



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista\_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Zamudio-González, Benjamín; Tadeo-Robledo, Margarita; Espinosa-Calderón, Alejandro;

Martínez-Rodríguez, Nelson; Turrent-Fernández, Antonio

Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de maíz

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 7, núm. 5, junio-agosto, 2016, pp. 1077-1089

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263146723009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de maíz\*

### Harvest index with macro-nutrients in corn grain

Benjamín Zamudio-González<sup>1</sup>, Margarita Tadeo-Robledo<sup>2§</sup>, Alejandro Espinosa-Calderón<sup>1</sup>, Nelson Martínez-Rodríguez<sup>1</sup> y Antonio Turrent-Fernández<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Valle de México-Sitio Experimental Metepec-INIFAP. Carretera Toluca a Zitácuaro km 4.5, Colonia San José Barabosa, C. P. 51350, Zinacantepec, Estado de México, México. Tel: 01 722 278 43 31. Ext. 85639. (bzamudiog@yahoo.com.mx; hollyday46@hotmail.com; espinoale@yahoo.com.mx; aturrent37@yahoo.com.mx). <sup>2</sup>Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan, km 2.5. Cuautitlán Izcalli, Estado de México. C. P. 54714. A. P. 25. Tel: 01 55 56231971. <sup>§</sup>Autora para correspondencia: tadeorobledo@yahoo.com.

## Resumen

En Valles Altos del Estado de México entre 2 200 a 2 700 msnm se tienen bajos rendimientos de maíz con alto riesgo por clima y siembra de criollos con inadecuadas prácticas de manejo. Los años 2009, 2010 y 2011 ( $A_{1,2,3}$ ) se evaluó la siembra del híbrido H-51 AE en campo con dos densidades ( $D_1=65$  mil y  $D_2=85\,000$  plantas  $ha^{-1}$ ) y tres secuencias anuales de nitrógeno (Ni) al suelo (con N siempre  $N_1=N-N-N$ , primer año sin nitrógeno  $N_2=0-N-N$  y sin N los tres años  $N_3=0-0-0$ ) y dos dosis de N ( $N=300$  y  $N=1\,80$  kg  $ha^{-1}$ ). La combinación de factores  $2Di*3Ni=6$  tratamientos, donde:  $T_1=D_1*N_1$ ,  $T_2=D_1*N_2$ ,  $T_3=D_1*N_3$ ,  $T_4=D_2*N_1$ ,  $T_5=D_2*N_2$  y  $T_6=D_2*N_3$ . Cada año se adicionó en kg  $ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ , S y Zn a los tratamientos del  $T_1$  al  $T_3$  con 0-90-90-44-50-3; y del  $T_4$  al  $T_6$  con 0-45-45-0-0-0. La prueba se ubicó en las coordenadas 19°34'23.28" latitud norte y 99°46'25.62" longitud oeste con altitud de 2 628 msnm. Se pesaron la producción de grano, forraje y olote; y los contenidos de macro-nutrientes para calcular sus índices de cosecha (IC) en grano de maíz por efecto de años, densidades y secuencias de N. Los contenidos totales de cinco macro elementos en kg  $ha^{-1}$  en la biomasa total de maíz en promedio de tres años, fueron: 187.9 de N, 30.6 de P, 69.9 de K, 24.1 de Mg y 11.6 de S. Los índices de cosecha de estos elementos en el grano de maíz fueron:

## Abstract

In the Highland valleys in Mexico State between 2 200 to 2 700 meters above sea level have low maize yields at high risk for climate and planting native with inadequate management practices. The years 2009, 2010 and 2011 ( $A_{1,2,3}$ ) was evaluated planting of hybrid H-51 AE field with two densities ( $D_1=65K$  and  $D_2=85\,000$  plants  $ha^{-1}$ ) and three annual sequences nitrogen (Ni) to the ground (with N always  $N_1=N-N-N$ , the first year without nitrogen  $N_2=0-N-N$  and without three years  $N_3=0-0-0$ ) and two doses of N ( $N=300$  and  $N=1\,80$  kg  $ha^{-1}$ ). The combination of factors  $2Di*3Ni=6$  treatments where:  $T_1=D_1*N_1$ ,  $T_2=D_1*N_2$ ,  $T_3=D_1*N_3$ ,  $T_4=D_2*N_1$ ,  $T_5=D_2*N_2$  and  $T_6=D_2*N_3$ . Each year was added in kg  $ha^{-1}$  of  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ , S and Zn treatments  $T_1$  to  $T_3$  with 0-90-90-44-50-3; and  $T_4$  to  $T_6$  with 0-45-45-0-0-0. The test was located at coordinates 19°34'23.28" north latitude and 99°46'25.62" west longitude with altitude of 2 628 meters. The production of grain, forage and cob weighed; and the contents of macronutrients to estimate their harvest (IC) in corn grain effect of years, densities and sequences of N. The total contents of five macro-elements in kg  $ha^{-1}$  in the total biomass of corn average three years were: 187.9 of N, 30.6 of P, 69.9 of K, 24.1 of Mg and 11.6 of S. The index harvest of these elements in corn grain were:  $ICN=$

\* Recibido: enero de 2016  
Aceptado: abril de 2016

ICN=0.45, ICP=0.75, ICK=0.21, ICMg=0.45 e ICS=0.43. Existió correlación ( $R^2$ ) positiva de producción de grano con biomasa y contenidos [N/ P y Mg]; así como de la biomasa con contenidos [N/P/K y S]. Se justificó aumentar la densidad de siembra pero “alta” fertilización de N al suelo no es rentable en condiciones de mal clima.

**Palabras clave:** densidad de siembra, eficiencia de uso de N, maíz, nutrición vegetal.

## Introducción

Valles Altos es la fisiografía con suelos ácidos de la cadena neo volcánica entre los 2 200 a 2 700 msnm y es donde se cultiva más de un millón de hectáreas de maíz en los estados de Tlaxcala, Puebla, Hidalgo, Querétaro, Michoacán y el Estado de México. En este último estado se cultiva el maíz de marzo a octubre con lluvias de 600 a 800 mm. Los rendimientos promedian en este estado por hectárea de 2.65 t ha<sup>-1</sup> en temporal y de 3.75 t ha<sup>-1</sup> con riego (Trueba, 2012). Los últimos años, los rendimientos de grano de maíz en Valles Altos del Estado de México se han estancado, ante lo cual se exploran estrategias para mejorar la situación, entre algunas alternativas, destacando reportes sobre mejoramiento genético y la adopción de las mejores prácticas de la fertilización y manejo en el cultivo de maíz en Valles Altos.

Para aumentar rendimientos de grano de maíz se ha acudido a la selección recíproca recurrente en poblaciones de maíz de Valles Altos en suelos con alto y bajo contenido de nitrógeno (Moreno-Pérez *et al.*, 2004), a la evaluación del efecto del nivel de humedad y nitrógeno en el suelo en el comportamiento de maíces híbridos y criollos (Kibet, *et al.*, 2009); al estudio de híbridos de maíz normales y de alta calidad de proteína a la fertilización química (Palafox *et al.*, 2005); y la siembra de semillas mejoradas y la nutrición, principalmente con nitrógeno (Barbieri *et al.*, 2008; y Cervantes *et al.*, 2013).

Para la eficiencia del aprovechamiento de nutrimentos se siguen dos estrategias: una para aumentar la absorción y asimilación del N por la planta para lograr un mayor exploración del sistema de raíces (Lynch, 2007) y vigor de tallo y hojas (Guohua *et al.*, 2008); y la otra para tener una mayor tasa de translocación de N desde el tallo y hojas en pos antétesis para formación de la mazorca del maíz (Gallais y Hirel, 2004). Los dos últimos autores, señalan la interacción positiva genotipo x N impacta en mayor producción asociado

0.45, ICP=0.75, ICK= 0.21, ICMg= 0.45 and ICS=0.43. There was correlation ( $R^2$ ) positive grain production and biomass content [N/P and Mg]; and content of biomass [N/P/K and S]. It was justified increase planting density but "high" fertilization N of the ground is not profitable in bad weather.

**Keywords:** density, corn, N use efficiency, vegetable nutrition.

## Introduction

The Highland valleys physiography with acid soils of volcanic neo chain between 2 200-2 700 msnm and is where more than one million hectares of maize grown in the states of Tlaxcala, Puebla, Hidalgo, Querétaro, Michoacán and the State from Mexico. In the latter state corn is grown of march to October rains 600-800 mm. Yields averaged in this state per hectare of 2.65 t ha<sup>-1</sup> in temporary and 3.75 t ha<sup>-1</sup> with irrigation (Trueba, 2012). In recent years, grain yields of corn in Highland valleys State of Mexico have stalled, at which strategies are explored to improve the situation, including some alternatives, highlighting reports on genetic improvement and adoption of best practices fertilization and management in maize in Highland valleys.

To increase grain yields of maize has gone to the reciprocal recurrent selection in maize populations Highland valleys in soils with high and low nitrogen content (Moreno-Pérez *et al.*, 2004), evaluation of the effect of the level of moisture and soil nitrogen in the behavior of hybrid corns and native (Kibet *et al.*, 2009); the study of normal corn hybrids and high quality protein to chemical fertilization (Palafox *et al.*, 2005); and planting of improved seeds and nutrition, primarily with nitrogen (Barbieri *et al.*, 2008; and Cervantes *et al.*, 2013).

For the efficiency of utilization of nutrients two strategies are followed: one to increase the absorption and assimilation of N by the plant for a further exploration of the root system (Lynch, 2007) and vigor stem and leaf (Guohua *et al.*, 2008); and the other to have a higher rate of translocation of N from the stem and leaves after formation antithesis to the corn cob (Gallais and Hirel, 2004). The last two authors point out the positive interaction genotype x N impacts increased production associated with increased activity

a mayor actividad de la glutamina sintetasa (GS) en la etapa de desarrollo vegetativo (formación de un mayor número granos por mazorca) y que existe correlación negativa de producción de grano con la pronta senescencia del aparato fotosintético (llenado de grano).

La rentabilidad de cultivos es posible con la adopción de las mejores prácticas de fertilización (Bruulsema, *et al.*, 2008; Carneiro *et al.*, 2013), siembra con mayores densidades (De la Cruz *et al.*, 2009) y diferentes arreglos topológicos como surcos angostos (Reta *et al.*, 2003), a doble hilera (Gozubenli *et al.*, 2004) y la combinación de dos o más factores anteriores con híbridos con "alto potencial de rendimiento" para optimizar el aprovechamiento de la luz, agua y nutrientes (Hodges y Evans, 1990; Farnham, 2001; Shapiro y Wortmann, 2006; Cueto *et al.*, 2006; Rivera *et al.*, 2007; Barbieri *et al.*, 2008; Cervantes *et al.*, 2013).

El objetivo del estudio fue establecer la relación de los rendimientos de grano de maíz híbrido en Valles Altos del Estado de México con una mayor densidad de siembra, secuencias anuales de fertilización de N al suelo y definir el índice de cosecha (IC) de los macro nutrientes N, P, K, Mg y S en grano respecto al total medido en planta. Este objetivo da continuidad a investigaciones sobre la dinámica de absorción de N del desarrollo vegetativo a reproductivo de maíz (Ciampitti y Vyn, 2011); la medición del rendimiento y extracción de NPK de maíz forrajero en surcos estrechos (Reta *et al.*, 2007); el destino del fertilizante nitrogenado en un cultivo de maíz (Rimski, *et al.*, 2008); y el cambio de la composición de elementos minerales del grano de maíz por dosis "alta y baja" de N (Yu-kui *et al.*, 2009).

## Materiales y métodos

El experimento se sembró los años 2009, 2010 y 2011 con el híbrido de maíz de grano blanco H-51 AE en la primera semana de mayo en el Rancho San Nicolás del municipio de Timilpan en el Estado de México con altitud de 2 628 msnm y coordenadas 19° 34' 23.28" latitud norte y 99° 46' 25.62" longitud oeste. El clima del lugar se clasifica como templado sub-húmedo con precipitaciones abundantes en los meses de agosto-septiembre. En pre siembra el terreno fue regado cada año en el mes de abril con lámina de 15 cm de agua. Se registraron precipitaciones acumuladas de mayo a noviembre de 808 mm en el 2009 con exceso en septiembre y octubre; de 459 mm bien distribuidas en 2010, y de 387 mm

of glutamine synthetase (GS) in the stage of vegetative development (formation of a larger grains number per cob) and that there is negative correlation production grain with early senescence of the photosynthetic apparatus (grain filling).

The profitability of crops is possible with the adoption of best practices fertilization (Bruulsema, *et al.*, 2008; Carneiro *et al.*, 2013), seeded with higher densities and different topological arrangements (De la Cruz *et al.*, 2009) as narrow grooves (Reta *et al.*, 2003), a double row (Gozubenli *et al.*, 2004) and the combination of two or more above factors with hybrids with "high yield potential" to optimize the use of light, water and nutrients (Hodges and Evans, 1990; Farnham, 2001; Shapiro and Wortmann, 2006; Cueto *et al.*, 2006; Rivera *et al.*, 2007; Barbieri *et al.*, 2008; Cervantes *et al.*, 2013).

The aim of the study was to establish the relationship of grain yield of hybrid corn in Highland valleys State of Mexico with a higher density, annual sequences N fertilization on the ground and define the harvest index (CI) of the macro nutrients N, P, K, Mg and S in grain measured in the total plant. This objective is a continuation of research on N uptake dynamics of vegetative growth to reproductive corn (Ciampitti and Vyn, 2011); performance measurement and extraction of NPK of forage maize in narrow rows (Reta *et al.*, 2007); the fate of nitrogen fertilizer in maize (Rimski *et al.*, 2008); and changing the composition of mineral elements of the corn kernel by "high and low" doses of N (Yu-kui *et al.*, 2009).

## Materials and methods

The experiment was planted the years 2009, 2010 and 2011 with the hybrid corn grain white H-51 AE in the first week of May at the Rancho San Nicolás municipality of Timilpan in the State of Mexico with an altitude of 2 628 meters above sea level coordinates 19° 34' 23.28" north latitude and 99° 46' 25.62" west longitude. The local climate is classified as temperate sub-humid with abundant rainfall in the months of august to september. In pre sowing the land was watered every year in april with 15 cm sheet of water. The accumulated rainfall from May to November of 808 mm were recorded in 2009 with surplus in september and october; 459 mm well distributed in 2010, and 387 mm in 2011 with drought in july and august

en 2011 con sequía en julio y agosto más heladas en llenado de grano los días 8 y 9 de septiembre y después interrupción súbita del temporal de lluvia. Al sumar los 150 mm de agua de la punta de riego de cada año a las lluvias, se calculó el maíz recibió 958, 609 y 537 mm de agua en los años 2009, 2010 y 2011, respectivamente.

Algunas características del suelo vertisol pélico analizadas en laboratorio de acuerdo a la SMCS A. C., 1987 y calificados por criterio de Alarcón (2004) fueron: textura "franco arcillo arenoso", pH de 5.23 unidades (fuertemente ácido), CE del extracto de 0.58 dS m<sup>-1</sup> (no salino), y materia orgánica de 1.98% (moderadamente bajo). De macro nutrimentos en mg por kg de suelo seco (SS) se midieron: N inorgánico 20.9 (mod. alto), fósforo con método Bray 1 de 37.3 (mod. alto), potasio con 198 (mod. bajo), calcio 1 449 (mod. bajo), magnesio 454 (mod. alto), y azufre 15.8 ppm (mod. alto). De micro elementos en mg kg<sup>-1</sup> de SS: boro con 0.47 (bajo), zinc 0.96 (mod. bajo), cobre 80.47 (mod. bajo), fierro 159 ppm (muy alto), manganeso 58.6 ppm (muy alto) y aluminio 25.2 ppm (muy alto). Se destaca la relación de 7.31 de Mg/K al calcularse sobre me/100 g SS (muy alta) y de Ca/Mg (baja).

El diseño de seis tratamientos (Cuadro 1) evaluó la siembra del híbrido H-51 AE con dos densidades ( $D_1=65$  mil y  $D_2=85$  mil plantas por ha<sup>-1</sup>) y tres secuencias anuales de N al suelo (con N siempre  $N_1=N-N-N$ , primer año sin nitrógeno  $N_2=0-N-N$  y sin N los tres años  $N_3=0-0-0$ ) y dos dosis de N ( $N=300$  y  $N=180$  kg ha<sup>-1</sup>). La combinación de factores  $2D_1 \times 3N_1=6$  tratamientos donde:  $T_1=D_1 \times N_1$ ,  $T_2=D_1 \times N_2$ ,  $T_3=D_1 \times N_3$ ,  $T_4=D_2 \times N_1$ ,  $T_5=D_2 \times N_2$  y  $T_6=D_2 \times N_3$ . La fertilización nitrogenada al suelo se complementó al momento de la siembra con P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, S y Zn. A los tratamientos del  $T_1$  al  $T_3$  en los tres años de les aplicó la dosis en kg ha<sup>-1</sup> de 0-90-90-44-50-3. A los tratamientos del  $T_4$  al  $T_6$  en los tres años se aplicó la fórmula de 0-45-45-0-0-0. El N se fraccionó 20% a la siembra, 40% en  $V_{4-5}$  con primera escarda y 40% en  $V_{8-9}$  en segunda escarda con "tiro animal" dada la altura de las plantas.

Se utilizó un diseño con dos factores (dos densidades x tres secuencias incluyendo dos dosis de N) en arreglo completamente al azar y cuatro repeticiones. Las variables medidas fueron: producción de grano ajustado al 14% de humedad, índice de grano/mazorca, índice de grano/biomasa planta, número de mazorcas ha<sup>-1</sup>, granos/mazorca, granos/m<sup>2</sup>, peso de 100 granos, y el peso de la biomasa constante secada a la estufa a 65 °C del grano y la paja (incluye tallo, hojas y olote); los cuales fueron analizados por separado en laboratorio para medir sus contenidos de N, P, K, Mg y S de

more frost in grain filling on 8 and 9 September and then sudden rainstorm interruption. Adding the 150 mm water irrigation tip of each year the rains, maize was calculated received 958, 609 and 537 mm of water in the years 2009, 2010 and 2011, respectively.

Some soil characteristics vertisol pelic analyzed in laboratory according to the SMCS A. C., 1987 and ranked by criteria Alarcón (2004) were: texture "sandy clay loam" pH of 5.23 units (strongly acidic), CE extract 0.58 dS m<sup>-1</sup> (not saline), and organic matter 1.98% (moderately low). Macro nutrients in mg per kg of dry soil (SS) were measured: inorganic N to 20.9 (mod high.), phosphorus with Bray 1 method of 37.3 (mod high.), potassium with 198 (mod low.), calcium 1 449 (mod. low), magnesium 454 (mod. high), and 15.8 ppm of sulfur (mod. high). Micro elements in mg kg<sup>-1</sup> of SS: boron with 0.47 (bass), zinc 0.96 (mod low.), copper 80.47 (mod low.), iron 159 ppm (very high), manganese 58.6 ppm (very high) and aluminum 25.2 ppm (very high). It stands the ratio 7.31 Mg/K is calculated on me/100 g SS (high) and Ca/Mg (low).

The design of six treatments (Table 1) evaluated the planting of hybrid H-51 AE with two densities ( $D_1=65K$  and  $D_2=85\ 000$  plants ha<sup>-1</sup>) and three annual sequences or the soil (N always  $N_1=N-N-N$ , the first year without nitrogen  $N_2=0-N-N$  without three years  $N_3=0-0-0$ ) and two doses of N ( $N=300$  and  $N=180$  kg ha<sup>-1</sup>). The combination of factors  $2D_1 \times 3N_1=6$  treatments where:  $T_1=D_1 \times N_1$ ,  $T_2=D_1 \times N_2$ ,  $T_3=D_1 \times N_3$ ,  $T_4=D_2 \times N_1$ ,  $T_5=D_2 \times N_2$  and  $T_6=D_2 \times N_3$ . Nitrogen fertilization was supplemented to the ground at planting with P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, S y Zn. At  $T_1$  to  $T_3$  treatments in the three years they applied the dose in kg ha<sup>-1</sup> of 0-90-90-44-50-3. At  $T_4$  to  $T_6$  treatments in the three years 0-45-45-0-0-0 formula was applied. The N was fractionated 20% at planting, 40% in  $V_{4-5}$  with first hoeing and 40% in  $V_{8-9}$  in second hoeing with "tiro animal" given the height of the plants.

A design with two factors (two densities x three sequences including two doses of N) in completely random arrangement and four replications. The variables measured were: grain yield adjusted to 14% moisture index grain/cob, index grain/biomass plant, number of cobs ha<sup>-1</sup>, grains/cob, grains/m<sup>2</sup>, weight of 100 grains, and the weight of the dry biomass constant the oven at 65 °C of grain and straw (including stem, leaves and cobs); which they were analyzed separately in the laboratory to measure their contents of N, P, K, Mg and S according to published by

acuerdo a metodologías publicadas por Alcántar y Sandoval (1999). Las variables de rendimiento de grano y forraje se midieron en parcela útil de seis surcos de 0.8 m x de 10 m de largo. El resto de las variables se midieron de nueve plantas al azar de la parcela útil, valores que se añadieron a las variables de rendimiento. Las pruebas de hipótesis se hicieron con el paquete SAS (1998) y las comparaciones de las medias por efecto simple e interacciones se separaron con la prueba de Tukey al 5% de error. Se calcularon los coeficientes de correlación Pearson de las variables de producción de grano y biomasa total contra los contenidos de macro-nutrientes.

Alcántar and Sandoval (1999) methodologies. Variables and forage grain yield useful plot were measured in six rows of 0.8 m x 10 m long. The remaining variables were measured nine plants random useful plot, values that were added to the performance variables. Hypothesis tests were made with the SAS (1998) package and comparisons of means by simple effect and interactions were separated with Tukey test at 5% error. Pearson correlation coefficients were calculated of the variables grain production and total biomass against the contents of macronutrients.

**Cuadro 1. Diseño de tratamientos de fertilización y densidad de población.**

**Table 1. Design fertilization treatments and population density.**

Trat.	Plantas cosechadas	Dosis <sup>§</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )					
		N <sub>1</sub> -N <sub>2</sub> -N <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	S	Zn
1	85 000	300-300-300	90	90	44	50	3
2	85 000	0-300-300	90	90	44	50	3
3	85 000	0-300-300	90	90	44	50	3
4	65 000	180-180-180	45	45	0	0	0
5	65 000	0-180-180	45	45	0	0	0
6	65 000	0-180-180	45	45	0	0	0

§= Secuencia anual de dosis de N1, 2, 3 para años A1, 2, 3, respectivamente; Trat= tratamiento. El resto de nutrientes fueron iguales dosis para cada uno de los tres años.

## Resultados y discusión

Con base al análisis estadístico de tres años, existió respuesta altamente significativa de las variables agronómicas (Cuadro 2) y los contenidos de macro elementos en la biomasa de maíz y sus índices de cosecha en el grano, con excepción magnesio en el olote o chala (Cuadro 3). La producción media de grano en t ha<sup>-1</sup> fue de 5.15; y se destaca del segundo año de 7.24a con clima “óptimo” vs el peor rendimiento de 2.68c de tercer año con sequía y helada en llenado de grano. El índice promedio de grano/biomasa fue de 0.35 en contraste al año 3 con siniestro de helada y sequía de 0.25; esto es el grano representó de un tercio a un cuarto de la biomasa total. La variación de producción entre ciclos fue fuertemente influenciada a variaciones de clima y manejo de acuerdo a Witt *et al.* (2006); De la Cruz *et al.* (2009) y Kibet *et al.*, (2009).

## Results and discussion

Based on the statistical analysis of three years, there was highly significant response of agronomic variables (Table 2) and the contents of macro elements in the biomass of corn and harvest index on grain, magnesium except on the cob or husk (Table 3). The average grain yield in t ha<sup>-1</sup> was 5.15; and it stands out from the second year of 7.24a with climate "optimal" the worst performance vs 2.68c third year with drought and frost in grain filling. The average rate of grain/biomass was 0.35 in contrast to year 3 with frost and drought sinister 0.25; this is the grain represented a third to a quarter of the total biomass. The variation between cycles production was strongly influenced by variations in climate and management according to Witt *et al.* (2006); De la Cruz *et al.* (2009) and Kibet *et al.*, (2009).



**Cuadro 2. Valores promedio de ocho variables agronómicas, F calculada, estadísticos y comparación de medias<sup>§</sup> por tres años del experimento con densidades de siembra y dosis de N.****Table 2. Average values eight agronomic variables, F calculated, and statistical comparison medias<sup>§</sup> for three-year experiment with planting densities and doses of N.**

Variable	Media	F calc	CV	R <sup>2</sup>	Año 1	Año 2	Año 3
Grano al 14% (t ha <sup>-1</sup> )	5.17	64.57**	11.8	0.95	5.59 b	7.24 a	2.68 c
Biomasa total (t ha <sup>-1</sup> )	12.24	23.71**	12.8	0.88	12.85 b	14.53 a	9.34 c
IC <sup>‡</sup> grano/mazorca (Núm.)	0.84	9.75**	2.2	0.75	0.86 a	0.84 b	0.82 c
IC <sup>‡</sup> grano/biomasa (Núm.)	0.35	27.59**	9.3	0.89	0.38 b	0.44 a	0.25 c
Mazorcas, miles (ha <sup>-1</sup> )	60.8	12.04**	10.1	0.79	62.4 a	62.9 a	57.1 b
Granos/mazorca (Núm.)	256	18.08**	14.9	0.85	247.7 b	350.3 a	169.9 c
Granos/m <sup>2</sup> (Núm.)	1 582	31.11**	14.8	0.91	1 541 b	2 220 a	985 c
PS100 granos	28.34	16.97**	6.2	0.84	31.83 a	28.74 b	24.45 c

<sup>‡</sup>IC= índice de cosecha de grano por mazorca y por la biomasa total que incluye paja, olote y grano; PS= peso seco constante en estufa a 65 °C. <sup>§</sup> Comparación de tres años por filas por prueba Tukey al 5%.

**Cuadro 3. Contenidos en kg ha<sup>-1</sup> de N, P, K, Mg y S en tres tejidos de maíz y la suma en la biomasa total e índice de cosecha (IC) de cada macro nutriente en grano de maíz.****Table 3. Contents in kg ha<sup>-1</sup> of N, P, K, Mg and S in three corn tissues and the sum total biomass and harvest index (IC) of each macro nutrient in corn grain.**

Variable	Unidad	Media	CV	R <sup>2</sup>	F-Valor	Pr > F
N en grano	kg ha <sup>-1</sup>	85.62	14.25	0.945	55.61	<.0001
N en olote	kg ha <sup>-1</sup>	7.34	18.54	0.932	43.99	<.0001
N en paja	kg ha <sup>-1</sup>	94.99	24.17	0.804	13.06	<.0001
N en biomasa, Σ	kg ha <sup>-1</sup>	187.94	15.8	0.916	34.74	<.0001
ICN	Núm.	0.45	13.46	0.662	6.24	<.0001
P en grano	kg ha <sup>-1</sup>	23.19	14.79	0.928	41.08	<.0001
P en olote	kg ha <sup>-1</sup>	0.54	102.43	0.34	1.64	<.0001
P en paja	kg ha <sup>-1</sup>	6.88	38.6	0.536	3.67	<.0001
P en biomasa, Σ	kg ha <sup>-1</sup>	30.62	17.05	0.876	22.55	<.0001
ICP	Núm.	0.75	8.3	0.711	7.82	<.0001
K en grano	kg ha <sup>-1</sup>	14.4	15.4	0.975	128.51	<.0001
K en olote	kg ha <sup>-1</sup>	3.4	17.42	0.976	132	<.0001
K en paja	kg ha <sup>-1</sup>	52.05	36.88	0.898	28.27	<.0001
K en biomasa, Σ	kg ha <sup>-1</sup>	69.86	28.33	0.934	45.35	<.0001
ICK	Núm.	0.21	27.75	0.364	1.82	0.0488
Mg en grano	kg ha <sup>-1</sup>	10.87	15	0.938	48.43	<.0001
Mg en olote	kg ha <sup>-1</sup>	1.72	112.53	0.312	1.45	0.1518
Mg en paja	kg ha <sup>-1</sup>	11.44	30.11	0.574	4.28	<.0001
Mg en biomasa, Σ	kg ha <sup>-1</sup>	24.05	17.98	0.86	19.65	<.0001
IC Mg	Núm.	0.45	15.11	0.591	4.6	<.0001
S en grano	kg ha <sup>-1</sup>	5.1	46.92	0.62	52.15	<.0001
S en olote	kg ha <sup>-1</sup>	0.35	12.86	0.881	5.19	<.0001
S en paja	kg ha <sup>-1</sup>	6.39	39.61	0.541	3.76	<.0001
S en biomasa, Σ	kg ha <sup>-1</sup>	11.85	23.77	0.785	11.63	<.0001
ICS	Núm.	0.43	12.33	0.613	4.52	<.0001

Los contenidos totales de cinco macro elementos, expresados en  $\text{kg ha}^{-1}$  en la biomasa total de maíz (grano, paja y olote), en promedio de los tres años, fueron: 187.9 de N, 30.6 de P, 69.9 de K, 24.1 de Mg y 11.6 de S (Cuadro 3). Los índices de cosecha de estos elementos en el grano de maíz fueron:  $\text{ICN}=0.45$ ,  $\text{ICP}=0.75$ ,  $\text{ICK}=0.21$ ,  $\text{ICMg}=0.45$  e  $\text{ICS}=0.43$ . Estos valores son verosímiles a los publicados por el Instituto Internacional de la Nutrición de la Planta (IPNI, 2009) para una cosecha de  $10 \text{ t ha}^{-1}$  de grano y su respectiva paja de maíz; y anotan: 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  $\text{kg ha}^{-1}$  de 145N, 30P, 40K y 8Mg. De igual modo, estos resultados están acordes a los publicados por Ciampitti y Vyn (2011) con relación a nitrógeno a Ciampitti y García (2007) referido a requerimientos nutricionales asociado a la absorción y extracción de nutrientes y estudios de García (2009) sobre el manejo eficiente de nutrientes en maíz.

Existió diferencia significativa del promedio de grano en  $\text{t ha}^{-1}$  por ciclos y fueron: año 1 = 5.59b, año 2 = 7.24a y año 3 = 2.68c (datos en franja gris del Cuadro 4). También existió diferencia de medias de grano en  $\text{t ha}^{-1}$  por efecto de tratamiento de densidad y secuencia anual de N y se destacó  $T_1=7.07a$ , seguido por  $T_2$  y  $T_4$  con 5.86b y 5.61b, respectivamente. Por aumentar la densidad de plantas por  $\text{ha}^{-1}$  a la cosecha de 65 mil ( $T_6$ ) a 85 mil ( $T_3$ ) de la secuencia "siempre sin nitrógeno" (0-0-0); se obtuvo de 3.40d a 4.28c  $\text{t ha}^{-1}$  (última columna de Cuadro 4). Al comparar tratamientos dentro de cada año; se visualiza los rendimientos de grano en  $\text{t ha}^{-1}$  de secuencia de 0-0-0 (sin nitrógeno los tres años); el año 1 con sequía/inundación produjo  $T_3=5.07de$  vs  $T_6=3.69defgh$  (estadísticamente igual debido a alta variación de datos pero numéricamente se aprecia conviene aumentar densidad aunque no se aplique N en esta condición); año 2 con clima óptimo  $T_3=4.61defg$  vs  $T_6=4.68defg$  (por menor costos se decide por menor densidad si no se fertiliza con N); y año 3 con clima con sequía y helada  $T_3=3.14ghij$  vs  $T_6=1.83j$  de nuevo igual estadísticamente por alto C. V. pero numéricamente se aprecia conviene aumentar densidad aunque no se aplique N en esta condición). En síntesis; si no se cuenta con fertilización con N, asegurar mayor población para rendimientos de grano ligeramente mayores en concordancia a estudios de (Shapiro y Wortmann, 2006; Rivera *et al.*, 2007; Barbieri *et al.*, 2008; Cervantes *et al.*, 2013).

The total contents of five macro-elements, expressed in  $\text{kg ha}^{-1}$  in the total biomass of corn (grain, straw and cob) on average three years were: 187.9 of N, 30.6 of P 69.9 of K, 24.1 of Mg and 11.6 of S (Table 3). Harvest rates of these elements in corn grain were:  $\text{ICN}=0.45$ ,  $\text{ICP}=0.75$ ,  $\text{ICK}=0.21$ ,  $\text{ICMg}=0.45$  and  $\text{ICS}=0.43$ . These values are plausible to those published by the International Institute of Plant Nutrition (IPNI, 2009) for a harvest of  $10 \text{ t ha}^{-1}$  of grain and corn straw respectively; and record: N of 0.66, P of 0.75, K of 0.21 and Mg of 0.28; which are equivalent in that grain harvest amounts in  $\text{kg ha}^{-1}$  of 145N, 30P, 40K and 8Mg. Similarly, these results are consistent with those published by Ciampitti and Vyn (2011) in relation to nitrogen Ciampitti and García (2007) concerning nutritional requirements associated with absorption and removal of nutrients and studies García (2009) on the efficient nutrient management in maize.

There was significant difference in the average grain  $\text{t ha}^{-1}$  cycles and were: year 1 = 5.59b, year 2 = 7.24a and year 3 = 2.68c (gray stripe data in Table 4). There was also difference in mean grain  $\text{t ha}^{-1}$  treatment effect of density and annual sequence of N and excelled  $T_1=7.07a$ , followed by  $T_2$  and  $T_4$  with 5.86b and 5.61b, respectively. By increasing the density of plants per  $\text{ha}^{-1}$  to harvest 65 thousand ( $T_6$ ) to 85 thousand ( $T_3$ ) of the sequence "always without nitrogen" (0-0-0); It was obtained from 3.40d to 4.28c  $\text{t ha}^{-1}$  (last column of Table 4). When comparing treatments within each year; grain yields displayed on  $\text{t ha}^{-1}$  sequence 0-0-0 (without nitrogen three years); year 1 with drought/flood occurred  $T_3=5.07de$  vs  $T_6=3.69defgh$  (statistically equal because of high variation data shown numerically but should increase density but not N is applied in this condition); year 2 with optimal climate  $T_3=4.61defg$  vs  $T_6=4.68defg$  (retail cost is decided by lower density if not fertilized with N); year 3 climate with drought and frost  $T_3=3.14ghij$  vs  $T_6=1.83j$  again overlooked statistically equal but numerically C.V. appreciated density should be increased but not N is applied in this condition). In summary; if you do not have N fertilization, ensuring greater population yields slightly higher grain according to studies (Shapiro and Wortmann, 2006; Rivera *et al.*, 2007; Barbieri *et al.*, 2008; Cervantes *et al.*, 2013).

Other orthogonal comparisons of this kind are not valid for the other sequences of N and only proceeds to make pairwise comparisons of  $\text{Di} \times \text{Ni}$  "high" versus "low" density in the



**Cuadro 4. Comparaciones de medias<sup>‡</sup> de producción de grano de maíz con 14% humedad (t ha<sup>-1</sup>) por tres ciclos y seis tratamientos, donde: D<sub>1</sub>(negrita)= 85 mil plantas ha<sup>-1</sup>, D<sub>2</sub>= 65 mil plantas ha<sup>-1</sup>; N (negrita)= 300 kg ha<sup>-1</sup> N y N= 180 kg ha<sup>-1</sup> N.**

**Table 4. Comparison of average<sup>‡</sup> production of grain corn with 14% moisture (t ha<sup>-1</sup>) for three cycles and six treatments, where: D<sub>1</sub>(bold)= 85 000 plants ha<sup>-1</sup>, D<sub>2</sub>= 65 thousand plants ha<sup>-1</sup>; N (bold)= 300 kg ha<sup>-1</sup> N and N= 180 kg ha<sup>-1</sup> N.**

Trat.	Densidad y secuencia anual N	Año 1		Año 2		Año 3		Media tres años
T <sub>1</sub>	<b>D<sub>1</sub>, 300N-N-N</b>	7.61	bc	10.28	a	3.32	fghij	7.07 a
T <sub>2</sub>	<b>D<sub>1</sub>, 0-N-N</b>	5.23	d	8.81	ab	3.55	dfghi	5.86 b
T <sub>3</sub>	<b>D<sub>1</sub>, 0-0-0</b>	5.07	de	4.61	defg	3.14	ghij	4.28 c
T <sub>4</sub>	D <sub>2</sub> , 180N-N-N	7.04	c	7.76	bc	2.03	ij	5.61 b
T <sub>5</sub>	D <sub>2</sub> , 0-N-N	4.89	def	7.33	bc	2.19	hij	4.80 c
T <sub>6</sub>	D <sub>2</sub> , 0-0-0	3.69	defgh	4.68	defg	1.83	j	3.40 d
Media		5.59	b	7.24	a	2.68	c	5.17

<sup>‡</sup>Prueba de Tukey al 5%; DMS para medias anuales= 0.43 en franja gris; DMS por tratamientos años 1, 2 y 3 en columnas= 0.74, DMS por interacciones de tres años=1.59.

Otras comparaciones ortogonales de este tipo no son válidas para las otras secuencias de N y solo se procede a hacer comparaciones de pares de Di\*Ni “alta” vs “baja” densidad en el estudio de tres años y dentro de los años. Así, el rendimiento medio de grano en t ha<sup>-1</sup> en tres años de la combinación Di\*Ni alta (T<sub>1</sub>=85 mil plantas\*300 N siempre) fue 7.07a vs 5.61b de Di\*Ni baja (T<sub>4</sub>= 65 mil plantas\*180 N siempre). Y por ciclos: año 1.- T<sub>1</sub>= 7.61bc y T<sub>4</sub>= 7.04c; año 2.- T<sub>1</sub>=10.28a y T<sub>4</sub>= 7.76bc; y año 3.- T<sub>1</sub>= 3.32fghij y T<sub>4</sub>= 2.03j. La decisión entonces es: a mayor densidad de plantas con secuencia anual de siempre dosis alta de N aumenta rendimiento; sí y solo si las condiciones de clima (segundo año) se presenta con lluvias en cantidad suficiente (ni sequía o exceso del primer año, o sequía y helada en llenado de mazorca de tercer año) y distribuida durante el ciclo y sin heladas. El factor disponibilidad de humedad y factores adversos de clima dan lugar a optimizar el sistema de producción de acuerdo a Farnham (2001); y de sugerir estrategias de mejoramiento genético tanto en la eficiencia de absorción nutrimental (Lynch, 2007) como en la asimilación (Moreno-Pérez *et al.*, 2004; Guohua *et al.*, 2008).

¿Qué pasa al retornar a la práctica de fertilización con N al suelo después de omitirla un año? Al comparar grano promedio en tres años del Cuadro 4 de la secuencia anual de 0-N-N con 300 kg ha<sup>-1</sup> del (T<sub>3</sub>= 5.86b) vs T<sub>5</sub>= 0-N-N con 180 kg ha<sup>-1</sup> (4.80c), se observa aumentó una tonelada de grano. Por analogía en año 1 con T<sub>2</sub>= 5.23d vs T<sub>5</sub>= 4.89def (sequía inicial y exceso de lluvias en formación de mazorca); año 2 con T<sub>2</sub>= 8.81ab vs T<sub>5</sub>= 7.33bc; y año 3 con T<sub>2</sub>= 3.55dfghi vs T<sub>5</sub>= 2.19hij (sequía y helada). Se invoca a principios de la teoría de juegos sobre el riesgo y la inversión. Primero debe asegurarse suficiente densidad de

study of three years and within years. Thus, the average grain yield in t ha<sup>-1</sup> in three years of high Di\*Ni (T<sub>1</sub>= 85 thousand plants\*300 N always) combination was 7.07a vs 5.61b of Di\*Ni low (T<sub>4</sub>= 65 thousand plants\*180 N always). And cycles: year 1.- T<sub>1</sub>=7.61bc and T<sub>4</sub>=7.04c; year 2.- T<sub>1</sub>=10.28a and T<sub>4</sub>= 7.76bc; and year 3.- T<sub>1</sub>= 3.32fghij and T<sub>4</sub>= 2.03j. The decision then is: a higher density of plants with annual sequence always high doses of N increases performance; if and only if the weather conditions (second year) occurs with rains in sufficient quantity (or drought or excess first year, or drought and frost filled cob third year) and distributed during the cycle and frost. The availability of moisture and adverse weather factors factor leading to optimize the production system according to Farnham (2001); and suggest strategies for genetic improvement in both the efficiency of nutrient absorption (Lynch, 2007) and assimilation (Moreno-Pérez *et al.*, 2004; Guohua *et al.*, 2008).

What happens when you return to the practice of N fertilization skip to the ground after one year? When comparing average grain in three years in Table 4 of the annual sequence of 0-N-N with 300 kg ha<sup>-1</sup> (T<sub>3</sub>= 5.86b) vs T<sub>5</sub>= 0-N-N with 180 kg ha<sup>-1</sup> (4.80c) shows it increased a ton of grain. By analogy in year 1 with T<sub>2</sub>= 5.23d vs T<sub>5</sub>= 4.89def (initial drought and excessive rainfall in formation cob); year 2 with T<sub>2</sub>=8.81ab vs T<sub>5</sub>= 7.33bc; and year 3 with T<sub>2</sub>= 3.55dfghi vs T<sub>5</sub>= 2.19hij (drought and frost). Invoked early game theory about risk and investment. First you must ensure sufficient density planting with moderate doses of fertilizer; and as the weather is favorable will be invested in more inputs. Extreme performance data t ha<sup>-1</sup> grain 10.28a of T<sub>1</sub> of the year 2 (D<sub>1</sub>, 300 N-N-N) vs 1.8 j T<sub>6</sub> of year 3 support the above statement according to (Palafox *et al.*, 2005; García, 2009).

siembra con dosis moderadas de fertilizante; y conforme el clima sea favorable se invertirá en más insumos. Los datos extremos en rendimiento en  $\text{t ha}^{-1}$  de grano de 10.28a del  $T_1$  del año 2 ( $D_1$ , 300 N-N-N) vs 1.8 j del  $T_6$  del año 3 sustentan la afirmación anterior de acuerdo a (Palafox *et al.*, 2005; García, 2009).

Las medias de la producción de biomasa total en  $\text{t ha}^{-1}$  (grano, forraje y olote) se comparan a secuencia de tres años (franja gris, Cuadro 5), por tratamientos de densidad\*fertilización (última columna) e interacciones de los años 1, 2 y 3 (conjunto de 6t\*3 años). Así, el primer año con sequía inicial e inundación en formación de mazorca fue de 12.85b, comparado al segundo año en condición óptima de 14.52a y el tercero con sequía extrema y helada temprana de 9.34c. En cuanto a las medias de tres años por tratamientos  $D_i*N_i$  se destaca  $T_1$  con alta densidad la secuencia de 300N-N-N con 16.61a y en el extremo el  $T_6$  con baja densidad y sin N los tres años con 8.69. De las interacciones de los años 1, 2 y 3; es válido hacer comparaciones en columnas dentro del año y por tratamiento para valorar secuencia de años en líneas horizontales y en conjunto de las 18 combinaciones de  $T_i*A_i$  en cualquier sentido. Las medias con mayor valor corresponden al año 2 en contraste a valores deprimidos del año 3. Más de tres veces significó la biomasa en  $\text{t ha}^{-1}$  de  $T_1$ /año 2= 21.14a vs 6.31h del  $T_6$ /año 3. Los datos anteriores coinciden con Rivera *et al.* (2007) sobre mayor producción de forraje de híbridos de maíz y más densidad.

The means of production of total biomass in  $\text{t ha}^{-1}$  (grain, forage and cob) compared to three-year sequence (gray stripe, Table 5), for treatments density\*fertilization (last column) and interactions of the year 1, 2 and 3 (6t set\*3 years). Thus, the first year with initial drought and flooding in ear formation was 12.85b, compared to the second year in optimum condition 14.52a and the third with extreme drought and early frost of 9.34c. As for the means of three years treatments  $D_i*N_i$  high density stands  $T_1$  sequence 300N-N-N with the end 16.61a and  $T_6$  low density without N three years 8.69. Interactions of years 1, 2 and 3; is valid comparison in columns within one year and to assess treatment sequence of years in horizontal lines and set of 18 combinations of  $T_i*A_i$  in either direction. The higher value averages for the year 2 in contrast to depressed values of year 3. More than three times meant biomass in  $\text{t ha}^{-1}$  of  $T_1$ /year 2= 21.14a vs 6.31h of  $T_6$ /year 3. The above data match Rivera *et al.* (2007) on increased production of forage maize hybrids and more density.

There was highly significant difference of N content in grain and total biomass per cycle (Tables 6 and 7, gray stripes) and these values ICN of 0.45a, 0.51a and 0.35b of years 1, 2 and 3 respectively calculated (Table 8, gray stripe). Similarly the effect of treatment (last columns of Tables 6, 7 and 8); gradual reduction of the content of N in  $T_1$  to  $T_6$  kg of grain is identified with 122.3a to 52.0d; in biomass 285.2a to 121.7e and ICN there was no difference and the average

**Cuadro 5. Comparaciones de medias<sup>†</sup> de producción de biomasa total en  $\text{t ha}^{-1}$  (paja, grano y olote) por ciclos y seis tratamientos, donde:  $D_1$ (negrita)= 85 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$ ,  $D_2$ = 65 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ ; N (negrita)= 300 kg  $\text{ha}^{-1}$  N y N= 180 kg  $\text{ha}^{-1}$  N.**

**Table 5. Comparison of average<sup>†</sup> of total biomass production in  $\text{t ha}^{-1}$  (straw, grain and cob) cycles and six treatments, where:  $D_1$ (bold)= 85 000 plants  $\text{ha}^{-1}$ ,  $D_2$ = 65 thousand plants  $\text{ha}^{-1}$ ; N (bold)= 300 kg  $\text{ha}^{-1}$  N and N= 180 kg  $\text{ha}^{-1}$  N.**

Trat.	Densidad y secuencia anual N	Año 1		Año 2		Año 3		Media tres años
$T_1$	<b><math>D_1</math>, 300N-N-N</b>	17.04	b	21.14	a	11.65	cdef	16.61a
$T_2$	<b><math>D_1</math>, 0-N-N</b>	11.59	cdef	18.07	ab	12.82	cde	14.16 b
$T_3$	<b><math>D_1</math>, 0-0-0</b>	10.96	defg	11.55	cdef	10.59	defg	11.03 c
$T_4$	$D_2$ , 180N-N-N	15.12	bc	14.3	bcd	6.97	gh	12.13 c
$T_5$	$D_2$ , 0-N-N	12.11	cde	12.56	cde	7.71	fgh	10.79 c
$T_6$	$D_2$ , 0-0-0	10.25	defgh	9.51	efgh	6.31	h	8.69 d
Media		12.85	b	14.52	a	9.34	c	12.24

<sup>†</sup>Prueba de Tukey al 5%, DMS para medias anuales= 0.109 en franja gris, DMS por tratamientos años 1, 2 y 3 en columnas= 0.189. DMS por interacciones de tres años= 0.41.

Existió diferencia altamente significativa de contenido de N en grano y la biomasa total por ciclos (Cuadros 6 y 7, franjas grises) y con dichos valores se calculó los ICN de 0.45a, 0.51a y 0.35b de los años 1, 2 y 3 respectivamente

was 0.44. To abound in comparisons of treatments each year, mean differences of the contents of N in grain and total biomass of the first two cycles (year 1 and 2) are observed but were NS in year 3 with drought and frost to fill grain.

(Cuadro 8, franja gris). De manera análoga por efecto de tratamientos (últimas columnas de los Cuadros 6, 7 y 8); se identifica reducción gradual de los contenidos de N en kg de T<sub>1</sub> a T<sub>6</sub> en grano con 122.3a a 52.0d; en la biomasa de 285.2a a 121.7e y los ICN no existió diferencia y el promedio fue de 0.44. Al abundar en comparaciones de los tratamientos de cada año, se observan diferencias de medias de los contenidos de N en grano y biomasa total de los dos primeros ciclos (año 1 y 2) pero fueron NS en año 3 con sequía y helada al llenado de grano. La plasticidad de N en cuanto a la partición en tejidos de grano y forraje por variaciones de clima y tratamientos se ilustra con la consistencia de los ICN del Cuadro 8. Estos resultados son coincidentes a los publicados por Rimski *et al.* (2008) con relación al destino del fertilizante nitrogenado en planta de maíz y la composición en grano (Yu-kui *et al.*, 2009).

The N plasticity as to partition in grain and forage tissues by variations in climate and treatments illustrated with ICN consistency of Table 8. These results are consistent with those published by Rimsky *et al.* (2008) regarding the fate of nitrogen fertilizer plant corn and grain composition (Yu-kui *et al.*, 2009).

There was highly significant difference of P content in grain and total biomass per cycle (Table 9) and ICP of these values 0.73b, 0.82a and 0.67c the years 1, 2 and 3 was calculated respectively. Similarly the effect of treatment (last columns of Table 9); gradual reduction of P content in T<sub>1</sub> to T<sub>6</sub> in kg of beans with 34.9a to 13.7d is identified; in biomass 44.7a to 19.4d and ICP difference existed only for the sequence of N 0-0-0 and the

**Cuadro 6. Comparaciones de medias<sup>‡</sup> de N en kg ha<sup>-1</sup> en el grano de maíz por tres ciclos y seis tratamientos, donde: D<sub>1</sub> (negrita)= 85 000 plantas ha<sup>-1</sup>, D<sub>2</sub>= 65 mil plantas ha<sup>-1</sup>; N (negrita)= 300 kg ha<sup>-1</sup> N y N= 180 kg ha<sup>-1</sup> N.**

**Table 6. Comparison of average<sup>‡</sup> of N in kg ha<sup>-1</sup> in corn grain for three cycles and six treatments, where: D<sub>1</sub>(bold)= 85 000 plants ha<sup>-1</sup>, D<sub>2</sub>= 65 thousand plants ha<sup>-1</sup>; N (bold)= 300 kg ha<sup>-1</sup> N and N= 180 kg ha<sup>-1</sup> N.**

Trat.	Densidad y secuencia anual N	Año 1		Año 2		Año 3		Media tres años	
T <sub>1</sub>	<b>D<sub>1</sub>, 300N-N-N</b>	161	a	156.6	a	49.4	fghi	122.3	a
T <sub>2</sub>	<b>D<sub>1</sub>, 0-N-N</b>	106.1	bcd	135.2	ab	56.5	efgh	99.3	b
T <sub>3</sub>	<b>D<sub>1</sub>, 0-0-0</b>	102.7	cd	69.3	efg	40.3	ghi	70.8	c
T <sub>4</sub>	D <sub>2</sub> , 180N-N-N	150.8	a	109.8	bc	23.6	i	94.6	b
T <sub>5</sub>	D <sub>2</sub> , 0-N-N	103.9	bcd	88.1	cde	31.2	hi	74.4	c
T <sub>6</sub>	D <sub>2</sub> , 0-0-0	77.5	def	54.6	fghi	24	i	52	d
Medias anuales		117	a	102.3	b	37.5	c	85.6	

<sup>‡</sup>Prueba de Tukey al 5%, %, DMS para medias anuales= 8.48 en franja gris, DMS por tratamientos en columnas= 14.72, DMS por interacciones de tres años =31.6.

**Cuadro 7. Comparaciones de medias<sup>‡</sup> de N total en planta de maíz (paja, grano y olote) en kg ha<sup>-1</sup> por tres ciclos y seis tratamientos, donde: D<sub>1</sub>(negrita)=85 000 y D<sub>2</sub>=65 mil plantas ha<sup>-1</sup>; N (negrita)=300 kg ha<sup>-1</sup> N y N=180 kg ha<sup>-1</sup> N.**

**Table 7. Mean comparisons<sup>‡</sup> of total N in corn plant (straw, grain and cob) in kg ha<sup>-1</sup> for three treatment cycles, where: D<sub>1</sub>(bold)= 85 000 plants ha<sup>-1</sup>, D<sub>2</sub>= 65 thousand plants ha<sup>-1</sup>; N (bold)= 300 kg ha<sup>-1</sup> N and N= 180 kg ha<sup>-1</sup> N.**

Trat.	Densidad y secuencia anual N	Año 1		Año 2		Año 3		Media tres años	
T <sub>1</sub>	<b>D<sub>1</sub>, 300N-N-N</b>	371.3	a	317.6	ab	166.7	def	285.2	a
T <sub>2</sub>	<b>D<sub>1</sub>, 0-N-N</b>	219.3	cde	257	bc	150.8	ef	209	b
T <sub>3</sub>	<b>D<sub>1</sub>, 0-0-0</b>	204.6	cde	151.4	ef	111.1	fg	155.7	ed
T <sub>4</sub>	D <sub>2</sub> , 180N-N-N	314.8	ab	199.2	cde	68.9	g	194.3	cb
T <sub>5</sub>	D <sub>2</sub> , 0-N-N	235	d	159.7	def	89.9	fg	161.5	cd
T <sub>6</sub>	D <sub>2</sub> , 0-0-0	191.8	cde	110.8	fg	62.4	g	121.7	e
Media anuales		256.1	a	199.3	b	108.3	c	187.9	

<sup>‡</sup>Prueba de Tukey al 5%, DMS para medias anuales= 20.66 en franja gris; DMS por tratamientos en años 1, 2 y 3 en columnas= 35.82. DMS por interacciones de tres años= 76.91.

**Cuadro 8. Comparaciones de medias<sup>f</sup> de índice de cosecha de N (ICN) en grano de maíz por tres ciclos y seis tratamientos, donde: D<sub>1</sub> (negrita)= 85 000 plantas ha<sup>-1</sup>, D<sub>2</sub>= 65 mil plantas ha<sup>-1</sup>; N (negrita) = 300 kg ha<sup>-1</sup> N y N=180 kg ha<sup>-1</sup> N.**

**Table 8. Comparison of average<sup>f</sup> of index crop N (ICN) in corn grain for three cycles and six treatments, where: D<sub>1</sub>(bold)= 85 000 plants ha<sup>-1</sup>, D<sub>2</sub>= 65 thousand plants ha<sup>-1</sup>; N (bold)= 300 kg ha<sup>-1</sup> N and N= 180 kg ha<sup>-1</sup> N.**

Trat.	Densidad y secuencia anual N	Año 1		Año 2		Año 3		Media tres años	
T <sub>1</sub>	<b>D<sub>1</sub></b> , 300N-N-N	0.43	abcdef	0.49	abcd	0.32	f	0.41	a
T <sub>2</sub>	<b>D<sub>1</sub></b> , 0-N-N	0.48	abcde	0.52	ab	0.38	bcdef	0.46	a
T <sub>3</sub>	<b>D<sub>1</sub></b> , 0-0-0	0.50	acb	0.45	abcdef	0.37	cdef	0.44	a
T <sub>4</sub>	D <sub>2</sub> , 180N-N-N	0.48	abcde	0.55	a	0.34	def	0.45	a
T <sub>5</sub>	D <sub>2</sub> , 0-N-N	0.44	abcdef	0.54	a	0.33	ef	0.44	a
T <sub>6</sub>	D <sub>2</sub> , 0-0-0	0.40	abcdef	0.49	abcd	0.38	bcdef	0.42	a
Media anuales		0.45	a	0.51	a	0.35	c	0.44	

<sup>f</sup>Prueba de Tukey al 5%, D%, DMS para medias anuales= 0.041 en franja gris; DMS por tratamientos en columnas = 0.072; DMS por interacciones de tres años= 0.154.

Existió diferencia altamente significativa de contenido de P en grano y en la biomasa total por ciclos (Cuadro 9) y con dichos valores se calculó los ICP de 0.73b, 0.82a y 0.67c de los años 1, 2 y 3 respectivamente. De manera análoga por efecto de tratamientos (últimas columnas de los Cuadro 9); se identifica reducción gradual de los contenidos de P en kg de T<sub>1</sub> a T<sub>6</sub> en grano con 34.9a a 13.7d; en la biomasa de 44.7a a 19.4d y los ICP sólo existió diferencia para la secuencia de N 0-0-0 y el promedio fue de 0.70 en comparación a los de IPNI de 2009 de 0.75. Estos datos de P permiten deducir el fósforo está ligado a la función de N y de manera proporcional positiva; esto es, a más contenido de N, más de P. Es consistente el concepto anterior al comparar efecto de tratamientos en los años 1 y 2 (año 1 con sequía inicial e inundaciones al formar mazorca y en año dos óptimo), pero fueron NS en año 3 con sequía y helada al llenado de grano. Al igual que N, el ICP no presentó diferencia de medias por efecto de tratamientos dentro de cada ciclo de producción.

average was 0.70 compared to those of IPNI of 2009 of 0.75. These data allow to deduce P phosphorus is linked to the function of N and positively proportional manner; that is, more content of N, more than P. Is consistently above to compare the effect of treatments in years 1 and 2 (year 1 with initial drought and floods to form cob and in the year two optimal) concept, but were NS in year 3 with drought and frost grain filling. Like N, the ICP presented no mean difference effect of treatments within each production cycle.

Finally, positive correlations were found based on Pearson Prob > |r| with H<sub>0</sub>: Rho= 0, the following pairs of variables: grain at 14% moisture with total biomass (0.9), grain N (0.79), grain P (0.9), grain Mg (0.9), biomass N (0.86), biomass P (0.95), biomass K (0.94) and biomass S (0.87). This is interpreted according to IPNI, 2009; plant nutrition is associated with increased forage production and this with the corn grain yield.

**Cuadro 9. Comparaciones de medias<sup>e</sup> e contenidos de S total en kg ha<sup>-1</sup> en planta de maíz por tres ciclos y seis tratamientos, donde: D<sub>1</sub> (negrita)= 85 mil plantas ha<sup>-1</sup>, D<sub>2</sub>= 65 mil plantas ha<sup>-1</sup>; N (negrita) = 300 kg ha<sup>-1</sup> N y N=180 kg ha<sup>-1</sup> N.**

**Table 9. Comparisons of mean<sup>e</sup> and contents of total S in kg ha<sup>-1</sup> corn plant for three cycles and six treatments, where: D<sub>1</sub>(bold)= 85 000 plants ha<sup>-1</sup>; D<sub>2</sub>= 65 thousand plants ha<sup>-1</sup>; N (bold)= 300 kg ha<sup>-1</sup> N; and N= 180 kg ha<sup>-1</sup> N.**

Trat.	Densidad y secuencia anual N	Año 1		Año 2		Año 3		Media tres años	
T <sub>1</sub>	<b>D<sub>1</sub></b> , 300N-N-N	17.4	abc	21.8	a	10.6	cde	16.6	a
T <sub>2</sub>	<b>D<sub>1</sub></b> , 0-N-N	11.7	bcd	18.5	ab	10.2	cde	13.5	a
T <sub>3</sub>	<b>D<sub>1</sub></b> , 0-0-0	8.7	de	8.9	de	9.3	de	8.9	b
T <sub>4</sub>	D <sub>2</sub> , 180N-N-N	18.1	abc	16.9	abc	7.7	de	14.2	a
T <sub>5</sub>	D <sub>2</sub> , 0-N-N	11.8	bcd	12.9	bcd	4.3	e	9.6	a
T <sub>6</sub>	D <sub>2</sub> , 0-0-0	9.2	de	8.6	de	6.2	de	8.0	b
Media		12.8	a	14.6	a	8.0	b	11.9	

<sup>e</sup>Prueba de Tukey al 5%; DMS para medias anuales= 1.96 en franja gris, DMS por tratamientos años 1, 2 y 3 en columnas = 3.40, DMS por interacciones de tres años= 7.3.

Finalmente, se encontraron correlaciones positivas con base a Pearson  $\text{Prob} > |r|$  con  $H_0: \text{Rho}=0$ , en los siguientes pares de variables: grano al 14% de humedad con biomasa total (0.9), grano con N (0.79), grano con P (0.9), grano con Mg (0.9), biomasa con N (0.86), biomasa con P (0.95), biomasa con K (0.94) y biomasa con S (0.87). Lo anterior se interpreta de acuerdo a IPNI, 2009; la nutrición vegetal se asocia a mayor producción de forraje y éste con el rendimiento de grano de maíz.

## Conclusiones

El valor absoluto de los contenidos de macro nutrimentos en la biomasa total y el grano de maíz híbrido H-51 AE fueron mayores asociados a condición óptima de clima (año 2), mayor densidad (85 mil plantas  $\text{ha}^{-1}$ ) y dosis crecientes de N al suelo, así como la fertilización adicional para los elementos de magnesio y azufre. Los contenidos totales de cinco macro elementos, expresados en  $\text{kg ha}^{-1}$  en la biomasa total de maíz en promedio de los tres años, fueron: 187.9 de N, 30.6 de P, 69.9 de K, 24.1 de Mg y 11.6 de S. De estos valores al grano de maíz o índices de cosecha de estos elementos fueron:  $\text{ICN}=0.45$ ,  $\text{ICP}=0.75$ ,  $\text{ICK}=0.21$ ,  $\text{ICMg}=0.45$  e  $\text{ICS}=0.43$ ; y éstos fueron afectados solo por el factor años asociado a clima. Al referir al año 2 de clima óptimo como “normal”, se encontró el valor de ICN en tercer año se redujo (sequía inicial y helada en formación de mazorca) y también una leve reducción de ICP del año 1 (sequía/inundación) y drástica baja en año 3 (sequía/helada). El aumento de densidad de siembra a 85 000 plantas  $\text{ha}^{-1}$  significó ligeros aumentos de rendimientos de grano en años de clima adverso y muy significativos en clima óptimo. La fertilización de N al suelo deberá sostenerse en todos los años y podrá ser mayor con decisiones asociadas al pronóstico y ocurrencia del clima en Valles Altos.

## Agradecimientos

A los doctores José Espinosa y Armando S. Tasistro del International Plant Nutrition Institute (IPNI) por el Convenio con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para la ejecución del protocolo de investigación MASTER SITE en el Estado de México.

## Conclusions

The absolute value of the contents of macro nutrients in the total biomass and grain maize hybrid H-51 AE were higher associated with optimal weather condition (year 2), higher density (85 000 plants  $\text{ha}^{-1}$ ) and increasing doses of N to the ground, as well as additional fertilization for elements magnesium and sulfur. The total contents of five macro-elements, expressed in  $\text{kg ha}^{-1}$  in the total biomass of corn on average three years were: 187.9 of N, 30.6 of P, 69.9 of K, 24.1 of Mg and 11.6 of S. these values to corn or grain harvest indexes of these elements were:  $\text{ICN}=0.45$ ,  $\text{ICP}=0.75$ ,  $\text{ICK}=0.21$ ,  $\text{ICMg}=0.45$  and  $\text{ICS}=0.43$ ; and these were affected only by the age factor associated with climate. When referring to the year 2 optimal climate as “normal”, the value of ICN third year found (initial and frost drought in formation cob) was reduced and a slight reduction in ICP of year 1 (drought/flood) and drastic reduction in year 3 (drought/frost). Increasing planting density 85 000 plants  $\text{ha}^{-1}$  meant slight increases in grain yields in years of adverse weather and very significant in optimal climate. The N fertilization of the ground should be held in every year and may be more decisions associated with prognosis and occurrence of climate in Highland valleys.

*End of the English version*



## Literatura citada

- Alarcón, V. A. L. 2004. Diagnóstico de nutrición agrícola: *In*: Alarcón, V. A. L. (Ed.). Máster de nutrición vegetal de cultivos hortícola protegidos. Univ. Pol. Cartagena, España. 90 p.
- Alcantar-González, G. y Sandoval-Villarreal, M. 1999. Manual de análisis químico vegetal. Ed. S.M.C.S.A.C., Publicación Especial 10, Chapingo, Estado de México. 156 p.
- Barbieri, P. A.; Echeverría, H. E.; Sainz, H. R. R. and Andrade, F. H. 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by N availability and row spacing. *Agron. J.* 100(4):1094-1100.
- Bruulsema, T. W.; Witt, F. C.; Garcia, S.; Li, R. 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. e Kunz, J. 2013. Efficiency of nitrogen fertilizer applied at corn sowing in contrasting growing seasons in Paraguay. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo, Socieda de Brasileira de Ciencia do Solo.* 37(6):1641-1650.
- Cervantes, O. F.; Covarrubias, P. J.; Rangel, L. J. A.; Terrón, I. A. D.; Mendoza, E. M. y Preciado, O. R. E. 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agron. Mesoam.* 101-110 pp.



- 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.
- Cueto, W. J. A.; Reta, S. D. G.; Barrientos, R. J. L.; González, C. G.; Salazar, S. E. 2006. Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 97-101.
- De la Cruz, L. E.; Córdova, O. H.; Estrada, B. M. A.; Mendoza, P. J. D.; Gómez, V. A. y Brito, M. N. P. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia.* Abril. 93-98 pp.
- Farnham, D. E. 2001. Row spacing, plant density, and hybrid effects on corn grain yield and moisture. *Agron. J.* 93:1049-1053.
- Gallais, A. and Hirel, B. An approach to genetics of nitrogen use efficiency in maize. *J. Exp. Bot.* 55(396):295-306.
- Gozubenli, H.; Kilink, M.; Sener, O. and Konuscan, O. 2004. Effects of single and twin row planting on yield and yield components in maize. *Asian J. Plant Sci.* 3(2):203-206.
- Guohua, Mi.; Fanjun, Ch. and Fusuo, Z. 2008. Physiological and genetic mechanisms for nitrogen-use efficiency in maize. *J. Crop Sci. Biotech.* 10(2):57- 63.
- Hodges, T. and Evans, D. W. 1990. Light interception model for estimating the effects of row spacing on plant competition in maize. *J. Prod. Agric.* 3:190-195.
- Kibet Serrem, C.; López- Castañeda, C. y Kohashi-Shibata, J. 2009. Efecto del nivel de humedad y nitrógeno en el suelo en el comportamiento de maíces híbridos y criollos de los Valles Altos de México. *Agric. Costarricense.* 33(1):103-120.
- Lynch, P. J. 2007. Roots of the second green revolution. *Austr. J. Bot.* 493-512 pp.
- Moreno-Pérez, E. C.; Lewis-Beck, D.; Cervantes-Santana, T. y Torres-Flores, J. L. 2004. Selección recíproca recurrente en poblaciones de maíz de Valles Altos en suelos con alto y bajo contenido de nitrógeno, en México. *Agrociencia* 38(3):305-311.
- Palafox, C. A.; Tosquy, V. O. H.; Sierra, M. M.; Turrent, F. A.; Espinosa, C. A. 2005. Respuesta de híbridos de maíz normales y de alta calidad de proteína a la fertilización química. *Terra Latinoam.* 23:129-135.
- Reta, S. D. G.; Cueto, W. J. A.; Gaytán, M. A. y Santamaría, C. J. 2007. Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Rev. Agric. Téc. Méx.* 145-151.
- Reta, S. D. G.; Gaytán, M. A. y Carrillo, A. J. S. 2003. Rendimiento y componentes del rendimiento de maíz en respuesta a arreglos topológicos. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(2):75-80.
- Rimski, K. H.; Rubio, G.; Pino, I. y Lavado, R. S. 2008. Destino del nitrógeno del fertilizante en un cultivo de maíz. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur.* 39:2-5.
- Rivera, G. M.; González, C. G.; González, B. J. L.; Estrada Á. J. y Cueto W. J. A. 2007. Comparación de cuatro híbridos de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en dos arreglos topológicos, alta población y siembra de verano, *Producción Agrícola- AGROFAZ.* 7(3).
- SAS. 1998. ANOVA. In: *SAS User Guide: Statistics.* Cary, N.C. 113-138 pp.
- Shapiro, C. A. and Wortmann, C. S. 2006. Corn response to nitrogen rate, row spacing, and plant density in eastern Nebraska. *Agron. J.* 98:529-535.
- SMCS, A. C. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. *Publicación N° 1.* Ed. Aguilar. Etcheverr, Castellano. CONACYT. Chapingo, Estado de México. 423 p.
- Trueba-Carranza, A. J. 2012. Semillas mexicanas mejoradas de maíz: su potencial productivo. *Editorial del Colegio de Posgraduados.* 132 p.
- Witt, C.; Pasaquim, J. M. and Dobermann, 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, S. 2009. Effects of nitrogen fertilizer input on the composition of mineral elements in corn grain. *Agrociencia.* 21-27.