

Eficiencia agronómica de fertilización al suelo de macro nutrientes en híbridos de maíz*

Agronomic efficiency of soil fertilization of macro nutrients in corn hybrids

Benjamín Zamudio-González¹, Margarita Tadeo-Robledo^{2§}, Alejandro Espinosa-Calderón¹, Juan Nelson Martínez Rodríguez¹, David Israel Celis Euan¹, Roberto Valdivia Bernal³ y Job Zaragoza Esparza²

¹Sitio Experimental Metepec-INIFAP. Vialidad Adolfo López Mateos km 4.5 Carretera Toluca-Zitácuaro, C. P. 51350, Zinacantepec, Estado de México, México. Tel: 01722 278 43 31. (bzamudiog@yahoo.com.mx; espinoale@yahoo.com.mx; hollyday46@hotmail.com). ²Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucán, km 2.5. Cuautitlán Izcalli, Estado de México. (tadeorobledo@yahoo.com; jobzaragoza4920@yahoo.com). ³Universidad Autónoma Nayarit. (beto49_2000@yahoo.com.mx). [§]Autora para correspondencia: tadeorobledo@yahoo.com.

Resumen

Se calculó la eficiencia agronómica (EA) de la fertilización al suelo de macro nutrientes asociado a vigor y producción de nuevos híbridos liberados para Valles Altos en el Estado de México. Con el concepto de “parcelas de omisión” de macro nutrientes, modalidad de la Ley del Mínimo de Leibniz, se instaló prueba de un factorial completo de los híbridos Puma 1076, H-59, H-47, H-50 y Z-60 por ocho dosis de fertilización. La fórmula “de alto rendimiento” en kg ha⁻¹ fue 240N-90P₂O₅-80K₂O-60S-50MgO-380CaO y se etiquetó como (T8); y con la sucesiva omisión de un macro-nutriente se diseñaron los tratamientos de: T1(-N), T2(-P), T3(-K), T4(-S), T5(-Mg), T6(-Ca) y T7 (del “agricultor” equivalente al 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 en el municipio de Temascalcingo, Estado de México a 2 372 msnm. Por cuadruplicado se midieron tres grupos de variables: 1) planta en floración; 2) mazorca madura; y 3) cosecha. El cálculo de la EA fue hecho con los kilogramos de grano de maíz producidos por kg de NPK añadido al suelo; y fue por diferencias de rendimiento de grano de maíz del testigo del agricultor con cada parcela de omisión de -N, -P y -K. Las variables se analizaron con SAS y se separaron las medias con prueba de Tukey al 5%.

Abstract

Agronomic efficiency (AE) of soil fertilization of macro nutrients associated with vigor and production of new hybrids released for Valles Altos in the State of Mexico was calculated. With the concept "omission plots" of macro nutrients, modality of Liebig's law of the minimum, a full factorial test for Puma hybrids 1076, H-59, H-47, H-50 and Z-60 for eight fertilization doses was set. The formula "high yield" in kg ha⁻¹ was 240N-90 P₂O₅- 80 K₂O- 60S-50MgO-380CaO and labeled as (T8); and the subsequent omission of a macro-nutrient treatments were designed: T1(-N), T2(-P), T3(-K), T4(-S), T5(-Mg), T6(-Ca) and T7 (from the "farmer" equivalent to 70% of NPK dose of "complete dose", but without S, Mg and Ca). It was seeded with 90 000 seeds per hectare in soil with "irrigation of establishment" on May 13th in the town of Temascalcingo, State of Mexico at 2372 masl. By quadruplicated three groups of variables were measured 1) flowering plant; 2) mature cob; and 3) harvest. AE calculation was made with kg of corn grain produced per kg of NPK added to the soil; and was due to differences in corn grain yield from farmer control each omission plot of -N, -P and -K. The variables were analyzed with SAS and separated the means by Tukey 5%. Grain production was correlated with leaf greenness index, nitrate and potassium

* Recibido: abril de 2015
Aceptado: agosto de 2015

La producción de grano se correlacionó con el índice de verdor de hoja, contenidos de nitratos y potasio en el extracto celular. Los resultados indicaron: la EA de nitrógeno fue de 20.9 kg de grano de maíz por kg de N aplicado al suelo, fósforo de 10.4 kg de grano por kg de P_2O_5 y potasio de 8.41 kg de grano por kg de K_2O . Se correlacionó baja producción de grano de maíz a menos de 35 unidades SPAD y menos de 300 de $mg\ L^{-1}$ de $N-NO_3$.

Palabras clave: *Zea mays* L., NPK, nutrición vegetal.

Introducción

La fórmula de fertilización generalizada de NPK para la producción de maíz en Valles Altos, en el Estado de México (180-60-40), no se ha verificado con respecto a nuevos híbridos liberados y tampoco con una esperanza de "alto rendimiento" del orden de diez o más toneladas de grano por hectárea. Esta meta de rendimiento, requiere afinar el manejo agronómico, considerando la tasa negativa de -0.32 del rendimiento de grano de maíz en el Estado de México de 2000 a 2010, con promedio $2.65\ t\ ha^{-1}$ en temporal y de $3.75\ t\ ha^{-1}$ con riego en 2010 (Trueba, 2012).

La baja producción de maíz en Valles Altos del Estado de México, se relaciona con la ocurrencia de siniestros del clima extremo como: sequía, en diferentes etapas, retraso de las precipitaciones para siembra, exceso de humedad, granizo y heladas tanto al inicio del ciclo de crecimiento vegetativo o previo a la madurez fisiológica de la mazorca; así como limitantes del suelo como un bajo contenido de materia orgánica, acidez extrema, compactación, costras superficiales y pobre actividad de microorganismos. El conjunto de las condiciones anteriores anotadas; se suman a siembras irregulares con semillas de variedades con bajo potencial de rendimiento y un control ineficaz de plagas y malezas, entre otras malas prácticas agrícolas (Zamudio *et al.*, 2012).

El uso excesivo e inapropiado de fertilizante comercial nitrogenado 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 de aprovechamiento de la fertilización nitrogenada en ambientes de clima errático, ya que en un ciclo lluvioso la dosis óptima fue de $180\ kg\ ha^{-1}$ de N en

content in cell extract. The results indicated: AE of nitrogen was 20.9 kg of corn grain per kg of N applied to the soil, phosphorus 10.4 kg of grain per kg of P_2O_5 and potassium 8.41 kg of grain per kg of K_2O . Low production of corn grain was correlated to less than 35 SPAD units and less than 300 $mg\ L^{-1}$ of $N-NO_3$ were correlated.

Keywords: *Zea mays* L., NPK, plant nutrition.

Introduction

The general fertilization formula of NPK for maize production in Valles Altos, in the State of Mexico (180-60-40), has not been verified new hybrids released and either with the hope of "high yield" in the order of ten or more tons of grain per hectare. This goal requires to refine agronomic management, considering the negative rate of -0.32 of corn grain yield in the State of Mexico from 2000 to 2010, averaging $2.65\ t\ ha^{-1}$ under rainfed and $3.75\ t\ ha^{-1}$ under irrigation in 2010 (Trueba, 2012).

The low production of corn in Valles Altos from the State of Mexico, is related to the occurrence of extreme weather such as drought, at different stages, delayed rainfall for planting, excessive moisture, hail and frost at the beginning of the vegetative cycle or before physiological maturity of cob; thus soil with low content of organic matter, extreme acidity, compaction, surface crusts and poor activity of microorganisms. To the set of conditions listed above; add irregular sowing with seeds varieties of low yield potential and an ineffective control of pests and weeds, including poor agricultural practices (Zamudio *et al.*, 2012).

The excessive and inappropriate use of commercial nitrogen 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 efficient use of nitrogen fertilization on erratic weather environments, as in a rainy cycle the optimal dose was $180\ kg\ N\ ha^{-1}$ compared to a dry season in which the optimal is a third or $60\ kg\ ha^{-1}$ of N (Carneiro *et al.*, 2013). The efficiency of fertilizer use has variants in using the right product, at the time and according to crop demand and in some cases industrial technology of manufacturing fertilizers to avoid

comparación a un temporada árida en el cual el óptimo fue de un tercio o 60 kg ha⁻¹ de N (Carneiro *et al.*, 2013). La eficiencia del uso de los fertilizantes tiene variantes al usar el producto correcto, en el momento y manera a la demanda del cultivo y en ciertos casos tecnología industrial de fabricación de fertilizantes para evitar pérdidas por volatilización, lixiviación, fijación, precipitación, entre otras reacciones en el suelo (Bruulsema *et al.*, 2008; García, 2009; Roberts, 2007).

La tecnología con base a la investigación en el mejoramiento genético de maíces con alto potencial de rendimiento y adaptabilidad a las condiciones de clima y suelos del Valles Altos de México tiene cada año una mayor adopción por parte de agricultores del Estado de México (Espinosa *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2008). Sin embargo, se estima no más de 15% de las 600 mil ha cultivadas anualmente son sembradas con semillas de híbridos o variedades mejoradas (Espinosa *et al.*, 2008).

Una adecuada fertilización en cantidad, lugar y momento puede impactar en una mayor producción de forraje, influir en un mayor "cuateo" de mazorcas, más hileras y granos en la mazorca y mayor peso del grano. Se destacan las relaciones de la formación de los componentes del rendimiento de maíz durante las etapas de desarrollo vegetativo (Vi) y reproductivo (Ri). Si un agricultor desconoce cuánto nitrógeno tiene su suelo de cultivo y pretende cosechar 10 toneladas de grano por hectárea; requerirá de abonar con 22 kg de N*t por 10 t de grano; esto es igual a 220 kg de N por hectárea (Griffith y Murphy, 1991; IPNI, 2009).

La aplicación solo de N da un incremento significativo en rendimiento en suelos con alta fertilidad, así como la adición de P (fósforo) incrementa el rendimiento significativamente en suelos fértiles, pero en los suelos que tienen una fertilidad media se requiere adicionar cationes base (K y Ca) y micronutrientes (Zn y B). Es necesaria la adición de materia orgánica para incrementar la retención de agua y nutrientes, una mejor sincronía entre la aplicación de fertilizantes y la demanda de nutrientes y mejorar la biodiversidad del suelo (Zingore, 2011) y lograr altos rendimientos de cosecha con impactos reducidos negativos reducidos al medio ambiente (Mariana y Clérico, 2013).

El objetivo del estudio fue estimar la eficiencia agronómica (EA= kilogramos de grano de maíz producido por kg de macro nutriente añadido al suelo), para nuevos híbridos liberados para Valles Altos de Estado de México, expresados con relación a aplicaciones de N-P-K por hectárea; y asociados de vigor de la planta y producción.

losses by volatilization, leaching, fixation, precipitation, among other reactions on the soil (Bruulsema *et al.*, 2008; García, 2009; Roberts, 2007).

Technology based on research in genetic breeding of maize with high yield potential and adaptability to climate and soil conditions of Valles Altos has higher adoption by farmers of the State of Mexico (Espinosa *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2008). However, no more than 15% of the 600 thousand hectares grown annually are planted with hybrid or improved varieties (Espinosa *et al.*, 2008).

Proper fertilization in quantity, place and time can impact in higher production of fodder, influence in higher number of cobs, more rows and grains on the cob and higher grain weight. Highlights the relationship of corn yield components formation during vegetative growth (Vi) and reproductive (Ri). If a farmer does not know how much nitrogen the soil has and plans to harvest 10 tons of grain per hectare; it will require to fertilize with 22 kg of N * t per 10 t of grain; this is equal to 220 kg of N per hectare (Griffith and Murphy, 1991; IPNI 2009).

N application only gives a significant increase in yield in soils with high fertility, as well as the addition of P (phosphorus) increases yield significantly in fertile soil, but in soil that have medium fertility require the addition of base cations (K and Ca) and micronutrients (Zn and B). Is necessary to add organic matter to increase water and nutrient retention, better synchrony between fertilizer application and demand of nutrients and improve soil biodiversity (Zingore, 2011) to achieve high crop yields with reduced negative impacts on environment (Mariana and Clérico, 2013).

The aim of the study was to estimate agronomic efficiency (AE= kilograms of corn grain produced per kg of macro nutrient added to the soil) to new hybrids released for Valles Altos of Mexico State, expressed in relation to applications of NPK per hectare; and associated with plant vigor and production.

Materials and methods

Site-specific nutrient management (SSNM) is a methodology proposed by the International Plant Nutrition Institute (IPNI, 2009); where the farmer identifies on his field the missing amounts of nutrients in the soil by comparing the maximum yield in a plot with "complete and sufficient fertilization" to obtain "high yields" against a succession of

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 y suficiente" para obtener "altos rendimientos" contra una serie sucesiva de "parcelas de omisión de nutrimentos" y su fertilización tradicional. Se probó la combinación de los híbridos Puma 1076, H-59, H-47, H-50 y Z-60 (Cuadro 1) con ocho dosis de fertilización (Cuadro 2). Se usó como base la fórmula de fertilización en kg ha⁻¹ "completa" de 240N-90P₂O₅- 80K₂O- 380CaO- 50MgO- 60S (T₈); y con la sucesiva omisión de un macro-nutrimento se diseñaron los tratamientos de: T₁(-N), T₂(-P), T₃(-K), T₄(-S), T₅(-Mg), T₆(-Ca) y T₇ (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.

"nutrient omission plot" and its traditional fertilization. The combination of hybrid Puma 1076, H-59, H-47, H-50 and Z-60 (Table 1) with eight fertilization doses (Table 2) was tested. The fertilization formula used as basis in kg ha⁻¹ "complete" 240N-90P₂O₅- 80K₂O- 380CaO- 50MgO- 60S (T₈); and the subsequent omission of a macro-nutrient, treatments designed were: T₁(-N), T₂(-P), T₃(-K), T₄(-S), T₅(-Mg), T₆(-Ca) and T₇ (fertilization named "farmer" equivalent to 70% of the NPK dose of the "complete" dose, but without Ca, Mg and S). Planting in soil with "irrigation of establishment" with 90 thousand seeds per hectare were made on May 13 in the town of Temascalcingo, State of Mexico at 2 372 masl. Rainfall season was "regular and sufficient" during the cycle.

Cuadro 1. Tratamientos de cinco híbridos de maíz probados en Temascalcingo, Estado de México.

Table 1. Treatments from five corn hybrids tested in Temascalcingo, State of Mexico.

Material	Niveles
Puma 1076	1
H-59	2
H-47	3
H-50	4
Z-60	5

Cuadro 2. Tratamientos de fertilización en parcelas de omisión de macronutrientes, del agricultor y completa en Temascalcingo, Estado de México.

Table 2. Fertilization treatments in macro-nutrient omission plots from farmer and complete in Temascalcingo, State of Mexico.

Tratamiento omisión	Niveles	Dosis (kg ha ⁻¹)
(-N)	1	(0N) -90P ₂ O ₅ - 80K ₂ O- 60S-50MgO-380CaO
(-P)	2	240N- (0P₂O₅) - 80K ₂ O- 60S-50MgO-380CaO
(-K)	3	240N-90P ₂ O ₅ - (0K₂O) - 60S-50MgO-380CaO
(-S)	4	240N-90P ₂ O ₅ - 80K ₂ O- (0S) -50MgO-380CaO
(-Mg)	5	240N-90P ₂ O ₅ - 80K ₂ O- 60S- (0MgO) -380CaO
(-Ca)	6	240N-90P ₂ O ₅ - 80K ₂ O- 60S-50MgO- (0CaO)
Agricultor (-30%)	7	168N-63P ₂ O ₅ - 56K ₂ O
Completa	8	240N-90P ₂ O ₅ - 80K ₂ O- 60S-50MgO-380CaO

El análisis de suelo se hizo por métodos estandarizados de la SMCS (1987), se calificaron por el rango de suficiencia o "normal" 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⁻¹), pobre en materia orgánica (1.15%), bajo de N (0.08%, micro-Kjeldhal), muy alto en P (88 mg kg⁻¹ Bray I), alto de K (1.04 cmol kg⁻¹ F. Flama), bajo en Ca²⁺ (5.87 cmol kg⁻¹ EDTA) y alto en Mg (3.67 cmol kg⁻¹ EDTA).

Soil analysis was done by standard methods of SMCS (1987), classified by the range of sufficiency or "normal" according to Alarcon (2004). The analysis reported: 6.5 pH units (extraction 2 parts water: by one of dry soil, described as slightly alkaline), non-saline (0.52 dS m⁻¹), poor in organic matter (1.15%), low in N (0.08%, micro-Kjeldahl), high in P (88 mg kg⁻¹ Bray I), high in K (1.04 kg⁻¹ cmol F. Flame), low Ca²⁺ (5.87 kg⁻¹ cmol EDTA) and high in Mg (3.67 cmol kg⁻¹ EDTA).

Por cuadruplicado se midieron tres grupos de variables: 1) planta en floración; 2) mazorca madura; y 3) cosecha. De planta en R_1 fueron: materia verde (MV) y seca (MS) en $g\ plant^{-1}$, densidad de plantas/ m^2 , alturas a la inserción de la primera mazorca y la espiga en cm; verdor de la hoja "basal" V_{4-5} , "media" (V_{7-8} , opuesta al jilote), y "superior" recién formada y madura (V_{10-12}) con unidades SPAD marca Minolta. La medición de nitratos y potasio se hizo con ionómetros marca Cardy-Horiba del extracto celular de entrenudos donde se inserta el jilote durante R_1 en $mg\ L^{-1}$. De la mazorca se midió: longitud y diámetro en cm, diámetro de olote en cm, hileras/mazorca, granos/hilera y granos/mazorca. A la cosecha se midieron: paja en $t\ ha^{-1}$, peso hectolítrico en $g\ L^{-1}$, peso de 200 granos en g, humedad del grano a cosecha y rendimiento de grano ajustado al 14% de humedad en $t\ ha^{-1}$.

Para cálculo de la eficiencia agronómica (EA) de kilogramos de grano de maíz producido por kg de macro nutrientes; fue por diferencias de rendimiento de grano de maíz del agricultor (testigo) contra cada parcela de omisión de -N, -P, -K. No se continuó con cálculos de la EA para -S, -Mg y -Ca porque no existieron diferencias de producción de grano contra el testigo de la práctica de la fertilización del agricultor.

Los tratamientos por material genético de maíz (H), de fertilización (F) y la interacción HxF, fueron evaluados según métodos de análisis numérico por Casella y Berger (1999) e instrumentados con el software por Ferrán (2003); y procesados con el paquete SAS (1998). Se separaron las medias con prueba de Tukey al 5% de probabilidad de error. Se correlacionó la producción de maíz con el índice de verdor de hojas y los contenidos de nitratos y potasio en el extracto celular. Se adoptó la regla de decisión "existe correlación entre dos variables" cuando el valor "r" es igual o mayor a 0.6 y probabilidad $> |r|$ suponiendo $H_0: \rho = 0$.

Resultados y discusión

El análisis permitió declarar con honestidad matemática que existió en lo general diferencia en las variables de estudio por efecto de tratamientos de híbridos (H), fertilización (F) y por la interacción HxF (Cuadro 3). En las primeras tres columnas del Cuadro 3, se consigna el número, nombre de variable y la unidad de medición. En seguida se aprecia la bondad de ajuste del modelo para cada variable estimada con el coeficiente de correlación (R^2), de la dispersión con el coeficiente de variación (CV), los valores medios M, el

By quadruplicate three groups of variables were measured 1) flowering plant; 2) mature cob; and 3) harvest. From plant in R_1 were: green matter (MV) and dry matter (MS) in $g\ plant^{-1}$, plant density/ m^2 , height to the insertion point of the first cob and spike in cm; leave greenness "basal" V_{4-5} , "mean" (V_{7-8} , opposite to young corn) and "superior" newly formed and mature (V_{10-12}) with SPAD units Minolta. Nitrate and potassium measurement was made with ionomer Cardy-Horiba from the cellular extract of internodes where young corn inserts during R_1 in $mg\ L^{-1}$. From cob measured: length and diameter in cm, cob diameter in cm, rows/cob, kernels/row and grain/cob. At harvest measured: straw in $t\ ha^{-1}$, test weight in $g\ L^{-1}$, 200 grain weight in g, grain moisture at harvest and grain yield adjusted to 14% moisture in $t\ ha^{-1}$.

To calculate agronomic efficiency (AE) kilograms of corn grain produced per kg of macro nutrients; was made by differences in corn grain yield from farmer (control) against each omission plot of -N, -P, -K. EA calculations for -S, -Mg and -Ca were not made because there were no differences in grain production against the control from farmer management.

Treatments for genetic material of corn (H), fertilization (F) and HxF interaction were assessed by methods of numerical analysis by Casella and Berger (1999) and implemented with software by Ferran (2003) and processed using SAS (1998). Means were separated with Tukey test at 5% probability of error. Maize production was correlated with green leaf index and nitrates and potassium content in the cell extract. The decision rule adopted "there is a correlation between two variables" when "r" value is equal to or greater than 0.6 and probability $> |r|$ assuming $H_0: \rho = 0$.

Results and discussion

The analysis allowed saying with mathematical honesty that overall there are differences in the variables under study by effect of treatment of hybrid (H), fertilization (F) and HxF interaction (Table 3). In the first three columns from Table 3, shows the number, variable name and unit of measurement. Then the goodness of fit from the model for each variable estimated with the correlation coefficient (R^2), of the dispersion with the coefficient of variation (CV), the average values M, the calculated value of F and the probability $P > F$ is observed. "Acceptable" R^2 and CV values for cob, straw, test weight, 200 grain weight, grain moisture at harvest and

valor de F calculada y la probabilidad $P>F$. Se observan valores “aceptables” de R^2 y CV para la mazorca, paja, peso hectolítrico, peso de 200 granos, humedad del grano a la cosecha y rendimiento de grano ajustado al 14% de humedad; sucede lo contrario por valores “cuestionables” de ambos estadísticos del resto de las variables medidas en planta como materia verde de forraje, MS o paja, porcentaje de humedad en forraje, densidad de siembra, alturas de planta y mazorca, índices de verdor (excepto en hoja basal) y contenido de nitratos y potasio en extracto celular.

grain yield adjusted to 14% moisture are observed; on the contrary for "questionable" values of both statistical for the rest of the variables measured in plant such as green matter of forage, MS or straw, percentage of moisture in fodder, density, plant and cob height, green indices (except on basal leaf) and nitrate and potassium content in cell extract.

However, the judgment of "questionable" variables; significant differences were found by the high number of degrees of freedom associated with the mean formed from

Cuadro 3. Significancia estadística de 22 variables por efecto de diseño cinco híbridos de maíz (H) x ocho tratamientos de fertilización al suelo (F) e interacción HF.

Table 3. Statistical significance of 22 variables by effect of design, five corn hybrids (H) x eight treatments of soil fertilization (F) and HF interaction.

Núm.	Variable	Unidades	R^2	CV	Media	F Valor	$Pr>F$
1	MV (95 d)	g*planta	0.54	18.31	1081.03	3.62	<.0001
2	MS (95 d)	g*planta	0.466	20.53	166.68	2.69	<.0001
3	Humedad MV	índice	0.544	2.23	0.84	3.67	<.0001
4	Densidad	plantas*m ²	0.375	7.9	8.65	1.85	<0.006
5	Altura H♂	cm	0.514	7.11	236.36	3.27	<.0001
6	Altura H♀	cm	0.628	12.98	138.06	5.22	<.0001
7	Spad basal	unidad verdor	0.825	7.77	51.62	14.57	<.0001
8	Spad medio	unidad verdor	0.531	10.72	54.07	3.5	<.0001
9	Spad alto	unidad verdor	0.523	10.92	49.11	3.38	<.0001
10	N-NO ₃	mg L ⁻¹	0.838	25.2	1787.76	15.93	<.0001
11	K ⁺	mg L ⁻¹	0.478	13.01	2074.12	2.83	<.0001
12	Long. mazorca	cm	0.526	7.61	15.05	3.42	<.0001
13	Diámetro mazorca	cm	0.399	7	4.55	2.05	<0.0016
14	Diámetro olote	cm	0.434	9.1	2.53	2.01	<.0001
15	Hileras*mazorca	Nº	0.546	7.64	16.07	3.71	<.0001
166	Granos*hilera	Nº	0.393	8.91	30.1	2	<0.0023
17	Granos*mazorca	Nº	0.473	11.58	483.98	2.77	<.0001
18	Paja	t ha ¹	0.817	7.97	11.61	13.78	<.0001
19	Peso hectolítrico	g L ⁻¹	0.72	2.27	776.87	7.92	<.0001
20	Peso 200 granos	g	0.714	6.68	56.79	7.69	<.0001
21	Humedad grano	%	0.56	6.11	12.15	3.92	<.0001
22	Grano al 14% H	t ha ¹	0.868	6.02	9.88	20.26	<.0001

No obstante, el juicio de las variables “cuestionables”; se encontró diferencia significativa por el alto número de grados de libertad asociado a la media formada de las cuatro repeticiones con el promedio, vrg para índice de verdor en unidades SPAD con 10 lecturas, de las alturas de inserción del jilote y la espiga de 6

the four replications with the average, vrg for greenness index in SPAD units with 10 readings, from insertion heights of young corn and spike with 6 readings, cobs with 3 readings, straw production and grain from useful plot of 60 m², among others. The variation of experimental data comes

lecturas, de mazorcas con 3 lecturas, de producción de paja y grano de parcela útil de 60 m², entre otros. La variación de datos experimentales procede tanto de la genética de los híbridos de maíz (Coutiño y Vidal, 2006; González *et al.*, 2007), como el manejo agronómico (García, 2009).

Características morfológicas y de vigor de la planta por efecto de híbridos de maíz

De las seis variables morfológicas y cinco de vigor de la planta por efecto de los tratamientos de cinco híbridos de maíz se observa que en siete existen diferencias de medias como el peso de MS, índice de humedad en MV, altura de planta e inserción de la mazorca, índice de verdor en hoja basal y superior, y de concentración de nitratos y potasio (Cuadros 5 y 6). Se destaca el H-50 por valor más bajo de MS y lógico mayor contenido de agua en el forraje, los portes bajos de la planta de H-50 y Puma 1076, e inserción más baja de la mazorca en el Z-60 (Cuadro 4).

from both genetics of maize hybrids (Coutiño and Vidal, 2006; González *et al.*, 2007), as agricultural management (García, 2009).

Morphological and plant vigor characteristics by effect of corn hybrids

From six morphological variables and five from plant vigor by effect of treatments of five corn hybrids shows that there are differences in means like MS weight, moisture content in MV, plant height and cob insertion, greenness index in basal and top leaf, and potassium and nitrate concentration (Tables 5 and 6). H-50 is characterized by lower value of MS and obviously higher water content in forage, low size plant of H-50 and Puma 1076, and lowest cob insertion Z-60 (Table 4).

Nitrate transport in the xylem and photosynthates through plant phloem when flowering is directed preferentially towards cob formation. Chlorosis due to lack of N occurs

Cuadro 4. Comparación de medias[‡] de características morfológicas de planta de maíz por efecto de cinco híbridos.

Table 4. Means[‡] comparison of morphological characteristics by effect of five corn hybrids.

Híbrido	Materia verde (g*planta)	Materia seca (g*planta)	Humedad MV (índice)	Densidad (planta m ⁻²)	Altura H [♂] (cm)	Altura H [♀] (cm)
H- 47	1115.6	166.2 ab	0.84 b	8.8	245.3 a	158.9 a
H-50	1070.6	145 b	0.86 a	8.7	228.9 b	153.4 a
H-59	1087.5	162.8 ab	0.84 b	8.5	242.7 a	134.7 b
Puma 1076	1095.9	175.3 a	0.84 b	8.5	224.1 b	130 b
Z-60	1036.8	184 a	0.82 c	8.5	240.6 a	113 c
Media	1081.3	166.8	0.844	8.6	236.3	138
DHS	137.1	23.7	0.013	0.47	11.6	12.4
CV	18.3	20.53	2.23	7.9	7.1	12.9

[‡]Letras distintas en columnas son diferentes por Tukey al 5%; MV= materia verde.

Cuadro 5. Comparación de medias[‡] de características de vigor de la planta de maíz por efecto de cinco híbridos.

Table 5. Means[‡] Comparison of plant vigor by effect of five corn hybrids.

Híbrido	Spad basal (unidad verdor)	Spad medio (unidad verdor)	Spad alto (unidad verdor)	N0 ₃ (mg L ⁻¹)	K ⁺ (mg L ⁻¹)
H-47	51.6 ab	54.4	48.9 abc	2276 a	2234 a
H-50	50.8 b	51.7	47.6 bc	1444 b	2000 bc
H-59	49.8 b	55.2	50.9 ab	2051 a	2166 ab
Puma 1076	51.4 b	54.3	46.4 c	1116 c	1891 c
Z-60	54.2 a	54.5	51.6 a	2051 a	2080 b
Media	51.6	54.07	49.1	1787.7	2074.1
DHS	2.7	4.01	3.7	311.9	186.9
CV	7.7	10.72	10.9	25.2	13.01

[‡]Letras distintas en columnas son diferentes por Tukey al 5%.

Cuadro 6. Comparación de medias[‡] de características morfológicas de planta de maíz por efecto de ocho tratamientos de omisión de macro nutrientes.

Table 6. Mean[‡] comparison of morphological characteristics by effect of eight treatments by omission of plot of macro nutrients.

Tratamiento de omisión	Materia verde (g*planta)		Materia seca (g*planta)		Humedad MV (índice)	Densidad (plantas m ⁻²)		Altura H [♂] (cm)		Altura H [♀] (cm)
1(-N)	772	c	129	b	0.83	8.7	ab	223	b	132.8
2(-P)	1095	ab	176	a	0.84	8.5	ab	231.6	b	130.4
3(-K)	1058	ab	176	a	0.84	8.8	ab	232.6	ab	133.6
4(-S)	1035	b	160	b	0.84	8.6	ab	240.9	a	146.6
5(-Mg)	1075	ab	160	b	0.84	8.7	ab	235.3	ab	144.2
6(-Ca)	1232	a	181	a	0.84	8.2	b	241.6	a	140.7
7Agricultor	1166	ab	176.5	a	0.84	8.6	ab	244.8	a	140.8
8Completo	1217	ab	185	a	0.84	8.9	ab	241	a	135.2
Media	1081.3		166.6		0.84	8.6		236.3		138.06
DHS	193.1		33.3		0.018	0.6		16.4		17.49
CV	18.3		20.5		2.2	7.9		7.1		12.9

[‡]Letras distintas en columnas son diferentes por Tukey al 5%; MV= materia verde.

El transporte de nitratos en el xilema y de fotosintatos por el floema de la planta al momento de la floración se dirige preferencialmente hacia la formación de la mazorca. La clorosis por falta de N se manifiesta en las hojas más viejas o basales porque se dirige para satisfacer la demanda de nuevos crecimientos de tejidos vegetativos y de fructificación. Así, las medias de las unidades verdor medidas con SPAD en hoja basal y superior tuvieron valores más bajos respecto a la hoja opuesta al jilote, lo cual es congruente con la teoría. (Cuadro 4). Los índices de verdor más altos en la hoja basal fue en el Z-60 y el menor para Puma 1076 en la hoja superior asociado a valores también bajos de concentración de nitratos y potasio.

Características morfológicas y de vigor de la planta de maíz por efecto de tratamientos de parcelas de omisión de macro nutrientes

Las características de las variables morfológicas y de vigor de la planta acusaron diferencia altamente significativa del tratamiento de omisión de nitrógeno al suelo (-N), esto es: menor materia verde, materia seca, índice de verdor y nitratos en el extracto celular (Cuadros 6 y 7).

Se produjo más materia verde por la omisión de calcio (-Ca) pero igual materia seca; porque sólo fue efecto de hidratación o succulencia del forraje. La materia seca de los tratamientos sin azufre y magnesio fueron iguales a parcelas sin N. La

in older or basal leaves because it addresses to meet the demand of new vegetative growth and fruiting. Thus, the mean units of greenness measured with SPAD in basal and superior leaf had lower values compared to the opposite leave to young corn, which is consistent with the theory (Table 4). The highest green indices in basal leaf were in Z-60 and the lowest in Puma 1076 on the superior leaf also associated with low values of potassium and nitrate concentration.

Morphological and plant vigor characteristics by effect of treatments of omission plot of macro nutrients.

Characteristics from morphological variables and plant vigor showed highly significant differences in treatment by omission of nitrogen to the soil (-N), that is, less green matter, dry matter, greenness index and nitrates in cell extract (Tables 6 and 7).

There was green matter for omission of calcium (-Ca) but still dry matter; because it was only effect of hydration or succulent forage. Dry matter treatments without sulfur and magnesium were equal to plots without N. Plant height was reduced in the absence of nitrogen and phosphorus without affecting heights of cobs, trait that seems to have more influence by genetic load of corn hybrids. The highest green index in of basal leaf and young corn insertion was treatment (-Ca), that allows to deduce the site containing sufficient calcium to not affect the content of chloroplasts. The potassium omission treatment had less impact on this cation in the cell extract.

altura de la planta fue reducida sólo al faltar nitrógeno y fosforo sin afectar alturas de la inserción de la mazorca, rasgo al parecer más influencia por la carga genética de los híbridos de maíz. El mayor índice de verdor en hoja basal y de inserción del jilotecon tratamientos (-Ca), permite deducir el sitio contiene calcio en suficiencia para no afectar el contenido de cloroplastos. El tratamiento de omisión de potasio impactó en menor contenido de este catión en el extracto celular.

Cob characteristics by effect of maize hybrids and omission plots treatments of macro nutrients

The differences in means from cob characteristics are shown by effect of hybrids (Table 8) and omission plots (Table 9). Regarding to hybrid the smallest cob length was for H-59 but with more rows, for the thickest diameter H-47 and H-50, more grains per row Z-60, and less grains per cob Puma 1076.

Cuadro 7. Comparación de medias[‡] de características de vigor de planta de maíz por efecto de ocho tratamientos de fertilización al suelo.

Table 7. Means[‡] comparison of plant vigor by effect of eight fertilization treatments.

Tratamiento de omisión	Spad Basal (núm.)		Spad Medio (núm.)		Spad Alto (núm.)		N-N0 ₃ (mg L ⁻¹)		K ⁺ (mg L ⁻¹)	
1(-N)	34.6	c	44.2	c	43	b	217	c	2025	ab
2(-P)	51.3	b	54.9	ab	49.5	a	2007	a	2130	a
3(-K)	54	ab	55.4	ab	49.7	a	2150	a	1785	b
4(-S)	52.8	ab	53.3	b	47.9	ab	1493	b	2100	a
5(-Mg)	54.8	ab	56.9	ab	48.2	ab	2130	a	2138	a
6(-Ca)	56.5	a	59.3	a	52.8	a	2257	a	2150	a
7Agricult	52.8	ab	54.7	ab	49.5	a	2069	a	2070	a
8Completo	55.8	ab	53.7	ab	52.1	a	1978	a	2195	a
Media	51.6		54.1		49.1		1787.7		2074.1	
DHS	3.9		5.66		5.2		439.5		263.4	
CV	7.8		10.7		10.9		25.2		13	

[‡]Letras distintas en columnas son diferentes por Tukey al 5%.

Características de la mazorca por efecto de híbridos de maíz y tratamientos de parcelas de omisión de macro nutrientes

Las diferencias de las medias de las características de la mazorca se muestran por efecto de híbridos (Cuadro 8) y parcelas de omisión (Cuadro 9). Con respecto a híbridos se identifica la longitud menor de mazorca fue con H-59 pero con más hileras, más gruesa por diámetro H-47 y H-50, más granos por hilera con Z-60, y menos granos por mazorca para Puma 1076.

De nueva cuenta, la parcela de omisión de nitrógeno (-N) mostró los valores menores de los parámetros de la mazorca (Cuadro 9), y se destaca el número de 408 granos por mazorca contra el resto de tratamientos que superaron la cifra de más de 500 granos (20% más). Existen dos

Again, the omission plot of nitrogen (-N) showed the lowest values for cob parameters (Table 9), and stands out the number of 408 grains per cob against the rest of the treatments that exceeded the amount of more than 500 grains (20% more). There are two conflicting data; the length and diameter of "small" cob from "complete" fertilization treatment which is statistically equal to (-N), but was higher in total grain on the cob with 504.8.

Omission treatment of nitrogen (-N) had the lowest indicators of production: straw 9.04 t ha⁻¹, 200 grain weight (53.9 g) and grain (7.09 t ha⁻¹). Straw production was not affected by fertilization treatments; neither by omission from the farmer or complete. Similarly happened to 200 grain weight but the omission treatment of magnesium (-Mg) was the lowest (56.97 g). Strictly, the lack of N (7.09 t ha⁻¹) and P (9.58 t ha⁻¹)

datos contradictorios; la longitud y diámetro de la mazorca “pequeñas” del tratamiento de fertilización “completo” es igual estadísticamente a (-N), pero fue alto de granos total en la mazorca con 504.8.

resulted in lower production of grain compared to the rest of the fertilization treatments. These data confirms the lack of a nutrient such as N impacts on imbalance of other nutrients according to Ciampitti and Vyn (2010).

Cuadro 8. Comparación de medias[‡] de características de mazorca por efecto de cinco híbridos de maíz.

Table 8. Means[‡] comparison of cob characteristics by effect of five corn hybrids.

Híbrido	Longitud de mazorca (cm)		Ø mazorca (cm)		Hileras*mazorca (núm.)		Grano*hilera (núm.)		Grano*mazorca (núm.)		Ø olote (núm.)	
H-47	15.6	a	4.7	a	15.9bc	bc	29.9	b	477.8	a	2.7	a
H-50	15.1	a	4.7	a	16.6ba	ab	30.1	b	502.3	a	2.5	a
H-59	13.7	b	4.4	b	17.2a	a	29.1	b	503.4	a	2.3	b
Puma 1076	15.1	a	4.4	b	15.1d	b	28.9	b	436	b	2.6	a
Z-60	15.6	a	4.4	b	15.4dc	cd	32.4	a	500.5	a	2.3	b
Media	15.1		4.5		16.1		30.1		483.9		2.5	
DHS	0.8		0.2		0.8		1.8		38.8		0.1	
CV	7.6		7		7.6		8.9		11.6		9.1	

[‡]Letras distintas en columnas son diferentes por Tukey al 5%.

Cuadro 9. Comparación de medias[‡] de características de mazorca por efecto de ocho tratamientos de parcelas de omisión de macro nutrientes al suelo en maíz.

Table 9. Means[‡] comparison of cob characteristics by effect of eight treatments of omission plots of macro nutrients to the soil in corn.

Tratamiento de omisión	Longitud de mazorca (cm)		Ø mazorca (cm)		Hileras*mazorca (núm.)		Grano*hilera (núm.)		Grano*mazorca (núm.)		Ø olote (cm)	
1(-N)	14.2	b	4.3	b	14.7	b	27.7	b	408.3	b	2.4	
2(-P)	14.7	ab	4.4	ab	15.9	a	29.8	ab	476.4	a	2.5	
3(-K)	15.03	ab	4.5	ab	16	a	29.7	ab	472.1	a	2.6	
4(-S)	15.04	ab	4.6	a	16.6	a	30.6	a	508.2	a	2.4	
5(-Mg)	15.1	ab	4.6	a	15.9	a	30.9	a	493.7	a	2.4	
6(-Ca)	15.4	a	4.5	ab	16.1	a	31.4	a	505.7	a	2.5	
7 (Agricul)	15.6	a	4.6	a	16.8	a	29.8	ab	502.8	a	2.5	
8 (Completo)	15.2	b	4.6	b	16.4	a	30.8	a	504.8	a	2.5	
Media	15.1		4.5		16		30.1		483.9		2.5	
DHS	1.1		0.3		1.19		2.61		54.6		0.1	
CV	7.6		7		7.64		8.91		11.5		9.1	

[‡]Letras distintas en columnas son diferentes por Tukey al 5%.

El tratamiento de omisión de nitrógeno (-N) tuvo los más bajos indicadores de producción: paja 9.04 t ha⁻¹, peso de 200 granos (53.9 g) y grano (7.09 t ha⁻¹). La producción de paja no fue afectada por los tratamientos de fertilización; ni por omisión, del agricultor o completa. De igual modo 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 t ha⁻¹) y de P (9.58 t ha⁻¹), causó menor producción de grano en

Agronomic efficiency (AE) of NPK in five corn hybrids by omission plot treatments of macro nutrients

The difference in grain production by the exclusion of nitrogen to the soil T₁ (-N) vs T₇ ("farmer"); was 3507 kg ha⁻¹ by fertilizing with 168 kg N ha⁻¹; which allows to calculate an agronomic efficiency or production of 20.9 kg of corn grain per kg of N applied. Similarly, agronomic efficiency was 10.4 kg of grain kg⁻¹ of P₂O₅ and 8.41 kg of grain kg⁻¹ of K₂O

comparación del resto de los tratamientos de fertilización. Estos datos confirman la falta de un nutriente como el N impacta en desbalance de otros nutrientes de acuerdo a Ciampitti y Vyn (2010).

Eficiencia agronómica (EA) de NPK en cinco híbridos de maíz por tratamientos de parcelas de omisión de macro nutrientes

La diferencia de producción de grano por la exclusión de nitrógeno al suelo T_1 (-N) vs T_7 ("agricultor"); fue de 3 507 kg ha^{-1} por fertilizar con 168 kg N ha^{-1} ; lo cual permite calcular una eficiencia agronómica o producción de 20.9 kg de grano de maíz por kg de N aplicado. Análogamente, la eficiencia agronómica fue de 10.4 kg de grano kg^{-1} de P_2O_5 y de 8.41 kg de grano kg^{-1} de K_2O aplicado (pero estrictamente la diferencia estadística no es válida). Por este motivo, ya no se continuaron con los cálculos de eficiencia agronómica de los siguientes macroelementos.

Estos indicadores de la eficiencia agronómica de N-P-K en maíz se alinean a la necesidad de optimizar el uso de los fertilizantes en esta gramínea, tanto desde el punto de vista económico de la sustentabilidad del sistema de producción y los recursos naturales (Espinosa y García, 2008; Fixen, 2009). La falta de azufre (-S), se identificó visualmente en tejidos de maíz pero aún no impactó en los rendimientos de grano. Los anteriores resultados acreditan la necesidad de adoptar buenas prácticas de fertilización para obtener altos rendimientos de acuerdo a (Johnson *et al.*, 1997; Witt *et al.*, 2006; Roberts, 2007; Barbieri *et al.*, 2008).

Correlación de vigor asociado a índice de verdor en hojas, nitratos en extracto celular y producción de grano del híbrido de maíz Z-60 por de fertilización al suelo.

Se destacan en el gráfico de la Figura 1, los valores de concentración de nitratos e índice de verdor en hojas de maíz Z-60 para los ocho tratamientos de fertilización. Las barras color verde con números en negritas; se observa el tratamiento sin nitrógeno (-N), tuvo el valor del índice de verdor menor con sólo 27.48 unidades SPAD. Para los demás tratamientos de omisión de macro nutrientes, los valores fueron del rango de 56.45 a 61.40 unidades SPAD o índice de verdor, estadísticamente iguales entre sí pero diferentes las medias contra el tratamiento sin N. La concentración más baja de nitratos en el extracto celular fue con el tratamiento sin N con sólo 187.5 mg L^{-1} de $N-NO_3$, seguido por el

applied (but strictly the statistical difference is not valid). Therefore, the agronomic efficiency were not calculated for the other macro elements.

These indicators of agricultural efficiency of N-P-K in corn line up to the need to optimize the use of fertilizers in this crop, both from the standpoint of economic sustainability of the production system and natural resources (Espinosa and Garcia, 2008; Fixen, 2009). The lack of sulfur (S) was identified visually in corn tissues but it did not have impact of grain yield. The above results prove the need for good fertilization practices to obtain high yields according to (Johnson *et al.*, 1997; Witt *et al.*, 2006; Roberts, 2007; Barbieri *et al.*, 2008).

Correlation of vigor associated to greenness index in leaves, nitrates in cell extract and grain production of corn hybrid Z-60 by effect of soil fertilization.

Highlighted in the graph from Figure 1, the values of nitrate concentration and green index in corn leafs Z-60 for eight fertilization treatments. The green bars with numbers in bold; shows that treatment without nitrogen (N) had the lowest index value with 27.48 SPAD units. For the rest of the omission treatments of macro nutrients, the values were in the range of 56.45 to 61.40 SPAD units or greenness index, statistically equal but different means against treatment without N. The lowest concentration of nitrates in cell extract was treatment without N with 187.5 mg L^{-1} of $N-NO_3$, followed by treatment less sulfur (-S) with 897.5 mg L^{-1} of $N-NO_3$. A diagnostic tool in field not only allows adjusting the fertilization plan during the cycle but also contributes to an efficient integrated management of fertilizers and manure from the economic point of view (Alvarez *et al.*, 2010) and environmental sustainability (Snyder, 2009).

Pearson correlation coefficients, with $n=160$ data and probability $> |r|$ assuming $H_0: \rho=0$; gave positive 0.662 between grain production with greenness index of basal leaves (with less than 35 units has low production). Similarly, nitrate concentration in cell extract of less than 300 mg L^{-1} was associated with low grain production; higher biomass production, higher grain production in the set of hybrids except H-47; grain yield of Z-60 was positively correlated with a greater number of variables (eight), including 200 grain weight. Potassium concentration in cell extract was not associated with grain production.

tratamiento de menos azufre (-S) con 897.5 de mg L^{-1} de N-NO_3 . La herramientas prácticas de diagnóstico en campo no solo permiten ajustar el plan de fertilización durante el ciclo sino que además contribuye a un eficaz manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos desde el punto de vista económico (Álvarez *et al.*, 2010) y de sustentabilidad del medio ambiente (Snyder, 2009).

Los coeficientes de correlación Pearson, con $n=160$ datos y probabilidad $>|r|$ suponiendo $H_0: \text{Rho}=0$; arrojó positiva de 0.662 entre la de producción de grano con el índice de verdor de hojas basales (con menos de 35 unidades se tiene baja producción). Análogamente, concentración de nitratos en extracto celular de menos de 300 mg L^{-1} se asoció a baja producción de grano. A mayor producción de biomasa vegetal mayor producción de grano en el conjunto de híbridos excepto para H-47. La producción de grano de Z-60 se correlacionó positivamente con un mayor número de variables (ocho), incluyendo el peso de 200 semillas. La concentración de potasio en el extracto celular no se asoció a la producción de grano.

La medición de nitratos en el extracto celular de entrenudos de la inserción del jilote y el índice de verdor en hojas basales de maíz son útiles herramientas de diagnóstico en campo para decidir sobre el suplemento de la fertilización nitrogenada al inicio de la floración de acuerdo a Snyder, (2009) y Johnson *et al.* (1997).

Conclusiones

La metodología de manejo nutricional por sitio específico (MNSE) con el procedimiento de diferencias por la exclusión de N, P, K, S, Mg, Ca contra la fertilización completa y la fertilización del agricultor permitió inferir sobre la oferta efectiva nutrimental del suelo con relación a su potencial y expectativa de producción de grano por el agricultor. La eficiencia agronómica EA de N fue de 20.9 kg de grano de maíz por kg de N aplicado al suelo, de 10.4 kg de grano por kg^{-1} de P_2O_5 y de 8.41 kg de grano kg^{-1} por kg de K_2O . Se correlacionó baja producción de grano de maíz con índice de verdor en hojas menor a 35 unidades SPAD y concentración menor de 300 de mg L^{-1} de N-NO_3 . Para la oferta nutrimental de este suelo y para los rendimientos de grano actuales no se justifica una fertilización más intensiva.

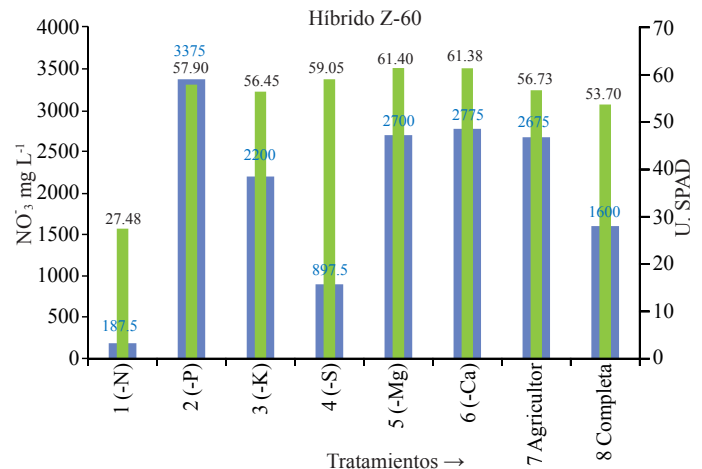


Figura 1. Tratamientos de fertilización relacionados a la concentración de nitratos en extracto celular. (barras gruesas y números azules, mg L^{-1}) y el índice de verdor (valores en barras delgadas verdes, en unidades SPAD).

Figure 1. Fertilization treatments related to nitrates concentration in cell extract. (Thick bars and blue numbers, mg L^{-1}) and greenness index (values in green thin bars, in SPAD units).

The measurement of nitrates in cell extract from insertion of young corn internodes and green index in corn basal leaves are useful diagnostic tools in the field to decide on the supplement of nitrogen fertilization at the beginning of flowering according to Snyder (2009) and Johnson *et al.* (1997).

Conclusions

The methodology of site-specific nutrient management (SSNM) with the procedure of differences by exclusion of N, P, K, S, Mg, Ca against complete fertilization and farmer fertilization allowed to infer the effective nutrimental supply of the soil compared to its potential and expectation of grain production by farmers. Agronomic efficiency AE of N was 20.9 kg of corn grain per kg of N applied to the soil, 10.4 kg of grain per kg^{-1} of P_2O_5 and 8.41 kg grain kg^{-1} per kg of K_2O . Low production of corn grain was correlated with the lowest green index in leaves at 35 SPAD units and lower concentration of 300 mg L^{-1} of N-NO_3 . For nutrient supply of this soil and for current grain yield, a more intensive fertilization is not justified.

End of the English version

Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto de investigación PAPIIT: IT201312-3, UNAM bajo convenio con el INIFAP. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Literatura citada

- Adviento-Borve, M. A. A.; Hadrix, M. L.; Binder, D. L.; Walters, D. T. and Dörmann, 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. Máster en Nutrición Vegetal de Cultivos Horticola Protegidos. Ed. U. P. de Cartagena, España. 90 p.
- Álvarez, S. J. D.; Gómez, D. A. V. N.; León, M. S. y Gutiérrez, M. F. A. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*. 44:575-586.
- Barbieri, P. A.; Echeverría, H. E.; Sainz, H. R. R. y Andrade, F. H. 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agron. J.* 100(4):1094-1100.
- Bianchini, A.; García, F. and Melchiori, R. 2008. Nitrogen in the environment: sources, problems, and management. *In: Hatfield, J. and Follet, R. (Eds.)*. Elsevier - Academic Press, San Diego, CA. USA. 105-124 pp.
- Bruulsema, T. W.; Witt, C.; García, F.; 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. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo, Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo*. 37(6):1641-1650.
- Casella, G. and Berger, R. 1990. *Statistical Inference*. Ed. Duxbury Press. Cal., USA. 650 p.
- 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.
- Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Tadeo, R. M.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Palafox, C. A. Caballero, H. F.; Rodríguez, M. F.; Valdivia, B. R. y Esqueda, E. V. 2007. Algunos elementos de la crisis del maíz y la tortilla en México. *In: Resúmenes del LIII Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos y Animales*. Instituto de Ciencias y Tecnología Agropecuaria, ICTA, Guatemala. 93-93 pp.
- Espinosa, C. A.; Turrent, F. A.; Tadeo, R. M.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Caballero, H. F.; Valdivia, B. R. y Rodríguez, M. F. 2008. El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Ciencias*. 92-93: 118-125.
- Espinosa, J. y García, J. P. 2008. High fertilizer prices: what can be done? *Bettercrops*. 92(3):8-10.
- Fixen, P. E. 2009. Maximizing productivity and efficiency in contemporary agriculture. *In: Proceedings of International Plant Nutrition Colloquium XVI*. U. of California-Davis. 213 p.
- García, M. J. P. 2009. Manejo eficiente de nutrientes en el cultivo de maíz. (Ed.) Fenlace, Colombia. 59 p.
- González, H. A.; Vázquez, L. M.; Sahagún, C. J. y Rodríguez, P. J. E. 2007. Diversidad fenotípica de variedades e híbridos de maíz en el Valle Toluca-Atlacomulco, México. *Rev. Fit. Mex.* 31(1):67-76.
- Griffith, W. K. and Murphy, L. S. 1991. The development of crop production systems using the best management practices. Potash Phosphate Institute. 254 p.
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). 2009. 4R nutrient stewardship style guide. Norcross, GA. 32 p.
- Johnson, J. W.; Murrell, T. S. and Reetz, H. F. 1997. Balanced fertility management: a key to nutrient use efficiency. *Bettercrops*. 81:3-5.
- Hill, M. y Clérici, C. 2013. Manejo nutricional para alta productividad de cultivos e impacto ambiental reducido. *Inf. Agronómicas*. 11 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. 432 p.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 1998. SAS user's guide. Statistics. Version 8. SAS Inst., Cary, NC. USA. Quality, and elemental removal. *J. Environ. Qual.* 113-138.
- SMCSA. C. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del Suelo. Publicación N° 1. Ed. CONACYT. Chapingo, Estado de México.
- Snyder, C. S. 2009. Eficiencia de uso del nitrógeno. Desafíos mundiales, tendencias futuras. *Informaciones Agronómicas*. 75:1-6.
- 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.
- Witt, C.; Pasaquim, J. M. and Dörmann, A. 2006. Toward a site specific nutrient management approach for maize in Asia. *Better crops with plant food*. 90(2):28-31.
- 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.
- Trueba, C. A. J. 2012. Estudio para caracterizar el potencial productivo de las semillas de maíz en México. Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 432 p.
- Turrent, F. A. 2009. El potencial productivo del maíz. Instituto Nacional de investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. *Ciencias*. 126-129 pp.
- Zamudio-González, B.; Espinosa- Calderón, A. y Tadeo-Robledo, M. 2012. Enzimas y aminoácidos en producción de maíz grano bajo estrés natural en Temascalcingo, Estado de México. XV Congreso Internacional de Ciencias Agrícolas. UBC-México. 11-18 pp.
- Zingore, S. 2011. Better crops with. *Plant Food*. 95(1):4-6.