

# Manejo de Nutrientes por Sitio Específico con dos variedades de maíz (INIAP-122 y Chaucho Guandango), en la provincia de Imbabura

Juan Pablo Aguinaga

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura  
Carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias IASA-1  
Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE

Sangolquí, Ecuador  
pablo.aguinaga@hotmail.com

**Resumen**—Esta investigación se realizó en la Hda. Tunibamba, provincia de Imbabura, durante el periodo 2012-2013. El objetivo del estudio fue evaluar el Manejo de Nutrientes por Sitio Específico (MNSE) con dos variedades de maíz (INIAP-122 y Chaucho Guandango), en la provincia de Imbabura, para incrementar la producción y la rentabilidad de los agricultores. Para el análisis de variables se utilizó un diseño de parcelas divididas. Treinta tratamientos producto de la interacción de los factores V x F (Variedad x Fertilización), se realizaron análisis de varianza y pruebas DMS y Tukey al 5%. Entre los principales resultados obtenidos fueron el incremento de la producción en un 33% para la variedad INIAP-122 alcanzado por el T10 correspondiente a la fertilización F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 5,65 t/ha. Con la variedad Chaucho G. se incrementó en un 29%, alcanzado por el T25 correspondiente a F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 5,93 t/ha. El total de Beneficio Neto fue incrementado en un 30% para la variedad INIAP-122 alcanzado por el T10 correspondiente a la fertilización F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 7 609 \$/ha. En la variedad Chaucho G., se incrementó en un 26%, alcanzado por el T25 correspondiente a F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 8 020 \$/ha. El nitrógeno fue el elemento más importante en la nutrición del cultivo de maíz, seguido por el fósforo. El Mn y Zn fueron los microelementos de mayor relevancia. Estos nutrientes incrementaron el rendimiento y rendimiento potencial de grano.

**Palabras claves:** Manejo de Nutrientes por Sitio Específico, Maíz, INIAP-122, Chaucho Guandango, Rendimiento.

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz en la sierra del Ecuador es de singular relevancia debido a la gran cantidad de superficie destinada a su producción y al papel que cumple como componente básico de la dieta de la población rural [11]. La superficie cosechada de maíz de altura en seco en el 2010 fue de 48 013 ha, con una producción total de 20 422 t y un rendimiento promedio de 0.425 t.ha<sup>-1</sup>. En Imbabura, la producción de maíz suave seco en el 2010 alcanzó una superficie cosechada de 1 691 ha, una producción de 2 063 t y un rendimiento de 1.21 t.ha<sup>-1</sup> [6].

El desequilibrio nutrimental es un factor determinante en la pérdida de la fertilidad del suelo, debido a que la acumulación de nutrientes en las cosechas provoca que más nutrientes minerales salgan del suelo, comparados con los que se reponen a través de la fertilización. La salida de nutrientes con el cultivo de maíz bajo un manejo tradicional es de 74.5 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrógeno (N), 15.8 kg.ha<sup>-1</sup> de fósforo (P), 67.4 kg.ha<sup>-1</sup> de potasio (K) en mazorca y residuos, con un rendimiento en grano de 2.4 t.ha<sup>-1</sup>. Mientras que con un manejo de fertilización completa, las salidas de nutrientes alcanzan 132.5 kg.ha<sup>-1</sup> de N, 24.6 kg.ha<sup>-1</sup> de P, 149 kg/ha K en mazorca y residuos, con un rendimiento en grano de 5.5 t.ha<sup>-1</sup> [1].

Subsecuentemente, el crecimiento vegetativo y la necesidad de suplementar nutrientes al maíz, varía apreciablemente entre lotes, entre épocas climáticas dentro del año y entre años de producción. Esto da lugar a diferentes condiciones de crecimiento y manejo del cultivo que no pueden ser detectadas por el análisis químico de suelos. Frente a esta particularidad, surge la metodología de Manejo de Nutrientes por Sitio Específico (MNSE), que busca entregar nutrientes a la planta en la forma y momento en que los necesite. Es así que el MNSE, permite ajustar dinámicamente el uso de fertilizantes para llenar efectivamente el déficit que ocurre entre la necesidad total de nutrientes para obtener rendimientos altos y el aporte de nutrientes provenientes de las fuentes nativas del suelo. En esencia se busca obtener altos rendimientos y alta eficiencia de uso de los nutrimentos por el cultivo. En el caso del maíz se espera cosechar la mayor cantidad de grano por unidad de fertilizante utilizado [4].

Esta forma de manejo ha sido utilizada por el Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la EESC-INIAP en la provincia de Bolívar con excelentes resultados alcanzando rendimientos de hasta 7 t.ha<sup>-1</sup> [1].

Estudios realizados en ensayos de omisión de N, P, Mg, S bajo la metodología de MNSE en maíz en la provincia de Bolívar mostraron como nutriente limitante principal al N seguido por el P. Por lo tanto, la recomendación para este elemento está en función del P removido en el grano. La recomendación para el caso del K también está orientada a

---

Este trabajo fue apoyado por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) de la Estación Experimental Santa Catalina (EESC), bajo el auspicio de SENESCYT. Proyecto-12-INIAP-008 (Becas y Ayuda Económica), Beca No. UTHA-EESC-2013-010

reponer la exportación en el grano. Al mantener los residuos en el campo, se puede eliminar la fertilización con K. En términos generales se recomienda ampliar los estudios con el uso de parcelas de omisión a otros elementos, por ejemplo el zinc (Zn), que es un micronutriente deficiente en muchos suelos ecuatorianos [1].

En el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

#### Objetivo General:

- Evaluar el Manejo de nutrientes por sitio específico con dos variedades de maíz (INIAP-122 y Chaucho), en la provincia de Imbabura, para incrementar la producción y la rentabilidad de los agricultores.

#### Objetivos Específicos:

- Determinar la respuesta a la fertilización química, la existencia de él o los elementos químicos limitantes en la producción de maíz de las variedades INIAP-122 y la variedad Chaucho, aplicando el MNSE en la provincia de Imbabura, para establecer el rendimiento potencial del cultivo.
- Cuantificar el rendimiento potencial de las variedades de maíz en la zona de estudio, para poder validar de manera adecuada el MNSE.
- Validar el Manejo de Nutrientes por Sitio Específico (MNSE) en el cultivo de maíz en la Hda. Tunibamba en la provincia de Imbabura, para establecer recomendaciones de fertilización, reales y convenientes para el agricultor.
- Evaluar el funcionamiento agronómico y económico del MNSE y diseminar recomendaciones prácticas y sencillas del MNSE entre extensionistas y agricultores, para que puedan utilizar dicha información y desarrollar un adecuado manejo del cultivo del maíz.

#### Hipótesis:

Ho: La aplicación de nutrientes al suelo y follaje no influye en el rendimiento y calidad de grano de las variedades en estudio.

## II. DESARROLLO

Este ensayo se llevó a cabo en la Hda. Tunibamba del cantón Cotacachi de la provincia de Imbabura; cuyas coordenadas son: 0°19'08"N y 78°15'35"O; a una altitud de

2422 msnm, temperatura media anual de 14 °C y una precipitación media anual de 1162.4 mm, piso altitudinal premontano, clima temperado subhúmedo. El suelo en la provincia de Imbabura pertenece al orden de los Molisoles, en el siguiente TABLA se detalla el análisis de suelos del ensayo.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE SUELO DEL ENSAYO DE MANEJO DE NUTRIENTES POR SITIO ESPECIFICO (MNSE) UBICADO EN LA HDA. TUNIBAMBA, COTACACHI – IMBABURA.

Elemento	Unidad (1)	Concentración(2)	
N	Ppm	78.00	A
P	ppm	72.00	A
S	ppm	19.00	M
K	meq/100 ml	0.65	A
Ca	meq/100 ml	9.80	A
Mg	meq/100 ml	3.50	A
Zn	ppm	2.50	M
Cu	ppm	5.60	A
Fe	ppm	427.00	A
Mn	ppm	9.10	M
B	ppm	1.00	M
MO	%	6.80	A

pH = 6.35 (Ligeramente Ácido)

(1)Unidades de concentración, ppm = Partes por millón, meq/100 ml suelo = miliequivalentes por 100 mililitros de suelo.

(2)Interpretación de concentración, A = Alto, M= Medio, B = Bajo.

Para este ensayo se utilizó un diseño de Parcela Dividida, en donde la parcela grande incluye las variedades (V) y en la parcela pequeña o subparcela corresponde a la fertilización (F).

El ensayo fue realizado con 2 variedades de maíz (INIAP-122 y Chaucho Guandango) y con 15 tipos de fertilización, las cuales se describen en el TABLA 2; resultando 30 tratamientos provenientes de la combinación de estos factores: variedad x fertilización. Con tres repeticiones, el área total del ensayo fue de 2634.4 m<sup>2</sup>, (89 x 29,6 m); área neta ensayo: 1800 m<sup>2</sup> (90 parcelas de 20 m<sup>2</sup>); tamaño PG (Parcela grande): 356 m<sup>2</sup> (89 m x 4 m); área neta PG (Parcela grande): 300 m<sup>2</sup> (4 m x 5 m x 15 Subparcelas); tamaño SP (Subparcela): 20 m<sup>2</sup> (5 m x 4 m); área neta SP (Subparcela): 12 m<sup>2</sup> (5 m x 2.4 m) 3 surcos; número de surcos/parcela: 5; número de golpes/surco: 10; número de plantas/surco: 20; número de semillas/sitio: 3

TABLA 2. TIPOS DE FERTILIZACIÓN DEL ENSAYO DE MNSE.

Fertilización	Simbología	Descripción
1	N-P-K-S	Parcela con fertilización completa (FC) de NPKS.
2	P-K-S	Parcela de omisión de N
3	N-K-S	Parcela de omisión de P
4	N-P-S	Parcela de omisión de K
5	N-P-K	Parcela de omisión de S
6	T0 + N	Parcela de adición de N
7	T0 + P	Parcela de adición de P
8	T0 + K	Parcela de adición de K
9	T0 + S	Parcela de adición de S
10	FC + f (Zn, Mn, B)	F. completa (N, P, K, S), más fertilización foliar (Zn, Mn, B)
11	FC + f (Mn, B)	Parcela de omisión de Zn foliar.
12	FC + f (Zn, B)	Parcela de omisión de Mn foliar
13	FC + f (Zn, Mn)	Parcela de omisión de B
14	Testigo Absoluto (T0)	Sin fertilización
15	Agricultor (Ta)	Fertilizantes usados por el agricultor.

Entre las variables establecidas:

Se determinó el **porcentaje de emergencia** de las plantas a los 15 días después de la siembra.

Se realizó la medición de la **altura de plantas** en cm a los 45, 65, 80, 100, 180 y 225 días después de la siembra (dds), desde el cuello de la raíz hasta el ápice terminal, para el efecto se tomaron 10 plantas al azar de cada parcela neta. Con lo que se pudo determinar la curva de crecimiento para cada variedad [3].

El **porcentaje de acame de raíz y tallo** se realizó al estadio R6 y fue expresada en porcentaje, considerando con acame de tallo, las plantas con el tallo roto por debajo de la inserción de la mazorca; y con acame de raíz, las plantas que presentaron una inclinación desde la raíz mayor de 45° [3].

Para la **cuantificación de clorofila** se utilizó el determinador SPAD 502 y para determinar el **índice de verdor** se empleó la tabla de comparación de colores del IRRI, dichas variables fueron medidas a los 45, 65, 80 y 100 dds. Dichas lecturas fueron hechas en el tercio medio de la hoja apical más desarrollada, para el efecto se tomó 10 plantas al azar de cada parcela neta. Con esto se pudo establecer la relación entre cantidad de clorofila y absorción de nitrógeno.

La **población de plantas** a la cosecha, en la que se realizó el conteo de plantas presentes en el área útil de cada parcela, dato que fue utilizado para determinar el rendimiento de materia seca.

Para determinar el **contenido de materia seca**, se recolectaron a la cosecha (R6), 4 plantas al azar de cada parcela neta, se estableció los pesos de materia fresca de grano, tuza y residuos; a continuación, se tomó una submuestra de 500 g para cada una de las partes establecidas; se colocaron en una estufa a 60 °C, hasta peso constante, de esta manera se pudo conocer el porcentaje de materia seca y la biomasa seca en kg/ha; con esto se calculó la acumulación de nutrientes del suelo.

El **rendimiento y rendimiento potencial de grano**, se obtuvo una vez que las plantas alcanzaron la madurez fisiológica. Se cosechó toda el área útil de cada parcela, se registraron los pesos de las mazorcas por parcela neta en kg; a continuación se desgranó y determinó la humedad del grano, los resultados se expresan en t ha<sup>-1</sup> de maíz, con 14 % de humedad.

Para determinar el **contenido de macro y micronutrientes**; del material obtenido del muestreo para materia seca se sacaron sub-muestras, las que fueron procesadas en el laboratorio del DMSA – EESC, en el que se obtuvo el contenido de nutrientes por órganos. Para determinar el contenido de nitrógeno se utilizó el método semimicro-Kjedahl, y para el resto de macro y micronutrientes se utilizó el método por digestión-húmeda.

Con los datos de biomasa de materia seca, conjuntamente con el contenido de macro y micronutrientes se determinó la **acumulación de nutrientes** (nutrientes extraídos del suelo por el cultivo).

La **eficiencia agronómica** fue obtenida a partir de los datos de rendimiento de grano.

Los tratamientos evaluados fueron sometidos a un **análisis económico**, usando para el efecto la metodología del CIMMYT, (1988) [2]; basado en los principios económicos del análisis marginal, el cual es un procedimiento para calcular las tasas marginales de retorno entre tecnologías, procediendo paso a paso, de una tecnología de bajo costo a la

siguiente de costo mayor, y comparando las tasas de retorno contra una tasa de retorno mínima aceptable.

Se calculó el coeficiente de variación que fue expresado en porcentaje, además se realizaron las pruebas de separación de medias en aquellas fuentes de variación que presentaron significación estadística. Tukey para fertilización y DMS para variedades.

### III. RESULTADOS

#### **Porcentaje de emergencia, porcentaje de acame de raíz, porcentaje de acame de tallo y población de plantas a la cosecha/parcela neta (Pn)**

Se identificó alta significancia estadística para acame de tallo y diferencias significativas para acame de raíz. Porcentaje de emergencia y población de plantas no presentaron diferencias significativas. Los promedios generales fueron de 87.73%, 6.49%, 3.85% y 38.54 plantas/Pn; con coeficientes de variación de 4.82%, 40.12%, 56.22% y 4.50% para emergencia, acame de raíz, acame de tallo y población de plantas a la cosecha, respectivamente.

Con la separación de medias por DMS al 5% para acame de raíz y tallo se identificaron dos rangos de significación para variedades, los valores más altos fueron de 7.14% y 4.52% para la variedad INIAP-122; mientras que, en el segundo rango se ubicó la variedad Chaucho G., con 5.84% y 3.17%, respectivamente. El maíz a menudo es afectado por el acame; sin embargo existe poca relación entre los órganos raíz y tallo; el primero se asocia con factores medioambientales como lluvias intensas con viento, mientras que el acame de tallo con frecuencia está relacionado con características genéticas como la resistencia a enfermedades e insectos, la prolificidad y el tipo de senescencia [8]. La resistencia al acame en el maíz está determinada por caracteres genéticos propios de cada variedad, relacionándose con características morfológicas como diámetro del tallo medido en la base, volumen de la parte aérea de la planta, volumen de las raíces y altura de planta [5].

#### **Altura de Planta a la etapa fenológica V5, V7-V8, V10, VT-R1, R3, R6 y altura de inserción de mazorca**

En el análisis de varianza para variedades según etapas fenológicas, presentaron diferencias altamente significativas para altura de planta en V10, VT-R1, R3 y altura de inserción de mazorca; mientras que, R6 presentó significancia estadística. Para altura de planta en V5 se observó diferencias significativas para tratamientos (VxF); alta significancia estadística para repeticiones en V10, VT-R1 y R3; y significancia para R6.

Los promedios generales fueron de 59.84 cm, 137.48 cm, 181.89 cm, 208.30 cm, 232.13 cm, 236.96 cm y 129.97 cm; con coeficientes de variación de 6.36%, 5.56%, 3.88%, 5.71%, 5.72%, 6.23% y 6.52%, los cuales son aceptables para las variables mencionadas anteriormente.

#### **Índice de verdor en las etapas fenológicas V5, V7-V8, V10, VT-R1**

En el análisis de varianza para fertilización según etapas fenológicas, índice de verdor en V5 presentó diferencias altamente significativas; y en V7-V8, V10 y VT-R1 se presentaron diferencias estadísticas; significancia estadística para repeticiones en V10.

Tukey al 5% para índice de verdor de hojas por etapas fenológicas, identificó tres rangos de significación para fertilización en V5 y dos rangos de significación para V7-V8, V10 y VT-R1. El valor más alto de índice de verdor en V5 fue F4 (N, P, S) con 4.12; en V7-V8 fue F5 (N, P, K) con 4.2; en V10 fue F5 (N, P, K) con 4.18 y en VT-R1 fue F13 (FC + f (Zn, Mn)) con 3.93. El valor más bajo en V5 fue F14 (T0) con 3.59; en V7-V8 y V10 fue F9 (T0 + S) con 3.83; y en VT-R1 fue F14 (T0) con 3.52. Existe una clara tendencia, en la que el factor fertilización (F) con nitrógeno presenta un índice de color más alto con respecto a fertilización (F) sin nitrógeno. El contenido de N en la planta está estrechamente relacionado con el verdor de la hoja y el rendimiento del grano [1] y [4].

#### **Concentración de clorofila en grados SPAD a la etapa fenológica V5, V7-V8, V10, VT-R1**

En el análisis de varianza para fertilización según etapas fenológicas, concentración de clorofila en V5, V10 y VT-R1 presentó diferencias altamente significativas; significancia estadística para repeticiones en V7-V8. Se pudo observar que la concentración de clorofila alcanza su más alto valor hasta V7-V8, habiendo una leve disminución hasta V10 y observándose una caída de nivel en V10-R1, ya que en esta etapa el nitrógeno empieza a ser translocado hacia el grano. Tukey al 5% para concentración de clorofila de las hojas por etapas fenológicas, identificó tres rangos de significación para fertilización en V5 y dos rangos de significación para V10 y VT-R1. El valor más alto alcanzado en V5 fue F4 (N, P, S) con 56.37, en V10 fue F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 56.61 y en VT-R1 fue F13 (FC + f (Zn, Mn)) con 55.97 unidades SPAD, respectivamente. Los valores más bajos fueron alcanzados por F14 con 45.3 en V5, 48.05 en V10 y 45.19 en VT-R1. Existe una clara tendencia, en la que el factor fertilización (F) con nitrógeno presenta mayor concentración de clorofila con respecto a fertilización (F) sin nitrógeno. La concentración de N en las hojas está estrechamente relacionada con la tasa de fotosíntesis en las hojas y la producción de biomasa del cultivo [4].

Existe una alta correlación entre el verdor de las hojas y la concentración de clorofila, siendo así que, en las etapas fenológicas V5, V7-V8, V10 y VT-R1, el  $R^2$  es superior a 0.69; validando de esta manera tanto la utilización de la tabla de comparación de colores del IRRRI para agricultores, como el determinador de clorofila SPAD 502 para investigaciones.

TABLA 3. PROMEDIO GENERAL PARA LA CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE VERDOR Y CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA EN HOJAS DE MAÍZ, EN EL MANEJO DE NUTRIENTES POR SITIO ESPECÍFICO (MNSE). IMBABURA, 2013.

Índice de color	Concentración de clorofila							
	Etapas fenológicas				Rango		Promedio	
	Valor	V5	V7-V8	V10	VT-R1	Menor	Mayor	X
2	15.2	14.1	18.8	9.9		9.9	18.8	12.3
2.5	24.6	23.8	28.3	21.6		21.6	28.3	22.1
3	34.1	33.5	37.8	33.4		33.4	37.8	31.9
3.5	43.5	43.1	47.2	45.2		43.1	47.2	41.7
4	52.9	52.8	56.7	57.0		52.8	57.0	51.5
4.5	62.3	62.5	66.1	68.8		62.3	68.8	61.2
5	71.7	72.2	75.6	80.5		71.7	80.5	71.0

#### Rendimiento del grano y rendimiento potencial del grano al 14% de humedad, materia seca de grano, tusa y residuo.

En el análisis de varianza para fertilización, se presentó alta significancia estadística para rendimiento de grano, rendimiento potencial de grano, materia seca de grano, tusa, residuo y total; así como para tratamientos (VxF) en materia seca de tusa.

Tukey al 5% para rendimiento del grano identificó cinco rangos de significancia para fertilización, el valor más alto fue alcanzado por F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 5.78 t/ha y el valor más bajo lo alcanzó F14 (T0) con 3.58 t/ha. En rendimiento potencial del grano se identificaron cuatro rangos, en los cuales el valor más alto fue alcanzado por F13 (FC + f (Zn, Mn)) con 5.92 t/ha; mientras que, el valor más bajo fue para F14 (T0) con 3.72 t/ha.

Para materia seca del grano se identificaron tres rangos, el valor más alto fue alcanzado por F11 (FC + f (Mn, B)) con 4.7 t/ha y el valor más bajo para F8 (T0 + K) con 3.09 t/ha. Materia seca de tusa registro tres rangos, en los cuales F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) alcanzó el valor más alto con 0.77 t/ha; mientras que, el valor más bajo fue para F7 (T0 + P) con 0.55 t/ha. Para materia seca de residuo se identificaron dos rangos, en los cuales el valor más alto fue para F1 (N, P, K, S) con

6.74 t/ha y el valor más bajo para F6 (T0 + N) con 5.74 t/ha. Se identificaron tres rangos para materia seca total, en la que el valor más alto fue alcanzado por F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 12.24 t/ha; mientras que, el valor más bajo fue para F9 (T0 + S) con 9.97 t/ha.

En la fertilización por omisión se observó que al suprimir el N, limita el rendimiento del cultivo, seguido por la omisión de P; mientras que, la limitación por omisión de K y S es casi inexistente. Teniéndose así con una fertilización completa F1 (N, P, K, S) un rendimiento potencial de 5.7 t/ha; mientras que, con omisión de nitrógeno F2 (P, K, S) se tiene 4.08 t/ha, con omisión de fósforo F3 (N, K, S) se tiene 5 T/ha, con omisión de potasio F4 (N, P, S) se tiene 5.7 t/ha y con omisión de azufre F5 (N, P, K) se tiene 5.52 t/ha. En la fertilización por adición, se determinó que el rendimiento potencial de F14 (T0) alcanza 3.72 t/ha; mientras que, con la adición de nitrógeno F6 (T0 + N) el rendimiento se incrementa a 5.48 t/ha, con fósforo F7 (T0 + P) 4.46 t/ha, con potasio F8 (T0 + K) 4.05 t/ha y con azufre F9 (T0 + S) se incrementa a 3.97 t/ha. Para los micronutrientes se observa un ligero incremento en el rendimiento potencial del grano del F10 (FC + f (Zn, Mn, B) con respecto a F1 (N, P, K, S), con un rendimiento de 5.87 t/ha para F10 y 5.7 t/ha para F1. Con la omisión de Zn se alcanza 5.55 t/ha, con omisión de Mn se alcanza 3.37 t/ha y con la omisión de B 5.92 t/ha. Demostrándose que los micronutrientes que mayormente limitan son el Mn y el Zn. En grano y tusa se puede observar una mayor producción de materia seca cuando existe una fertilización (F) con N. Así mismo los micronutrientes inducen un ligero incremento en la producción de MS. En el caso del residuo, no se observa una clara diferencia en producción de materia, sin embargo existe una ligera tendencia de mayor producción en los tratamientos con fertilización nitrogenada. Se observó el rendimiento de grano al 14% de humedad, notándose una ligera superioridad de rendimiento en la variedad Chaucho G. Se puede observar un mayor rendimiento del grano en aquellos tratamientos con fertilización nitrogenada, como segundo limitante se encuentra el fósforo y en menor proporción el K y el S. Se observa que los micronutrientes incrementan el rendimiento del grano.

En ensayos de MNSE realizados en la provincia Bolívar, establecieron que el N era el elemento más importante que determina el rendimiento de grano, encontrándose el P como segundo elemento en importancia [1].

En el caso de los micro-elementos se puede observar un incremento del rendimiento potencial, en especial al realizar fertilización foliar con los nutrientes Zn y Mn. Conociéndose que el maíz es muy sensible a la deficiencia de Zn y medianamente sensible a la deficiencia de Mn, siendo estos elementos parte importante del complejo enzimático en la fotosíntesis [10]. Existe una correlación positiva entre el rendimiento del cultivo y la concentración de Zn y Mn en el mismo [9]. Muchas enzimas dependientes del Zn actúan en el metabolismo de los carbohidratos en especial en las hojas,

aumenta la actividad de la enzima anhidrasa carbónica (AC), la cual está localizada en el citoplasma de los cloroplastos y puede facilitar la transferencia de  $\text{CO}_2/\text{HCO}_3$  para la fijación fotosintética de  $\text{CO}_2$ . Debido a la baja tasa de actividad fotosintética en el citosol de las células del mesófilo de las plantas  $\text{C}_4$ , AC es de gran importancia para garantizar una alta tasa de fotosíntesis. La deficiencia de Zn, así mismo, está íntimamente relacionada con el metabolismo del N, inhibiéndose la síntesis de proteínas, resultando a la vez en un consumo más bajo de carbohidratos lo que conduce a una disminución de la fotosíntesis [7]. El Mn interviene en el transporte de electrones en la fotosíntesis. Dentro del fotosistema II forma parte de metaloproteínas, que a su vez es parte de una enzima que quiebra la molécula de agua (fotólisis del agua) y en la producción de  $\text{O}_2$  (reacción de Hill), se precisan cuatro átomos de manganeso, que se reducen cediendo cuatro electrones a cada unidad del pigmento P680, liberándose simultáneamente una molécula de  $\text{O}_2$  y cuatro de  $\text{H}^+$ , procedentes de dos moléculas de agua. Este elemento también influye en el aprovechamiento del nitrógeno por la planta, actuando en la reducción de los nitratos [7]. En el caso del Boro se puede observar que no incide en el aumento del rendimiento potencial, esto debido a que el B nativo del suelo se encuentra en cantidades suficientes para cubrir las necesidades del cultivo, más bien se observa un leve decremento de la producción cuando se aplica dicho elemento. El B puede llegar a ser tóxico con contenidos poco superiores a aquellos juzgados como correctos. La relación de los contenidos tóxicos con los normales es claramente menor para el boro que para los demás elementos nutritivos.

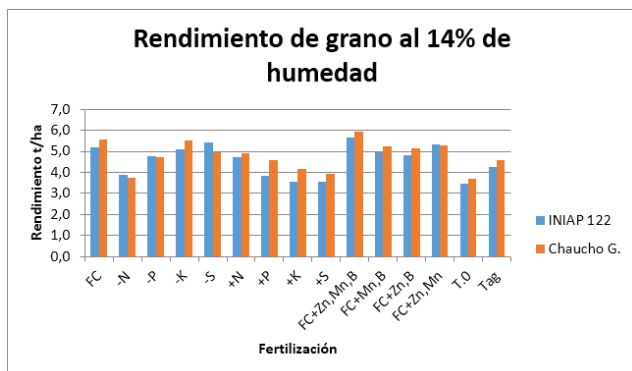


Figura 1. Rendimiento potencial de grano en t/ha, variedad 1 (INIAP-122) y la variedad 2 (Chaucho-Guandango), en el Manejo de Nutrientes por Sitio Específico (MNSE). Imbabura, 2013.

El contenido de nutrientes por órganos en porcentaje, se presenta en la Figura 2, donde se observa que el N en el residuo es de 50%, seguido por grano 45% y en tusa 5%. Con respecto al P se observa un mayor porcentaje de P en grano con 61%, seguido por residuo con 36% y tusa con 3%. En K, S, B, Zn y Mn se observa la misma tendencia de acumulación mayoritaria en el residuo (76%, 76%, 75%, 48% y 78%), seguido la concentración en el grano (18%, 22%, 24%, 45%

y 18%) y menor en cantidad de estos nutrientes se observa en la tusa.

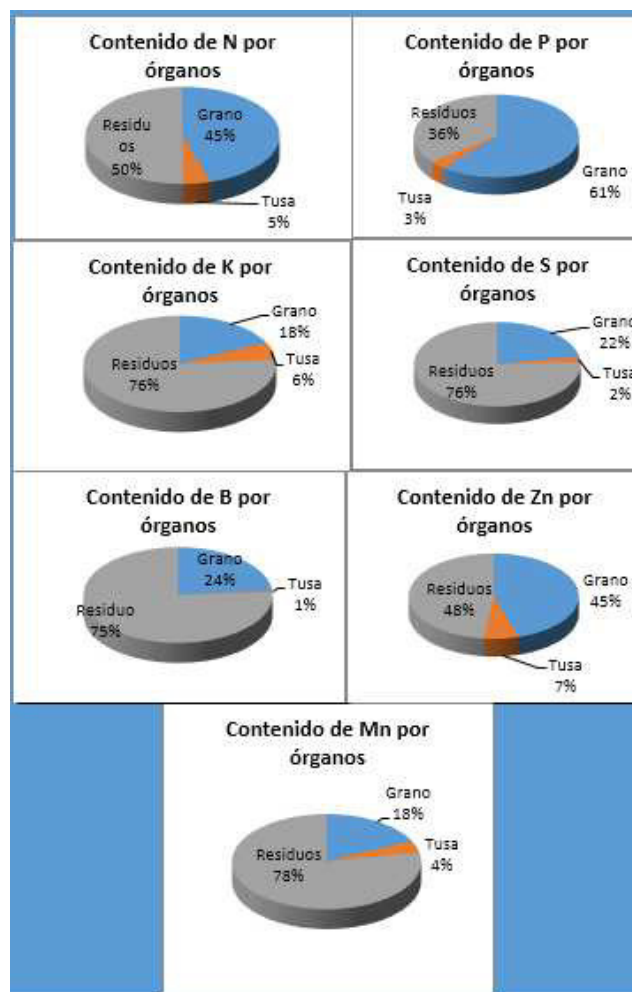


Figura 2. Contenido de macro y micronutrientes por órganos de la planta (maíz, grano, tusa y residuos) en %, en el Manejo de Nutrientes por Sitio Específico (MNSE). Imbabura, 2013.

#### Acumulación de macro y micronutrientes en grano.

En el análisis de varianza, para fertilización se observan diferencias altamente significativas para acumulación de P, K, S, Zn y Mn; diferencias significativas en variedad para B y en fertilización para N y B.

Los promedios generales fueron de 60.69 kg/ha, 12.66 kg/ha, 13.98 kg/ha, 3.96 kg/ha, 5.03 g, 90.95 g y 24.60 g; con coeficientes de variación de 20.41%, 20.29%, 19.32%, 18.02%, 22.74%, 20.98% y 21.60%, respectivamente. Los coeficientes de variación son aceptables para este tipo de variables.

La separación de medias por DMS al 5% en variedad identificó dos rangos de significación para acumulación de B, el valor más alto fue alcanzado por la variedad INIAP-122 con 5.33 kg/hay y el valor más bajo lo alcanzó la variedad Chaucho G. con 4.72 kg/ha.

Tukey al 5% en fertilización identificó dos rangos para acumulación de N, K, S, B y Zn y tres rangos para acumulación de P y Mn. Para acumulación de N el valor más alto fue alcanzado por F11 (FC + f (Mn, B)) con 71.37 kg/ha y el valor más bajo lo alcanzó F8 (T0 + K) con 43.48 kg/ha. En acumulación de P, el valor más alto fue para F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 15.33 kg/ha y el valor más bajo lo alcanzó F8 (T0 + K) con 9.13 kg/ha. Para acumulación de K, el valor más alto fue alcanzado por F12 (FC + f (Zn, B)) con 16.23 kg/ha y el valor más bajo lo alcanzó F8 (T0 + K) con 10.42 kg/ha. Para acumulación de S el valor más alto lo alcanzó F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 4.7 kg/ha y el más bajo F8 (T0 + K) con 2.95 kg/ha.

Para acumulación de micronutrientes los valores más altos fueron alcanzados por F4 (N, P, S) con 6.23 g/ha para B, F12 (FC + f (Zn, B)) con 121.47g/ha para Zn y 31.07g/ha para Mn; mientras que los valores más bajos los alcanzó F14 (T0) con 3.88 g/ha, 73.38 g/ha y 18.73 g/ha para B, Zn y Mn, respectivamente.

Se pudo establecer que la acumulación de nutrientes está fuertemente ligada al rendimiento y MS del grano. En los cuales, dicho rendimiento principalmente está en función de la fertilización (F) con N y P, y con la fertilización foliar con los micronutrientes.

#### Acumulación de macro y micronutrientes total.

En el análisis de varianza, se observaron diferencias altamente significativas según fertilización para acumulación de N, P, K, B y Zn, Mn; alta significancia estadística para repeticiones en B; y significancia para Zn.

Los promedios generales fueron de 133.77 kg/ha, 20.81 kg/ha, 79.10 kg/ha, 17.91 kg/ha, 21.35 g/ha, 200.98 g/ha y 135.96 g/ha; con coeficientes de variación de 14.26 %, 16.59 %, 16.78 %, 14.20 %, 22.12 %, 20.79 % 16.63 %, respectivamente. Los coeficientes de variación son aceptables para este tipo de variables.

Tukey al 5% en fertilización, identificó dos rangos de significación para acumulación de P, B y Zn, tres rangos para acumulación de N, y cinco rangos para acumulación de Mn. Para acumulación de N el valor más alto fue alcanzado por F12 (FC + f (Zn, B)) con 156.17 kg/ha y el valor más bajo lo alcanzó F8 (T0 + K) con 107.45 kg/ha. En acumulación de P, el valor más alto fue para F12 (FC + f (Zn, B)) con 24.4 kg/ha y el valor más bajo lo alcanzó F8 (T0 + K) con 16.97 kg/ha. Para acumulación de K, el valor más alto fue alcanzado por F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 91.70 kg/ha y el valor más bajo lo alcanzó F15 (Ta) con 65.88 kg/ha. Para acumulación de B el valor más alto lo alcanzó F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 31.62 g/ha y el más bajo F9 (T0 + S) con 17.23 g/ha. En acumulación de Zn, el valor más alto fue para F12 (FC + f (Zn, B)) con 271.87 g/ha y el valor más bajo lo alcanzó F5 (N, P, K) con 160.12 g/ha. Para acumulación de Mn el valor más alto lo alcanzó F12 (FC + f (Zn, B)) con 170.57 g/ha y el más bajo F7 (T0 + P) con 98.48 g/ha.

Se pudo establecer que la acumulación de nutrientes está fuertemente ligada a la MS total principalmente, la cual se

encuentra principalmente en función de la fertilización (F) con N.

#### Eficiencia Agronómica

A pesar de que esta variable no fue contemplada, sin embargo se la incluye por su relevancia para poder conocer la cantidad de grano que aumenta o disminuye por kg de fertilizante aplicado (TABLA 4), es así que se puede observar que cuando existe la omisión de un nutriente con respecto a la fertilización completa de macronutrientes (FC) el rendimiento disminuye, el caso del N, al ser adicionado a un fertilizante químico que contenga el resto de macronutrientes en estudio, representaría un incremento en producción de 13.46 kg de grano por cada kg de nitrógeno adicionado. Lo mismo ocurre con el P con 11.61 kg de grano por cada kg de fósforo, el K con 0.29 kg de grano por cada kg de potasio y el S con 2.84 kg de grano por cada kg de S adicionado.

En esta investigación, la omisión de micronutrientes está enfocada con respecto a F10 (FC+f), es decir fertilización completa de macronutrientes más los fertilizantes foliares B, Zn y Mn. Se puede observar que la adición de B no causa aumento del rendimiento del grano, según el análisis foliar en el cual se encuentra el porcentaje de nutrientes en cada órgano de estudio, se pudo observar que en los tratamientos en los cuales existe la fertilización con B, existe mayor concentración de este elemento en el residuo, mientras que en el grano la concentración disminuye. Pudiendo determinar de esta manera que el B aplicado mediante fertilización foliar se concentró en el residuo (parte vegetativa) y no fue translocado hacia el grano. En el caso del Zn representaría un incremento en producción de 45.62 kg de grano por cada kg de zinc adicionado. Y el Mn representaría un incremento de la producción de 426.69 kg de grano por cada kg de manganeso adicionado.

La eficiencia agronómica por adición de un elemento, se enfoca al aumento o disminución de grano cuando existe la adición de un nutrimento (en forma de fertilizante químico), respecto al T0 (Testigo absoluto). En el caso del N existe un aumento del rendimiento de 14.68 kg de grano por cada kg de nitrógeno adicionado. Lo mismo ocurre con el P con 12.47 kg de grano por cada kg de fósforo, el K con 5.50 kg de grano por cada kg de potasio y el S con 4.35 kg de grano por cada kg de S adicionado.

TABLA 1. EFICIENCIA AGRONÓMICA (EA), EN EL MANEJO DE NUTRIENTES POR SITIO ESPECÍFICO (MNSE). IMBABURA, 2013.

Macronutrientes	Ea N kg/kg	Ea P kg/kg	Ea K kg/kg	Ea S kg/kg
Omisión	13.46	11.61	0.29	2.84
Adición	14.68	12.47	5.50	4.35
Micronutrientes	Ea B L/kg	Ea Zn L/kg	Ea Mn Kg/kg	
Omisión	-4.89	45.62	426.69	

## Análisis Económico

Con este análisis, el cual toma únicamente los costos que varían en cada tratamiento, los cuales en esta investigación fueron: los insumos de fertilización y la mano de obra utilizados en este cultivo en función de rendimiento, se determinó que los tratamientos con el beneficio neto más elevado para las dos variedades fueron el T10 y el T25, los cuales corresponden a la fertilización F10 (FC + f (Zn, Mn, B)), con un beneficio neto de \$ 7609 para (V1) y \$ 8020 para (V2); los tratamientos con el beneficio neto más bajo para las dos variedades fue el T2 (P, K, S) y el T30 (T0), con un beneficio neto de \$ 5008 en la (V1) y \$ 5250 en la (V2).

Para evaluar esta relación se utiliza un indicador denominado tasa de retorno marginal (TRM). En el TABLA 28, se observa que el T22 presenta la mayor TRM con 6917% que quiere decir que con este tratamiento le permite al agricultor recuperar su dólar invertido y recibir adicionalmente \$ 69.17; seguido por T4, T24, T25 y T6 con %380, %306, %200 y %37, respectivamente.

TABLA 5. ANÁLISIS DE TASA DE RETORNO MARGINAL, EN EL MANEJO DE NUTRIENTES POR SITIO ESPECÍFICO (MNSE). IMBABURA, 2013.

Tratamiento	Total Costos que Varían \$/Ha	Total Beneficios Netos \$/Ha	Índice Marginal \$ BN	Índice Marginal \$ CV	TR M %
T14	0	5007,9			
T29	0	5318,8	311	0	0
T24	84	5575,9	257	84	306
T22	97	6488,9	913	13	6917
T6	264	6550,8	62	167	37
T21	264	6779,5	229	0	0
T4	325	7012,3	233	61	380
T19	325	7624,9	613	0	0
T25	522	8019,7	395	197	200

## IV. CONCLUSIONES

- La aplicación de nutrientes al suelo y follaje tuvo influencia directa en el rendimiento y calidad de grano de las variedades en estudio.
- Con el MNSE se incrementó la producción en un 33% para la variedad INIAP-122 alcanzado por el T10 correspondiente a la fertilización F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 5,65 t/ha en comparación con el T15 correspondiente a F15 (Ta) que se refiere a la fertilización del agricultor con 4,26 t/ha. En la variedad Chaucho G. la producción fue incrementada en un 29%, alcanzado por el T25 correspondiente a F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 5,93 t/ha, respecto al T30 correspondiente a F15 (Ta) con 4,59 t/ha.

- El total de Beneficio Neto fue incrementado en un 30% para la variedad INIAP-122 alcanzado por el T10 correspondiente a la fertilización F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 7 609 \$/ha en comparación con el T15 correspondiente a F15 (Ta) con 5 859 \$/ha. En la variedad Chaucho G. se incrementó en un 26%, alcanzado por el T25 correspondiente a F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 8 020 \$/ha, respecto al T30 correspondiente a F15 (Ta) con 6 341 \$/ha.
- El nitrógeno fue el elemento más importante en la nutrición del cultivo de maíz, el fósforo el segundo en importancia, efecto que se reflejó en el rendimiento, en la materia seca y en la acumulación de nutrientes. El Mn y Zn incrementaron el rendimiento potencial de grano, mientras que se observó baja respuesta por parte del B.
- Con el MNSE se alcanzó el rendimiento potencial más alto para la variedad INIAP-122 alcanzado por el T13 correspondiente a la fertilización F13 (FC + f (Zn, Mn)) con 6 t/ha En la variedad Chaucho G. el rendimiento potencial más alto fue alcanzado por el T25 correspondiente a F10 (FC + f (Zn, Mn, B)) con 5,97 t/ha.
- En esta investigación, mediante el análisis económico se determinó, que la mejor fertilización para las dos variedades fue el F10: Fertilización completa de macronutrientes más fertilización foliar de micronutrientes (FC + f (Zn, Mn, B)), generando un beneficio neto de \$ 7609 para la variedad INIAP-122 y \$ 8020 para la variedad Chaucho G.

## REFERENCIAS

- [1] Alvarado, S., Jaramillo, R., Valverde, F., & Parra, R. (2011). *Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de maíz bajo labranza de conservación para la provincia de Bolívar. Quito*. Quito, Ecuador: INIAP Boletín Técnico, 150.
- [2] CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica*. México D.F, México.
- [3] CIMMYT. (1991). *Descriptor for Maize*. Mexico City: International Board for Plant Genetics Resources.
- [4] Dobermann, A., & Fairhurst, T. (2000). *Arroz: Desordenes nutricionales y manejo de nutrientes*. Potash & Phosphate Institute.
- [5] García, M., & Watson, C. (2003). *Herencia de la resistencia al acame de raíces en maíz dulce (Zea mays L.)*. Obtenido de [https://www.google.com.ec/mapmaker?iwloc=0\\_0&dtab=overview&ll=0.28839,-77.731018&spn=1.5](https://www.google.com.ec/mapmaker?iwloc=0_0&dtab=overview&ll=0.28839,-77.731018&spn=1.5)
- [6] INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). (30 de Julio de 2012). *Visualizador de estadísticas agropecuarias del Ecuador*. Obtenido de <http://157.100.43.205/lcds-samples/testdriveremoteobject/main.html#app=44e4&a24-selectedIndex=0>



- [7] Kirkby, E., & Romheld, V. (2007). Obtenido de Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad: [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/FEB8DB4F5AFB8FF50525748300700842/\\$file/Micronutrientes+en+la+Fisiolog%C3%ADa+de+las+Plantas+II+Parte.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/FEB8DB4F5AFB8FF50525748300700842/$file/Micronutrientes+en+la+Fisiolog%C3%ADa+de+las+Plantas+II+Parte.pdf)
- [8] Lafitte, H. ( 1994). *Identificación de problemas en la producción de maíz tropical: Guía de campo*. Mexico DF, Mexico.
- [9] Ratto, S., & Miguez, F. (2007). *Zn en el cultivo de maíz, deficiencia de oportunidad*. Obtenido de [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/3D2EF1F58D7E213805257268004D56B5/\\$file/Zinc+en+el+Cultivo+de+Ma%C3%ADz,+Deficiencia+de+Oportunidad.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/3D2EF1F58D7E213805257268004D56B5/$file/Zinc+en+el+Cultivo+de+Ma%C3%ADz,+Deficiencia+de+Oportunidad.pdf)
- [10] VALAGRO. (2004). *Los microelementos en la nutrición vegetal*. Obtenido de <http://www.valagro.com/uploads/s5/RQ/s5RQz64Cm9F0mObtJaz2Dw/Los-microelementos-en-la-nutricion-vegetal.pdf>
- [11] Yáñez, C. (2002). *Manual de producción de maíz para pequeños agricultores y agricultoras*. Quito.