



Respuesta del maíz, variedad INIAP 180, a la fertilización nitrogenada en Ambuela, Pichincha, Ecuador

Corn answer, iniap 180 variety, to nitrogen fertilization in ambuela, pichincha, ecuador

Belinda L. Marcillo¹
blmarcillo@espe.edu.ec

José L. Pantoja²

Emilio R. Basantes¹

Alexandra E. Montalvo³

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas Sangolquí, Ecuador

² Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación – SENESCYT; Ecuador
Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca – MAGAP, Dirección Agropecuaria de Pichincha,
Programa de Innovación Agropecuaria, Quito – Ecuador.

Artículo recibido en junio de 2016, arbitrado en julio de 2016 y publicado en enero de 2017

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta del maíz, variedad INIAP 180, a la FN y la dosis óptima de N (DON). Se desarrolló en Ambuela, Perucho, Quito. Además se evaluó la población, altura de planta, número de hojas, y el contenido foliar de nutrientes (parcelas con 0, 150, y 250 kg N ha⁻¹). En la cosecha se recolectó muestras de suelo (parcelas con 0, 150, y 250 kg N ha⁻¹) para evaluar sus propiedades químicas. La cosecha esta se hizo de forma manual, la producción de grano, reportó al 13% de humedad, y la respuesta a la FN, evaluó con el programa SAS9.3. También se recolectó las plantas del centro (3.2 m²) de cada parcela para evaluar la producción de biomasa (rastreo). La FK no afectó las variables agronómicas ($P > 0.10$); pero la FN disminuyó la población ($P = 0.03$), aumentó la altura de planta y el número de hojas ($P < 0.01$), y el contenido de N en el follaje ($P = 0.03$). La FN aumentó la acidez del suelo por la liberación de H⁺ durante la nitrificación de la urea. La producción promedio de grano fue de 0.72 t ha⁻¹, y de biomasa de 2.58 t ha⁻¹. La FK no aumentó la producción de grano o biomasa ($P = 0.85$ y 0.75 , respectivamente). Sin embargo, hubo respuesta a la FN ($P < 0.01$) de tipo cuadrática platea para el grano ($P < 0.01$) y la biomasa ($P = 0.06$). La DON para el grano fue de 205 kg N ha⁻¹, y para la biomasa de 95 kg N ha⁻¹. La producción de grano y biomasa con la DON fueron de 1.00 y 3.00 t ha⁻¹, respectivamente. La FN aumentó el crecimiento del maíz, lo que resultó en mayor número de hojas y mayor contenido de N en el follaje. El crecimiento pudo generar competencia y una disminución en la población. La producción de maíz fue baja; sin embargo, la FN aumentó la producción, mientras la FK no afectó la producción ni la respuesta a la FN.

Palabras clave: Fertilización nitrogenada; Dosis óptima; Contenido de N

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the response of maize, variety INIAP 180, to FN and the optimal dose of N (DON). It was developed in Ambuela, Perucho, Quito. In addition, the population, plant height, number of leaves, and foliar content of nutrients (plots with 0, 150, and 250 kg N ha⁻¹) were evaluated. In the harvest, soil samples (plots with 0, 150, and 250 kg N ha⁻¹) were collected to evaluate their chemical properties. The harvest was done manually, the grain production, reported at 13% humidity, and the response to the FN, evaluated with the SAS9.3 program. The plants of the center (3.2 m²) of each plot were also collected to evaluate the biomass production (stubble). The FK did not affect the agronomic variables ($P > 0.10$); but the NF decreased the population ($P = 0.03$), increased the height of the plant and the number of leaves ($P < 0.01$), and the content of N in the foliage ($P = 0.03$). The NF increased the acidity of the soil by the release of H⁺ during the nitrification of urea. The average grain production was 0.72 t ha⁻¹, and of biomass of 2.58 t ha⁻¹. FK did not increase grain or biomass production ($P = 0.85$ and 0.75 , respectively). However, there was a response to the FN ($P < 0.01$) of the quadratic plate type for the grain ($P < 0.01$) and the biomass ($P = 0.06$). The DON for the grain was 205 kg N ha⁻¹, and for the biomass 95 kg N ha⁻¹. The production of grain and biomass with the DON was 1.00 and 3.00 t ha⁻¹, respectively. FN increased corn growth, which resulted in more leaves and higher N content in the foliage. The growth could generate competition and a decrease in the population. Corn production was low; however, the FN increased production, while the FK did not affect production or the response to the FN

Key words: Nitrogen fertilization; optimal dose; N content

INTRODUCCIÓN

Según el INEC (2010), el consumo per cápita de maíz en Ecuador es de 83 kg, y este constituye una de las principales fuentes de alimento e ingresos económicos para los agricultores. En un buen año la producción puede llegar 900000 t con un área cosechada de 300000 ha (INEC, 2011b). La mayor producción se da en la región Costa (85%), en especial de maíz duro; mientras la Sierra y el Oriente producen el resto (14 y 1%, respectivamente), es especial de maíz suave (INEC, 2011a).

La producción nacional por área varía año a año con producciones de 2.37 a de 2.82 t ha⁻¹ (INEC, 2011a). Esta producción es baja si se compara con la producción de Perú, donde se reportan producciones de hasta 8.00 t ha⁻¹ (Vicente, 2013), y Colombia, donde se reportan producciones promedio de 3.90 t ha⁻¹ (Grande y Orozco, 2013). Por ello, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), con el apoyo de instituciones públicas como el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), realiza actividades para aumentar la producción a nivel nacional (El Mercurio, 2014). La producción de maíz es variable en Ecuador dependiendo de la región, variedad utilizada, densidad de siembra, manejo, y fertilización. El trabajo que realiza el MAGAP se ha enfocado en ayudar a los pequeños agricultores. Esto ocasionó que en el 2012 y 2013 la producción nacional supere las 1000000 t año⁻¹, con una producción de hasta 3.23 t ha⁻¹ (INEC, 2013). Sin embargo, aún no se alcanzan los niveles de producción deseados.

Una de las razones para que la producción no alcance los niveles esperados es que los productores, en especial los pequeños agricultores, no realizan un uso apropiado de los fertilizantes. Según INPOFOS (s.f.), se necesita 22 kg N por cada t de grano producida; es decir, en Ecuador se debería aplicar 70 kg N ha⁻¹ para cubrir los rendimientos actuales. Sin embargo, esto es

insuficiente porque el maíz también requiere N para producir biomasa, y porque se producen pérdidas por lixiviación, inmovilización, desnitrificación, y volatilización de N durante el ciclo del cultivo (Eivazi y Habibi, 2013).

Según Roberts (2008), la eficiencia en la absorción de N en cereales es de 20 a 65%. Es decir, en Ecuador se debería aplicar 105 a 350 kg N ha⁻¹ para cubrir los requerimientos del maíz y las pérdidas de N. El INIAP recomienda aplicar 110 kg N ha⁻¹ (Moreno y Pintado, 2011), con lo que se estaría aplicando la dosis mínima requerida y asumiendo el porcentaje máximo de eficiencia en el uso del N. Esto no ocurre en áreas con alta pluviosidad por la lixiviación, o cuando la fertilización nitrogenada (FN) se hace al boleto o en banda, pero sin incorporar el fertilizante (Changoluisa y Benavides, 2013), lo que resulta en pérdidas por volatilización de N. Otro problema es que las aplicaciones de fertilizante se basan en recomendaciones generalizan para regiones amplias, sin considerar las diferencias climáticas y edáficas. Esto origina aplicaciones inferiores o superiores al requerimiento del maíz, generando baja producción y menores ingresos para el agricultor, o mayores costos de producción y potencial para la contaminación ambiental.

Por ello, es necesario desarrollar metodologías que permitan mejorar la producción actual de maíz, no solo hasta una producción alcanzable, sino hasta una producción potencial alta con el uso de nuevas tecnologías (Espinosa y García, 2010). Una de esas alternativas es aplicar N hasta obtener el máximo retorno económico a la FN (Sawyer et al., 2006), lo cual se determina mediante regresiones. Con esta metodología se evalúa la respuesta del cultivo a diferentes niveles de fertilización, e incluso se puede comparar la respuesta en diferentes situaciones, por ejemplo, con y sin fertilización potásica (FK)

Finalmente, la aplicación de la dosis óptima de N (DON) juega un rol importante en la rentabilidad del sistema productivo y en reducir la contaminación ambiental. Por ejemplo, el N residual de aplicaciones superiores a la DON produce cantidades considerables de NO₃-N y/o N₂O dependiendo de las condiciones físico-químicas del suelo, los cuales son fuentes contaminantes (Lambert y Driscoll, 2003). Según Sawyer y Randall (2008), hasta 55 kg N ha⁻¹ pueden salir de un campo de maíz y parar en las fuentes de agua. Por ello, se debe hacer estudios para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes, en especial aquellos que son fuentes de N, pues la aplicación excesiva de estos puede generar problemas ambientales serios.

En Ecuador existen dos problemas en relación a la fertilización de maíz: 1) las recomendaciones de fertilizante se basan en resultados de estudios que se han limitado a hacer un análisis de varianza (ANDEVA), lo cual no determina la respuesta del cultivo a la fertilización, y 2) el mal manejo de fertilizantes, en especial los que aportan N. Esto resulta en niveles de producción por debajo de lo esperado e ingresos bajos para los agricultores. La falta de capacitación del personal técnico, y la dificultad de acceso a información sobre el manejo y fertilización del cultivo para los agricultores contribuyen a esta problemática.

La investigación se planteó evaluar la respuesta del maíz, variedad INIAP 180, a la FN e identificar la DON.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

Este estudio se ejecutó entre Febrero y Agosto de 2014 en la comunidad de Ambuela, parroquia Perucho, cantón Quito, provincia de Pichincha, Ecuador (Latitud: 0°06'44"N; Longitud: 78°24'19"O). Esta comunidad se localiza entre los 2200 y 2500 m.s.n.m, se caracteriza por tener un clima templado seco,

con una temperatura media de 18 oC y una precipitación anual de 600 mm. El periodo de lluvias ocurre entre Octubre y Marzo.

Manejo del cultivo

Se utilizó la variedad de maíz INIAP 180, al ser esta una de las variedades que más se producen en la comunidad de Ambuela. El maíz se sembró en un terreno que estuvo en barbecho antes del establecimiento, con una presencia mínima de hierba o malezas. El suelo fue preparado con dos pases de arado y uno de rastra. Los surcos fueron espaciados 0.80 m, la siembra se realizó de forma manual con espeque el 19 de Febrero de 2014, a 0.04 m de profundidad, con dos semillas por postura y 0.40 m entre postura (62500 plantas ha⁻¹). El deshierbe y aporque se hizo de forma manual el 24 de Abril de 2014, y la cosecha fue el 16 de Agosto de 2014. No se hicieron aplicaciones de plaguicidas.

Diseño experimental y aplicación de tratamientos

Se estableció con un diseño de parcelas divididas, en un arreglo de bloques completos al azar (DBCA) y con cuatro repeticiones. Cada parcela estaba formada por 4 surcos de 7 m cada uno, con un total de 48 parcelas. La parcela principal fue los dos niveles de FK (0 y 50 kg ha⁻¹) y la sub-parcela fue los seis niveles de FN (0 a 250 kg ha⁻¹, con incrementos de 50 kg). Se incluyó la FK como parte de este experimento porque se ha reportado que, cuando el suelo tiene la humedad apropiada, la FK durante la siembra estimula el crecimiento de la planta y el consecuente aumento en producción de biomasa (Kaiser et al., 2005). Se usó urea y muriato de K como fuentes de fertilización para los tratamientos, y también se hizo una aplicación de 20 kg P ha⁻¹ con roca fosfórica a toda el área de experimentación para evitar deficiencias de P. El 100% del K y el P fueron aplicados durante la siembra, mientras que el

50% del N se aplicó en la siembra, y el 50% restante en el aporque.

Muestreo de suelos

El suelo fue muestreado antes de establecer el proyecto para conocer sus condiciones nutricionales. Al final del ciclo se hizo otro muestreo en las parcelas que recibieron 0, 150, y 250 kg N ha⁻¹ para evaluar los efectos de la fertilización en las propiedades químicas del suelo. Todos los muestreos se realizaron a 0.20 m de profundidad. Para el muestreo inicial se recolectaron 15 sub-muestras, de forma aleatoria, de toda el área experimental. Para el muestreo final se recolectaron 4 sub-muestras de cada parcela, 2 en el surco de siembra, y 2 en el espacio entre surcos. Estas sub-muestras se mezclaron para obtener una muestra homogénea, y una sub-muestra de dicha muestra se envió a AGROCALIDAD para análisis. El pH se midió con el potenciómetro utilizando una relación 1:1 suelo:agua. La materia orgánica y el N se evaluaron mediante titulación con el método volumétrico. El P fue evaluado mediante colorimetría. El K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, y Zn fueron extraídos mediante el método de Olsen modificado, y analizados con el equipo de Absorción Atómica (Carrera, 2008). En la muestra inicial de suelo también se evaluó la textura utilizando el método del hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962).

Variables evaluadas

Las variables evaluadas incluyeron variables agronómicas como: número de plantas (población), número de hojas, y la altura de planta. También se evaluó el contenido de nutrientes en el follaje en las parcelas que recibieron 0, 150, y 250 kg N ha⁻¹. Estas evaluaciones se realizaron siguiendo la metodología de Warrington y Norton (1991). Durante la evaluación las plantas estaban en los estadios V 8 - V12, y la variabilidad en crecimiento se debió a la respuesta del maíz a la FN. Para el análisis del

contenido de nutrientes en el follaje se recolectó de forma aleatoria 10 hojas de cada parcela, las cuales correspondieron a la primera hoja completamente desarrollada a partir del ápice de la planta, y la muestra fue enviada para análisis a los laboratorios del INIAP.

Al finalizar el ciclo del cultivo se evaluó la producción de grano y biomasa (rastrajo) de maíz. Se evaluó la biomasa porque esta constituye una fuente de ingreso para los agricultores, quienes suelen comercializar el rastrajo de maíz en la época seca para alimentar ganado y suplir la carencia de pastos. Para ello se recolectó de forma manual todas las plantas del área central (3.2 m²) de cada parcela, se separó el grano del resto de componentes de la planta (hojas, tallos, tuzas).

El grano se secó a temperatura ambiente hasta alcanzar una humedad promedio de 13%. El peso del grano obtenido en este muestreo se corrigió para obtener la producción en t ha⁻¹. La biomasa se fraccionó en trozos de 0.05 - 0.10 m y se pesó en fresco; luego una sub-muestra fue secada a temperatura ambiente para determinar el contenido de humedad y la producción de materia seca (t ha⁻¹).

Análisis estadístico

En este proyecto se realizaron ANDEVA para determinar diferencias estadísticas en las variables evaluadas en las muestras de suelo al final del ciclo, las variables agronómicas durante el crecimiento del cultivo, y la producción de grano y biomasa. Para los ANDEVA se utilizó el procedimiento PROC MIXED del programa estadístico SAS 9.3 (SAS Institute, 2009). Las diferencias entre los tratamientos fueron consideradas significativas con un $P \leq 0.10$, según el procedimiento "Fisher Protected Least Significant Difference (FLSD)", y fueron determinadas con la opción DIFF en PROC MIXED. Para ello, la FK y FN fueron considerados como factores fijos, mientras

que los bloques fueron considerados aleatorios.

Para investigar si esa respuesta de la producción de grano y biomasa a la FN era lineal, cuadrática, lineal platea, cuadrática platea, o si no había respuesta la respuesta, se utilizó los procedimientos PROG REG o PROC NLIN de SAS9.3. Los modelos fueron considerados significativos cuando $P \leq 0.10$, y

si varios modelos eran significativos, el modelo con el R2 más alto fue seleccionado.

En virtud de que la mayoría de cultivos presentan una respuesta cuadrática o cuadrática platea (Cerrato y Blackmer, 1990), se utilizó la Eq. 1 para evaluar el modelo cuadrático, y las Eqs. 2 y 3 para evaluar el modelo cuadrático platea.

44

$$y = a + bx + cx^2 \quad [1]$$

$$y = a + bx + cx^2 \text{ if } x < x_0 \quad [2]$$

$$y = a + bx_0 + cx^2 \text{ if } x \geq x_0 \quad [3]$$

En estos modelos, y representa la respuesta de la producción de grano o biomasa ($t \text{ ha}^{-1}$) a la FN, x la dosis de fertilización (kg N ha^{-1}), y a (intercepto), b (coeficiente lineal), c (coeficiente cuadrático), y x_0 (dosis de fertilizante de N en el punto de unión) son constantes de los modelos. La DON y la producción con la DON fueron calculadas utilizando la metodología propuesta por Cerrato y Blackmer (1990). Para la producción de grano se resuelve para x utilizando una relación de $0.0012 \text{ \$ kg}^{-1} \text{ N a \$ t}^{-1}$ entre el precio del fertilizante y el precio del grano, respectivamente. Para ello se utilizó un precio de $\text{\$ 35}$ por cada saco de 50 kg de urea, $\text{\$ 15.90}$ por cada quintal de grano de maíz producido, y una producción promedio de 3.50 t ha^{-1} (77 quintales) (MAGAP, 2014). Para la producción de biomasa la relación fue de $0.0038 \text{ \$ kg}^{-1} \text{ N a \$ t}^{-1}$, con un precio de $\text{\$ 80}$ por cada t de biomasa producida (materia seca), y una producción promedio de 5.00 t ha^{-1} .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de suelo

El análisis inicial de suelo indicó que el sitio de experimentación tiene una textura franco arenosa, la cual puede ser propensa a la lixiviación de nutrientes (Gehl, et al., 2006) (ver tabla 1). El contenido de materia orgánica y de N estuvieron por debajo de los niveles deseados, y se presentó un pH ligeramente alto para la producción de maíz, pues se considera que el pH óptimo para la producción de maíz es de 6.0 a 6.5 (Lerner y Dana, 1998). A pesar de las condiciones un poco desfavorables, varios agricultores de Ambuela producen maíz cada año. En lo que se refiere al contenido de nutrientes minerales, estos se encontraron en los rangos óptimos y altos para el P, K, Ca, Mg, y Fe; y ligeramente bajos para el Cu, Mn, y Zn. Esto puede implicar que la aplicación de P y K no es necesaria para la producción de maíz en estos suelos, siempre y cuando se provea suficiente N y se mantenga el pH en los rangos óptimos para la producción de maíz.

Tabla 1. Análisis de suelo previo al establecimiento del cultivo de maíz. Ambuela, Perucho, Quito, Pichincha, Ecuador. 2014.

Parámetro	Resultado
pH	7.1
	0
Materia orgánica (%)	1.4
	7
N (%)	0.0
	7
K (cmol kg ⁻¹)	0.8
	2
Ca (cmol kg ⁻¹)	8.3
	3
Mg (cmol kg ⁻¹)	2.1
	5
P (mg kg ⁻¹)	84.80
Fe (mg kg ⁻¹)	66.80
Mn (mg kg ⁻¹)	2.8
	4
Cu (mg kg ⁻¹)	3.4
	2
Zn (mg kg ⁻¹)	1.6
	0
Textura	Franco arenosa

El análisis final del suelo no mostró un efecto de la FK sobre sus propiedades químicas ($P > 0.10$). Sin embargo, la FN disminuyó el pH y aumentó la disponibilidad del Cu (Tabla 2). Estos resultados eran esperados, pues la nitrificación del N proveniente del NH⁺ de la urea genera acidez debido a la liberación de iones H⁺ (Chien et al., 2008); mientras que un pH ácido hace que micronutrientes como el Cu sean más disponibles (Fernández y Hoefl, 2009). No hubo efecto de la FN en el resto de

propiedades del suelo, lo que implica que la aplicación de urea no afecta la disponibilidad de los demás nutrientes en el corto plazo y en un suelo franco arenoso como el de Ambuela. Sin embargo, los muestreos periódicos de suelo y en el largo plazo son necesarios para corroborar o refutar estos resultados.

Tabla 2. Análisis de suelo luego de la cosecha del cultivo de maíz como resultado de la fertilización nitrogenada Ambuela, Perucho, Quito, Pichincha, Ecuador (2014).

Dosis de N	pH	M.O.	N	K	Ca	Mg	P	Fe	Mn	Cu
kg ha ⁻¹		--- % ---		--- cmol kg ⁻¹ ---		---- mg kg ⁻¹ --- ----				
0	6.98a [†]	1.58a	0.080 a	0.581 a	7.45 a	1.44 a	74 a	139 a	8.48 a	6.43 b
150	6.78b	1.59a	0.084 a	0.471 a	7.51 a	1.45 a	76 a	139 a	8.60 a	7.48 a
250	6.64b	1.73a	0.085 a	0.553 a	8.01 a	1.59 a	77 a	138 a	8.13 a	8.03 a

[†] Valores con la misma letra y en la misma columna no son diferentes ($P \leq 0.10$).

Al parecer, los niveles altos de K en el suelo al momento de la siembra limitaron la respuesta del maíz a la FK ($P > 0.10$) en relación a las variables agronómicas evaluadas (Tabla 3). Estos resultados coinciden con la respuesta encontrada por Mallarino et al. (2009), quienes indican que la FK no es efectiva si el suelo no es deficiente en el contenido de K. En Ecuador, sin embargo, se ha encontrado que la omisión de K en la fertilización y la continua aplicación de N, puede desbalancear la concentración de K en el suelo por la remoción de K por parte del cultivo (Carrillo et al., 2010). Esto podría resultar en disminución del crecimiento y producción de maíz, por lo que se deben hacer evaluaciones periódicas de este nutriente en el suelo, y aplicar fertilizante cuando la concentración desciende por debajo de los niveles óptimos.

La FN, a diferencia de la FK, si tuvo efecto en las variables agronómicas evaluadas (Tabla 3). Con FN las plantas tuvieron mayor crecimiento (mayor altura y mayor número de hojas), pero hubo una disminución en la

población. Los datos poblacionales difieren de lo encontrado por Blumenthal et al. (2003) y Valadabadi y Farahani (2010), quienes indican que al aumentar la FN no disminuye la población de maíz, incluso cuando se siembran altas densidades (80000 a 90000 plantas ha⁻¹). Este contraste puede deberse a diferencias en los variedades de maíz. Nafziger (2009) menciona que algunas variedades se adaptan a altas densidades de siembra sin disminuir su desarrollo fisiológico y producción, en especial las que se han desarrollado genéticamente. Sin embargo, en Ecuador aún se utilizan variedades que no han sido genéticamente modificadas, y estas si pueden sufrir cambios poblacionales por competencia ante el exceso o deficiencia de un nutriente. Factores climáticos (i.e., un verano prolongado) también afectan la competencia del cultivo.

Tabla 3. Variables agronómicas en el cultivo de maíz como resultado de la fertilización nitrogenada y potásica. Ambuela, Perucho, Quito, Pichincha, Ecuador. 2014.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Número de plantas [†]	Número de hojas [‡]	Altura de planta (m) [§]
0	47700a [*]	9.7c	0.91d
50	46100ab	11.7b	1.35c
100	46600ab	12.7a	1.57b
150	40900bc	12.8a	1.62ab
200	38900c	12.6a	1.63ab
250	37800c	13.2a	1.76a
Promedio	4300	12.1	1.47
0			
----- Probabilidad (<i>P</i> > <i>F</i>) -----			
Fertilización potásica (K)	0.98	0.23	0.35
Fertilización nitrogenada (N)	0.03	< 0.01	< 0.01
K × N	0.22	0.22	0.14

[†] Se contó el número de plantas en 5 m de los dos surcos centrales.

[‡] Se contó el número de hojas de 10 plantas, de forma aleatoria, del centro de cada parcela.

[§] Se midió la altura de 10 plantas, de forma aleatoria, del centro de cada parcela.

^{*} Valores con la misma letra en la misma columna no son diferentes (*P* ≤ 0.10)

Contenido de nutrientes en el follaje

El análisis foliar no mostró un efecto de la FK en el contenido de nutrientes en las hojas (*P* > 0.10), pero si mostró un efecto de la FN en el contenido de N (*P* = 0.03) y Ca (*P* = 0.09) (ver tabla 4). Como se esperaba, la FN aumentó el contenido de N, probablemente por la acumulación de clorofila con la FN (Coulter y Nafziger, 2008). Sin embargo, el Ca no mostró una tendencia clara, pues hubo más

absorción de este nutriente con 0 y 250 kg N ha⁻¹, y menor absorción cuando se aplicó 150 kg N ha⁻¹. En todos estos casos, la concentración de Ca en el follaje estuvo dentro de los rangos óptimos (García, s.f.), lo que indica que la disponibilidad de Ca en el suelo era suficiente para suplir las necesidades del cultivo, y que las diferencias pueden deberse a interacciones entre el cultivo y la FN, o entre el cultivo y el clima.

Tabla 4. Análisis foliar del cultivo de maíz como resultado de la fertilización nitrogenada. Ambuela, Perucho, Quito, Pichincha, Ecuador. 2014.

Dosis de N	N	P	K	Ca	Mg
kg ha ⁻¹	----- % -----				
0	2.84b [†]	0.418 a	2.85a	0.579ab	0.25 8a
150	3.21ab	0.414 a	2.80a	0.526b	0.27 3a
250	3.50a	0.434 a	2.76a	0.613a	0.27 6a

[†] Valores con la misma letra y en la misma columna no son diferentes ($P \leq 0.10$).

Producción de grano

En este proyecto, la producción promedio de grano de maíz fue de 0.72 t ha⁻¹, lo cual es bajo si se compara con la producción promedio de 3.50 t ha⁻¹ que se espera conseguir en Ecuador (MAGAP, 2014). Uno de los factores que pudo afectar el nivel producción es el periodo prolongado de verano (datos climáticos no presentados) que se tuvo en la región durante los meses de Mayo a Agosto (etapa de maduración y llenado de grano), sobre todo porque el maíz se estableció en un sitio sin acceso a riego.

No hubo un efecto de la FK en la producción de grano ($P = 0.85$), ni una interacción de la FK con la FN ($P = 0.14$) (Tabla 5). La concentración de K en el suelo estaba en los niveles altos (> 0.40 cmol kg⁻¹) durante la siembra, y esto puede haber limitado una respuesta del maíz a la FK. Sin embargo, es recomendable hacer un análisis periódico del suelo para evaluar los niveles de este nutriente para mantener el equilibrio fisiológico de nutrientes para el crecimiento del maíz, y hacer aplicaciones cuando los niveles descienden por debajo de los niveles óptimos (< 0.20 cmol kg⁻¹) (Carrillo et al., 2010).

Tabla 5. Análisis de varianza (ANDEVA) para evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada y potásica en la producción de grano y biomasa (rastrajo) de maíz. Ambuela, Perucho, Quito, Pichincha, Ecuador. 2014.

Tratamiento	Probabilidad ($P > F$)	
	Producción de grano	Producción de biomasa
Fertilización potásica (K)	0.85	0.75
Fertilización nitrogenada (N)	< 0.01	< 0.01
K × N	0.14	0.80

[†] Para evaluar la producción de biomasa se recolectaron todas las plantas de los 3.2 m² centrales de cada parcela.

La producción de grano mostró una respuesta de tipo cuadrática platea ($P < 0.01$) a la FN ($P < 0.01$) (ver figura 1). Esta respuesta ha sido reportada por otros investigadores (Barker y Sawyer, 2012;

Coulter y Nafziger, 2008). En Ecuador no hay reportes que indiquen este tipo de respuesta del maíz a la FN, porque la mayoría de estudios realizados se han dirigido a comparar variedades, densidades de siembra,

y fuentes de fertilización (Changoluisa y Benavides, 2013; Rodríguez y Valdiviezo, 2013; Segura et al., 2011). Cuando se han evaluado recomendaciones de fertilización, la mayoría de estudios terminan en un ANDEVA para comparar las recomendaciones de fertilización, fracciones de estas

recomendaciones, o utilizar metodologías como la del elemento faltante (Basantes y Barba, 2012; Vera y Reyes, 2011). Al hacer esto, no es posible encontrar la DON u otros nutrientes ni el nivel de producción que se puede alcanzar con esa dosis.

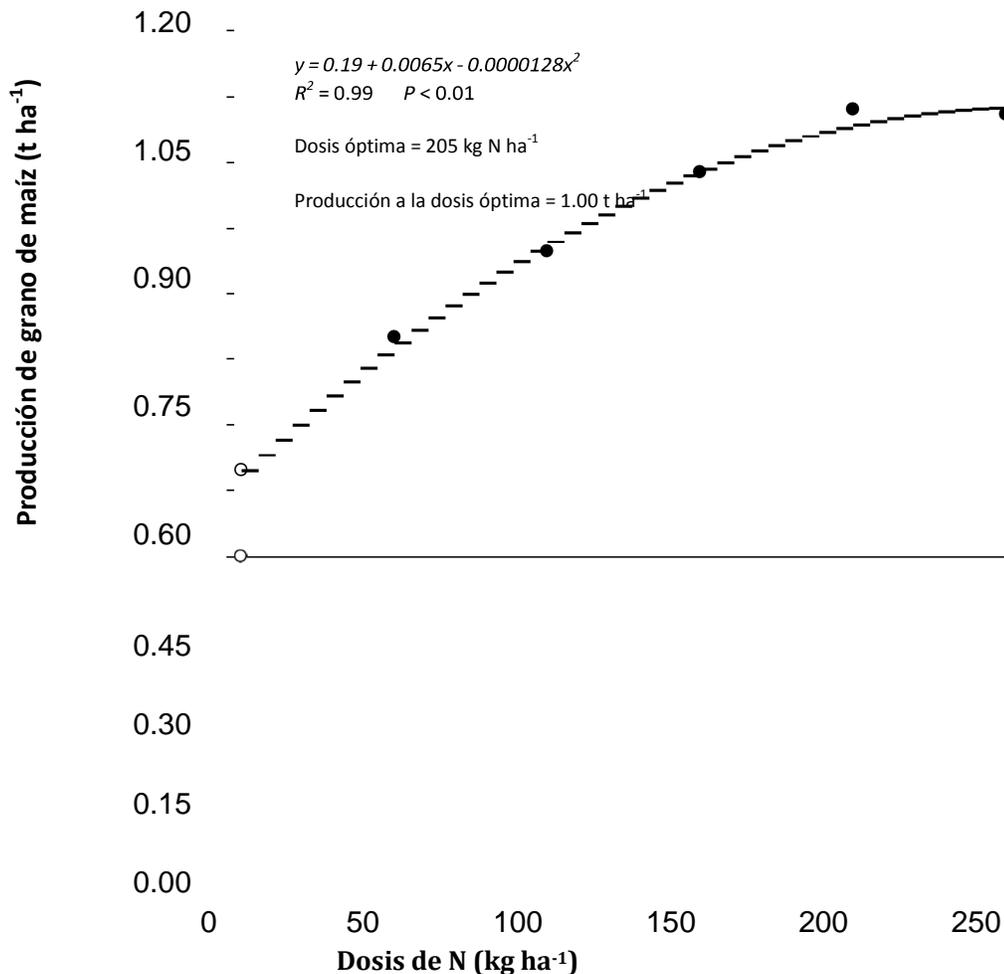


Figura 1. Respuesta de la producción de grano de maíz a la fertilización nitrogenada. La línea entrecortada indica la dosis óptima de N. Ambuela, Perucho, Quito, Pichincha, Ecuador. 2014.

La DON para la producción de grano fue de 205 kg N ha⁻¹, y la producción de grano con la DON fue de 1.00 t ha⁻¹ (Figura 1). Esta producción es baja si se compara con los promedios nacionales o internacionales. Según recomendaciones del INIAP –incluso cuando el agricultor no tiene acceso a los análisis del suelo– se debe aplicar 20 kg N ha⁻¹ a la siembra con el fertilizante 10-30-10, 45

kg N ha⁻¹ a la deshierba a los 30 d después de la siembra con urea, y una tercera aplicación de 45 kg N ha⁻¹ al aporque a los 60 d después de la siembra, también con urea (Moreno y Pintado, 2011). Es decir, se deben aplicar en total 110 kg N ha⁻¹. Si se sigue esta recomendación en zonas con las condiciones climáticas y edáficas de Ambuela, se estaría aplicando 95 kg N ha⁻¹ menos de lo que el

maíz necesita para alcanzar una producción óptima.

Producción de biomasa

La producción promedio de biomasa fue de 2.58 t ha⁻¹, lo cual es bajo si se compara con la producción que se alcanza en otras regiones como Norte-América (Sindelar, et. al., 2013). Al igual que para la producción de grano, no hubo un efecto de la FK en la producción de biomasa (P = 0.75), ni una interacción de la FK con la FN (P = 0.80)

(Tabla 5). La producción de biomasa también mostró una respuesta de tipo cuadrática platea (P = 0.06) a la FN (P < 0.01) (ver figura 2). La DON para la producción de biomasa fue de 95 kg N ha⁻¹, y la producción de biomasa con la DON fue de 3.00 t ha⁻¹. En Ecuador no hay reportes que muestren la respuesta a la FN de la producción de biomasa del maíz. Los resultados de este proyecto pueden ser importantes para los ganaderos, quienes usan el rastrojo de maíz para alimentar el ganado durante los periodos de escasos de pasto.

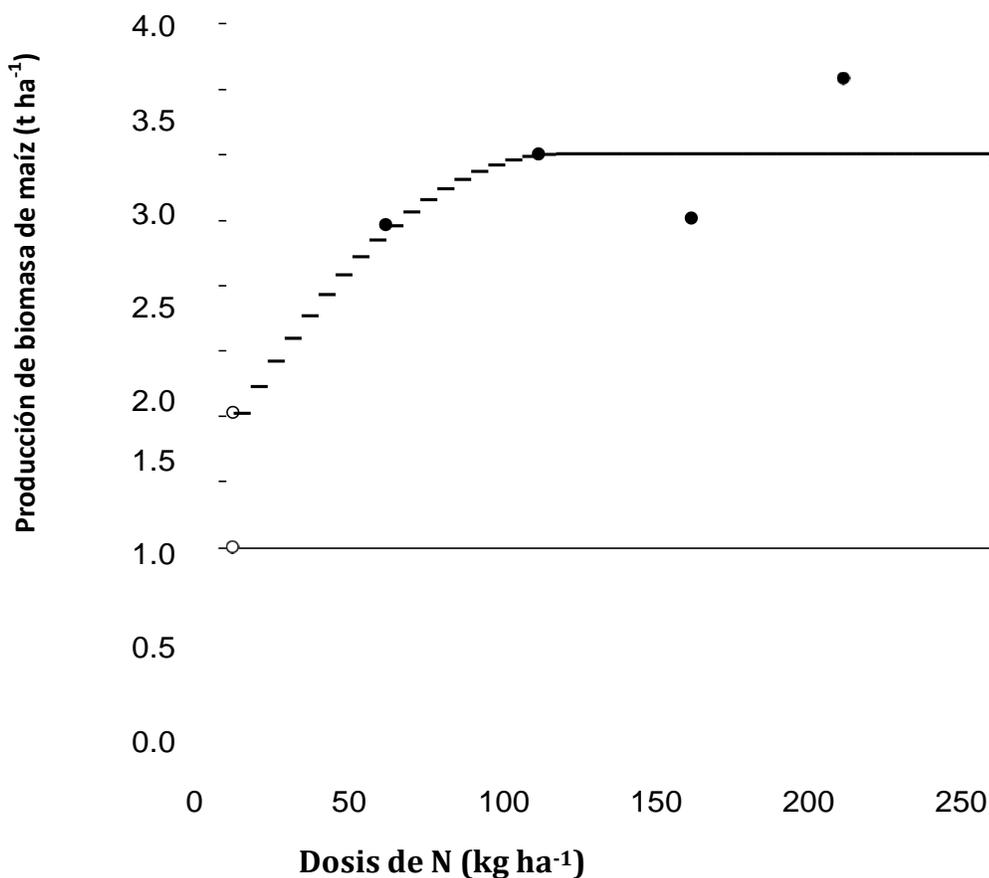


Figura 2. Respuesta de la producción de biomasa (rastrojo) de maíz a la fertilización nitrogenada. La línea entrecortada indica la dosis óptima de N. Ambuela, Perucho, Quito, Pichincha, Ecuador. 2014.

CONCLUSIONES

La producción de grano y biomasa de maíz fueron bajas en Ambuela. La FK no afectó las variables edáficas y agronómicas evaluadas, probablemente por los niveles altos de K en el suelo. Sin embargo, la FN acidificó el suelo y afectó el crecimiento y producción del cultivo. La FN aumentó el crecimiento del maíz, pero disminuyó la población, posiblemente por la competencia generada entre plantas. La FN aumentó el contenido de N en el follaje, lo que refleja una mayor acumulación de clorofila con la aplicación de N.

La producción de grano y biomasa de maíz mostraron una respuesta cuadrática platea a la FN. La DON para la producción de grano fue de 205 kg N ha⁻¹, es decir 95 kg N ha⁻¹ más alta que la dosis recomendada por el INIAP. Al parecer, en suelos franco arenosos como los de Ambuela, es necesario aplicar dosis altas de N para incrementar la producción. Este proyecto reflejó la necesidad de no generalizar las recomendaciones de fertilización para todos los sistemas productivos. Es recomendable hacer estudios por sitio específico para determinar la influencia del clima, el tipo de suelo, y el manejo del cultivo en la respuesta a la fertilización. También se recomienda hacer análisis del suelo de forma regular para identificar posibles desbalances que pueden afectar la producción de maíz, y hacer las aplicaciones de fertilizantes a tiempo. Los resultados sugieren que más estudios son necesarios para capacitar a los agricultores, mejorar el nivel de producción, y optimizar el uso de fertilizantes.

Agradecimientos

Este proyecto fue posible gracias al patrocinio del Proyecto PROMETEO de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación – SENESCYT, de la República del Ecuador. Se extiende este agradecimiento a la Asociación de Agricultores de Ambuela, cuyo apoyo fue fundamental para la ejecución de este trabajo. También se agradece al MAGAP por coordinar las actividades con los agricultores de la comunidad de Ambuela mediante su programa de Innovación Agropecuaria, el cual ejecuta la Dirección Agropecuaria de Pichincha. Finalmente, se agradece a la

Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, por su apoyo logístico en la ejecución de este proyecto.

REFERENCIAS

- Basantes, E.R., y Barba, R. (director). (2012). Efecto de la aplicación de dos niveles de nitrógeno y dos niveles de fósforo en el rendimiento del cultivo de maíz Var. Chillos, en un suelo Franco-arcillo limoso, sector de Sangolquí. Proyecto para el Diplomado Superior en Metodologías de la Investigación Científica. Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. Sangolquí, Ecuador. 77 p.
- Barker, D.W., y Sawyer. J. E. (2012). Using active canopy sensing to adjust nitrogen application rate in corn. *Agron. J.* 104:926–933.
- Blumenthal, J.M., Lyon, D. J., y Stroup, W. (2003). Optimal plant population and nitrogen fertility for dryland corn in western Nebraska. *Agron. J.* 95:878–883.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54:464–465.
- Carrera, G. (2008). Avances de los resultados de la estandarización metodológica en la red de laboratorios de análisis de suelos del Ecuador (RELASE). XI Congreso Ecuatoriano de las Ciencias del Suelo. 29 – 31 de Oct. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP. Depto. de Manejo de suelos, aguas, y plantas. Quito, Ecuador. 6 p.
- Carrillo, M.; Cedeño, J. Aldean, A. y Davila, S. (2010). Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de maíz, en Santo Domingo de los Colorados y Patricia Pilar. XII Congreso Ecuatoriano de las Ciencias del Suelo. 17–19 de Nov. Santo Domingo, Ecuador. 16 p.
- Cerrato, M. y Blackmer. A. (1990). Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agron. J.* 82:138–143.
- Coulter, J. y Nafzige, E. (2008). Continuous corn response to residue management and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 100:1774–1780
- Changoluisa, G. y Benavides, C. (director). (2013). Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) INIAP 111 al biofertilizante y fertilización nitrogenada, en la gran Laguacoto III,

- Cantón Guaranda, Provincia Bolívar. Tesis de grado en Ing. Agronómica. Univ. Estatal de Bolívar. Guaranda, Ecuador. 152 p
- Chien, S.; Gearhart, M., y Collamer D. (2008). Acidez generada por los fertilizantes nitrogenados: Nueva evaluación de los requerimientos de cal. *Informaciones Agronómicas* Nro. 41. International Plant Nutrition Institute – IPNI. 2 p.
- Eivazi, A., Habibi, F. (2013). Evaluation of nitrogen use efficiency in corn (*Zea mays* L.) varieties. *World Appl. Sci. J.* 21:63–68
- El Mercurio. (2014). MAGAP duplicará producción de maíz. Disponible en: <https://bit.ly/2Gn8qiy> (Consultado el 8 de Octubre de 2014). Cuenca, Ecuador
- Espinosa, J., y García. J. (2010). Herramientas para mejorar la eficiencia de uso de nutrientes en maíz. XII Congreso Ecuatoriano de las Ciencias del Suelo. 17–19 de Nov. Santo Domingo, Ecuador. 10 p.
- Fernández, F.G., y Hoeft, R. (2009). Managing soil pH and crop nutrients. pp. 91–112. In: *Illinois Agronomy Handbook*. 24th Ed. Univ. of Illinois Ext. Urban-Champaign, IL, USA.
- García, F. (s.f). Criterios para el manejo de la fertilización de cultivo de maíz. INPOFOS/PPI/PPIC. Cono Sur. Acassuso, Argentina. 21 p.
- Gehl, R.; Schmidt, J.; Godsey, C.; Maddux, L., y Gordon. W. (2006). Post-harvest soil nitrate in irrigated corn: Variability among eight field sites and multiple nitrogen rates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70:1922–1931.
- Grande, C., y Orozco, B. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. Aprovechamiento agroindustrial de subproductos del maíz. Guillermo de Ockham. 11:97–110.
- Instituto de la Potasa y el Fósforo – INPOFOS. (s.f.) Requerimientos nutricionales de los cultivos.
- Kaiser, D., Mallarino, A. y Bermúdez, M. (2005). Corn grain yield, early growth, and early nutrient uptake as affected by broadcast and in-furrow starter fertilization. *Agron. J.* 97:620–626.
- Lambert, K., y Driscoll, C. (2003). Nitrogen pollution: From the sources to the sea. Hubbard Brook Research Foundation. Science Links™. Publication 1(2).
- Lerner, B., y Dana, M. (1998). Growing sweet corn. *Vegetables*. HO-98-W. Purdue Univ. Cooperative Ext. Service. Dept. of Horticulture. West Lafayette, IN, USA. 3 p.
- Mallarino, A., Bergmann, N. y Kaiser, D. (2011). Corn responses to in-furrow phosphorus and potassium starter fertilizer applications. *Agron. J.* 103:685–694.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura, y Pesca – MAGAP. (2014). Precio mínimo de sustentación de maíz amarillo es de \$ 15.90 para el ciclo 2014. Disponible en: <http://www.agricultura.gob.ec/precio-minimo-de-sustentacion-de-maiz-amarillo-es-de-1590-para-el-ciclo-2014/>. (Consultado el 6 de Octubre de 2014). Quito, Ecuador
- Moreno, J. y Pintado, P. (2011). Guía para la producción de maíz en la Sierra Sur del Ecuador. Boletín No. 406. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP. Est. Exp. del Austro. Cuenca, Ecuador. 23 p.
- Nafziger, E. (2009). Corn. pp. 13–26. In: *Illinois Agronomy Handbook*. 24th Ed. Univ. of Illinois Ext. Urban-Champaign, IL, USA.
- Roberts, T.L. (2008). Improving nutrient use efficiency. *Turk. J. Agric. For.* 32:177–182
- Rodríguez, J., y Valdiviezo, E. (director) (2013). Comportamiento agronómico de cinco híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en estado de choclo cultivados a dos distancias de siembra. Tesis de grado en Ing. Agronómica. Univ. de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 91 p.
- SAS Institute. (2009). SAS System for Windows Release 9.3.1. SAS Inst., Cary, NC
- Segura, M. y Andrade, L. y A. Valarezo (director). 2011. Efecto de las condiciones agrometeorológicas sobre un cultivar criollo y dos híbridos de maíz en cuatro fechas de siembra. Tesis de grado en Ing. Agropecuaria. Univ. de las Fuerzas Armadas – ESPE. Santo Domingo, Ecuador. 188 p.
- Sawyer, J. y Randall, G. (2008). Nitrogen rates. p. 59–71. In: UMRSHNC (Upper Mississippi River Sub-basin Hypoxia Nutrient Committee). Final Report: Gulf Hypoxia

- and Local Water Quality Concerns Workshop. St. Joseph, Michigan: ASABE
- Sawyer, J.; Nafziger, E.; Randall, G.; Bundy, L.; Rehm, G., y Joern, B. (2006). Concepts and rationale for regional nitrogen rate guidelines for corn. PM 2015. Iowa State Univ. Ext. Serv., Ames. IA, USA. 28 p.
- Sindelar, A.; Lamb, J.; Sheaffer, C.; Rosen, C., y Jung, H. (2013). Fertilizer nitrogen rate effects on nutrient removal by corn stover and cobs. *Agron. J.* 105:437-445.
- Valadabadi, S. y Farahani, H. (2010). Effects of planting density and pattern on physiological growth indices in maize (*Zea mays* L.) under nitrogenous fertilizer application. *J. Agric. Ext. Rural Dev.* 2(3):40-47.
- Vera, E. y Reyes, S. (director). (2011). Fertilización química de híbrido de maíz INIAP H-602 con fuentes alternativas de nitrógeno. Tesis de grado en Ing. Agropecuaria. Univ. Laica Eloy **ALFA**ro. Manta, Ecuador. 65 p.
- Vicente, J. (2013). Estado situacional del cultivo de maíz y algodón en la región Arequipa. Arequipa, Perú. 24 p.
- Warrington, I. y Norton, R. (1991). An evaluation of plant growth and development under various daily quantum integrals. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 116:544-551