

FERTILIZACIÓN DEL HÍBRIDO EXPERIMENTAL DE MAÍZ INIAP H-603, CON BASE EN LA EFICIENCIA AGRONÓMICA DEL NITRÓGENO

FERTILIZATION OF EXPERIMENTAL MAIZE HYBRID INIAP H-603 BASED ON AGRONOMIC EFFICIENCY OF NITROGEN

Nelson Enrique Motato Alarcón^{1,2}, Joffre Daniel Pincay Menéndez¹, Mariana del Carmen Avellán Chancay²,
Mayra Katherine Falcones Vélez¹, Einsten Churchill Aveiga Villacis²

¹INIAP, Estación Experimental Portoviejo, km 12 vía a Santa Ana, Portoviejo, Manabí, Ecuador

²Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, vía a San Mateo s/n. Manta, Manabí, Ecuador

Contacto: motatoanelson@yahoo.com

RESUMEN

Durante la época seca del 2013, en los cantones Jipijapa, Bolívar y Santa Ana, Manabí, Ecuador, se condujeron experimentos para conocer el efecto de la fertilización con N y complementada con otros nutrientes deficientes en el suelo y determinar la dosis óptima del nitrógeno (DON) con base en el cálculo de la eficiencia agronómica (EA) del híbrido de maíz INIAP H-603. Se utilizaron 0-100-150-200 y 250 kg/N.ha⁻¹, con y sin la fertilización complementaria [dos aplicaciones de Biol y 50 kg.ha⁻¹ de Nutrimenores II (Zn 4%, Mn 2,5%, Cu 1%, B₂O₃ 1,5%, y S 5%)]. La productividad del maíz, fue evidentemente influenciada en términos positivos por la fertilización con N y en forma complementaria; los análisis de correlación mostraron que más del 99% del incremento de producción es causado por la fertilización con N. La superioridad en los rendimientos con los niveles más altos (200 y 250 kg/N.ha⁻¹) confirman que un material genéticamente mejorado requiere de una nutrición elevada para manifestar su potencial productivo; por ello, los análisis de estimación permiten establecer en 200 kg/N.ha⁻¹ la DON, tomando en consideración las EA encontradas.

Palabras clave: Respuesta, urea, biol, nutrimentos, abonamiento.

ABSTRACT

We carried out field experiments during the 2013 dry period, in Jipijapa, Bolívar and Santa Ana (Manabí-Ecuador) to find the effect of fertilization using N, supplemented with other nutrients deficient in the soil, for determining the optimum nitrogen dose (OND), based on agronomic efficiency calculations (AE), of the maize hybrid INIAP H-603. We used 0-100-150-200 y 250 kg/N.ha⁻¹, with and without supplementary fertilization [two applications of Biol fertilizer and 50 kg.ha⁻¹ of minor nutrients II (Zn 4%, Mn 2.5%, Cu 1%, B₂O₃ 1.5%, and S 5%)]. Maize yield was positively affected by fertilization with N and other nutrients. Correlation analysis showed that over 99% of the increase was caused by the fertilization with N. The increase in yield with the highest levels (200 and 250 kg/N.ha⁻¹) confirmed that a genetically-improved plant material requires high levels of nutrients to achieve its yield potential. For this reason, from the analysis of OND, we found that the optimum dose was 200 kg/N.ha⁻¹, after considering the existing AE.

Keywords: Response, urea, biol, minor nutrients, fertilizers.



Recibido: 17 de junio de 2016

Aceptado: 25 de noviembre de 2016

ESPAMCIENCIA 7(2): 109-116/2016

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz es de vital importancia para la seguridad alimentaria del Ecuador con una siembra alrededor de 283 726 ha en el Litoral ecuatoriano, de las que 72 606 corresponden a Manabí y se cosechan 58 797 ha con una producción de 129 266 Tm que arroja un rendimiento promedio de 2,20 Tm.ha⁻¹ (22 quintales ha⁻¹), según INEC (2012). Como toda actividad agrícola que persigue réditos económicos, su producción está sometida a una serie de factores que cuando son manejados de manera adecuada, el material genético utilizado muestra todo su potencial de productividad. Uno de esos factores es la nutrición y siempre se pensó en que era suficiente la aplicación de fertilizantes que contuvieran nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K); incluso para los dos últimos materiales liberados por el Programa de Maíz de la Estación Experimental Portoviejo del INIAP, se recomienda solo la fertilización a base de N (Reyes *et al.*, 2004, Reyes *et al.*, 2009).

Hoy es necesario pensar en una nutrición balanceada que, a más de N, provea al cultivo de todos los macro y micronutrientes que resultaren deficientes en el suelo. Lo indicado anteriormente, se enmarca en lo que se conoce como Nutrigenómica que estudia las interacciones genes por macro y micro nutrientes (Horna, 2012), ayudando al diseño y mejorando alimentos o suplementos bioactivos para llevar a cabo modificaciones en la dieta y mantener la salud de un individuo en situaciones específicas.

El N es el elemento nutritivo que más limita la productividad del cultivo de maíz (García y Espinoza, 2006). Este nutriente es responsable del crecimiento y reproducción de las plantas y todos los organismos vivos, siendo constituyente de las proteínas, enzimas, y de muchos procesos metabólicos intermedios involucrados en la síntesis y transferencia de energía; así como, de los ácidos desoxirribonucleicos estructurales del código genético (Viets, 1965). Por consiguiente, tiene activa participación en procesos metabólicos como fotosíntesis, respiración y síntesis proteica (Bertsch, 1998).

De acuerdo a Boaretto *et al.* (2008) los fertilizantes sintéticos más comunes que se usan en el mundo de los cultivos maíz, arroz y trigo, consumen aproximadamente el 60% del N total representando cerca de un tercio de la proteína total consumida; y consideran que a futuro la población mundial alcanzará 9,3 billones, ante lo cual será necesario incrementar entre el 50 y 70% la producción de cereales. Si la eficiencia de la fertilización no aumenta, deberá ha-

ber un incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados, de allí la necesidad de ampliar la eficiencia del uso del N.

Experiencias científicas, respecto de la respuesta del cultivo de maíz a la adición de N al suelo, han sido reportadas de países como Argentina y Colombia (Pedrol *et al.*, 2008, Espinoza y García, 2009). En el Ecuador, en particular en el área maicera de Manabí, ha sido evidente la obtención de incrementos significativos en los rendimientos por unidad de superficie (Motato *et al.*, 2004; Vera, 2011).

Esto guarda estrecha relación con la eficiencia en el uso del N a nivel de productores y es posible mejorar la efectividad con el correcto manejo de las fuentes de N, dosis, época y lugar de aplicación (Snyder, 2009). Así mismo, se destaca que la eficiencia y efectividad del N se puede incrementar con adecuados sistemas de cultivo y mejor manejo de los fertilizantes que contengan N, a fin de complementar las demandas de las comunidades por alimento, fibra y combustible.

Snyder y Bruulsema (2007), sugieren el uso de algunos términos simples que se pueden emplear para evaluar y monitorear la eficiencia de uso de un nutriente; entre esas definiciones está la "Eficiencia Agronómica de Nitrógeno" (EAN) con fórmula de cálculo $(R-R_0)/D$; donde: R= rendimiento de la porción cosechada del cultivo con la aplicación de N, R₀= rendimiento del tratamiento control sin la aplicación de N; y, D= cantidad de N aplicado como fertilizante. Se reporta como ejemplo: 10-30 unidades de grano de cereal por unidad de N aplicado.

En consideración a lo expuesto, se planteó en el presente estudio determinar sobre el rendimiento del híbrido de maíz INIAP H-603, el efecto de la fertilización con N y complementada con otros nutrientes deficientes en el suelo y determinar la dosis óptima a recomendar, con base en el cálculo de la eficiencia agronómica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en la época seca del 2013, en los cantones Jipijapa, Santa Ana y Bolívar de la provincia de Manabí, empleando el híbrido de maíz INIAP H-603, proporcionado por el Programa de Maíz de la Estación Experimental Portoviejo del INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). Los factores en estudios fueron: 1) fertilización química nitrogenada al suelo, y 2) fertilización complementaria; El cuadro 1, describe los tratamientos producto de la combinación de los factores indicados.

Cuadro 1. Detalle de los tratamientos, de la combinación de los factores en estudios

Tratamientos	Fertilización con N kg.ha ⁻¹	Fertilización complementaria	
		Biol*	Nutrimenores II**
1	0	Dos aplicaciones***	50 kg.ha ⁻¹
2	100	Dos aplicaciones***	50 kg.ha ⁻¹
3	150	Dos aplicaciones***	50 kg.ha ⁻¹
4	200	Dos aplicaciones***	50 kg.ha ⁻¹
5	250	Dos aplicaciones***	50 kg.ha ⁻¹
6	0	Sin aplicaciones	0 kg.ha ⁻¹
7	100	Sin aplicaciones	0 kg.ha ⁻¹
8	150	Sin aplicaciones	0 kg.ha ⁻¹
9	200	Sin aplicaciones	0 kg.ha ⁻¹
10	250	Sin aplicaciones	0 kg.ha ⁻¹

* 60%

** Zn 4%, Mn 2.5%, Cu 1%, B2O3 1.5%, y S 5%

*** una aplicación (antes de siembra), otra aplicación (30 días después de siembra)

Los tratamientos fueron distribuidos a tres repeticiones en arreglo factorial 2x5, en diseño de Bloques Completos al Azar, conformando 30 unidades experimentales, en el campo. Cada parcela estuvo constituida por cinco hileras de 5 metros, sembradas a 0,80 m entre ellas y 0,20 m entre plantas (62 500 plantas.ha⁻¹); de las cuales, tres se consideraron como útiles. Los rendimientos obtenidos se analizaron por sitio y luego en forma combinada, de acuerdo a los esquemas de los análisis de varianza correspondientes; y los promedios se compararon utilizando la prueba de Tukey al 5% de probabilidades.

Además, se calculó la EAN para los tratamientos que recibieron las dosis de N y la fertilización complementaria, entre la diferencia del rendimiento de las parcelas fertilizadas y del rendimiento de las parcelas de omisión, dividido para la dosis de N utilizada [(Rend.con N – Rend.sin N)/dosis de N] a fin de conseguir la eficiencia del uso de fertilizantes (EUF) como factor principal para determinar la dosis adecuada.

Las dosis óptimas de la fertilización con N se obtuvieron mediante la operación en la que al promedio del rendimiento de los tratamientos con 250, 200 y 150 Kg N.ha⁻¹ (rendimiento esperado) se le restó la productividad del tratamiento donde se omitió la fertilización con N, y su resultado se dividió para la media de las EAN de los tratamientos indicados.

Estas valoraciones fueron finalmente multiplicadas por 1000, a fin de transformar los resultados a kilogramos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis estadístico

Significación estadística al 1% de posibilidad se obtuvo para los efectos de la fertilización con N y para la complementaria en todos los lugares de experimentación, con excepción de Santa Ana en donde la complementaria lo fue al 5% de probabilidad (Cuadro 2). El análisis combinado mostró significación al 1% de viabilidad para las repeticiones, fertilización con N y complementaria, y para la interacción localidades x fertilización con N; y al 5% de posibilidad para la interacción de localidades x fertilización complementaria (Cuadro 3).

Cuadro 2. Cuadros medios del análisis de varianza del rendimiento por cantón

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadros medios		
		Jipijapa	Bolívar	Santa Ana
Total	29			
Repetición (r-1)	2	2,40	0,55	0,51
Fert. N (FN-1)	4	4,22 **	2,73 **	18,18 **
Fert. Compl. (FC-1)	1	11,47 **	3,33 **	2,14 *
Fert N x Fert. Comp. (FN-1) (FC-1)	4	0,07 NS	0,09 NS	0,26 NS
Error	18	0,20	0,15	0,48
CV (%)		3,92	5,35	12,35

*Significación al 5% de probabilidad, ** Significación al 1% de probabilidad

Cuadro 3. Cuadros medios del análisis de varianza del rendimiento combinado

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadros medios
Total	89	
Localidad (L-1)	2	261,63
Repetición (r-1)	2	2,53**
Localidad x Repetición (L-1) (r-1)	4	0,47 NS
Fertilización N (FN-1)	4	21,03**
Fertilización complementaria (FC-1)	1	14,86**
Localid. x Fertiliz. N (L-1) (FN-1)	8	2,05**
Localid. x Fertiliz. Comp. (L-1) (FC-1)	2	1,04*
Fert. N x Fert. Comp. (FN-1) (FC-1)	4	0,10 NS
Localid. x Fert. N x Fert. Comp. (L-1) (FN-1) (FC-1)	8	0,16 NS
Error	54	0,28
CV (%)		6,53

*Significación al 5% de probabilidad, ** Significación al 1% de probabilidad

Fertilización con N

Los problemas de disponibilidad de N en el suelo (Cuadro 4) fueron superados con las aplicaciones de este nutriente y ello provocó que el cultivo respondiera positivamente a su adición en todas las localidades (Figura 1), observándose que el híbrido del maíz rindió más en Jipijapa, probablemente porque el experimento recibió riego suplementario por el sistema de "goteo", en tanto que en los otros lugares este suministro fue por inundación (surcos).

Cuadro 4. Detalle de los tratamientos, de la combinación de los factores en estudios

Determinaciones	Localidades					
	Jipijapa		Bolívar		Santa Ana	
pH	7,3	PN	6,5	LAc	6,1	LAc
N (ppm)	16	B	24	M	26	M
P (meq/100mL)	25	A	59	A	65	A
K (meq/100mL)	0,83	A	1,82	A	1,72	A
Ca (meq/100mL)	11	A	20	A	22	A
Mg (meq/100mL)	2,9	A	4,2	A	4,4	A
S (ppm)	4	B	7	B	9	B
Zn (ppm)	2,5	M	2,8	M	4,3	M
Cu (ppm)	2,7	M	3,6	M	2,8	M
Fe (ppm)	35	M	45	A	53	A
Mn (ppm)	3,0	B	6,6	M	2,8	B
B (ppm)	0,40	B	0,49	B	0,67	M

PN=Prácticamente neutro LAc=Liger. Acido A=Alto M=Medio B=Bajo

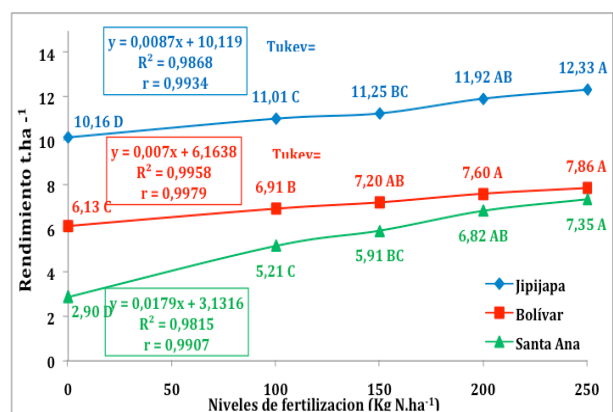


Figura 1. Efecto de la fertilización con N sobre el rendimiento del híbrido de maíz INIAP H-603, en tres cantones de Manabí.

Mediante la prueba de Tukey se diferenciaron tres categorías en Jipijapa, donde el rendimiento más alto fue 12,33 t.ha⁻¹ (250 Kg N.ha⁻¹) estadísticamente superior y diferente al más bajo 10,16 t.ha⁻¹ (0 Kg N.ha⁻¹); en Bolívar se determinó dos rangos disímiles y al igual que el caso anterior las mayores productividades 7,60 y 7,86 t.ha⁻¹ le correspondieron en las adiciones de 200 y 250 Kg N.ha⁻¹ y la menor 6,13 t.ha⁻¹ cuando no se agregó N al suelo; y, en Santa Ana se observó la misma tendencia en tres jerarquías distintas en las que la productividad más alta fue 7,35 t.ha⁻¹ conseguida con el abonamiento de 250 Kg N.ha⁻¹, siendo superior estadísticamente y distinta de las 2,90 t.ha⁻¹ logradas al no adicionar N como abono.

Las diferencias encontradas en este estudio respecto a la respuesta positiva del cultivo de maíz a la adición de 200 y 250 kg N.ha⁻¹, coinciden con resultados de diversos autores, como: Soto *et al.* (2002), Domingo *et al.* (2008),

Oyarzun (2010), Masino *et al.* (2010), Armendola-Masiotti *et al.* (2011), Salvaggiotti *et al.* (2011), Civeira y Rodríguez (2011), Poch Masegú (2012), Salvaggiotti *et al.* (2013), y Martínez de la Cuesta *et al.* (2015). Estas investigaciones señalan incrementos en las productividades en el cultivo de maíz debido al uso de dosificaciones de N.

El análisis combinado de las localidades, ratificó la alta (P<0,01) significación para el efecto de la fertilización con N. Con la prueba de Tukey se encontraron tres categorías disímiles en las que los promedios más altos de 9,2 t.ha⁻¹ (250 kg N.ha⁻¹) y 8,8 t.ha⁻¹ (200 kg N.ha⁻¹) fueron diferentes a los demás tratamientos (Figura 2). Al existir significación (1%) para la interacción localidades x fertilización con N, la ortogonalidad reafirmó lo encontrado individualmente (sitios) y en forma combinada para los niveles de abonamiento con N y para la comparación 200-250 kg N.ha⁻¹ vs 100-150 kg N.ha⁻¹. Los altos coeficientes de correlación (r) encontrados en las localidades (Figura 1) y combinadamente (Figura 2) superan significativamente el valor crítico de r de la tabla [r (1%)= 0.9587]], e indican que el 99% del aumento del rendimiento se atribuye a la aplicación del fertilizante nitrogenado.

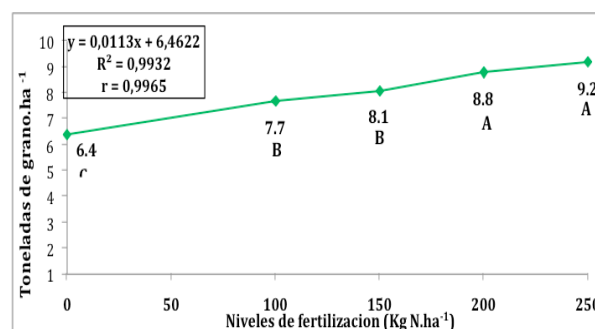


Figura 2. Análisis combinado del efecto de la fertilización con N, a través de localidades, en el rendimiento del híbrido de maíz INIAP H-603.

Fertilización complementaria

El efecto de esta fertilización (aplicación al suelo: de Biol 60%, en dos oportunidades, y del abono Nutrimeros II) en el rendimiento del híbrido de maíz INIAP H-603 fue evidente, ya que se obtuvieron producciones de 11,95 (Jipijapa), 7,47 (Bolívar) y 5,90 (Santa Ana) t.ha⁻¹ que fueron superiores a las 10,72 – 6,81 y 5,37 t.ha⁻¹ obtenidas cuando este abono no se agregó; el análisis estadístico específico determinó alta (P<0,01) significación en Jipijapa y Bolívar. En el caso de Santa Ana, resultó estadísticamente igual. Con la prueba de Tukey se ratificó lo encontrado por el análisis estadístico respecto a Jipijapa y Bolívar al encontrar diferencias significativas entre los promedios (Figura 3).

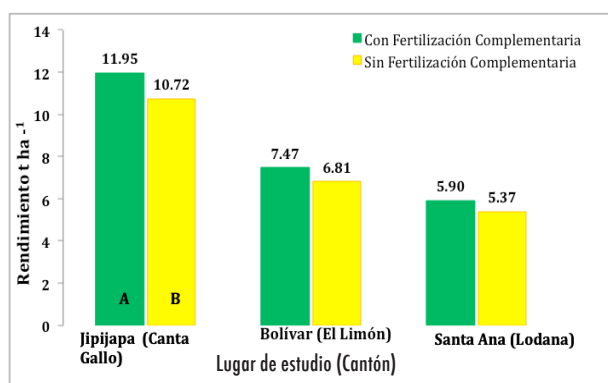


Figura 3. Efecto de la fertilización complementaria en el rendimiento del híbrido de maíz INIAP H-603, en tres localidades maiceras de Manabí.

El análisis combinado de las localidades permitió establecer una alta ($P < 0,01$) significación estadística para el efecto de este tipo de abonamiento, en donde la aplicación obtuvo $8,44 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ de maíz que resultó superior y diferente a las $7,67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ logradas cuando no se agregó abonos al suelo. También es importante señalar que el análisis mostró significación al 5% de probabilidad para la interacción localidades x fertilización complementaria, mediante la prueba de Tukey se confirmó al determinar cinco rangos disímiles, ratificando las diferencias entre la aplicación y la no adición de estas enmiendas en Jipijapa y Bolívar, y no así en Santa Ana (Cuadro 5).

Cuadro 5. Efecto interactivo entre Localidades x Fertilización complementaria, de acuerdo al análisis combinado

Localidades	Fertilización complementaria		Promedios
	Con	Sin	
Jipijapa	11,95 A	10,72 B	11,34
Bolívar	7,47 C	6,81 D	7,14
Santa Ana	5,90 E	5,37 E	5,64
Total	25,32	22,90	

Tukey 5% = 0,57

Esta tendencia, está respaldada por investigaciones en las que el manejo integrado de la fertilización química y orgánica provocó incrementos significativos en los rendimientos del cultivo de maíz: en Venezuela (Arrieché, 2008), Colombia (Guevara 2010), México (Avarez, 2010; Castañeda y Martínez 2011) y El Salvador (Quintanilla *et al.*, 2013). Hay que señalar que las adiciones de Biol al suelo no solo contribuyen a mejorar algunos caracteres físicos, sino que por sus contenidos en hormonas y precursores favorecen el desarrollo de las plantas y una mayor actividad de los microorganismos del suelo, propiciando un medio favorable para las raíces de las plantas mejorando la capacidad de absorción de agua y nutrientes (Sanabria, 1990; Sucari y Medina, 1990; Claire, 1992; Tapia, 1993). Por otra parte, los bajos contenidos de Zn,

Mn, Cu, B y S en los suelos donde se ubicaron los experimentos (Cuadro 3) justifican la respuesta sobre el rendimiento del cultivo por la adición combinada de estos micronutrientes en forma del fertilizante usado conjuntamente con el Biol.

Eficiencia agronómica del N (EAN)

La figura 4, muestra las EAN obtenidas por los tratamientos que correspondieron a las adiciones de N, en los sitios en estudio. Para Jipijapa fue entre 8,5 y 8,7; en Bolívar varió de 7,8 a 6,9 y en Santa Ana osciló de 23,1 a 17,8 para los 100 y 250 Kg N.ha⁻¹, respectivamente; observándose una tendencia de disminución conforme se incrementaron las cantidades de N agregadas al suelo; esto concuerda con lo expresado por Scott Murre (2009), al indicar que la eficiencia agronómica se hace más pequeña a medida que se incrementó la dosis y la respuesta del cultivo empieza a nivelarse. Por otra parte; las EAN determinadas en Santa Ana que variaron entre 17,8 y 23,1, coinciden con la afirmación de Snyder y Bruulsema (2007) que para la evaluación y seguimiento de la eficiencia de uso de un nutriente, la EAN debería ser entre 10,0 y 30,0 kg de grano de maíz por cada kg de N aplicado; esto no ocurrió en las otras localidades, en donde las EAN estuvieron por debajo de 10,0.

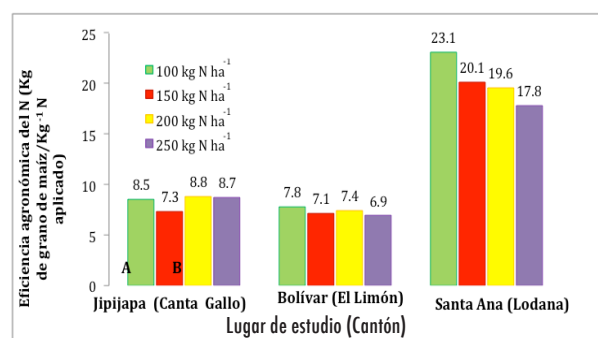


Figura 4. Efecto de cuatro dosis de N en la Eficiencia Agronómica del N, en el híbrido de maíz INIAP H-603.

Cuando se calculó la EAN, del efecto combinado de las localidades (Figura 5) varió entre 13,0 (100 kg N.ha⁻¹) y 11,2 (250 kg N.ha⁻¹) teniendo la misma tendencia que los casos individuales. Una experiencia en Colombia, respecto al fraccionamiento del N aplicado en maíz, reportó EAN entre 24,0 y 33,0 kg de grano de maíz/kg⁻¹ de N adicionado al suelo, a través del análisis combinado de 16 sitios, concluyendo que el valor de 33,0 kg de grano/kg⁻¹ de N aplicado, es un nivel aceptable de recuperación del N (Espinoza y García 2009); si bien en este estudio se logró un valor máximo de EAN de 13,0 y está muy por debajo de lo determinado en Colombia, este se enmarca dentro del rango (10,0 – 30,0) señalado por Snyder y Bruulsema (2007).

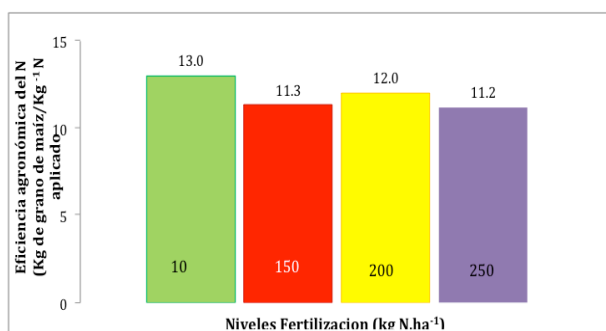


Figura 5. Análisis combinado del afecto de cuatro dosis de N, en la Eficiencia Agronómica del N, en el híbrido de maíz INIAP H-603 a través de localidades maiceras de Manabí.

Dosis óptimas de la fertilización con N (DON)

El cuadro 6, muestra las DON determinadas para cada sitio de experimentación y en su efecto combinado; llegando a establecer 202,9–196,4 y 197,7 kg N·ha⁻¹, para Jipijapa, Bolívar y Santa Ana, en su orden. Cuando el cálculo se lo hizo en forma combinada esta DON fue de 200 kg N·ha⁻¹. Esto representa aproximadamente 8,7 sacos de 50 Kg de urea (46%N) ha⁻¹, que difiere sustancialmente de las recomendaciones emitidas para los híbridos INIAP H-601 (Reyes *et al.* 2004) e INIAP H-602 (Reyes *et al.* 2009) de seis sacos de Urea·ha⁻¹. El aumento de la DON a 200 kg N·ha⁻¹ conseguida en este trabajo guarda relación con la DON sugerida por Oyarzun (2010) de 240 kg N·ha⁻¹ y a lo expresado por Martínez de la Cuesta *et al.* (2015) en el sentido de que si los rendimientos se incrementan por la mejora varietal, es factible que se deba subir la dosis de N por arriba de las recomendaciones vigentes.

Cuadro 6. Cálculo* de la dosis óptima de la fertilización nitrogenada (sitios y combinado)

Jipijapa	
Rendimiento sin aplicación	10,16 t·ha ⁻¹ de maíz
Rendimiento esperado	11,83 t·ha ⁻¹ de maíz
EAN	8,23 kg de maíz/kg ⁻¹ de N aplicado
Dosis óptima	202,9 kg N·ha ⁻¹
Bolívar	
Rendimiento sin aplicación	6,13 t·ha ⁻¹ de maíz
Rendimiento esperado	7,53 t·ha ⁻¹ de maíz
EAN	7,13 kg de maíz/kg ⁻¹ de N aplicado
Dosis óptima	196,4 kg N·ha ⁻¹
Santa Ana	
Rendimiento sin aplicación	2,90 t·ha ⁻¹ de maíz
Rendimiento esperado	6,69 t·ha ⁻¹ de maíz
EAN	19,17 kg de maíz/kg ⁻¹ de N aplicado
Dosis óptima	197,7 kg N·ha ⁻¹
Combinado	
Rendimiento sin aplicación	6,40 t·ha ⁻¹ de maíz
Rendimiento esperado	8,70 t·ha ⁻¹ de maíz
EAN	11,50 kg de maíz/kg ⁻¹ de N aplicado
Dosis óptima	200,0 kg N·ha ⁻¹

*[(Rendimientos esperado – Rendimiento sin aplicación)/EAN] [1000]

CONCLUSIONES

La respuesta del cultivo de maíz a la fertilización con N fue positiva, sobresaliendo los niveles de 200 y 250 kg N ha⁻¹ en todas las localidades; los análisis de correlación indican que el 99% del incremento en rendimiento se debe a la adición del N.

La fertilización complementaria con biol y micro elementos, tuvo efectos significativos en los ensayos ubicados en los cantones de Jipijapa y Bolívar, pero en el cantón Santa Ana ocurrió lo contrario.

El análisis combinado, a través de localidades, confirmó la efectividad de la fertilización con N y de la complementaria; y la ortogonalidad ratificó lo encontrado en los sitios y en la comparación, 200-250 kg N·ha⁻¹ vs 100-150 kg N ha⁻¹.

Las EAN variaron entre 8,5 y 8,7 en Jipijapa, de 7,8 a 6,9 en Bolívar; y, desde 23,1 hasta 17,8 en Santa Ana. El cálculo combinado de las localidades osciló entre 13,0 y 11,2 de EAN.

Las DON se establecieron en 202,9 kg N·ha⁻¹ en Jipijapa, en 196,4 kg N·ha⁻¹ en Bolívar y en 197,7 kg N·ha⁻¹ en Santa Ana. Cuando el cálculo se hizo en forma combinada fue de 200 kg N·ha⁻¹.

AGRADECIMIENTO

Los autores hacen reconocimiento especial a los Directivos y técnicos de las Instituciones de Educación Superior: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Felix López” (ESPAM MFL- Carrera de Ingeniería Agrícola) y Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM–Carrera de Ingeniería Agropecuaria) por sus aportes para el desarrollo de este trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

- Armendola-Massiotti, R., Cacht-Gomez I., Alvarez-Sanchez, E., Lopez-Cruz I., Burgueño-Ferreira, J., Martinez-Hernandez, P. y D. Cristobal-Acevedo 2011. Balance de nitrógeno en maíz forrajero con diferente fertilización y fase de rotación con praderas. AGROCIENCIA. 45:177-193.
- Arrieche, I. 2008. Efecto de la fertilización orgánica y química en suelos degradados cultivados con maíz (*Zea mays* L.) en el estado Yaracuy, Venezuela. Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrarios. Tesis Doctoral. Yaracuy, Venezuela. 210p. Consultado 12 de Agosto 2015. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/142>.

- Avarez, D., Gómez, D., León, N., y F. Gutiérrez. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*. Chiapas, México. 44(5):8
- Bertsch, F. 1998. Funciones de los nutrientes en las plantas. In *La Fertilidad de los Suelos y su Manejo*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. p. 28.
- Boaretto, A., Muraoka, T., y P. Trevelin. 2008. Uso eficiente del nitrógeno de los fertilizantes convencionales. In *Informaciones Agronómicas*. Quito, Ecuador. 68: 13-15.
- Castañeda, E., y M. Martínez. 2011. Efecto de la fertilización química y orgánica en el crecimiento de maíz (*Zea mays* L.) cv. Victoria en condiciones controladas. Universidad Veracruz, Facultad de Ciencias Agrícolas. Tesis Ingeniero Agrónomo. Veracruz México. 49 p. Consultado 12 Agosto 2015. Disponible en: cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31400/1/emiliocastañedaortega.pdf.
- Civeira, G. y M. Rodríguez 2011. Nitrogeno residual y lixiviado del fertilizante en el sistema suelo-planta-zeolitas. Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del suelo*. 29(2):285-294.
- Claire, C. 1992. Manejo de efluentes. Proyecto Biogás. UMMS, GTZ. Cochabamba, Bolivia. p. 46-67.
- Domingo, J., Luch Singer, A. y O. Naviera 2008. Factores del suelo y planta para determinar la fertilización nitrogenada en maíz dulce en la zona central de Chile. *IDESIA*. 26(2):53-58.
- Espinoza, J., y J. P. García. 2009. Herramientas para mejorar la eficiencia de uso de nutrientes en maíz. In *Uso Eficiente de Nutrientes*. Editores J. Espinoza y F. García. IPNI. San José, Costa Rica. p. 49-56
- García, J., y J. Espinoza. 2006. Relación del índice de verdor con la aplicación de nitrógeno en diez híbridos de maíz. In *Informaciones agronómicas*. Quito, Ecuador. 62: 9-14.
- Guevara, R. 2010. Evaluación de tres tipos de fertilizantes dos químicos y un orgánico en el cultivo de maíz (variedad ICA 305) en el sector de Piedra Blanca. Samaniego, Nariño- Colombia. Universidad de Loja, Carrera de Ingeniería en Administración y Producción Agropecuaria. Tesis Ingeniero en Administración y Producción Agropecuaria. Nariño, Colombia. 90 p. Consultado 12 Agosto 2015. Disponible en: dspace.unl.edu.ec/jspi/bitstream/123456789/5557/1/GUEVARARODRIGUEZ.pdf.
- Horna, R. 2012. Nutrigenómica mejora rendimientos en cultivos de ciclo corto. *Revista El Agro*. Edición 188. Editorial Uminasa del Ecuador S. A. Guayaquil, Ecuador. p. 50-52.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2012. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua). Quito, Ecuador. p. 7. Consultado 23 Julio 2015. Disponible en: http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_remository&Itemid=&func=startdown&id=2024&long=Ki
- Martínez de la Cuesta, E., Yakoub, A., Maresma, A., Santiveri, F., y J. Lloveras. 2015. La fertilización nitrogenada del maíz y el nitrógeno residual del suelo. *VIDA RURAL*. Universitat de Lleida. España. p 46-52. Consultado 18 Agosto 2015. Disponible en: www.enmedia.es/portales/files/documentos/dossier_fertilización_VR390.pdf.
- Masino, A., Madoery, O., Conde, B., y A. Montechiari. 2010. Respuesta del Cultivo de Maíz a Dosis Crecientes de Nitrógeno. Proyecto Regional Agricultura Sustentable de la provincia de Córdoba. INTA. Córdoba, Argentina. 7 p. Consultado 18 Agosto 2015. Disponible en: inta.gob.ar/documentos/respuesta-del-cultivo-de-maíz-a-dosis-crecientes-de-nitrógeno-1/at_multip_download/file
- Motato, N., Soledispa, M., y P. Manrique. 2004. Influencia de poblaciones de siembra y de la fertilización química nitrogenada en el comportamiento del híbrido de maíz INIAP H-601 bajo condiciones de riego. In *IX Congreso Ecuatoriano y I Binacional (Ecuador-Perú) de la Ciencia del Suelo*. Loja, Ecuador. 14p.
- Oyarzun Arrechea, M. 2010. Respuesta productiva de un cultivo de maíz ("*Zea mays*" L. Var. *Dracma*) a distintas dosis de nitrógeno con dos tipos de riego (aspersión e inundación) y efecto sobre lixiviación de nitratos. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Pública de Navarra, España. 102 p. Consultado 18 Agosto 2015. Disponible en: académica_e.navarra.es/bitstream/handle/2454/4443/577650.pdf?..
- Pedrol, H., Castellarín, J., Ferraguti, F., y O. Rosso. 2008. Respuesta a la fertilización nitrogenada y eficiencia en el

- uso del agua en el cultivo de maíz según nivel hídrico. IPNI, Quito, Ecuador. *Informaciones Agronómicas* N°40. p. 17-20.
- Poch Massegú, R. 2012. Riego y fertilización nitrogenada en maíz (*Zea mays* L.): efecto sobre el rendimiento del cultivo y la contaminación subterránea por nitratos. Tesis Doctorado. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España. Consultado 18 Agosto 2015. Disponible en: <http://www.tripolemos.org/catalogo/tesis/riego-y-fertilización-nitr...>
 - Quintanilla, F., Yanes, C., y C. Monge. 2013. Incidencia del bocashi, gallinaza y su combinación con fertilizantes químicos en la mejora de la fertilidad del suelo y en los rendimientos de maíz (*Zea mays* L.), San Juan Opico, La Libertad. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas. Tesis Ingeniero Agrónomo. 123p. Consultado 12 Agosto 2015. Disponible en: <http://ri.ues.edu.av/4670/1/13101476.pfd>.
 - Reyes, S., Alarcón, D., Carrillo, R., Carvajal, T., Cedeño, N., y C. Castillo. 2004. INIAP H-601 híbrido de maíz para condiciones de ladera del trópico seco ecuatoriano. INIAP, Estación Experimental Portoviejo, Programa de Maíz. Portoviejo, Ecuador. Plegable divulgativo N° 201. 6p.
 - Reyes, S., Alarcón, D., Cerón, O., y O. Zambrano. 2009. INIAP H-602, Nuevo Híbrido de Maíz Duro para el Litoral ecuatoriano. Estación Experimental Portoviejo, Programa de Maíz. Portoviejo, Ecuador. INIAP. Plegable N° 311. 5 p.
 - Salvagiotti, F., Castellarin, J., Ferraguti, F. y H. Pedrol. 2011. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz según potencial de producción y disponibilidad de nitrógeno en la región Pampera Norte. *Ciencia del suelo*. 29(2): 199-212.
 - Salvagiotti, F., Pedrol, H., Castellarin, J., Capurro, J., Felizia, J.C. Gargicevich, A., Gentili, O., Méndez, J., y N. Trentino. 2013. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada en maíz. Relación entre la respuesta en rendimiento y la disponibilidad de nitrógeno a la siembra. AGROSITIO. INTA. Santa Fe, Argentina. 6 p. Consultado 18 Agosto 2015. Disponible en: <http://www.profertilnutrientes.com.ar/archivos/diagnostico-de-la-fertilizacion-nitrogenada-en-maiz>
 - Sanabria, L. 1990. El biol fuente de bioestimulante en el desarrollo agropecuario. *Boletín divulgativo*. Vol. 3. Cochabamba, Bolivia. p. 84-92. Y potasio.
 - Scott Murre, T. 2009. Principios básicos de la eficiencia de fósforo. In *Uso eficiente de Nutrientes*. Editores Espinoza, J., y García, F. IPNI. San José, Costa Rica. p. 20-25.
 - Snyder, C. S. 2009. Eficiencia del uso del nitrógeno: desafíos mundiales, tendencias futuras. In *Uso Eficiente de Nutrientes*. Editores J. Espinosa y F. García. IPNI. San José, Costa Rica. p. 11-19.
 - Snyder, C. S., and T. W. Bruulsema. 2007. Nutrient Use Efficiency and Effectiveness in North America: Indices of Agronomic and Environmental Benefit. IPNI. June 2007. Ref. # 07076. 4p. IPNI. Georgia, USA. Consult. 6 Agosto 2015. [http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/0/d58a3c2deca9d7378525731e006066d5/\\$FILE/Revised%20NUE%20update.pdf](http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/0/d58a3c2deca9d7378525731e006066d5/$FILE/Revised%20NUE%20update.pdf)
 - Soto, P., Jahn, E. y S. Arredondo. 2002. Planting density and nitrogen fertilization of hybrid corn for silage in the Irrigated Central Valley. *AGRICULTURA TECNICA* 62(2) Consultado 17 Agosto 2016. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-28072002000200008
 - Sucari, A., y U. Medina. 1990. Efecto de Biol en la producción y calidad de tres cultivos de girasol. UNAS/CONCYTEL. Arequipa, Perú. p. 7-8.
 - Tapia, A. 1993. Evaluación de cuatro niveles de biol en el cultivo de pimiento. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 60p.
 - Vera, E. 2011. Fertilización química del híbrido de maíz INIAP H-602 con fuentes alternativas de nitrógeno. Ingeniero Agropecuario. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Manta, Ecuador. 65 p.
 - Viets, F. 1965. The Plant's Need for and Use of Nitrogen. In *Soil Nitrogen*. Bartholomew, W., and Clark, F (Edit). American Society of Agronomy. Wisconsin, USA. p. 503-549.