

Nota técnica

ABSORCIÓN DE MACRONUTRIENTES Y EFICIENCIA DEL N, EN HÍBRIDO PROMISORIO DE MAÍZ. PATRICIA PILAR, ECUADOR¹

Manuel Remache^{*}, *Manuel Carrillo*^{2/*/**}, *Romney Mora*^{***}, *Wuellins Durango*^{**}, *Fátima Morales*^{****}

Palabras clave: Curvas de absorción; nitrógeno; eficiencia de recuperación; fertilización; incremento de absorción.
Keywords: Absorption curves; nitrogen; recovery efficiency; fertilization; increase of absorption.

Recibido: 30/11/16

Aceptado: 17/02/17

RESUMEN

Cuando se liberan nuevos materiales genéticos al mercado, es necesario estudiar sus requerimientos nutricionales, la dinámica de absorción de nutrientes y evaluar su rentabilidad; por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar la eficiencia de la fertilización nitrogenada y la variación en la absorción de macronutrientes por efecto de 4 dosis de nitrógeno en un híbrido promisorio de maíz, durante la época seca, en Patricia Pilar, provincia de Los Ríos, Ecuador. Se estudiaron las dosis de 0, 66, 132 y 198 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, por medio de un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones y los promedios separados mediante la prueba de Tukey (p<0,05). Las plantas se muestrearon cada 15 días, para valorar la producción de la materia seca total (MS) y la concentración de nutrientes. La eficiencia de recuperación de N se evaluó a los 110 días (madurez fisiológica) y el rendimiento del grano a los 120 días. Los resultados mostraron que para el híbrido promisorio de maíz la aplicación de 132 kg.ha⁻¹ de N incrementó la absorción de N, P, K, Mg y S; no así para Ca.

ABSTRACT

Macronutrient absorption and N uptake efficiency, in maize promising hybrid. Patricia Pilar, Ecuador. When new genetic materials are released to the market, it is necessary to study their nutrient requirements, the dynamics of nutrient absorption and evaluate their profitability; thus, the objective of this research was to determine the efficiency of nitrogen fertilization and the variation in macronutrient uptake due to 4 doses of nitrogen in a promising maize hybrid, during the dry season, in Patricia Pilar, in the province of Los Ríos, Ecuador. Nitrogen doses of 0, 66, 132 and 198 kg.ha⁻¹ were studied in a randomized complete block design with 4 replicates and the means separated by Tukey's test (p<0.05). Plants were sampled every 15 days in order to evaluate total dry matter (DM) production and nutrient concentration. N recovery efficiency was evaluated at 110 days (physiological maturity) and grain yield at 120 days. Results showed that for the promissory maize hybrid, application of 132 kg of N.ha⁻¹ increased uptake of N, P, K, Mg and S; but not Ca. The rate of absorption varied according

¹ Parte del trabajo de graduación del primer autor para optar por el grado de Magister en Nutrición Vegetal.

² Autor para correspondencia. Correo electrónico: mcarrillo@ute.edu.ec

^{*} Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE). Sede Santo Domingo, Ecuador.

^{**} Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Ecuador.

^{***} Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

^{****} Universidad Técnica de Babahoyo (UTB), Extensión Quevedo, Ecuador.

La tasa de absorción varió según el elemento; el K fue absorbido en mayor proporción en la etapa vegetativa (80%), seguido del N (50%); en tanto que el P, fue mayor (60%) en la etapa reproductiva. La absorción de Ca, Mg y S, siguió la tendencia de la producción de MS. También con dosis de 132 kg.ha⁻¹ de N se obtuvo mayor eficiencia de recuperación de N (0,5 kg.kg⁻¹) e incrementó la absorción de CaO y MgO (20,4 y 18,4 kg.ha⁻¹, respectivamente). Con la aplicación de 198 kg de N.ha⁻¹, mejoró la extracción de P₂O₅ (39,1 kg.ha⁻¹), K₂O (35,8 kg.ha⁻¹) y S (3,0 kg.ha⁻¹); además, el híbrido promisorio respondió a dosis de N mayores de 132 kg.ha⁻¹.

to the nutrient; K was absorbed to a greater extent in the vegetative stage (80%), followed by N (50%); while P absorption was higher (60%) in the reproductive stage. Absorption of Ca, Mg and S followed the trend of DM production. With N application of 132 kg.ha⁻¹, N uptake efficiency (0.5 kg.kg⁻¹) was higher and absorption of CaO and MgO were increased (20.4 kg.ha⁻¹, 18.4 kg.ha⁻¹, respectively). With application 198 kg of N.ha⁻¹, extraction of P₂O₅, K₂O and S were improved (39.1; 35.8 and 3.0 kg.ha⁻¹, respectively), in addition, the promissory hybrid responded to doses of N greater than 132 kg.ha⁻¹.

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador los bajos precios y problemas sanitarios en los cultivos de palma aceitera y balsa, han provocado la eliminación de estas especies en la zona de Patricia Pilar y su entorno, al optar por cultivos con retorno en menor plazo como el maíz, rubro que es apoyado por el gobierno nacional, con el objetivo de cambiar la matriz productiva y satisfacer la demanda nacional de aproximadamente 1 400 000 t.año⁻¹ y provocar excedentes para la exportación (Cámara de Agricultura II Zona 2014).

El maíz es un cereal considerado como bien de producción primaria de importancia mundial por la amplitud en su cadena de valor, ya que es utilizado para la alimentación humana, animal y piscícola hasta su procesamiento, cuyo producto final puede ser también combustible o materia prima para elaborar productos químicos (MAGAP 2013).

Nuevos materiales genéticos de maíz con alto potencial de rendimiento, se producen periódicamente y deben ir acompañados de información técnica que oriente sobre sus características fisiológicas, resistencia a plagas, requerimientos hídricos, clima y nutricionales. Desde el 2011 el Instituto Nacional de Investigaciones

Agropecuarias (INIAP) ha evaluado híbridos promisorios próximos a ser presentados a los consumidores (INIAP 2014), de los que se requiere conocer sus necesidades nutricionales según el potencial de rendimiento y la fertilidad natural de los suelos, que varían en las diferentes zonas maiceras del país.

En la mayoría de suelos tropicales, el principal nutriente limitante es el nitrógeno (N) y su disponibilidad depende de algunos procesos fisiológicos de las plantas de maíz, incluidas las eficiencias de uso de este y otros elementos nutrientes acompañantes, que al final tienden a repercutir en los rendimientos y por ende, en la rentabilidad del cultivo (Torres 2014).

La eficiencia de uso de nitrógeno ha sido estudiada en diferentes cultivos de ciclo corto por varios autores, como Fageria y Baligar (2001), que en el cultivo de arroz encontraron eficiencias del 39% y que calificaron como bajas, las cuales varían según las propiedades del suelo, métodos, cantidades y tiempos de aplicación de los fertilizantes y prácticas de manejo. En el cultivo de maíz, Carneiro *et al.* (2013), evaluaron dosis de N entre 0 y 180 kg.ha⁻¹, para encontrar que la eficiencia de uso de este elemento fue del 30% al utilizar una dosis considerada alta que varió de

50 y 70% respecto a la dosis intermedia. Barbieri *et al.* 2008, reportan eficiencias de N que varían entre 59 y 85% por efecto de dosis de aplicación del elemento y entre 60 y 76%, debido a la distancia de siembra. Abou El-Hassan *et al.* (2014), evaluaron los efectos de humedad del suelo y dosis de fertilizante, y determinaron eficiencias que fluctuaron entre 18,7 a 44,0%, que correspondían a la mejor eficiencia del suelo con humedad de campo.

La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar la respuesta en la eficiencia del uso del fertilizante nitrogenado y la absorción de macronutrientes, en un híbrido promisorio de maíz, por efecto de 4 dosis de nitrógeno en suelos de la zona de Patricia Pilar, que según Castillo y Salinas (2014) son deficientes en N, fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S), condición que interfiere el crecimiento de la planta y la producción de biomasa, podría también, afectar la producción del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló durante la época seca del 2015, en la finca Santa Marianita de la empresa Marejal S.A., km. 54 vía Santo Domingo - Quevedo, sector Los Ángeles, parroquia Patricia Pilar, cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos, con altitud de 160 msnm., latitud 00°37'24''S y longitud 79°26'53''W. El promedio de 12 años (1995-2012) de temperatura es 24,6°C, heliofanía 760,1 h luz.año⁻¹, humedad relativa 82,36%; precipitación anual 3337,1 mm.año⁻¹ (INAMHI 2015). El suelo es clasificado por Mejía (1997) y Castillo y Salinas (2014) dentro del orden Andisol, con topografía ligeramente ondulada, bajo contenido de materia orgánica (2,3%), pH de 5,6 (medianamente ácido) y textura franca.

La siembra se realizó durante la época lluviosa del 2016 de forma manual bajo sistema de siembra directa, con semilla de genetista del híbrido promisorio de maíz, facilitada por el Programa de Maíz de la Estación Experimental Portoviejo del INIAP. Se sembró a un

distanciamiento de 0,80 m entre hileras y 0,20 m entre plantas dentro de la hilera, con una densidad de 62 500 plantas.ha⁻¹. El manejo de plantas arvenses y control de insectos plagas y enfermedades se realizó de forma preventiva.

Los tratamientos evaluados fueron 4 niveles de N (0, 66, 132 y 198 kg.ha⁻¹), aplicados a los 15, 30 y 45 días después de la siembra (DDS), en fracciones de 30%, 50% y 20% del total del fertilizante nitrogenado. La fertilización básica, fue con 46 kg.ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg.ha⁻¹ de K₂O, 50 kg.ha⁻¹ de MgO y 40 kg.ha⁻¹ de S, con fuentes super fosfato triple (46% de P₂O₅), cloruro de potasio (60% K₂O), keiserita (25% MgO + 20% S) y urea (46% de N).

La parcela experimental se planteó bajo un diseño de bloques completos al azar, con 4 repeticiones y la separación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey (p<0,05). Para el análisis de los datos se utilizó el programa INFO-STAT (Di Rienzo *et al.* 2011).

Se evaluó el rendimiento de grano para determinar el peso húmedo de grano cosechado (PHG) en 4 hileras de 4 metros de longitud (12,8 m²) que se consideró como área de cosecha (AC); se midió el porcentaje de humedad del grano a la cosecha (HG), en un determinador de humedad (CASE HI, Agriculture). El resultado fue ajustado al 13% de humedad (100 - 13 = 87) y expresado en kg.ha⁻¹, y evaluado por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = (\text{PHG} * (100 - \text{HG}) / 87) * (10000 / \text{AC})$$

La materia seca (MS) de la biomasa se determinó con base en el peso de MS de la planta con frecuencia de 15 días a partir de la siembra, las que fueron seccionadas según la edad en parte vegetativa: tallo, hojas y brácteas, tuza y grano; llevadas a invernadero y lavadas con agua de tubería y posteriormente con agua destilada. Se secaron al ambiente y luego fueron colocadas en funda de tela e identificadas con el número de tratamiento y repetición respectiva. Seguidamente se secaron en estufa a 60°C por 72 horas, enfriadas al ambiente para luego registrar el peso

seco (PS). El valor de la materia seca se evaluó mediante la siguiente ecuación:

$$MS \text{ (kg.ha}^{-1}\text{)} = (\text{PS muestra} / \text{n}^{\circ}\text{plantas. muestra}^{-1}) * 62\ 500$$

Para determinar la curva de absorción de nutrientes, en la MS de cada sección de la planta, parte vegetativa, tuza y grano, colectadas quincenalmente, se determinó la concentración de nutrientes en el Laboratorio de Suelos, Tejidos Vegetales y Aguas del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas (DMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del INIAP, se empleó el método de Mikrokjeldahl para determinar N y la mineralización de las muestras por digestión húmeda con mezcla nítrico-perclórica en relación 5:1 (Henríquez *et al.* 1998), y luego se cuantificó P por colorimetría y S por turbidimetría, mientras que el K, Ca y Mg, mediante espectrofotometría de absorción atómica y sus valores expresados en porcentaje.

Para determinar la cantidad de macronutrientes absorbidos, se usó el peso de MS por hectárea (PMS), así como las concentraciones de nutrientes (X) presentes en los tejidos y calculado con la siguiente ecuación:

$$\text{Absorción de X (kg.ha}^{-1}\text{)} = (\text{PMS} * \text{X}) / 100$$

La eficiencia de recuperación de N se determinó con los valores de absorción obtenidos a 110 DDS colectados en estadio R6 o madurez fisiológica, para evitar pérdida de materia seca y las cantidades de elemento aplicado con el fertilizante, que fueron ajustados según la ecuación propuesta por Dobermann y Fairhurst (2012).

$$\text{ERN} = (\text{QNPF} - \text{QNPT}) / \text{QNA}$$

Donde: ERF= eficiencia de recuperación de fertilizante (nitrógeno).

QNPF= cantidad de N absorbido en plantas fertilizadas (kg.ha⁻¹).

QNPT= cantidad de N absorbido en la parcela testigo (kg.ha⁻¹).

QNA= cantidad de N aplicado (kg.ha⁻¹).

Para determinar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el incremento en absorción de P, K, Ca, Mg y S (IAN), se consideraron los valores de nutrientes absorbidos a los 120 DDS que correspondían a la madurez de cosecha. Para el cálculo se utilizaron los valores de absorción de nutrientes en los tratamientos con aplicación de N (AN), menos el registrado con la dosis 0 kg.ha⁻¹ de N (ANO), presumiendo que este último dato fue producto de la absorción total del fertilizante básico y de la reserva natural del suelo. Para obtener el resultado del efecto de la fertilización nitrogenada se utilizó la siguiente ecuación:

$$(\text{IAN} = \text{AN} - \text{ANO})$$

IAN=incremento de absorción de P, K, Ca, Mg y S.
AN=valores de absorción de nutrientes con aplicación de N.

ANO=0 dosis de N.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

En el Cuadro 1 se muestran los rendimientos, donde no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p=0,1631$) entre tratamientos, por efecto de aplicación de las dosis de N, que alcanzó el máximo rendimiento de 2753 kg.ha⁻¹ con dosis de 132 kg.ha⁻¹ de N.

Cuadro 1. Promedios de rendimiento de grano maíz con 13% de humedad, afectado por dosis crecientes de N, Patricia Pilar - Los Ríos, Ecuador. 2015.

Dosis de N (kg.ha ⁻¹)	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)
0	2099a
66	2647a
132	2753a
198	2737a

Cayeron cenizas del volcán Cotopaxi cuando las plantaciones de maíz se encontraban en edades comprendidas entre 3 semanas antes la floración, hasta 2 semanas después de la fecundación, sucedió desde los 45 DDS hasta los 60 DDS y la floración masculina (producción de polen) llegó a su máximo a los 55 DDS.

Las precipitaciones de cenizas se presentaron cuando las plantas se encontraban en estado reproductivo inicial (R1), lo cual afectó el estigma por necrosis. Este problema impidió que el polen llegara a fecundar el ovario y la formación del

grano, lo que afectó el rendimiento del cultivo por disminución en la tasa fotosintética, transpiración y respiración y coincide con Anbariloche 2011.

Materia seca de la biomasa

La producción de MS en la biomasa del maíz, por efecto de las dosis de N, presentó diferencias estadísticas significativas ($p=0,0061$) a los 30 DDS, donde el tratamiento de 66 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N fue superior; en tanto que para las restantes épocas de muestreo, no mostraron diferencias estadísticas (Figura 1).

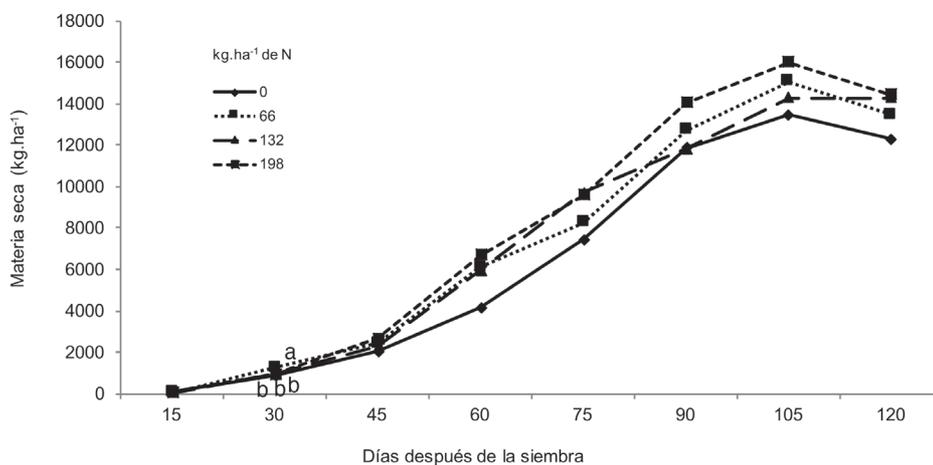


Fig. 1. Curvas de acumulación de materia seca en un híbrido promisorio de maíz, afectado por dosis de fertilización con N, Patricia Pilar - Los Ríos, Ecuador. 2015.

Todos los tratamientos, alcanzaron la máxima producción de MS a los 105 DDS, a partir del cual hubo tendencia al decrecimiento, ya que según Duarte *et al.* (2003) esto ocurre normalmente en este tipo de pruebas, debido a pérdidas de pedazos de hojas al momento del muestreo.

La producción de MS del maíz, en este nuevo material genético, alcanzó un máximo cercano a 16 000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a los 105 DDS, lo que según Duarte y Paterniani, citados por Duarte *et*

al. (2003), son compatibles con materiales genéticos que presentan rendimientos entre 9 y 10 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de grano.

Al observar la tendencia de incremento de MS entre los 20 y 45 DDS (Figura 1), se tiene que a esa edad de la planta, se presentó la mayor producción de MS. Posteriormente el tratamiento de fertilización con 198 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, superó a los de 66 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N y 132 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, con una producción de MS intermedia y la más baja se observó en el tratamiento sin N.

Absorción de nutrientes

Las plantas de maíz presentaron diferencias estadísticas significativas en absorción de N, por efecto de las dosis de N en las diferentes edades evaluadas, excepto a los 45 DDS (Figura 2). El coeficiente de variación fluctuó entre 4,84% y 13,88%. Con la dosis 66 kg.ha⁻¹ de N, se logró la mayor absorción de N a los 30 DDS, puesto que con 198 kg.ha⁻¹ de N, superó a las extracciones de los restantes tratamientos en las diferentes fechas de evaluación. Cabe indicar que hasta la floración (alrededor de 60 DDS), la absorción fue cercana a 120 kg.ha⁻¹ de N en los tratamientos con fertilización, aproximadamente el 50% del total de N absorbido; sin embargo,

en el tratamiento sin N, la absorción del elemento promedió los 60 kg.ha⁻¹, valor 3 veces menor a los 180 kg.ha⁻¹ registrados para la madurez fisiológica. Estos valores concuerdan con los presentados en Argentina por Ciampitti *et al.* (2010), quienes indican que la absorción varió entre 50 kg.ha⁻¹ de N y 120 kg.ha⁻¹ de N, según el tratamiento de fertilización; sin embargo, Fallas *et al.* (2011), observaron que el maíz HC-57 a esta edad del cultivo, había absorbido el 80% de N total requerido en el ciclo, al estar mayormente acumulado en la parte foliar. Al observar la tendencia de las curvas de absorción de N, resaltan las de 15 a 30 DDS y de 45 a 90 DDS, donde la mayor inclinación que indicó mayor requerimiento de N.

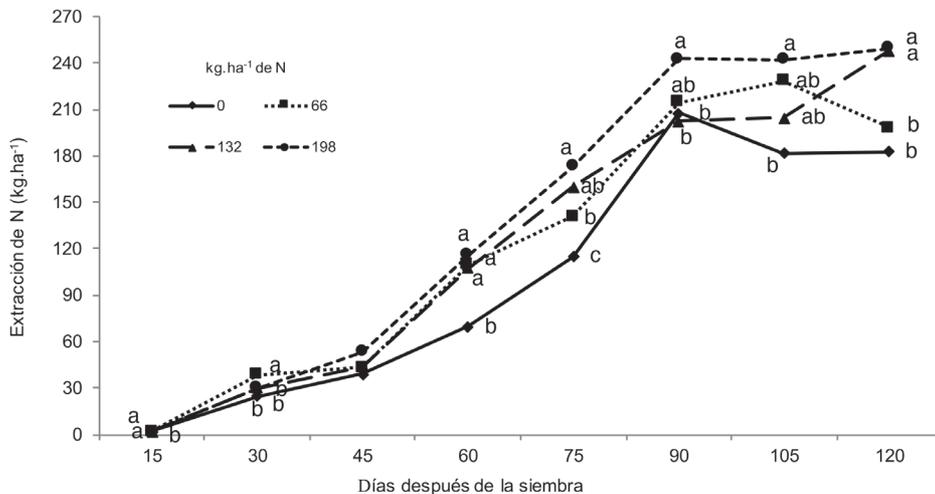


Fig. 2. Absorción total de N, en un híbrido promisorio de maíz por efecto de dosis crecientes de N, Patricia Pilar - Los Ríos, Ecuador. 2015.

La absorción de P (Figura 3) por el híbrido de maíz, presentó efectos estadísticos significativos (valores de $p < 0,0006$) por acción de las dosis

de N, en las edades evaluadas, excepto a los 45 DDS ($p = 0,1085$).

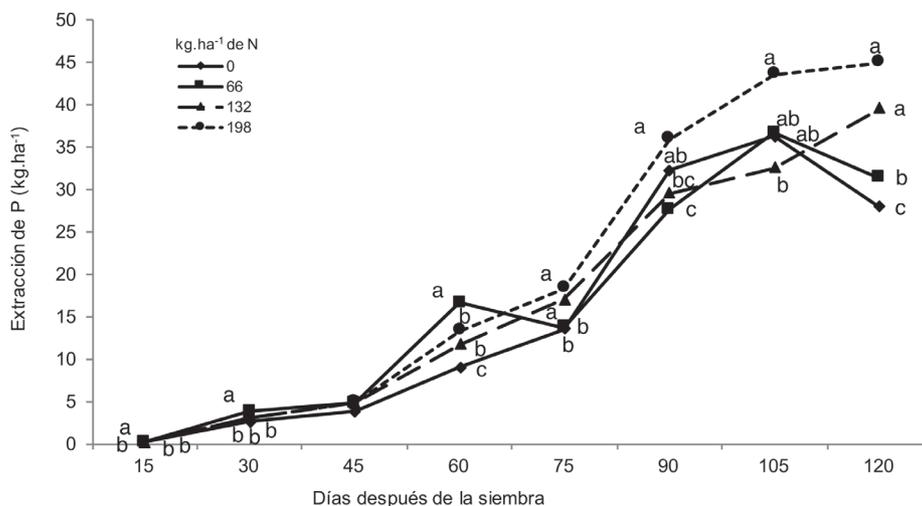


Fig. 3. Absorción total de P en un híbrido promisorio de maíz, bajo efecto de dosis crecientes de N, Patricia Pilar - Los Ríos, Ecuador. 2015.

Diferente a lo sucedido para la acumulación de MS y N, la absorción de P, se incrementó hasta la cosecha (120 DDS), se observó mayor extracción a los 45 DDS y después de los 75 DDS, se da la mayor la absorción a partir de la floración.

Hasta la floración, la máxima absorción de P fue alrededor de 15 kg.ha⁻¹, valor 3 veces menor al máximo de 45 kg.ha⁻¹ registrado cercano a la madurez fisiológica (105 DDS), lo cual coincide con lo publicado por Fallas *et al.* (2011), quienes revelan que esta absorción tardía se debe a que el aporte del follaje no es suficiente para satisfacer los requerimientos para la formación de la mazorca, por tanto continúa la absorción directamente del suelo. Sin embargo, difiere con lo expresado por Ciampitti *et al.* (2010), quienes indican que este elemento a la floración fue aprovechado aproximadamente en el 57% del requerimiento total.

A los 75 DDS se observa efectos significativos en la obtención de P. Se encontraron 2 rangos, uno de ellos conformado por las dosis de 132 kg.ha⁻¹ de N y 198 kg.ha⁻¹ de N, que

consumieron igual cantidad de P y superaron los datos registrados con las dosis de 66 kg.ha⁻¹ de N y 0 kg.ha⁻¹ de N.

Posteriormente, el ritmo del P con aplicación de 132 kg.ha⁻¹ de N, tendió a ser menor que con aplicación de 198 kg.ha⁻¹ de N, para llegar a ser igual a los tratamientos de 66 kg.ha⁻¹ y 0 kg.ha⁻¹ de N, sólo al final (120 DDS) mostró mayor absorción.

La utilidad de K, fue afectada por la fertilización con dosis crecientes de N, pues presentaron diferencias estadísticas significativas ($p=0,0001$; $p=0,048$; $p=0,0005$; $p=0,0085$ y $p=0,0003$), a los 15, 45, 60, 90 y 120 DDS, respectivamente y no significativas ($p=0,0631$; $p=0,4607$ y $p=0,491$) a los 30, 75 y 105 DDS, en su orden, con tendencia similar a lo encontrado con la producción de MS y aprovechamiento de N, y más diferente a los encontrados para el P. La absorción de K es mayor en los primeros días de desarrollo (antes de la floración), al concentrar sus necesidades entre los 15 DDS y 45 DDS, observando que se redujo a mayor edad (Figura 4).

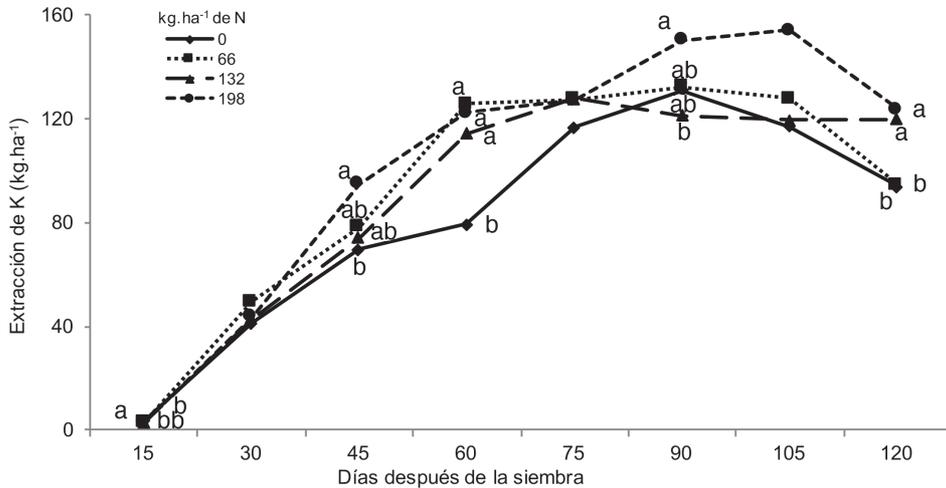


Fig. 4. Absorción total de K en un híbrido promisorio de maíz, bajo efecto de dosis crecientes de N, Patricia Pilar - Los Ríos, Ecuador. 2015.

Hasta la floración, la extracción de K por el maíz fue de 122 kg.ha⁻¹, que correspondió al 79,4% de la máxima absorción registrada, valor que concuerda con el 75% de acumulación enunciada por Fallas *et al.* (2011), fue utilizado para la formación de la mazorca.

A los 15 DDS, la absorción de K fue mayor en el tratamiento 0 kg.ha⁻¹ de N, donde se consiguió mayor absorción, al presentar diferencias estadísticas con la registrada en los tratamientos de fertilización con N, causa asignable al suelo al que se le hizo la primera aplicación del fertilizante nitrogenado.

A partir de los 90 DDS con la aplicación de 198 kg.ha⁻¹ de N se determina poco incremento en la absorción de K y en los restantes tratamientos se verificó la disminución en la extracción del elemento. Este último efecto, según algunos autores indicados por Duarte *et al.* (2003), se debe a pérdidas de material vegetal y también por lavado del elemento en la superficie

de las hojas por efecto de las lluvias, hecho que normalmente sucede en esta zona húmeda, incluso en época seca.

Los análisis de variancia mostraron diferencias estadísticas significativas ($p=0,0013$; $p=0,0011$; $p=0,0055$ y $p=0,0063$) para la absorción de Ca, a los 30, 60, 75, 90 DDS en su orden, por efecto de los niveles de N, en tanto que a los 15, 45, 105 y 120 DDS no mostraron diferencias estadísticas significativas. La absorción del Ca, se dio hasta los 105 DDS. En todos los tratamientos (Figura 5), se observa a partir de los 45 DDS hasta los 90 DDS la mayor absorción, lo que concuerda con lo reportado por Fallas *et al.* (2011), quienes refieren que este elemento es absorbido en forma constante y solo disminuye al final del ciclo. A partir de los 60 DDS se aprecia que los tratamientos de fertilización con N, provocaron mayor extracción del Ca, al compararlos con el tratamiento sin N, que es la más elevada con 198 kg.ha⁻¹ de N.

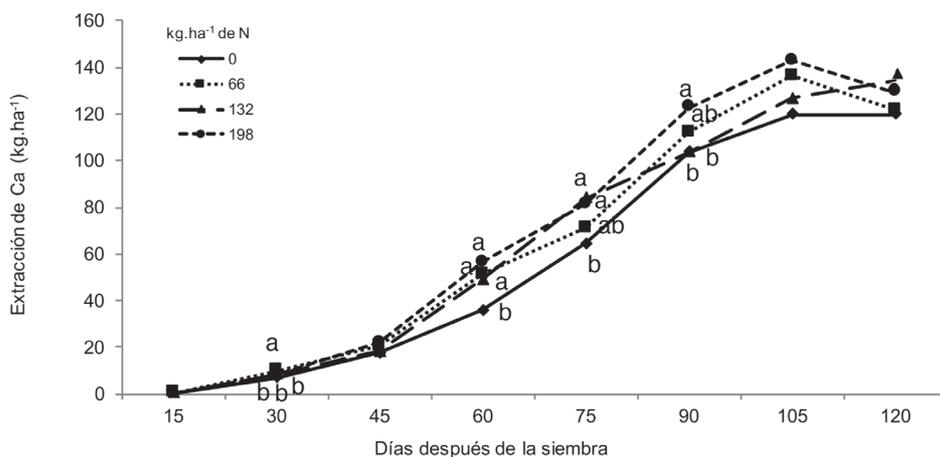


Fig. 5. Absorción total de Ca, en un híbrido promisorio de maíz bajo efecto de dosis crecientes de N, Patricia Pilar - Los Ríos, Ecuador. 2015.

Los análisis de variancia indicaron que a los 15, 30, 60, 90, 105 y 120 DDS se presentaron diferencias altamente significativas ($p=0,0006$; $p=0,0368$; $p=0,0018$; $p=0,0017$; $p=0,0408$ y $p=0,0001$, respectivamente) en la absorción de Mg, excepto a los 45 y 75 DDS. Contrario a lo

observado con los otros nutrientes, exceptuado el Ca, la inclinación de la curva de absorción del Mg es menor (Figura 6), lo que indica un requerimiento constante, con la misma intensidad y en menor cantidad, lo cual concuerda con lo indicado por Fallas *et al.* (2011), para Ca y Mg.

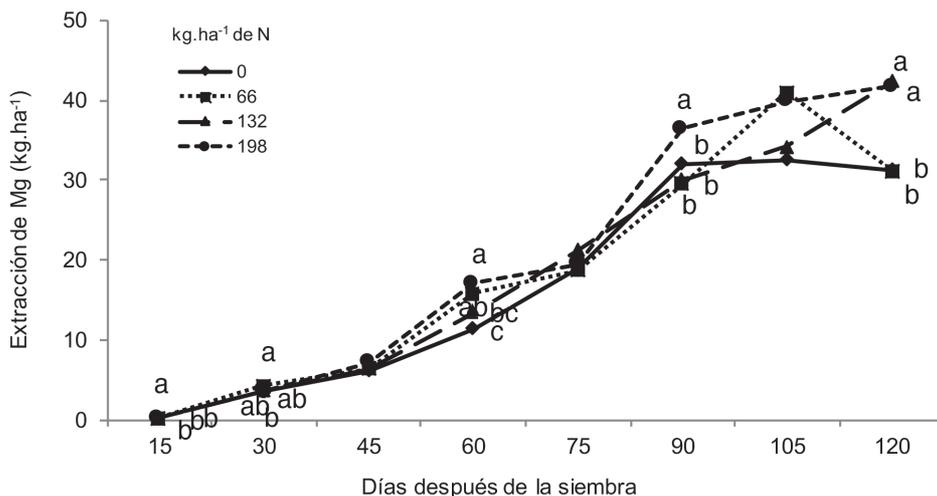


Fig. 6. Absorción total de Mg, en un híbrido promisorio de maíz bajo efecto de dosis crecientes de N, Patricia Pilar - Los Ríos, Ecuador. 2015.

La máxima absorción de Mg se registró hasta los 90 DDS, que se reduce posteriormente hasta la cosecha. A los 60 DDS se observa un pequeño pico de absorción, donde con la dosis de 198 kg.ha⁻¹ de N, se encontraron diferencias significativas, similares a la obtenida con 66 kg.ha⁻¹ de N y diferente a los de 132 kg.ha⁻¹ de N y 0 kg.ha⁻¹ de N. A los 90 DDS se registró otro pico igualmente con 198 kg.ha⁻¹ de N solo que las diferencias fueron con los restantes tratamientos de fertilización nitrogenada.

Los tratamientos de fertilización con N, provocaron efectos significativos (valores de $p < 0,0072$) en la extracción de S por las plantas del maíz, en todas las edades muestreadas excepto a los 45 DDS, 75 DDS y 105 DDS ($p = 0,1886$; $p = 0,0869$ y $p = 0,0736$ respectivamente). La absorción de S, al igual que para N y K, ocurre hasta los 90 DDS (Figura 7) y llega a un máximo de aproximadamente 9 kg.ha⁻¹ de S. Según la inclinación de las curvas de absorción, hay 3 picos de mayor requerimiento y se presentan entre los 15-30 DDS, 45-60 DDS y el más exigente entre 75-90 DDS.

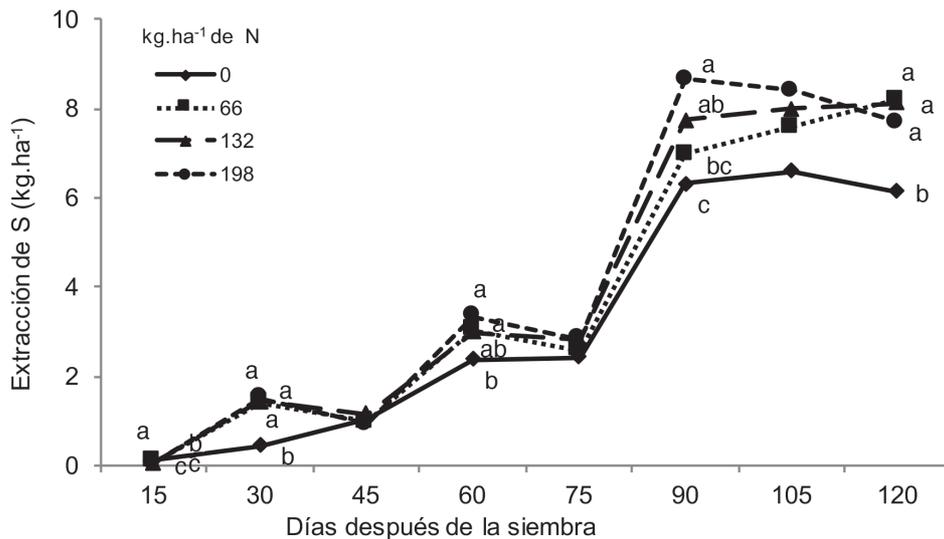


Fig. 7. Absorción total de S, en un híbrido promisorio de maíz bajo efecto de dosis crecientes de N, Patricia Pilar - Los Ríos, Ecuador. 2015.

Hasta la floración el híbrido de maíz consiguió absorber 13 kg.ha⁻¹ de S, que corresponde al 43% de la absorción total, cercano al 47% citado por Ciampitti *et al.* (2010) y por Fallas *et al.* (2011), quienes indican que más del 40% de S, se absorbe después de la floración.

Característica principal en este elemento es que su absorción, en todas las edades de la planta fue mayor con la aplicación de 198 kg.ha⁻¹ de N y estadísticamente diferente al tratamiento 0 kg.ha⁻¹ de N. El mayor efecto se encontró a los

90 DDS, al observar que con aplicación de 198 kg.ha⁻¹ de N se logró extraer cerca de 9 kg.ha⁻¹ de S, valor similar al conseguido con 132 kg.ha⁻¹ de N; esté último igual al tratamiento con 66 kg.ha⁻¹ de N y diferente a 0 kg.ha⁻¹ de N.

Dinámica de requerimiento de nutrientes

Para comprender los requerimientos nutricionales del híbrido promisorio de maíz, en la Figura 8, se observa que los patrones de

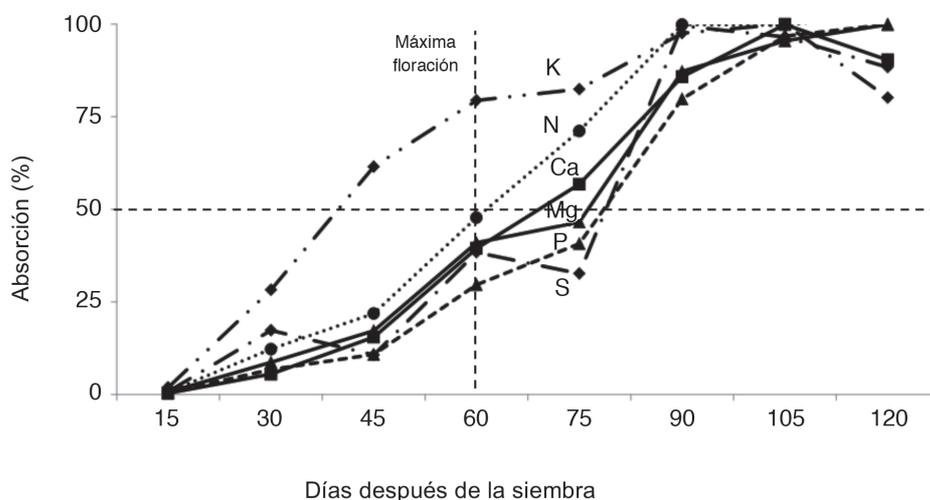


Fig. 8. Acumulación de MS, N, P, K, Ca, Mg y S, en la parte aérea de plantas de un híbrido promisorio de maíz con fertilización de 198 kg.ha⁻¹ de N, Patricia Pilar - Los Ríos, Ecuador. 2015.

necesidades son diferentes según el elemento. El K tuvo un comportamiento diferente al resto de elementos, al encontrar que aproximadamente el 80% del total, es absorbido rápidamente en los primeros 60 DDS (período vegetativo), hecho que concuerda con lo enunciado por Coelho (2008), que indica que en el período vegetativo del maíz, la absorción del K alcanza el 92% del total.

El N es absorbido cerca del 50% del total hasta la floración y se diferencia de la absorción del K, por presentar 2 etapas: la primera desde la siembra hasta los 45 DDS, destinada para la formación de la parte aérea y una segunda desde los 45 DDS hasta los 90 DDS, para la formación de la mazorca y llenado de grano. Este efecto también fue observado por Coelho (2008), quien describió las 2 etapas de absorción, que alcanzaron el 77% del total de N hasta los 75 DDS, edad en que sucedió la floración en los materiales evaluados. Contrario a esto Fallas *et al.* (2011), en el híbrido de maíz HC-57 registró el 80% del N total absorbido, en 3 épocas de absorción que llegó hasta los 60 DDS.

Seguidamente, se encontró un grupo de elementos formados por el Ca, Mg y S, cuya absorción tiene relación directa con la acumulación de

MS, que alcanzó un porcentaje cercano al 40% de la absorción total hasta la floración (60 DDS). Similar porcentaje de acumulación de MS (45%), fue reportado por Coelho (2008) hasta la floración. Por otra parte, Fallas *et al.* (2011) observaron absorciones de 43% de Ca y 40% de Mg; en tanto que, para S la absorción fue de 48%, mayor a la encontrada en este trabajo.

La extracción de P por el híbrido, fue menor que los restantes elementos durante la fase vegetativa (30% del total). Se observó que el mayor porcentaje de absorción sucedió en la época de formación de mazorca y llenado de grano. Esta tendencia difiere con lo reportado por Coelho (2008) y Fallas *et al.* (2011), cuyas extracciones de P, hasta la floración fueron de 62% y 44%, respectivamente.

Eficiencia de uso del nitrógeno

Esta variable que determina la relación entre la cantidad de nitrógeno absorbido del fertilizante, por cada kg de nutriente aplicado, indicó que para la dosis de 132 kg.ha⁻¹ de N, se obtuvo un valor de 0,5 kg.kg⁻¹ (mayor eficiencia de fertilización) y con dosis de 66

kg.ha⁻¹ de N y 198 kg.ha⁻¹ de N y se redujo esa eficiencia a 0,2 kg.kg⁻¹ y 0,3 kg.kg⁻¹, respectivamente (Cuadro 2). En el primer caso por no satisfacer la demanda del cultivo y en

el segundo como indicativo de menor aprovechamiento del elemento, debido a factores como volatilización, lixiviación y nitrificación (Uhart y Echeverría, s.f.).

Cuadro 2. Eficiencia de uso de N, e incremento en la absorción de P, K, Ca, Mg y S, en híbrido promisorio de maíz, afectado por dosis crecientes de N, Patricia Pilar - Los Ríos, Ecuador. 2015.

Dosis de N kg.ha ⁻¹	ERN* kg.kg ⁻¹	Incremento en absorción				
		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
66	0,2	7,7	1,1	2,4	-0,2	1,0
132	0,5	26,7	31,5	20,4	18,4	2,0
198	0,3	39,1	35,8	13,0	17,2	3,0

*, Eficiencia de recuperación de nitrógeno (kg de N absorbido/kg de N aplicado).

El valor de 0,5 kg.kg⁻¹, está acorde al rango de 0,5 kg.kg⁻¹ a 0,7 kg.kg⁻¹ enunciado por Coelho (2008) para maíz sembrado en Brasil y de 0,4 kg.kg⁻¹ a 0,8 kg.kg⁻¹ indicado por Uhart y Echeverría (s.f.), quienes, además, indican que la eficiencia varía según el método de aplicación, tipo de fertilizante, dosis empleada y momento de aplicación.

Incremento en absorción de nutrientes

La aplicación de dosis crecientes de N como fertilizante en el cultivo de maíz, provocan incremento en el aprovechamiento de otros elementos, como se puede ver en el Cuadro 2, así para los elementos P₂O₅, K₂O y S, se presentan efectos sinérgicos hasta la dosis de 198 kg.ha⁻¹ de N; en tanto que, para los nutrientes CaO y MgO, responden hasta la dosis de 132 kg.ha⁻¹ de N, valores mayores tienden a disminuir la absorción al ser antagonica su acción, lo cual puede ser debido a un desbalance catiónico provocado por el nitrógeno en forma de NH₄⁺.

CONCLUSIÓN

El rendimiento alcanzado por el híbrido promisorio de maíz no superó al promedio de

la zona asignable a la caída de cenizas registrada en la época de floración, ya que la dosis de 132 kg.ha⁻¹ de N sí provocó incremento de la absorción y eficiencia de recuperación de este elemento y absorciones del P, K, Mg y S. Además, las extracciones de nutrientes se presentaron en el orden de K > N > Ca > Mg > S y fueron altas durante la etapa vegetativa y la del P fue superior en la etapa reproductiva.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la valiosa colaboración en este estudio a: la Universidad Tecnológica Equinoccial (UTE, sede Santo Domingo), la finca Santa Marianita, de la empresa Marejal S.A., Estacion Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y a la Universidad Técnica de Babahoyo, extensión Quevedo.

LITERATURA CITADA

Abou El-Hassan, WH; Hafez, EM; Ghareib, AAA; Freeg, MR; Seleiman, MF. 2014. Impact of nitrogen fertilization and irrigation on water utilization efficiency, N accumulation, growth and yields of *Zea*

- mays* L. Journal of Food Agriculture Environment 12(3-4):217-222.
- Anbariloche, ANB. 2011. Técnicos y científicos analizaron el impacto de las cenizas en el ambiente (en línea). Consultado 14 abr. 2016. Disponible en <http://www.anbariloche.com.ar/noticias/2011/06/23/22105-tecnicos-y-cientificos-analizaron-el-impacto-de-las-cenizas-en-el-ambiente>
- Barbieri, PA; Echeverría, HE; Saínz Rozas, HR; Andrade, FH. 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agronomy Journal* 100(4):1094-1100.
- Cámara de Agricultura II Zona. 2014. Fin a la importación de maíz en el Ecuador. *Revista Cámara de Agricultura II Zona*. p. 8-9.
- Carneiro, A; Telmo, J; Villalba, H; Oswin, E; Pivotto, BR; Santi, AL; Benítez, L; Asterio, E; Menefee, D; Kunz, J. 2013. Efficiency of nitrogen fertilizer applied at corn sowing in contrasting growing seasons in Paraguay. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo, Sociedade de Brasileira de Ciencia do Solo* 37(6):1641-1650.
- Castillo, F; Salinas, J. 2014. Correspondencia entre la evaluación química y biológica de la fertilidad actual de suelos de origen volcánico en la Provincia de Los Ríos y Esmeraldas. Tesis Lic. Ecuador, Universidad Nacional de Loja. 141 p.
- Ciampitti, IA; Boxler, M; García, FO. 2010. Nutrición de maíz: Requerimientos y absorción de nutrientes. *Informaciones Agronómicas* N°48 (en línea). Consultado 14 abr. 2016. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/2EB470FD702C566D85257984005754F1/\\$FILE/14.pdf](http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/2EB470FD702C566D85257984005754F1/$FILE/14.pdf)
- Coelho, AM. 2008. Nutrição e adubação do milho. In Cruz, JC; Karam, D; Monteiro, MAR; PC. Magalhaes, PC (eds.). *A cultura do milho. Sete Lagoas, MG, Brasil. EMBRAPA Milho e Sorgo*. p.131-157.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L.; Tablada M; Robledo, CW. 2011. Infostat. Grupo InfoStat, FCA (programa informático). Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba.
- Dobermann, A; Fairhurst, T. 2012. Arroz: desórdenes nutricionales y manejo de nutrientes (2 ed). Los Baños, Philippines: IPNI-IRRI. p.174-180.
- Duarte, AP; Kiehl, KC; Camargo, MAF; Reco, PC. 2003. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originarias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* 2(3):1-20.
- Fageria, NK; Baligar, VC. 2001. Lowland rice response to nitrogen fertilization. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32 (9-10):1405-1429.
- Fallas, R; Bertsch, F; Echandi, C; Henríquez, C. 2011. Caracterización del desarrollo y absorción de nutrimentos del Híbrido de maíz HC-57. *Agronomía Costarricense* 35(2):33-47.
- Henríquez, C; Bertsch, F; Salas, R. 1998. La fertilidad de suelos: Manual de laboratorio. San José, CR. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 64 p.
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Ecuador). 2015. Anuario Meteorológico N° 52, 2012. Quito, Ecuador. 143 p.
- INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador). 2014. Informe Técnico Anual 2014, Programa de Maíz, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Mocache, Los Ríos, Ecuador. p. 4-8.
- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Ecuador). 2013. Maíz duro seco, Boletín situacional 2013 (en línea). Quito, Ecuador. 5 p. Consultado 22 jul. 2015. Disponible en <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/maizduro.pdf>
- Mejía, LV. 1997. Mapa general de clasificación por capacidad – fertilidad, Suelos del Ecuador, Reconocimiento general de los suelos del Ecuador en base a su capacidad – fertilidad. Ed. Instituto Geográfico Militar (IGM), Quito, Ecuador. 57 p.
- Torres, M. 2014. Fertilización Nitrogenada del Cultivo de Maíz (en línea). Consultado 5 may. 2016. Disponible en <http://www.fertilizando.com/articulos/Fertilizacion%20Nitrogenada%20del%20Cultivo%20de%20Maiz.asp>
- Uhart, SA; Echeverría, HE. s. f. El rol del nitrógeno y del fósforo en la producción del maíz. (en línea). Consultado 5 may. 2016. Disponible en http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDAS/dh_0032/0901b8038003272b.pdf?filepath=ar/pdfs/noreg/013-53003.pdf&fromPage=GetDoc

