de macro nutrientes del agricultor y completa en Temascalcingo, Estado de México.

Table 1. Soil fertilization treatments in omission plots of macro-nutrients of the farmer and complete in Temascalcingo, State of Mexico.

Trat. omisión	Niveles	Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )
(-N)	1	(0N)-90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -80K <sub>2</sub> O-60S-50MgO-380CaO
(-P)	2	240N-(0P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )-80K <sub>2</sub> O-60S-50MgO-380CaO
(-K)	3	240N-90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -(0K <sub>2</sub> O)-60S-50MgO-380CaO
(-S)	4	240N-90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 80K <sub>2</sub> O-(0S)-50MgO-380CaO
(-Mg)	5	240N-90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -80K <sub>2</sub> O-60S-(0MgO)-380CaO
(-Ca)	6	240N-90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -80K <sub>2</sub> O-60S-50MgO-(0CaO)
Agricultor (-30%)	7	168N-63P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 56K <sub>2</sub> O
Completo	8	240N-90P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -80K <sub>2</sub> O-60S-50MgO-380CaO

The soil was analysed by the SCMS standards (1987) and were graded according to the proficient range according to Alarcon (2004). The analysis reported: 6.5 pH units (2 parts of water extraction: one dry soil, described as slightly alkaline), not salty (0.52 dS m<sup>-1</sup>), low in organic matter (1.15%) low on N (0.08%, micro-Kjeldahl), high in P (88 mg kg<sup>-1</sup> Bray I), high on K (1.04 cmol kg<sup>-1</sup> F. Flama), low on Ca<sup>2+</sup> (5.87 cmol kg<sup>-1</sup> EDTA) and high Mg (3.67 cmol kg<sup>-1</sup> EDTA).

Se aprecia la bondad de ajuste del modelo para cada variable estimada con aceptables coeficientes de correlación ( $R^2$ ), bajos coeficientes de variación (C.V.), valores medios "altos", y alta significancia de las F calculadas y la probabilidad  $P > F$ . La variación de datos experimentales procede tanto de la genética de los híbridos de maíz y como el manejo agronómico (Coutiño y Vidal, 2006).

### Variables a la cosecha por híbridos de maíz y parcelas de omisión de macro nutrientes

La comparación de variables a la cosecha se presenta por híbridos en Cuadro 3 y de las parcelas de omisión en Cuadro 4. El H-59 produjo menos paja y grano asociado a peso bajo de 200 granos. En contraste el híbrido Z-60 produjo más paja y grano asociado con el mayor peso hectolítrico. El Puma 1076 fue intermedio, ya que produjo alto valor de paja y peso de 200 granos pero grano fue bajo ( $9.35 \text{ t ha}^{-1}$ ).

El tratamiento de omisión de nitrógeno (-N) tuvo los más bajos indicadores de producción: paja  $9.04 \text{ t ha}^{-1}$ , peso de 200 granos (53.9 g) y grano ( $7.09 \text{ t ha}^{-1}$ ). La producción de paja no fue afectada por los tratamientos de fertilización por omisión, del agricultor o completa. Igual sucedió para el peso de 200 granos pero el tratamiento de omisión de magnesio (-Mg) numéricamente fue el más bajo (56.97 g). Estrictamente, la falta de N ( $7.09 \text{ t ha}^{-1}$ ) y de P ( $9.58 \text{ t ha}^{-1}$ ) causaron las menores cosechas de grano en comparación del resto de los tratamientos de fertilización. Estos datos confirman la falta de N impacta en desbalance de otros nutrientes de acuerdo a Ciampitti y Vyn, (2011).

### Cuadro 3. Comparación de medias<sup>‡</sup> de cinco variables agronómicas por efecto de cinco híbridos.

Table 3. Comparison of means of five agronomic variables by effect of five hybrids.

Híbrido	Paja ( $\text{t ha}^{-1}$ )		Peso HL ( $\text{g L}^{-1}$ )		Peso 200 S. (g)		Hum. grano (%)		Grano 14% H ( $\text{t ha}^{-1}$ )	
H-47	11.4	b	747.1	c	53.9	c	11.6	cd	10.2	b
H-50	11.8	b	753.1	c	58.1	b	12.5	b	9.95	b
H-59	9.6	c	795.9	ab	50	d	11.4	d	9.24	c
Puma 1076	12.5	a	784.6	b	62.6	a	12.12	bc	9.35	c
Z-60	12.7	a	803.4	a	59.2	b	13.06	a	10.6	a
Media	11.6		776.87		56.79		12.15		9.88	
DHS	0.6		12.24		2.6		0.51		0.41	
CV	7.97		2.27		6.68		6.11		6.02	

<sup>‡</sup> PL= peso hectolítrico; PS200= peso de 200 semillas. Letras distintas en columnas son diferentes por Tukey al 5%.

For the estimation of the apparent physiological efficiency (EFA) on omission treatments of N-P-K-Mg was made only for the hybrid H-47 and H-59; and it was calculated with the ratio of kilograms of maize grain produced per kg of N-P-K-Mg measured in tissues of the total biomass (straw cob and grain). The treatments for genetic material of maize (H), fertilization (F) and the interaction H x F were processed with the SAS (1998) package and the means by Tukey 5% test.

## Results and discussion

The analysis allowed to declare with mathematical honesty that there was significant difference in the variables studied by the effect of the treatment of hybrid (H), fertilization (F) and the interaction H x F (Table 2).

The characteristic of adjustment of the model for each variable estimated with acceptable correlation coefficients ( $R^2$ ), low coefficients of variation (C.V.), mean "high" values, and high significance of F calculated and the probability  $P > F$  is appreciated. The variation of experimental data comes from both the genetics of maize hybrids and crop management as well (Coutiño and Vidal, 2006).

### Variables to harvest of maize hybrids and omission plots of macro-nutrients

Comparing variables harvest presented by hybrids in Table 3 and omission plots in Table 4. The H-59 produced less chaff and grain associated with low weight of 200 grains. In

**Cuadro 4. Comparación de medias<sup>‡</sup> de cinco variables a la cosecha por efecto de ocho tratamientos de parcelas de omisión de macro nutrientes al suelo en maíz.**

**Table 4. Comparison of means of five variables to harvest by the effect of eight treatments with omission plots of macro-nutrients to the soil in maize.**

Tratamiento de omisión	Paja (t ha <sup>-1</sup> )		Peso HL (g L <sup>-1</sup> )	Peso 200 S. (g)		Hum. grano (%)	Grano 14% H (t ha <sup>-1</sup> )	
1 (-N)	9.04	b	782	52.85	c	12.11	7.09	c
2 (-P)	11.91	a	777	56.23	abc	11.78	9.58	b
3 (-K)	11.95	a	775	59.84	a	12.17	10.13	ab
4 (-S)	11.81	a	782	57.8	ab	12.45	10.35	a
5 (-Mg)	12.23	a	771	55.97	bc	12.2	10.55	a
6 (-Ca)	11.99	a	770	57.44	ab	12.37	10.19	a
7 Agricultor	12.17	a	782	56.33	abc	12.09	10.6	a
8 Completo	11.82	a	774	57.85	ab	12.03	10.6	a
Media	11.61		776.8	56.8		12.15	9.89	
DHS	0.9		17.24	3.7		0.72	0.58	
CV	7.97		2.27	6.68		6.11	6.02	

<sup>‡</sup> Letras distintas en columnas son diferentes por Tukey al 5%.

#### Interacciones relevantes H x F

Se evaluaron las interacciones H x F con mayor contraste de la producción de grano por hectárea, las cuales se presentan en el Cuadro 5. Los rendimientos mayores de grano se obtuvieron con fertilización del agricultor x híbrido Z-60 con 11.36 t ha<sup>-1</sup>, seguida por -Ca x Z-60, completa x Puma 1076, -K x Z-60. Se juzga el híbrido Z-60 como "robusto" porque es capaz de sostener "altos rendimientos de grano" aún con la omisión de calcio (interacción F<sub>6</sub>H<sub>5</sub>) y a la omisión de potasio (F<sub>3</sub>H<sub>5</sub>). En cambio, el híbrido Puma 1076 se calificó en tercer lugar de las interacciones y tan "superior" en términos estadísticos como el híbrido Z-60 (producción de grano 11.30 t ha<sup>-1</sup>); pero al eliminar de la fertilización el azufre impactó en una baja de dos toneladas de grano. Esta baja de producción de grano de maíz con el Puma 1076, fueron análogas para los híbridos H-50 con la omisión de P y H-59 con la omisión de Mg (Cuadro 5).

#### Eficiencia fisiológica aparente (EFA) de H-47 y H-59 por omisión de macro nutrientes.

La eficiencia fisiológica aparente o EFA, se define como la producción de kilogramos de grano obtenida por kilogramo de cierto nutriente contenido en la biomasa del cultivo en una hectárea. Se anota la palabra "aparente" porque se desconoce el origen y el curso del proceso de absorción y

contrast, the Z-60 hybrid produced more straw and grain associated with higher test weight. The Puma 1076 was intermediate as it produced high straw value and weight of 200 grains but grain was low (9.35 t ha<sup>-1</sup>).

The treatment of omission of nitrogen (N) had the lowest indicators of production: 9.04 t ha<sup>-1</sup> straw, weighing of 200 grains (53.9 g) and grain (7.09 t ha<sup>-1</sup>). Straw production was not affected by fertilization treatments due to omission, of the farmer or complete. The same happened to the weight of 200 grains but omitting the treatment of magnesium (-Mg), numerically the lowest (56.97 g). Strictly speaking, the lack of N (7.09 t ha<sup>-1</sup>) and P (9.58 t ha<sup>-1</sup>) caused minor grain crops in comparison with the rest of the fertilization treatments. These data confirm the lack of N impact on imbalance of other nutrients according to Ciampitti and Vyn (2011).

#### Relevant interactions H x F

H x F interactions with higher contrast of grain production per hectare were evaluated, which are presented in Table 5. The highest grain yields were obtained with farmer fertilization x hybrid Z-60 with 11.36 t ha<sup>-1</sup>, followed by -Ca x Z-60, complete x Puma 1076, -K x Z-60. The hybrid Z-60 is judged as "robust" because it is able to hold "high grain yields" even with omission of calcium (interaction F<sub>6</sub>H<sub>5</sub>) and the omission of potassium (F<sub>3</sub>H<sub>5</sub>). Instead, the hybrid

transporte; ya sea del complejo del suelo como nutrimento nativo, por adición de los fertilizantes, de la mineralización de residuos de cosecha u otros abonos orgánicos, por fijación biológica, por aspersión foliar u otro ingreso. A diferencia del concepto de la eficiencia agronómica o EA, el cual es de carácter eminentemente práctico, tradicional y comprensivo, el cual se define como la relación de “cuantos kilogramos de maíz se cosechan marginalmente en una hectárea entre los kg adicionados de un nutrimento contra el testigo sin tratar”.

En este estudio se tiene la hipótesis las EFA, s son diferentes para híbridos de maíz y para tratamientos desbalanceados de la fertilización al suelo bajo el concepto de omisión de macro nutrimentos de N, P, K, S, Mg y Ca. Para el cálculo de las EFA, s de los híbridos H-47 y H-59 se presentan los datos en kg ha<sup>-1</sup> de producción de paja + grano = biomasa seca total (base 0% humedad) e índice de cosecha de grano I.C.G. (Cuadro 6), los promedios de concentración de mg kg<sup>-1</sup> de NPKMg en paja y grano de H-47 (Cuadro 7) y H-59 (Cuadro 8), relaciones de concentración N, P, K y Mg en grano /paja de dos híbridos de maíz (Cuadro 9), Índices de cosecha en kg ha<sup>-1</sup> de NPKMg en biomasa seca total (paja + grano) de dos híbridos de maíz (Cuadro 10), promedio de contenidos de N, P, K y Mg en kg ha<sup>-1</sup> en la biomasa seca de paja y grano de maíz H-47 (Cuadro 11), promedio de contenidos en kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K y Mg en la biomasa seca de paja y grano de maíz H-59 contenidos en kg ha<sup>-1</sup> de NPKMg en biomasa seca (paja + grano) de dos híbridos de maíz y la eficiencia fisiológica aparente (EFA)= kg de grano al 14% humedad / kg de NPKMg contenido en biomasa seca total (paja + grano) de dos híbridos de maíz.

**Cuadro 6. Promedio de rendimientos de biomasa seca (0% humedad de paja, grano y total) e índice de cosecha de grano (I.C.G) de dos híbridos de maíz por tratamientos de omisión.**

**Table 6. Average of yields of dry biomass (0% straw moisture, grain and total) and grain harvest index (I.C.G) of two hybrids of maize by omission treatments.**

Trat. omisión	H-47				H-59			
	Paja (kg ha <sup>-1</sup> )	Grano (kg ha <sup>-1</sup> )	Total (kg ha <sup>-1</sup> )	I.C.G (núm.)	Paja (kg ha <sup>-1</sup> )	Grano (kg ha <sup>-1</sup> )	Total (kg ha <sup>-1</sup> )	I.C.G (núm.)
1 (-N)	7.45	7.33	14.77	0.5	5.07	6.97	12.04	0.58
2 (-P)	8.65	10.1	18.75	0.54	7.69	8.67	16.35	0.53
3 (-K)	7.39	10.08	17.47	0.58	7.18	9.37	16.55	0.57
4 (-S)	8.76	10.22	18.99	0.54	6.85	9.94	16.79	0.59
5 (-Mg)	7.67	10.26	17.93	0.57	7	9.2	16.2	0.57
6 (-Ca)	8.48	10.42	18.91	0.55	6.65	8.62	15.27	0.56
7 Agricultor	8.17	10.44	18.61	0.56	6.73	9.58	16.31	0.59
8 Completo	7.39	10.44	17.83	0.59	6.76	9.51	16.27	0.58
Media	8	9.91	17.91	0.55	6.74	8.98	15.72	0.57

Puma 1076 scored third of interactions and as superior in statistical terms as the hybrid Z-60 (grain yield 11.30 t ha<sup>-1</sup>); but by removing sulfur in the fertilization, affected in a reduced yield of two tons of grain. This low production of maize grain with the Puma 1076 were similar to the H-50 hybrids with the omission of P and H-59 with the omission of Mg (Table 5).

**Cuadro 5. Comparación de medias de las interacciones con rendimientos relativos “más altos” y “más bajos” de grano de maíz en Temascalcingo, Estado de México.**

**Table 5. Comparison of means of the interactions with relative “higher” and “lower” grain yield of maize in Temascalcingo, State of Mexico.**

Interacción F x H	Descripción	Grano (t ha <sup>-1</sup> )	Significancia
F7H5	(Agr. x Z-60)	11.36	a
F6H5	(-Ca x Z-60)	11.32	ab
F8H1	(Completa x Puma)	11.3	ab
F3H5	(-K x Z-60)	11.28	ab
.....	.....	.....	.....
F2H4	(-P x H-50)	9.58	cdefg
F5H2	(-Mg x H-59)	9.47	defg
F4H1	(-S x Puma)	9.23	efgh

Diferencia honesta significativa de 1.68.

**Apparent physiological efficiency (EFA) of H-47 and H-59 by omission of macro-nutrients.**

The apparent physiological efficiency or EFA is defined as the production of grain obtained in kilograms per kilogram of certain nutrient content in the crop biomass hectare. The

**Cuadro 7. Concentraciones en mg kg<sup>-1</sup> de N, P, K y Mg en la biomasa seca de paja y grano de maíz H-47.**  
**Table 7. Concentrations in mg kg<sup>-1</sup> of N, P, K and Mg in the dry biomass of straw and grain of maize H-47.**

Trat.	Híbrido de maíz H-47							
	Paja				Grano			
Omisión	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
1 (-N)	15 575	1 122	20 470	885	16 375	4 378	7 146	1 480
2 (-P)	16 575	947	19 137	856	22 300	3 334	6 785	1 394
3 (-K)	13 750	1 153	17 963	889	17 325	3 997	5 638	1 343
4 (-S)	20 250	1 188	20 469	887	25 775	4 476	6 904	1 525
5 (-Mg)	14 400	1 268	22 771	753	24 225	3 971	5 960	1 261
6 (-Ca)	14 875	1 264	19 380	827	26 175	3 625	5 693	1 225
7 Agricultor	14 425	1 214	22 287	903	25 900	4 296	6 177	1 497
8 Completo	16 150	1 301	19 743	871	20 050	4 662	5 935	1 610
Media	15 750	1 182	20 277	859	22 266	4 092	6 280	1 417

**Cuadro 8. Concentraciones en mg kg<sup>-1</sup> de N, P, K y Mg en la biomasa seca de paja y grano de maíz H-59.**  
**Table 8. Concentrations in mg kg<sup>-1</sup> of N, P, K and Mg in the dry biomass of straw and grain of maize H-59.**

Trat.	Híbrido de maíz H-59							
	Paja				Grano			
Omisión	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
1(-N)	13 900	943	20 713	709	20 850	5 040	6 056	1 894
2(-P)	14 425	1 086	20 712	947	21 475	5 175	7 025	1 959
3(-K)	17 950	1 260	18 341	1 060	24 375	5 235	6 044	1 960
4(-S)	14 225	1 032	21 560	850	24 100	6 506	7 510	2 542
5(-Mg)	13 850	1 135	22 408	707	14 750	6 760	7 388	2 079
6(-Ca)	15 275	969	20 712	942	15 875	6 137	6 541	2 356
7Agricultor	15 625	874	19 985	888	16 425	5 937	6 419	2 313
8Completo	14 325	865	21 196	816	15 575	4 952	5 572	1 907
Media	14 947	1 020	20703	865	19 178	5 718	6 569	2 126

**Cuadro 9. Relaciones de concentración N, P, K y Mg en grano /paja de dos híbridos de maíz.**  
**Table 9. Concentration relations of N, P, K and Mg in grain/straw of two maize hybrids.**

Trat.	Híbrido de maíz							
	H-47				H-59			
Omisión	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
1 (-N)	1.05	3.9	0.35	1.67	1.5	5.34	0.29	2.67
2 (-P)	1.35	3.52	0.35	1.63	1.49	4.77	0.34	2.07
3 (-K)	1.26	3.47	0.31	1.51	1.36	4.15	0.33	1.85
4 (-S)	1.27	3.77	0.34	1.72	1.69	6.3	0.35	2.99
5 (-Mg)	1.68	3.13	0.26	1.67	1.06	5.96	0.33	2.94
6 (-Ca)	1.76	2.87	0.29	1.48	1.04	6.33	0.32	2.5
7 Agricultor	1.8	3.54	0.28	1.66	1.05	6.79	0.32	2.61
8 Completo	1.24	3.58	0.3	1.85	1.09	5.73	0.26	2.34
Media	1.41	3.46	0.31	1.65	1.35	4.45	0.31	2.06



**Cuadro 10. Índices de cosecha de NPKMg en grano / biomasa seca total (paja + grano) de dos híbridos.**  
**Table 10. Harvest index of NPKMg in grain/total dry biomass (straw + grain) of two-hybrids.**

Trat. Omisión	Híbrido de maíz							
	H-47				H-59			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
1 (-N)	0.51	0.79	0.26	0.62	0.67	0.88	0.13	0.79
2 (-P)	0.61	0.8	0.29	0.66	0.63	0.84	0.36	0.7
3 (-K)	0.63	0.83	0.3	0.67	0.64	0.84	0.36	0.71
4 (-S)	0.6	0.81	0.28	0.67	0.71	0.9	0.42	0.81
	0.69	0.81	0.26	0.69	0.58	0.89	0.38	0.79
6 (-Ca)	0.68	0.78	0.27	0.65	0.57	0.89	0.37	0.76
7 Agricultor	0.7	0.82	0.26	0.68	0.6	0.91	0.38	0.79
8 Completo	0.64	0.84	0.3	0.72	0.6	0.89	0.34	0.77
Media	0.64	0.81	0.28	0.67	0.63	0.88	0.35	0.77

**Cuadro 11. Contenidos de N, P, K y Mg en kg ha<sup>-1</sup> en la biomasa seca de paja y grano de maíz H-47.**  
**Table 11. Contents of N, P, K and Mg in kg ha<sup>-1</sup> in dry biomass of straw and of grain maize H-47.**

Trat. Omisión	Híbrido de maíz H-47							
	Paja				Grano			
	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
1 (-N)	116	8.4	152.5	6.6	120	32.1	52.4	10.8
2 (-P)	143.4	8.2	165.5	7.4	225.2	33.7	68.5	14.1
3 (-K)	101.6	8.5	132.7	6.6	174.6	40.3	56.8	13.5
4 (-S)	177.4	10.4	179.3	7.8	263.4	45.7	70.6	15.6
5 (-Mg)	110.4	9.7	174.7	5.8	248.5	40.7	61.1	12.9
6 (-Ca)	126.1	10.7	164.3	7	272.7	37.8	59.3	12.8
7 Auricular	117.9	9.9	182.1	7.4	270.4	44.8	64.5	15.6
8 Completo	119.3	9.6	145.9	6.4	209.3	48.7	62	16.8
Media	126.5	9.4	162.1	6.9	223	40.5	61.9	14

Los rendimientos promedio de grano con base seco (0% humedad) fue 9.91 t ha<sup>-1</sup> y 8.98 t ha<sup>-1</sup> para el H-47 y H-59, respectivamente (una tonelada de diferencia). Los índices de cosecha de grano (ICG) fueron prácticamente iguales para el H-59 (0.57) vs H-47 (0.55); pero se observa en H-47 el contraste la parcela de omisión (-N) con ICG de 0.50 fue superado por todos los tratamientos de fertilización mientras con el H-59 sucedió lo contrario porque el (-N) con valor de 0.58 fue superior o igual a los demás tratamientos de fertilización (Cuadro 6). Lo anterior permite deducir la carga genética de cada híbrido tiene respuesta de adaptación a la omisión de algún macro elemento en acuerdo a (Gallais y Hirel, 2004; Hefny y Aly, 2008); y es útil para adoptar las mejores prácticas de fertilización por sitio específico (Roberts, 2007).

word "apparent" is noted because the origin and course of the process of absorption and transport is unknown; being from the complex of soil as native nutrient, due to the fertilizer addition, the mineralization of crop residues and other organic fertilizers by biological fixation, by foliar spray or other income. Unlike the concept of agricultural efficiency or EA, which is eminently practical, which is defined as the ratio of "how many kilograms of maize are grown marginally in one hectare between the kg of a nutrient added to the untreated control."

In this study, we have the hypothesis that the EFA are different for maize hybrids and for unbalanced treatment of soil fertilization under the concept of default macro-nutrients N, P, K, S, Mg and Ca. To calculate the EFA, of

Con letras cursivas en negritas se distinguen las concentraciones promedio de macro nutrientes de omisión respectivos para NPKMg en paja y grano del H-47 (Cuadro 7) y H-59 (Cuadro 8). Se visualizan valores en cursivas asociadas a la baja por omisión de algún macro elemento. Así, se asoció a la omisión de -P y -K a la baja de sus concentraciones en paja y grano, pero no para -N, ya que es un nutriente plástico que se ajusta a la producción de biomasa. El caso de -Mg es inconsistente, ya que con el H-47 sí bajaron sus concentraciones en paja y grano pero para el H-59 si bien los contenidos de magnesio en paja fue menor (707 mg kg<sup>-1</sup>), en grano no fue así (2 079 mg kg<sup>-1</sup> vs -N, -P y -K los tres con valores menores). La falta o exceso de la oferta de algún nutriente en particular conlleva a desbalances de otros elementos esenciales por antagonismos, ion acompañante, o disfunción en acuerdo a (Yu-kui *et al.*, 2009).

La venta de la cosecha de grano fuera de la finca representa la exportación de nutrientes. Este principio también es válido para la paja cuando no se incorpora al suelo en forma de estiércol o de compostas después de ser aprovechado para dieta pecuaria. Se presenta primero las relaciones de concentración de NPKMg de grano entre paja, como comprensión de la partición en la planta de macro nutrientes (Cuadro 9), y con mayor precisión los índices de cosecha de NPKMg en grano respecto a la biomasa total seca (paja + grano); como valor exportado de nutrientes fuera de la finca (Cuadro 10).

Las relaciones de concentración de macro nutrientes en grano/paja en promedio para H-47 y H-59 respectivamente fueron: de N de 1.41 y 1.35 (es se explica 1.41 kg de N en grano por un kg de N en paja); P de 3.46 y 4.45; K de 0.31 en ambos híbridos, Mg de 1.65 y 2.06 (Cuadro 9). Contraste ejemplar entre P y K; ya que el fósforo preferencialmente se orientó al grano de tres a cuatro veces más que en paja; en tanto el potasio sucedió lo contrario porque sólo un tercio (0.31) se concentró en el grano. Estos cuatro macro elementos son móviles en la planta y las deficiencias aparecen en hojas basales por la demanda de órganos de nueva formación; más la razón de la partición se explica mayormente por la genética y la etapa fenológica del cultivo (Ritchie *et al.*, 2002; Gallais e Hirel, 2004).

Los índices de cosecha o contenidos de NPKMg en promedio en grano de maíz para H-47 y H-59, respectivamente, fueron: N de 0.64 y 0.63, P de 0.81 y 0.88, K de 0.28 y 0.35, Mg de 0.67 y 0.77. Dos grandes contrastes son observados, primero para H-47 con (-N) el índice de cosecha de N fue de sólo 0.51 vs el testigo del agricultor de 0.70; y segundo, para H-59 con (-K) el índice de cosecha de K fue de 0.13 vs el rango de

the hybrids H-47 and H-59 data were presented in kg ha<sup>-1</sup> of straw production + grain = total dry biomass (0% moisture basis) and harvest index of grain I.C.G (Table 6), the average concentration of mg kg<sup>-1</sup> of N-P-K-Mg in grain and straw of H-47 (Table 7) and H-59 (Table 8), concentration ratios N, P, K and Mg in grain/straw of two maize hybrids (Table 9), harvest indices kg ha<sup>-1</sup> of NPKMg in total dry biomass (straw+grain) of two maize hybrids (Table 10), the average content of N, P, K and Mg in kg ha<sup>-1</sup> of the dry biomass in straw and grain of maize H-47 (Table 11), average content in kg ha<sup>-1</sup> of N, P, K and Mg in the dry biomass of straw and maize grain of H-59 contained in kg ha<sup>-1</sup> NPKMg in dry biomass (straw + grain) of two maize hybrids and apparent physiological efficiency (EFA) = kg of grain to 14% moisture/kg of total dry content NPKMg biomass (straw + grain) two maize hybrids.

The average grain yields in dry basis (0% moisture) was 9.91 t ha<sup>-1</sup> and 8.98 t ha<sup>-1</sup> for the H-47 and H-59, respectively (a ton of difference). The indices of grain (ICG) were virtually identical to the M-59 (0.57) vs H-47 (0.55); but is seen in H-47 in contrast the omission plot (-N) with ICG 0.50, surpassed by all the fertilization treatments, while with the M-59 the opposite happened because the (N) value of 0.58 was higher or equal to the other fertilizer treatments (Table 6). The above shows the genetic load of each hybrid that has adaptive response to the omission of some macro element according to (Gallais and Hirel, 2004; Hefny and Aly, 2008); and it is useful to adopt the best practices of site-specific fertilization (Roberts, 2007).

With italic bold fonts are distinguished the average concentrations of the respective macro-nutrients of omission regarding the NPKMg for straw and grain of the H-47 (Table 7) and H-59 (Table 8). Values are displayed in italics associated with the decrease due to the omission of a macro-element. Thus, it was associated with the omission of -P and -K to the decrease of concentrations in straw and grain, but not for -N, as it is a plastic nutrient that meets biomass production. For -Mg is inconsistent, since the H-47 itself lowered their concentrations in grain and straw but for the H-59 while the magnesium content in straw was lower (707 mg kg<sup>-1</sup>), in grain it was not like that (2 079 mg kg<sup>-1</sup> vs -N, -P and -K, the three of them with lower values). The lack or excess of supply of any particular nutrient leads to imbalance of other essential elements, companion ion, or dysfunction according with Yu-kui *et al.* (2009).

The sale of the grain harvest outside of the farm represents nutrient exports. This principle also applies to the straw when not incorporated into the soil as manure or compost after

0.34 a 0.42 del conjunto de los tratamientos de fertilización. El Instituto Internacional de la Nutrición de la Planta (IPNI, 2009), publicó para una cosecha de 10 t ha<sup>-1</sup> de grano y su respectiva paja; los índices de cosecha de NPKMg fueron: N de 0.66, P de 0.75, K de 0.21 y Mg de 0.28; los cuales equivalen en dicha cosecha de grano las cantidades en kg de 145N, 30P, 40K y 8Mg. Los datos aquí mostrados coinciden francamente con los índices de cosecha para N y P, son ligeramente mayores para K y “muy altos” para Mg (de 2 a 3 veces), lo que indica posible desbalance por antagonismo catiónico.

Los valores netos en kg ha<sup>-1</sup> de NPKMg en paja y grano fueron calculados a partir de la producción de biomasa y sus concentraciones químicas, y se presenta para el H-47 en el Cuadro 11. Cabe recordar el promedio de la parcela fue casi de 10 t ha<sup>-1</sup> de grano. Se aprecia los contenidos extraídos en kg ha<sup>-1</sup> en la paja de N y K son relevantes para los dos híbridos H-47 y H-59 con rangos del orden de 101 a 126 de N y de 162 a 101 de K, respectivamente. En lo general, el valor en cursivas negritas de la omisión de un macro nutriente se reflejó en menor contenido extraído en la paja y grano. Así, para -N del H-47, los contenidos en kg ha<sup>-1</sup> de N en paja fue de 116 vs el promedio de 126.5, y grano de 120 vs la media de 223. Análogamente con -N para el H-59, los contenidos extraídos en kg ha<sup>-1</sup> de N fueron en paja de 70.5 vs el promedio de 101, y grano de 145.3 vs el promedio de 172.2.

## Conclusiones

Las eficiencias fisiológicas aparentes EFA, s de NPKMg fueron: del H-47 en kg ha<sup>-1</sup> de grano de maíz por kg de macro nutriente contenido en la biomasa de 33.6/N, 232.4/P, 51.7/K y 553.4/Mg; y para H-59 de 39.0/N, 181.1/P, 67.1/K y 421.8/Mg. Las EFA, s por la omisión de macro nutrientes fue similar al valor promedio, a la fertilización del agricultor y la dosis completa de “alto rendimiento”, por lo cual se deduce esta variable está más asociada al genotipo en comparación a la omisión de algún macro nutriente.

## Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto de investigación PAPIIT: IT201312-3, y la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

being tapped to livestock diet. The concentration relations of NPKMg of grain between straw were the first ones to be present, as understanding of the partition in the plant of the macro-nutrients (Table 9), and with higher accuracy the rates of harvest of NPKMg in grain with respect to the total dry biomass (straw + grain); as exported value of nutrient outside of the farm (Table 10).

The concentration ratio of macro-nutrients in grain/straw on average for H-47 and H-59 were: of N 1.41 and 1.35, respectively (is explained 1.41 kg of N in grain by 1 kg of N in straw); P of 3.46 and 4.45; K of 0.31 K in both hybrids, Mg 1.65 and 2.06 (Table 9). Sample contrast between P and K; since phosphorus was preferentially oriented to the grain of three to four times more than in the straw; while in potassium the opposite happened because only one third (0.31) was concentrated in the grain. These four macro-elements are mobile on the plant and the differences appear on the lower leaves due to the demand of organs in new formation; but the reason to the partition is mainly explained by genetics and the phenological stage of the crop (Ritchie *et al.*, 2002; Gallais and Hirel, 2004).

The harvest index or average NPKMg content in maize grain for H-47 and H-59 were respectively: N of 0.64 and 0.63, P of 0.81 and 0.88, K of 0.28 and 0.35, Mg of 0.67 and 0.77. Two large contrasts are observed, first to H-47 with (-N) the N harvest index was only 0.51 vs the control of the farmer of 0.70; and second, for H-59 with (-K) the harvest index of K was 0.13 vs the range of 0.34 to 0.42 of all the fertilization treatments. The International Institute for Plant Nutrition (IPNI, 2009), published for a harvest of 10 t ha<sup>-1</sup> of grain and its straw; harvest rates for NPKMg were: N of 0.66, P of 0.75, K of 0.21 Mg of 0.28; which are equivalent in that grain harvest the amounts in kg of 145N, 30P, 40K and 8mg. Data shown here agree with harvest rates for N and P, which are slightly higher for K and "very high" for Mg (2 to 3 times), indicating possible imbalance by cationic antagonism.

Net values in kg ha<sup>-1</sup> of NPKMg in straw and grain were calculated from the biomass production and its chemical concentrations, and is presented for the H-47 in Table 11. It is noteworthy recalling the average plot was almost 10 t ha<sup>-1</sup> of grain. The contents extracted in kg ha<sup>-1</sup> in straw of N and K is relevant for both hybrids H-47 and H-59 with ranges of about 101-126 of N and 162-101 of K, respectively. In general, the value showed in bold italics of the omission of a macro-nutrient was reflected in lower content taken in the

## Literatura citada

- Adviento-Borve, M. A. A.; Hadrix, M. L.; Binder, D. L.; Walters, D. T. and Doermann, A. 2007. Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four high-yielding maize systems. *Glob. Change Biol.* 13: 1972-1988.
- Alarcón, V. A. L. 2004. Diagnóstico de nutrición Agrícola: agua, suelo y material vegetal. *In: Máster de Nutrición vegetal de cultivos hortícolas protegidos.* Ed. U. Politécnica Cartagena España. 90 p.
- Bianchini, A.; Garcia, F. and Melchiori, R. 2008. Nitrogen in the environment: sources, problems, and management. *In: Hatfield, J. and Follet, R. (Eds.). Elsevier - Academic Press, USA.* 105-124 pp.
- Bolaños, J. 1994. Bases fisiológicas del progreso genético en cultivares del programa regional de maíz. *Agron. Mesoam.* 5:67-77.
- Bruulsema, T. W.; Witt, F.; García, C.; Li, S.; Rao, T. N.; Chen, F. and Ivanova, S. 2008. A global framework for fertilizer BMPs. *Better Crops.* 92(2):13-15.
- Carneiro, A.; Telmo, J.; Villalba, H.; Oswin, E.; Pivotto, B. R.; Santi, A. L.; Benítez, L.; Asterio, E.; Menefee, D. and Kunz, J. 2013. Efficiency of nitrogen fertilizer applied at corn sowing in contrasting growing seasons in Paraguay. *Rev. Brasileira de Ciencia do Solo.* 37(6):1641-1650.
- Ciampitti, I. A. and Vyn, T. J. 2011. A comprehensive study of plant density consequences on N uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. *Field Crops Res.* 121:2-18.
- Coutiño, E. B.; and Vidal, M. V. A. 2006. Variance components of corn hybrids evaluated in the USA corn belt. *Agrociencia.* 40(1):89-98.
- Gallais, A. and Hirel, B. 2004. An approach to the genetics of nitrogen use efficiency in maize. *J. Exp. Bot.* 55(396):295-306.
- Guohua, M.; Fanjun, Ch. and Fusuo, Z. 2008. Physiological and genetic mechanisms for nitrogen-use efficiency in maize. *J. Crop Sci. Biotech.* 10(2):57-63
- Hefny, M. M. and Aly, A. A. 2008. Yielding ability and nitrogen use efficiency in maize inbred lines and their crosses. *Int. Jour. of Agric. Res.* 3(1):27-39. Academic Journals Inc. Egypt.
- IPNI. 2009. 4R Nutrient stewardship style guide. Inter. Plant Nut. Inst. Ref. 9068. Norcross, GA.
- Hill, M. y Clérico, C. 2013. Manejo nutricional para alta productividad de cultivos e impacto ambiental reducido. *Inf. Agronómicas.* 11 p.
- Marschner, H. 1994. Mineral nutrition in higher plants. Academic Press INC. (London). 889 p.
- straw and grain. Thus, for -N of the H-47, the contents in kg ha<sup>-1</sup> of N in straw was of 116 vs the average 126.5 and grain of 120 vs the mean of 223. Similarly with -N for the H-59, the contents extracted in kg ha<sup>-1</sup> of N where in straw of 70.5 vs the average of 101, and grain of 145.3 vs the average of 172.2.

## Conclusions

The physiological apparent efficiencies EFA of NPKMg were: for H-47 kg ha<sup>-1</sup> of maize grain per kg of macro-nutrient content in the biomass of 33.6/N, 232.4/P, 51.7/K and 553.4/Mg; and for H-59 of 39.0/N, 181.1/P, 67.1/K and 421.8/Mg. The EFA due to the omission of macro-nutrients was similar to the average value, to the fertilization of the farmer and the full dose of "high yield", so it quite clear that, this variable is more associated with the genotype compared to the omission of a macro-nutrient.

*End of the English version*



- Ritchie, S.; John, H. y Garren, B. 2002. Como se desarrolla una planta de maíz. Ed. Iowa State University. 45 p.
- Roberts, T. L. 2007. Right product, right rate, right time, right place. The foundation of BMPs for fertilizer. IFA Workshop on Fertilizer Best Management Practices (FBMPs). Brussels, Belgium. 265 p.
- SAS. 1998. ANOVA. *In: SAS User Guide: Statistics.* Cary, N.C.: 113-138.
- SMCSA. C. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del Suelo, Ed. Aguilar. Etcheverr y Castellanos. CONACYT. Chapingo, Estado de México. Publicación N° 1. 32 p.
- Snyder, C. S.; Bruulsema, T. W.; Jensen, T. L. and Fixen, P. E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agric. Ecosyst. Environ.* 133:247-266.
- Yu-kui, R.; Shi-ling, J.; Fu-suo, Z. and Jian-bo, Sh. 2009. Effects of nitrogen fertilizer input on the composition of mineral elements in corn grain. *Agrociencia.* 43(1):21-27.
- Zingore, S. 2011. Better crops with plant food. 95(1):4-6.