



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Sede Santo Domingo

DIRECCIÓN GENERAL DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN VEGETAL

**EFFECTO DE LA OMISIÓN DE NUTRIENTES SOBRE LA CALIDAD DE
SEMILLA Y RENDIMIENTO EN LA GENERACIÓN DE UN HÍBRIDO DE MAÍZ**
(*Zea mays L.*)

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el
Grado de Magister en Nutrición Vegetal

AUTOR:

EDWIN STALIN HASANG MORÁN

DIRECTOR DE TESIS:

Ing. MANUEL DANILO CARRILLO ZENTENO, Ph.D.

Santo Domingo – Ecuador

MAYO, 2015

**EFFECTO DE LA OMISIÓN DE NUTRIENTES SOBRE LA CALIDAD DE
SEMILLA Y RENDIMIENTO EN LA GENERACIÓN DE UN HÍBRIDO DE MAÍZ
(*Zea mays* L.)**

Ing. MANUEL CARRILLO ZENTENO Ph.D.

DIRECTOR DE TESIS

APROBADO

Dra. LUZ MARÍA MARTÍNEZ BUÑAY, MS.c.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. EDISON SILVA CIFUENTES, Ph.D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Dr. VÍCTOR HUGO ABRIL PORRAS, Ph.D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Santo Domingo, ... de Mayo del 2015

CERTIFICACIÓN DEL ESTUDIANTE DE AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Edwin Stalin Hasang Morán, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado para ningún grado o calificación profesional.

Además; y, que de acuerdo a la Ley de propiedad intelectual, el presente Trabajo de Investigación pertenecen todos los derechos a la Universidad Tecnológica Equinoccial, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Edwin Stalin Hasang Morán

C.I. 1204287302

INFORME DE APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de Director del Trabajo de Grado presentado por el señor Edwin Stalin Hasang Morán, previo a la obtención del Grado de Magister en Nutrición Vegetal, considero que dicho Trabajo reúne los requisitos y disposiciones emitidas por la Universidad Tecnológica Equinoccial por medio de la Dirección General de Posgrado para ser sometido a la evaluación por parte del Tribunal examinador que se designe.

En la Ciudad de Santo Domingo, a los días del mes de Mayo del 2015

Ing. Manuel Danilo Carrillo Zenteno, Ph.D.

C.I. 0102294378

Agradecimiento

El poder hacer posible este trabajo de investigación fue necesario el apoyo de muchas personas a las cuales quiero agradecer.

Primero a Jah por haberme dado fuerzas para lograr este objetivo.

A mi familia, padres y hermanas quienes fueron el pilar principal para lograr este título.

De manera especial a Manuel Carrillo Zenteno PhD. Director de este trabajo de investigación y a quien debo el éxito del mismo.

A la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) INIAP, a la Universidad Tecnológica Equinoccial campus Santo Domingo, que hicieron posible la presente investigación.

Y a todas las áreas involucradas, colaboradores técnicos, trabajadores de campo de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) INIAP, sin ellos esta tesis tampoco se hubiera logrado.

Dedicatoria

A Jah, a mi familia, padres, hermanas. Este logro es de todos.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
PÁGINAS PRELIMINARES	i
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
SUMMARY	xiv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos específicos.....	3
1.2. HIPOTESIS.....	3
1.2.1. Hipótesis general.....	3
1.2.2. Hipótesis específica.....	3

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES.....	5
2.2. FUNDAMENTACIONES.....	8
2.2.1. Nitrógeno.....	10
2.2.2. Fósforo.....	10
2.2.3. Potasio.....	11
2.2.4. Magnesio.....	11
2.2.5. Boro.....	11
2.2.6. Zinc.....	11
2.2.7. Parcelas de omisión.....	12

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	Sitio de estudio.....	13
3.2.	Técnicas, procedimientos, instrumentos y recursos.....	14
3.3.	Diseño experimental, factores y variables de estudio.....	14
3.4.	Manejo del experimento.....	20

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	PRIMERA FASE.....	22
4.1.1.	Altura de mazorca.....	22
4.1.2.	Diámetro de tallo.....	22
4.1.3.	Diámetro de mazorca.....	22
4.1.4.	Longitud de mazorca.....	23
4.1.5.	Acame de raíz.....	23
4.1.6.	Acame de tallo.....	24
4.1.7.	Mazorcas mal polinizadas.....	24
4.1.8.	Floración.....	24
4.1.9.	Índice de Cosecha.....	25
4.1.10.	Rendimiento.....	25
4.1.11.	Peso de mil semillas.....	26
4.1.12.	Eficiencia fisiológica.....	28
4.1.13.	Eficiencia agronómica.....	29
4.1.14.	Eficiencia interna.....	31
4.1.15.	Factor parcial de productividad.....	33
4.1.16.	Eficiencia aparente de recuperación.....	35
4.1.17.	Longitud de plúmula y radícula.....	36
4.2.	SEGUNDA FASE.....	37

CAPÍTULO V**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones.....	35
5.2. Recomendaciones.....	39
BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Pág.
Tabla 2.1. Definiciones simples de eficiencia de uso de nitrógeno (EUN).....	7
Tabla 3.1. Resultados de los análisis de suelos del lote experimental, ubicado en la EETP del INIAP.....	13
Tabla 3.2. Esquema del análisis de la variancia (ADEVA) utilizado en la investigación.....	15
Tabla 3.3. Características del área experimental en las dos épocas de siembra.....	15
Tabla 3.4. Tratamientos utilizados para evaluar los efectos de la omisión de nutrientes sobre la calidad de semilla y rendimiento, en la producción de un híbrido de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	16
Tabla 4.1. Promedios para altura de mazorca, diámetro de tallo y mazorca, longitud de mazorca, acame, plantas mal polinizadas, floración e índice de cosecha afectado por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>)..	23
Tabla 4.2. Rendimiento de grano y peso de mil semillas, afectados por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz.....	26
Tabla 4.3. Eficiencia fisiológica de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	29
Tabla 4.4. Eficiencia agronómica de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	30
Tabla 4.5. Eficiencia interna de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	32
Tabla 4.6. Factor parcial de productividad de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>)	34
Tabla 4.7. Eficiencia aparente de recuperación de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>)	36
Tabla 4.8. Longitud de plúmula y radícula, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>)	37

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos	Pág.
Anexos 1. Análisis de variancia para Eficiencia fisiológica de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	45
Anexos 2. Análisis de variancia para Eficiencia agronómica de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	45
Anexos 3. Análisis de variancia para Eficiencia interna de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	45
Anexos 4. Análisis de variancia para Factor parcial de productividad de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	46
Anexos 5. Análisis de variancia para Eficiencia aparente de recuperación de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	46
Anexos 6. Análisis de variancia para altura de mazorca, diámetro de tallo y mazorca, longitud de mazorca, acame, plantas mal polinizadas, floración e índice de cosecha afectado por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	46
Anexos 7. Análisis de variancia para altura de carga, diámetro de tallo y mazorca, longitud de mazorca, acame, días a floración, peso de mil semillas y rendimiento, afectado por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	47



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Sede Santo Domingo

DIRECCIÓN GENERAL DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN VEGETAL

**EFECTO DE LA OMISIÓN DE NUTRIENTES SOBRE LA CALIDAD DE
SEMILLA Y RENDIMIENTO EN LA GENERACIÓN DE UN HÍBRIDO DE MAÍZ
(*Zea mays* L.)**

Autor: Edwin Stalin Hasang Morán

Director: Ing. Manuel Carrillo Zenteno *Ph.D.*

Fecha: Mayo, 2015

RESUMEN

El maíz es uno de los cereales más ampliamente cultivados en el mundo y constituye fuente importante en la alimentación humana y animal; además de utilizarse como materia prima básica para la agroindustria. El Ecuador es un país productor de maíz, con un área de siembra aproximada en el año 2012 de 361 347 ha, con rendimientos promedios de 3.68 t ha⁻¹. Los rendimientos del maíz dependen tanto de la calidad de semilla, así como de las características genéticas de estas y en la producción de estas, la fertilización juega un papel importante y con la metodología de las parcelas de omisión, se consigue ajustar recomendaciones nutricionales de acuerdo a las necesidades de cada sector o región, incrementando estos rendimientos a niveles competitivos; por tal razón, esta investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar el grado de incidencia de la omisión de nutrientes

en la formación de un híbrido de maíz, sobre la calidad de semilla, desarrollo y rendimiento. Para la evaluación se contó con siete tratamientos de omisión de N, P, K, Mg, S, Zn y B, más un tratamiento de fertilización completa (aplicación de todos los nutrientes), un tratamiento basado en la recomendación técnica, y un testigo absoluto, cuyos datos fueron analizados usando el Diseño de bloques completos al azar y los promedios usando la prueba de Tukey al 5%. Se evaluaron variables como altura de inserción de mazorca, diámetro de tallo, porcentaje de acame, porcentaje de mazorcas mal polinizadas y podridas, diámetro y longitud de mazorca, índice de cosecha, y peso de mil semillas, Eficiencias de fertilización, entre otras. Los resultados obtenidos demostraron que el mejor potencial de rendimiento 2134 kg ha^{-1} se obtuvo con el tratamiento de omisión de azufre. Según este rendimiento, las prioridades de fertilización de los parentales del híbrido de maíz utilizado en esta investigación, tiene la secuencia de $P > N = Mg = K >> Zn > B >> S$. Se pudo mostrar que la longitud y diámetro de mazorcas se ve reducida directamente, con la limitación de la aplicación del K. También se observó que la omisión de Mg afectó el vigor de la semilla, expresada en las variables plúmula y radícula.

Descriptores: Vigor, eficiencias nutricionales, parcelas de omisión, calidad de semillas



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Sede Santo Domingo

DIRECCIÓN GENERAL DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN VEGETAL

**EFFECT OF NUTRIENTS OMISSION IN THE SEED QUALITY AND
PERFORMANCE OF GENERATION CORN HYBRID (*Zea mays* L.)**

Author: Edwin Stalin Hasang Morán

Advisor: Ing. Manuel Carrillo Zenteno, Ph.D.

Date: Mayo, 2015

SUMMARY

Corn is one of the most cultivated cereals all over the world because it is an important source in human and animal nutrition. In addition, it is used as a basic raw material for agribusiness. Ecuador is a corn producer with a planting area of 361 347. Those yields have an average efficiency of 3.68 t ha⁻¹. The corn production depends both on the quality and genetic characteristics of seed and fertilization which plays an important role. Omission plots methodology can be used to set nutritional recommendations based on sector or region needs, increasing the efficiency at competitive levels. Thus, the present research was conducted in order to evaluate the incidence level of nutrients omission in the growth and production of hybrid plants. The evaluation had seven omission treatments of the following nutrients: N, P, K, Mg, Zn and B. A completed fertilization treatment was used, a treatment based on technical recommendation and absolute control were analyzed through the design of randomized complete block and Tukey test at 5%. Variables such as ear insertion height, stem diameter, percent lodging, percentage of poorly pollinated and ear rot;, ear length and diameter, harvest index, weight of thousand seeds, fertilizer

efficiencies and so on. The results showed that the best production efficiency (2134 kg ha^{-1}) was obtained with the sulfur omission. Therefore, the fertilization priorities of corn hybrid generations has the sequence of $P > N = \text{Mg} = \text{K} \gg \text{Zn} > \text{B} \gg \text{S}$. In addition to the last point, ears diameter is reduced directly with the limitation of K application. It was also observed that the Mg omission affected the seed vigor which is expressed in the plumule and radicle variables.

Descriptors: Vigor, nutritional efficiencies, omission plots, seed quality

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cereales más ampliamente cultivados e importantes en el mundo por constituir fuente importante en la alimentación humana y animal; además, es utilizado como materia prima básica para la agroindustria (FAO, 1993).

A nivel de América latina los principales productores de esta gramínea son Brasil y Argentina; en Ecuador, la producción de este cereal en los últimos años ha venido mejorando, así el año 2012 se estimó una siembra de 361 347 ha, con rendimientos promedios de 3.68 t ha⁻¹ (INEC, 2012). Sin embargo el área de siembra difiere cada año, por cuanto es un cultivo susceptible a variaciones climáticas, plagas propias del cultivo, tecnología empleada, disponibilidad de mano de obra y finalmente la rentabilidad del cultivo por temporada.

Los Ríos es la provincia que concentra la mayor área de siembra, con el 40.53% de la superficie total en el 2011, y una productividad que fluctúa entre 1.5 t ha⁻¹ a nivel de pequeños agricultores que utilizan metodología de siembra tradicional y 3.7 t ha⁻¹ a nivel de productores tecnificados; le siguen Manabí y Guayas, con 24% y 21%, respectivamente, y en un nivel menor Loja con el 6% del área total (INEC, 2012).

Gran parte del área de siembra de este cultivo está en manos de pequeños productores, que dependen de los cambios en el régimen de lluvias para obtener una buena producción (Martínez, 2008), siendo las condiciones climáticas factores importantes para el correcto desarrollo del cultivo (Gonzales y Díaz, 2008).

La fertilización es pilar fundamental para la producción agrícola, a su vez, es una condición necesaria para lograr producciones óptimas cuantitativa y cualitativamente (Domínguez, 2001). La pérdida de fertilidad de suelos y el manejo de materiales de bajo potencial de rendimiento, son factores que aportan a la baja productividad del cultivo, y también limitan la obtención de semillas de calidad, indispensables para el correcto establecimiento del cultivo (Espinosa y García, 2008). Estos mismos autores indican que para esta necesidad se han desarrollado modelos agronómicos como parcelas de omisión que permiten ajustar recomendaciones nutricionales de acuerdo a las necesidades de cada sector o región, incrementando estos rendimientos a niveles competitivos.

Con base en las limitantes mencionadas en esta investigación, se evaluará el grado de incidencia de la omisión de nutrientes sobre la calidad de semilla, desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz.

A nivel país y principalmente en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y Loja la siembra de maíz en época lluviosa es una actividad muy importante en el aspecto socio económico, principalmente para pequeños agricultores que se dedican a la producción de esta gramínea.

La continua búsqueda de materiales que se adapten a las condiciones locales y con alto potencial de rendimiento hace necesario evaluar técnicas que mejoren los rendimientos y la eficiencia de los fertilizantes aplicados. Una de estas estrategias sería el uso de semillas de alta calidad, cuyas reservas nutricionales ayuden al establecimiento inicial del cultivo.

Existe poca información sobre el efecto de la omisión de nutrientes en la fertilización de los progenitores al momento de la formación del híbrido y sus efectos sobre el vigor y características de rendimiento de su progenie (F1), justificándose de esta manera la realización de esta investigación.

Este trabajo de investigación se desarrolló durante las épocas lluviosa y seca del 2014 en la Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, en Quevedo - Los Ríos, contando esta provincia con mayor área de siembra y potencial de rendimiento por unidad de superficie.

Por la importancia socio-económica que tiene este cultivo, se desarrolló este estudio de omisión de nutrientes, el cual permitió evaluar en dos fases de siembra la calidad de la semilla obtenida en una primera fase, y el potencial de rendimiento del híbrido obtenido de la cruce de los materiales parentales. También aporta con información que permitirá definir técnicas adecuadas de manejo nutricional para la formación de este híbrido y del cultivo mismo.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la omisión de nutrientes en la producción de semilla certificada de maíz y sobre la calidad, desarrollo y rendimiento del cultivo.

1.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar la variación del potencial de rendimiento de semilla, por efecto de la omisión de nutrientes.
- Conocer los efectos de la omisión de nutrientes en la fertilización de parentales, en el proceso de producción de semilla híbrida certificada, sobre la calidad de la misma.
- Conocer los efectos de la omisión de nutrientes en la fertilización de parentales, en el proceso de producción de semilla, sobre la fisiología y rendimiento del cultivo.
- Determinar las variaciones en las eficiencias de fertilización en parentales de las líneas promisorias del INIAP, por efecto de la omisión de nutrientes.

1.2. Hipótesis

1.2.1. Hipótesis general

Ho. La omisión de nutrientes afecta el desarrollo, producción y calidad de semilla de maíz.

Ha. La omisión de nutrientes no afecta el desarrollo, producción y calidad de semilla de maíz

1.2.2. Hipótesis específica

Ho. La omisión de nutrientes afecta el potencial de rendimiento de la semilla.

Ha. La omisión de nutrientes no afecta el potencial de rendimiento de la semilla.

Ho. La omisión de nutrientes afecta la fertilización de parentales sobre la calidad de la semilla en la producción de semilla híbrida certificada.

Ha. La omisión de nutrientes no afecta la fertilización de parentales sobre la calidad de la semilla, en la producción de semilla híbrida certificada.

Ho. La omisión de nutrientes afecta la fertilización de parentales sobre la producción, fisiología y rendimiento, en la producción de semilla híbrida certificada.

Ha. La omisión de nutrientes no afecta la fertilización de parentales sobre la producción, fisiología y rendimiento, en la producción de semilla híbrida certificada.

Ho. La eficiencia de fertilización en parentales de las líneas promisorias del INIAP, varía por efecto de la omisión de nutrientes.

Ha. La eficiencia de fertilización en parentales de las líneas promisorias del INIAP, no varía por efecto de la omisión de nutrientes.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Efectos de la omisión de nutrientes

En investigación realizada por Martínez (2005) en Tecámac, México, se evaluó la producción de semilla híbrida de maíz con cuatro líneas androestériles isogénicas en respuesta a dos dosis de fertilización (200-100-00 y 160-60-00) y dos densidades de siembra 83 000 y 62 500 plantas ha⁻¹, sin encontrar diferencias estadísticas significativas para ninguna de las variables en estudio. Donde los pesos promedios de mazorca fluctuaron entre 74.93 a 111.99 g; y los pesos neto de semilla por mazorca estuvieron dentro del rango de 63.81 a 89.57 g. Quizás se deba a que el espacio de exploración entre los niveles no fue lo suficientemente amplio para establecer y expresar el efecto sobre el cultivo.

Cervantes *et al.*, (2013) en investigación similar realizada en Guanajuato, México, utilizando tres niveles de nitrógeno 150; 250 y 350 kg ha⁻¹, y densidades de siembra entre 60 000 y 90 000 plantas ha⁻¹, no encontraron diferencias estadísticas significativas en el rendimiento (7.4, 7.3 y 7.2 t ha⁻¹).

En cuanto a la evaluación del elemento faltante en el cultivo de maíz suave (no especifica material), en la provincia de Bolívar, Alvarado *et al.*, (2011), encontraron que los contenidos porcentuales de N y P en el grano fueron mayores que en la tuza y material vegetativo, en tanto que para el K, S y Mg los residuos vegetativos estaba presentes en mayor porcentaje. Los investigadores sugieren trabajar con el nutriente Zn que ha demostrado una excelente respuesta en los ensayos de maíz de la costa, por lo que se podría mejorar el rendimiento del cultivo al utilizar este micronutriente. Así mismo, el rendimiento del cultivo marcó una diferenciación en base a la relación dosis de N, que para el nivel más bajo de este nutriente (33 kg ha⁻¹), fue de 3.5 t ha⁻¹, y para su nivel más alto (133 kg ha⁻¹), obtuvo un rendimiento de 6.5 t ha⁻¹.

Carrillo, Cedeño, Aldeán y Dávila (2010) en investigación realizada con omisión de nutrientes en maíz híbrido INIAP H-553, en la zona de Patricia Pilar y Santo Domingo de

los Tsáchilas, establecieron que el nutriente de mayor limitación sobre el cultivo es el nitrógeno, obteniendo rendimientos de 5.84 y 4.7 t ha⁻¹ comparado con el tratamiento completo (N P K Mg S), donde la producción fue 8.55 y 6,17 t ha⁻¹, en su orden y la prioridad de fertilización fue N>P>Mg>K>S y N>S>K>P>Mg, respectivamente. Igualmente, Alvarado *et al.*, (2011) concluyeron después de años de investigación que el N y P son los nutrientes limitantes para el normal desarrollo de cultivo de maíz en la Provincia de Bolívar.

2.1.2. Eficiencia agronómica y fisiológica

Las demandas mundiales de alimentos hacen imperante el incremento de producción de alimentos a nivel mundial y por lo tanto se incrementará el uso de fertilizantes nitrogenados y consecuentemente, la preocupación ambiental asociada con este elemento, hacen que exista una necesidad de incrementar la eficiencia del uso y la efectividad de los fertilizantes nitrogenados en los sistemas de cultivos (Snyder, 2009).

Debido a las confusiones que pueden existir entre los términos de eficiencia, Snyder y Bruulsema (2008) citados por Snyder (2009) establecen el uso de cuatro términos simples relacionados con la eficiencia del uso del nitrógeno, los cuales se detallan a continuación en la Tabla 2.1.

García (2008) en cuanto a la conceptualización de eficiencia fisiológica y agronómica indica:

“Eficiencia agronómica básicamente es el número de kilogramos de grano o de producto final que puedo obtener con base en la dosis aplicada al cultivo. Eficiencia fisiológica es la cantidad de nitrógeno o de nutriente que absorbe la planta, y cuánto de éste es necesario para producir un kilogramo de grano”

Tabla 2.1. Definiciones simples de eficiencia de uso de nitrógeno (EUN) (Snyder y Bruulsema, (2008) citados por Snyder (2009, p. 3).

Término EUN	Calculo	Ejemplos reportados
PPF _N (Productividad parcial del factor N)	R/D	40 a 80 unidades de grano de cereal por unidad de N
EA _N (Eficiencia agronómica del N aplicado)	(R-R ₀)/D	10 a 30 unidades de grano de cereal por unidad de N aplicado
BPN _N (Balance parcial del N (relación de remoción a uso de N)	U _C /D	0 a más de 1.0: depende de la fertilidad del suelo y de los objetivos de mantenimiento de esta fertilidad
ER _N (Eficiencia aparente de recuperación del N)	(U/U ₀)/D	< 1: sistemas deficientes en nutrientes (mejoramiento de la fertilidad) 0.3 a 0.5: típica recuperación de N en cereales 0.5 a 0.8: recuperación de n en cereales con mejor

D = cantidad de N aplicado (como fertilizante, residuos, etc.)

R = rendimiento de la porción cosechada del cultivo con la aplicación de N

R₀ = rendimiento del tratamiento control sin la aplicación de N

U_C = contenido de N en la porción cosechada del cultivo

U = acumulación total de N en biomasa aérea del cultivo con la aplicación de N

U₀ = acumulación total de N en biomasa aérea del cultivo sin la aplicación de N

Por otro lado Snyder y Bruulsema (2008) citados por Murrell (2009, p. 3) definen que la eficiencia agronómica (EA) considera cuanto incremento en rendimiento se logra por unidad de nutriente aplicado, y su resultado no se expresa en unidades.

Murrell (2009) sostiene que el fósforo y el potasio son retenidos por el suelo y pueden, por esta razón, impactar el rendimiento de los cultivos y la fertilidad del suelo por varios años

después de su aplicación. Este impacto se denomina efecto “residual”, en consecuencia, la eficiencia de una aplicación puede evaluarse para un solo ciclo o para varios. Mientras más bajo sea el nivel de fertilidad del suelo en relación al P y K las respuestas de eficiencia agronómica y eficiencia de recuperación serán más altas, declinando a manera que estos dos nutrientes se acercan a niveles donde no son limitantes (Fixen, 2010).

En investigación realizada por Johnston y Syers (2010) mencionan que la metodología para evaluar la recuperación o eficiencia de N tiene sus limitaciones al momento de evaluar P y K, debido a que el N que se aplica en el suelo es absorbido en gran cantidad por la planta y la otra parte se pierde por lixiviación, desnitrificación o volatilización; a diferencia de P y K que son absorbidos, retenidos y acumulados en el suelo como reserva. Dentro del mismo contexto Murrell (2009) en su artículo sobre principios básicos de la eficiencia de P y K medidos en un periodo de catorce años, menciona que para determinar la EA de P se deben tomar en cuenta el historial de fertilización y rendimiento, ya que las evaluaciones a corto plazo ignoran estos factores y pueden producir valores artificiales de EA. También indica que una dosis alta de P produce una EA a largo plazo similar o superior a pequeñas aplicaciones realizadas anualmente.

Para desarrollar un plan nutricional, se debe seguir un plan que incluya varios puntos como muestreo y análisis de suelo para establecer la oferta de nutrientes en el suelo y con base de la demanda de absorción del cultivo, poder establecer un balance de nutrientes. El diagnóstico nutricional, que no es más que el análisis integral de los resultados del análisis de suelo, considerando aspectos como rotación, cobertura, historia agrícola, aspectos físicos y el clima, es valiosa ayuda para el diseño del plan de fertilización, que permitirá definir la necesidad o no de fertilizar; este plan debe incluir las cantidades y tipos de fertilizantes y el momento de la aplicación (Melgar y Torres, 2003).

2.2. Fundamentaciones

Un importante factor que contribuye a la crisis de la producción agrícola, radica en la incapacidad de los países en desarrollo en aumentar los rendimientos de los cultivos. Sin embargo, se ha demostrado un desarrollo global en el mejoramiento genético que ha traído consigo la producción de cultivares de alto rendimiento (Feistritzer, 1979).

El crecimiento vegetativo y el potencial de rendimiento del maíz varían de acuerdo a las condiciones climatológicas donde se cultive. En áreas tropicales, el efecto de la latitud y altitud sobre el clima cumple un factor determinante en la expresión de rendimiento, ya que estas condiciones pueden cambiar a corta distancia (Espinosa y García, 2010).

La semilla de maíz está compuesta por tejidos y órganos especializados, lo cual está ligado a características físicas y químicas que provocan diferencias notables en la constitución final de la semilla, ya que se desarrolla como resultado de la fecundación, subsiguiente a una correcta polinización (Poey, 1978).

Para el CIAT (1982), la semilla no es un insumo más, sino un instrumento dinámico que puede utilizarse para alcanzar objetivos específicos de producción agrícola; así, muchos libros de botánica correlacionan la fertilización con el desarrollo de la semilla y del fruto Raymond (1989), esto hace que la semilla de alta calidad dependa directamente de las condiciones de producción en campo, para mantener la calidad fisiológica y sanitaria de la semilla que depende de gran medida del porcentaje de humedad interna (INIAP, 2008).

Para García (2008), en el mundo el 33% del total de nutrientes aplicados es absorbido y metabolizado por las plantas; sin embargo, si se incrementaría el uso eficiente de nutrientes en 1%, se estaría produciendo cerca de 500 millones de toneladas más de alimentos, lo que significaría un ahorro aproximado de US\$235 millones. En general, lo que se persigue es que haya una menor pérdida de nutrientes en el campo.

El desarrollo bioenergético actualmente está impulsando la demanda de fertilizantes; sin embargo, algunos países están desarrollando regulaciones para el uso de estos fertilizantes, esto tendrá impactos en la forma de utilización de dicho nutrientes, teniendo que desarrollar estrategias de manejo de los fertilizantes y optimizar su uso (Luc y Heffer, 2006).

A nivel productivo de los cultivos, las deficiencias de los nutrientes no ocurren de manera aislada, sino que se combinan de diversas maneras, por lo que es necesario evaluar integralmente la respuesta a la fertilización (Ferraris, Toribio, Falconi y Couretot, 2012). De esta manera, Rodríguez (1982) manifiesta que así como todas las prácticas agrícolas, la nutrición no admite recetas, es decir debe ser basada en la evaluación previa del área donde se va a desarrollar la siembra.

Los nutrientes son importantes ya que participan en una serie de procesos fisiológicos que incluye la captación de energía solar, participación en procesos fisiológicos o bioquímicos, entre ellas la activación de enzimas y transferencia de energía (Kass, 2007).

2.2.1. Nitrógeno

Entre los elementos minerales esenciales, el nitrógeno (N) es el que con más frecuencia limita el rendimiento del maíz. Esto es porque las plantas requieren cantidades importantes de este nutriente y la mayoría de los suelos presentan limitación del mismo (Below, 2002). Además debe tomarse en cuenta la época oportuna de aplicación, para asegurar un estado fisiológico óptimo al momento de la floración, tiempo alrededor del cual se determina el rendimiento (Domínguez et al., 2001); sin embargo, este nutriente es muy susceptible a perderse de forma natural por volatilización o lixiviación, siendo el que más limita la producción, por lo que es necesario el fraccionamiento de las cantidades a ser aplicadas a fin de garantizar la mayor absorción y eficiencia y obtener altos rendimientos (Alvarado et al., 2011).

2.2.2. Fósforo

Así también la planta de maíz absorbe cantidades importantes de P como ión ortofosfato primario (H_2PO_4^-), seguido del ión ortofosfato secundario ($\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$) y otras formas que son absorbidas en menores cantidades. Una vez que el P es absorbido, éste es distribuido a cada una de las células, concentrándose más en las partes reproductivas. Puede unirse con el C, H, O, N, y otros elementos a fin de formar moléculas orgánicas complejas. También tiene capacidad para formar uniones de más de un nivel de energía, lo que permite el almacenaje, transferencia y liberación de energía dentro de la planta a través de materiales tales como Adenosíndifosfato y Adenosíntrifosfato. Participa también en la activación de numerosas enzimas y reacciones básicas de la fotosíntesis (Agarwala y Sharma, 1963; citados por Gómez, 1989 y Pineda, 2001).

INPOFOS (1997) describe que un deficiente suministro de P provoca severos daños como atrofia de la planta, las hojas pueden deformarse y producir áreas necróticas en hojas, frutos y tallos; las hojas más viejas quedan afectadas antes que las jóvenes; a menudo se observa un color rojizo en las hojas; la deficiencia es difícil detectar en los cereales, y en ciertas etapas de desarrollo puede manifestarse como un color verde oscuro,

pudiéndose referir a la planta con aspecto de “achaparramiento”, ”decaída”, “débil” o “enfermiza”.

2.2.3. Potasio

El K juega un papel fundamental en la fisiología y desarrollo del cultivo de maíz, su deficiencia puede causar un lento crecimiento, dejando a las plantas pequeñas con pobre emisión del sistema radicular, acame, así como en los parámetros relacionados con productividad (Peso de grano, número de grano por mazorca, llenado de mazorca y calidad de grano) (INPOFOS, 1999).

2.2.4. Magnesio

El elemento Mg es constituyente de la clorofila por lo que gran parte del mismo se localiza en las hojas. El porcentaje normal en la planta está en el rango del 0.5%, aunque esto depende de cada especie. Este elemento es tomado como ion Mg^{2+} , y es afectado por la asimilación de otros nutrientes especialmente amonio, potasio y calcio. Entre las funciones más importantes, está el activar procesos metabólicos, tiende a acumularse al igual que el K en frutos y órganos de reserva (Domínguez, 2001).

2.2.5. Boro

El boro (B) se menciona entre los micronutrientes que a menudo su deficiencia puede causar disminuciones de rendimientos especialmente en siembras intensivas de maíz que están sometidas a altos niveles de fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre. A su vez, es relativamente fácil de corregir por medio de fertilizaciones logrando aumentos económicos de rendimientos (Melgar *et al.*, 2001).

2.2.6. Zinc

Ratto y Miguez (2006) mencionan que en las nuevas variedades e híbridos de maíz, la acumulación de residuos en el suelo, la siembra directa y los altos niveles de fertilización utilizados en la siembra de estos materiales, hacen que se desarrolle un desbalance de nutrientes a nivel de suelo, siendo uno de los más afectados el elemento Zn, llegando a ser considerado el tercer elemento limitante para este cultivo, luego de N y P.

2.2.7. Parcelas de omisión

Las aplicaciones de fertilizantes son más eficientes si se aportan los nutrientes requeridos en la época correcta, considerando las fases fenológicas del cultivo. La omisión de nutrientes es una metodología que busca aportar nutrientes de acuerdo a las necesidades del cultivo, permitiendo ir ajustando de manera dinámica el uso de fertilizantes (Espinosa y García, 2008).

Dentro del manejo de nutrientes por sitio específico, se hace uso de los nutrientes presentes en el suelo, y que es aportado por fuentes tales como: materia orgánica, residuos del cultivo, agua de riego; para poder realizar la evaluación del aporte de los nutrientes presentes a nivel suelo se ayuda en la técnica de parcelas de omisión, la cual determina el abastecimiento del suelo, mediante la determinación de la acumulación del elemento en estudio en el cultivo, pero fertilizado con cantidades adecuadas con los otros nutrientes y así garantizar que la ausencia de uno de estos no es el limitante del rendimiento en el cultivo evaluado (Espinosa y García, 2010).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitio de estudio

3.1.1 Características climáticas

El presente estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del INIAP, ubicada en la provincia de Los Ríos, cantón Quevedo, a 5 km de la vía Quevedo - El Empalme. Se localiza a 79°27' longitud W y 01°06' latitud S, a 120 msnm, con temperatura promedio de 25.02°C, y una precipitación anual promedio de 1970.6 mm, durante el período 2000 - 2014 (INAMHI, 2014).

3.1.2 Características edáficas

El suelo presentó textura franca con contenido medio de MO (3.4%), pH de 6.5 valores de N y B considerados bajos, P, K, Cu y Fe, altos y medios en Ca, Mg, S, Zn y Mn, según resultados de análisis de fertilidad realizado en el laboratorio del Departamento Nacional de Suelos y Aguas (DNMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) (Tabla 3.1).

Tabla 3.1.- Resultados de los análisis de suelos del lote experimental, ubicado en la EETP del INIAP

Datos de Lote	Ph	NH ₄	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
		mg kg ⁻¹		cmolc dm ⁻³					mg kg ⁻¹			
Fase primera	5.3 Ac	9 B	73 A	0.74 A	7 M	1.0 M	20 M	5.1 M	9.8 A	172 A	5.9 A	0.43 B
Fase segunda	4.8 Me Ac	24 M	74 A	0.43 A	5 M	0.7 B	68 A	8.0 A	10.2 A	184 A	8.3 M	0.22 B

Al + H	Al	MO	Ca/Mg	Mg/K	Ca + Mg/K	Σ Bases	CIC	Arena	Limo	Arcilla	Dens. de suelo	Dens. Real	Porosidad
cmolc dm ⁻³		%			cmolc dm ⁻³				%		t m ⁻³		%
1.45 M	0.22 M	3.40 M	7.00	1.35	10.81	10.19	15.03	28	47	25	2.30		
		3.80 M	7.10	1.63	13.26	6.13		34	42	14		60.30	57.10

INTERPRETACIÓN				
pH		Elementos		
Ac	Me Ac	A	M	B
Acido	Media. Acido	Alto	Medio	Bajo

Abreviatura tomada del Laboratorio de Suelo y Tejido del INIAP

3.2. Técnicas, procedimientos, instrumentos y recursos

El trabajo de investigación consistió en desarrollar dos fases: formación del híbrido y evaluación del híbrido.

Fase 1: Formación del híbrido

En esta fase se trabajó en la obtención del híbrido de maíz, para esto se establecieron parcelas sembradas con semillas de los parentales masculino (L.P.2.A) y femenino (L.I.4), facilitados por el Programa de maíz de la Estación Experimental Portoviejo (EEP), INIAP, las cuales fueron sometidas a omisión de nutrientes para determinar el efecto sobre la morfología de la planta y la calidad y rendimiento de la semilla obtenida.

Fase 2: Evaluación del híbrido

En la segunda fase de desarrollo del estudio, se procedió a la evaluación de la semilla híbrida, procedente de las parcelas de omisión de nutrientes. Aquí se utilizó una fertilización básica de acuerdo a las recomendaciones del Departamento de Suelos de la EETP del INIAP, considerando los resultados del análisis de suelo

3.3. Diseño experimental, factores y variable en estudio

3.3.1. Diseño experimental

Esta investigación fue instalada en el campo y los resultados encontrados en las dos etapas, fueron analizados utilizando el Diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones, teniendo un total de 30 unidades experimentales; para comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. El esquema de análisis de la variancia se presenta en la (Tabla 3.2.).

Tabla 3.2. Esquema del análisis de la variancia (ADEVA) utilizado en la investigación

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total	29
Repeticiones	2
Tratamientos	9
Error experimental	18

Características de la unidad experimental

Tabla 3.3. Características del área experimental en las dos épocas de siembra.

Características	Valores	Características	Valores
Área total del experimento	1144 m²	Distancia entre golpes	0.20 m
Área total de parcelas	720 m²	Hileras por parcela	6
Superficie total por bloque	240 m²	Hileras útiles por parcela	2
Superficie total por parcela	24 m²	Golpes o sitios por hilera	20
Longitud del surco	5 m	Semillas por golpe	1
Distancia entre surcos	0.80 m	Densidad poblacional	62500 plantas ha⁻¹

3.3.2. Factor en estudio y tratamientos

El factor en estudio en las dos fases de la investigación fue la omisión de nutrientes a los progenitores, contó con siete tratamientos, omisión de N, P, K, Mg, S, Zn y B, más un tratamiento de fertilización completa (aplicación de todos los nutrientes), un tratamiento basado en la recomendación técnica, y un testigo absoluto (Tabla 3.4.).

Tabla 3.4. Tratamientos utilizados para evaluar los efectos de la omisión de nutrientes sobre la calidad de semilla y rendimiento, en la producción de un híbrido de maíz (*Zea mays* L.)

Código	Tratamiento	N	P₂O₅	K₂O	S	MgO	Zn	B
		kg ha⁻¹						
1	PKSMgZnB (-N)	0	46	60	44	55	15	1.5
2	NKSMgZnB (-P)	140	0	60	44	55	15	1.5
3	NPSMgZnB (-K)	140	46	0	44	55	15	1.5
4	NPKMgZnB (-S)	140	46	60	0	55	15	1.5
5	NFKSZnB (-Mg)	140	46	60	44	0	15	1.5
6	NPKMgSB (-Zn)	140	46	60	44	55	0	1.5
7	NPKMgSZn (-B)	140	46	60	44	55	15	0
8	NPKMgSZnB (FC)	140	46	60	44	55	15	1.5
9	*PFI	140	46	60	44	55	0	0
10	Testigo Absoluto	0	0	0	0	0	0	0

*Prácticas de fertilización del Departamento de semillas del INIAP

3.3.3. Variables en estudio

a. Altura de inserción de mazorca

A la cosecha, con ayuda de una regla, se evaluó la altura de 10 plantas al azar, considerando la altura desde la base del tallo hasta el punto de inserción de la mazorca principal, reportando los datos en centímetros.

b. Días a floración

Los días a la floración se determinó considerando el tiempo transcurrido desde la siembra hasta cuando mínimo el 50% de las plantas de cada tratamiento habían emitido su panícula.

c. Diámetro de tallo

Cuando las plantas se encontraban en estado de madurez fisiológica, se procedió a registrar esta variable, en el primer entrenudo de 10 plantas tomadas al azar dentro de la parcela útil,

usando para el efecto un calibrador (paquímetro), este valor se expresó en milímetros (mm).

d. Porcentaje de mazorcas mal polinizadas y podridas

Se evaluó el total de mazorca por parcela y se contó las que presentaban mala polinización o podridas; estas fueron relacionadas con el total de mazorcas cosechadas, para obtener el porcentaje.

f. Diámetro y longitud de mazorca

A la cosecha, usando un calibrador ubicado en la parte media de 10 mazorcas colectadas al azar, se registró el diámetro y con ayuda de una regla la longitud, los datos promedios son presentados en centímetros.

g. Acame de raíz.

Esta evaluación se determinó contando el número de plantas por parcela que presentaban una inclinación mayor a 30° a partir de la base de la planta, este dato se determinó cuando la planta había alcanzado la madurez fisiológica y fue expresado en porcentaje.

h. Acame de tallo

Se realizó luego de determinar la madurez fisiológica de las plantas y fue expresado en porcentaje, considerando como acamadas a las plantas que presenten una inclinación del tallo mayor de 45°.

i. Índice de cosecha

Para el registro de esta variable, se calculó la relación entre la producción en toneladas por hectárea de materia seca del grano (PMSG) y la suma de producción de materia seca vegetativa (PMSV), grano y Tuza (PMST).

$$\text{Índice de cosecha} = \frac{\text{PMSG}}{\text{PMSV} + \text{PMSG} + \text{PMST}}$$

j. Rendimiento

Se determinó el peso fresco de grano cosechado (PHG) en las dos hileras centrales de cada tratamiento (área de cosecha AC), el porcentaje de humedad del grano a la cosecha (HG) y el resultado fue expresado en kilos por hectárea ajustado al 14 % de humedad. Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula.

$$\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} = (\text{PHG} \cdot (100 - \text{HG}) / 86) \cdot (10000 / \text{AC})$$

k. Peso de mil semillas

Se contabilizaron mil semillas, luego con la ayuda de una balanza electrónica digital se determinó su peso y los valores se expresaron en gramos.

l. Vigor de semillas

Se realizó el análisis de Vigor de semilla en la Unidad de Beneficio de Semilla (UBS), de Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) INIAP, colocando 100 semillas en papel germinador cuyo peso por cada lamina de papel es 7.85 gramos. La semilla se colocó en el germinador de semilla donde se la mantuvo por 7 días a una temperatura controlada de 10°C, posteriormente usando la misma metodología se la sometió por 7 días a temperatura controlada de 25°C. Se evaluó longitud de radícula y plúmula, expresando los valores en centímetros.

m. Eficiencia fisiológica (EF)

Este parámetro fue evaluado tomando en cuenta la relación entre el aumento en la producción (peso seco de grano en tratamiento completo PSGTC – peso seco de grano en tratamiento de omisión PSGTO) y el aumento de la absorción del elemento (absorción del nutriente en tratamiento completo ANTC – absorción en tratamiento de omisión ANTO) en kilogramos por hectárea.

$$\text{EF} = (\text{PSGTC} - \text{PSGTO}) / (\text{ANTC} - \text{ANTO})$$

n. Eficiencia agronómica (EA)

Este parámetro se obtuvo de la relación entre aumento en la producción (peso seco de grano en tratamiento completo PSGTC – peso seco de grano en tratamiento de omisión PSGTO) y el peso de nutriente aplicado (PNA) en kilogramos por hectárea.

$$EA = (PSGTC-PSGTO)/(PNA)$$

o. Eficiencia interna (EI)

Se registró esta variable determinando la relación entre los valores de peso seco de grano (PSG) con el peso de nutriente absorbido (PNAb).

$$EI = PSG/PNAb$$

p. Factor parcial de productividad (FPP)

Se obtuvo este variable de la relación entre los valores de peso seco de grano (PSG) por peso de nutriente aplicado (PNAp).

$$FPP = PSG / PNAp$$

q. Eficiencia aparente de recuperación (EAR)

Este parámetro se consiguió de la relación entre aumento en la producción (peso seco de grano en tratamiento completo PSGTC – peso seco de grano en tratamiento de omisión PSGTO) y el peso de nutriente aplicado (PNAp) en kilogramos por hectárea.

$$EAR = (PSGTC-PSGTO)/(PNAp)$$

r. Análisis químico de semilla

Para la obtención de esta variable, se empleó la metodología utilizada en los análisis de tejidos por el laboratorio del INIAP (microKjeldahl para N, Turbidimetría S, B y P y absorción atómica resto de nutrientes).

Las variables evaluadas en cada fase fueron:

Primera fase

Días de floración; altura de inserción de mazorca; diámetro de tallo; porcentaje de acame; porcentaje de mazorcas mal polinizadas y podridas; diámetro y longitud de mazorca; índice de cosecha.

Segunda fase

Días de floración; altura de inserción de mazorca; diámetro de tallo; porcentaje de acame; porcentaje de mazorcas mal polinizadas, podridas y sanas; diámetro y longitud de mazorca; rendimiento y peso de mil semillas.

3.4. Manejo del experimento

El manejo agronómico realizado al cultivo durante las dos etapas de desarrollo del estudio fue el mismo.

En las dos fases se procedió a coleccionar muestras de suelo, que fueron analizadas en el laboratorio del Departamento Nacional de Suelos y Aguas (DNMSA) de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), con el objetivo de conocer su fertilidad y planificar las cantidades de fertilizantes a manejarse durante el estudio.

Las siembras se realizaron en enero 20 y mayo 18, época lluviosa y seca del 2014, respectivamente. Se utilizó el espeque como herramienta para la siembra, y se consideró una densidad poblacional de 62550 plantas ha⁻¹.

Al momento de la siembra, la semilla fue tratada con insecticida Thiodicarb 35% de ia, y junto al herbicida pre emergente se aplicó de forma preventiva clorpirifos, para prevenir daños de insectos tierreros al inicio del establecimiento del cultivo.

Se realizaron aplicaciones de clorpirifos (0.7 L ha⁻¹), a los cero, quince y veinticinco días después de la siembra de forma preventiva al ataque de *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis*. Además, se aplicó cebo envenenado, preparado con arena seca y humedecida con una solución de clorpirifos (0.15 L en cuatro litros de agua para un saco de arena).

El control de malezas se realizó en pre emergencia usando Atrazina (1.5 kg ha^{-1}), Pendimetalina (3.0 L ha^{-1}) y Glifosato (3.0 L ha^{-1}), a los treinta días se realizó una "chapia" con machete.

La fertilización en el primer ciclo se realizó de acuerdo a los tratamientos de omisión, en chorro continuo. Se realizaron tres aplicaciones: la primera a la siembra, a los quince y treinta días después de la siembra, utilizando como fuentes de los elementos (Urea, Sulfato de Amonio, Magnesio y Zinc, Nitrato de Magnesio, MAP, MOP, DAP, Fertiboro, Micro Mix II). De forma general se aplicó $140; 46; 60; 44; 55; 15; 1.5 \text{ kg ha}^{-1}$, en su orden, con la respectiva omisión en cada uno de los tratamientos. En tanto que, en segundo ciclo se efectuó una fertilización general, de acuerdo a la recomendación del personal técnico del Departamento de Suelos y Aguas de la Estación EET- Pichilingue, basado en el análisis de suelo y fue de: $140 \text{ N}; 46 \text{ P}; 60 \text{ K}; 44 \text{ S}; 55 \text{ Mg}; 15 \text{ Zn}; 1.5 \text{ B kg ha}^{-1}$

En la primera fase se realizó polinización asistida al momento de la emisión de la panoja, contando con ayuda de personal del Programa de maíz de la EETP, colocando fundas de papel para polinizar en la panoja y coleccionar el polen. A la emisión de la flor femenina, se colocó una funda para evitar fecundación con otro polen; así cada mazorca fue polinizada con polen de plantas sometidas al mismo tratamiento.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Primera Fase

4.1.1. Altura de mazorca

Esta variable presentó significancia estadística al efecto de omisión de nutrientes evaluados frente al testigo (Tabla 4.1.). No se evidenció un efecto marcado por la falta de los micronutrientes Zn y B que alcanzaron una altura de mazorca de 1.00 m. La mayor reducción de altura de mazorca se observó con la omisión de N y Testigo con 0.90 y 0.64 m, en su orden, este efecto es consecuencia de la deficiencia de N, elemento que interviene en la formación y desarrollo de yemas florales y fructíferas (Malavolta, Vitti y Oliveira, 1997); esto concuerda con INPOFOS (1997) donde indican que este elemento es factor esencial para el normal desarrollo de la planta.

4.1.2. Diámetro de tallo

En la evaluación de promedios de diámetro de tallo presentados en la (Tabla 4.1.) se observa significancia estadística al efecto de omisión de nutrientes, evaluados frente al testigo. La mayor reducción de diámetro de tallo se observó con la omisión de N y testigo con 14.82 y 12.33 mm, respectivamente.

4.1.3. Diámetro de mazorca

No existieron diferencias estadísticas significativas (Tabla 4.1.) para el variable diámetro de mazorca. El mayor efecto numérico se observa en el tratamiento de omisión de K donde se presentó una reducción de hasta 9.97 mm con respecto al tratamiento con el valor más alto (39.10 mm).

Tabla 4. 1. Promedios para altura de mazorca, diámetro de tallo y mazorca, longitud de mazorca, acame, plantas mal polinizadas, floración e índice de cosecha afectado por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Tratamiento	Altura de mazorca	Diámetro de tallo		Diámetro de mazorca	Longitud de mazorca	Acame raíz		Acame de tallo	Mal polinizadas	Floración	Índice de cosecha		
	m	mm		mm	cm	%		%		días			
PKSMgZnB (-N)	0.90	B	14.82	A B	35.53	8.53	A B	13.33	0.00	19.42	A B	62.00	0.18
NKSMgZnB (-P)	0.92	B	15.46	B C	35.97	9.57	A B	30.67	0.80	29.62	A B	61.67	0.18
NPSMgZnB (-K)	0.98	B	17.47	B C	29.13	9.83	A B	27.67	0.67	20.92	A B	61.00	0.20
NPKMgZnB (-S)	0.96	B	16.83	B C	39.10	11.10	A B	34.00	0.80	24.77	A B	60.00	0.23
NPKS/ZnB (-Mg)	0.97	B	17.53	B C	34.67	9.60	A B	38.00	0.00	21.19	A B	60.67	0.16
NPKSMgB (-Zn)	1.00	B	17.93	C	35.57	9.50	A B	18.67	1.43	12.20	A	61.00	0.22
NPKSMgZnB (-B)	1.00	B	17.26	B C	33.97	11.00	B	28.33	0.73	22.63	A B	59.33	0.23
NPKSMgZnB (FC)	1.01	B	17.67	B C	33.90	11.70	B	25.33	2.57	23.51	A B	59.67	0.19
PFI	1.00	B	17.49	B C	31.81	9.37	A B	27.67	1.67	20.07	A B	60.00	0.19
Testigo	0.64	A	12.33	A	24.33	5.53	A	25.33	0.00	58.73	B	62.00	0.14
Promedio	0.94		16.48		33.40	9.57		26.9	0.87	25.31		60.73	0.20

Promedios seguidos de una misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente; Tukey (P=0.05)

4.1.4. Longitud de mazorca

Se encontraron diferencias estadísticas significativas para longitud de mazorca (Tabla 4.1.), teniendo que el tratamiento testigo mostró el valor más bajo con un promedio de 5.53 cm, estadísticamente igual a los conseguidos con las omisiones de N, P, K y Mg, incluso el de fertilización completa, cuyos valores fluctuaron entre 8.53 cm y 9.83. Las longitudes observadas con las omisiones de S, Zn y B, hacen suponer que la cantidad de elemento nativo del suelo, es suficiente para el normal desarrollo de las mazorcas.

4.1.5. Acame de raíz

Para esta variable no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tabla 4.1.), teniendo un promedio general de 26.9% de plantas acamadas. Este valor es elevado probablemente debido a que se está trabajando con material genético puro, cuyas características fisiológicas normalmente son pésimas, así como también lo expone León *et al.*, (1998) en su evaluación de híbridos dobles de maíz, en la cual se observó que las plantas de la generación F2 presentaban mayor porcentaje de acame de raíz con respecto a la F1.

El tratamiento en donde se eliminó la aplicación de N presenta el menor promedio de volcamiento de plantas con un 13.33% que no difiere estadísticamente de los demás promedios que presentaron valores de entre 38% y 18.67%. El tratamiento – Zn presentó

bajo porcentaje de acame (18.67), al igual que en el tratamiento donde se omitió la aplicación de N; este segundo caso está directamente relacionado con el menor desarrollo de plantas (alturas), tamaño de mazorcas producidas, que incidieron en la presencia de plantas acamadas, en cuanto el tratamiento con fertilización completa, su valor no es muy alto a pesar de presentar una mayor altura de carga y desarrollo de mazorca, probablemente por efecto de la nutrición recibida.

4.1.6. Acame de tallo

Para esta variable no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tabla 4.1.), teniendo un promedio general bajo el 1% de plantas acamadas.

4.1.7. Mazorcas mal polinizadas

En esta variable se encontraron diferencias estadísticas significativas (Tabla 4.1.), igualmente por efecto de la homocigosis de los materiales parentales; el mayor porcentaje de mazorcas mal polinizadas se presentó en el tratamiento testigo con un 58.73%, por el contrario, el tratamiento con el menor problema de polinización y estadísticamente diferente, resultó el tratamiento con fertilización -Zn con un valor de 12.20%. Analizando únicamente los tratamientos, sin considerar el testigo, se observa que en donde se suprimió el P, presentó alto valor de mazorcas mal polinizadas (29.62%), esto influenciado por el papel fundamental que cumple el P en el almacenamiento de energía en la formación de semillas, concordando con lo indicado por (Agarwala y Sharma, 1963; citados por Gómez, 1989 y Pineda, 2001) que indican que una vez absorbido el P, éste es distribuido a cada una de las células, concentrándose más en las partes reproductivas. Otro elemento importante en la formación del grano es el N, que en su deficiencia provoca aborto de los granos, sin llegar a completar su desarrollo (Below, 2002) y en la investigación se obtuvo 19.42% de mazorcas mal polinizadas.

4.1.8. Floración

Los diferentes tratamientos evaluados resultaron con diferencias estadísticas no significativas (Tabla 4.1.); sin embargo, se puede observar cierta precocidad en el tratamiento donde se omitió el micronutriente (B) con 59.33 días en comparación con parcelas de omisión de N y Testigo que florecieron a los 62 días después de la siembra, por tanto, la omisión de elementos nutrientes, no afectan los días de floración en esta localidad.

Efectos de diferencias marcadas en el tiempo transcurrido desde la siembra a la floración, generalmente son observados al comparar materiales genéticos y en la parte nutricional, por deficiencia de N como indicado por INPOFOS (1997).

4.1.9. Índice de cosecha

Como se observa en la (Tabla 4.1.), no existieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de omisión; mas, el tratamiento testigo fue el mayormente afectado en el índice de cosecha con un valor de 0.14; seguido del tratamiento donde se suprimió el Mg con un valor de 0.16; además los mejores índices de cosecha fueron alcanzados por los tratamientos donde se limitó la aplicación de S y B, con índices de 0.23; en ambos casos, estos valores presentan una relación indirecta con los niveles de polinización de las mazorcas, que influye en la producción de grano. Valores similares de IC que fluctuaron entre 0.18 y 0.31 fueron conseguidos por López et al. (2014), evaluando tres variedades de maíz y seis niveles de fósforo en México, encontrando el mayor índice con uso de 80 kg ha⁻¹ de P. Por el contrario, Cueto et al. (2006) reporta valores mayores de IC que fluctúan entre 0.29 y 0.36, cuando evaluó densidades de siembra y dosis de N.

4.1.10. Rendimiento

Los niveles de rendimiento alcanzados en los tratamientos de omisión presentaron diferencias estadísticas significativas (Tabla 4.2.), obteniendo producciones para el tratamiento testigo de 921.33 kg ha⁻¹, y el de omisión de S rendimiento de 2134.00 kg ha⁻¹ de semilla; este último valor está acorde a los rendimientos conseguidos por Hernández et al. (2010), quienes al evaluar 17 líneas parentales de maíz en Venezuela, consiguieron rendimientos que fluctuaron entre 1707 kg ha⁻¹ y 3199 kg ha⁻¹.

Tabla 4.2. Rendimiento de grano y peso de mil semillas, afectados por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz.

Tratamiento	Rendimiento (kg ha⁻¹)			Peso de mil semillas (g)
PKSMgZnB (-N)	1135.00	A	B	238.67
NKSMgZnB (-P)	1077.00	A	B	237.33
NPSMgZnB(-K)	1187.00	A	B	195.33
NPKMgZnB (-S)	2134.00	A		229.33
NPKSZnB (-Mg)	1136.33	A	B	268.67
NPKSMgB (-Zn)	1581.00	A	B	240.00
NPKSMgZn (-B)	1852.00	A	B	249.33
NPKSMgZnB (FC)	1700.00	A	B	247.33
PFI	1241.67	A	B	212.67
Testigo	921.33		B	156.00
Promedio	1396.50			227.47

Promedios seguidos de una misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente; Tukey (P=0.05)

El tratamiento de omisión que presentó menor rendimiento fue -P, con 1077.00 kg ha⁻¹, valor que resulta como consecuencia de la mala polinización verificada en este tratamiento. Este efecto también se observa con la omisión de N, K y Mg cuyos rendimientos no llegaron a superar los 1200.00 kg ha⁻¹ de grano, este efecto puede ser justificado por el hecho de que el N interviene en la formación y desarrollo de las yemas florales, el P y Mg en el crecimiento radicular e incremento de la fructificación y el potasio en el llenado de grano y almacenamiento de azúcares y almidón (Malavolta et al., 1997).

4.1.11. Peso de mil semillas.

La variable peso de mil semillas no presentó diferencias estadísticas significativa entre los tratamientos evaluados (Tabla 4.2.), oscilando entre los 156.00 y 268.67 g, variación también reportada por Hernández et al. (2010) trabajando en Venezuela con 17 parentales de maíz. Sin embargo, resaltan los pesos de 156.00 g y 195.33 g 1000 semillas⁻¹ presentados por los tratamientos testigo y -K, el primero es lógico que por la ausencia de todos los nutrientes por no recibir fertilización, pero en el segundo caso, existe una reducción del orden de 27.3% respecto al mayor peso (268.67 g 1000 semillas⁻¹)

conseguido con el tratamiento –Mg; esto es resultado del efecto que tiene el K sobre la calidad, peso y número de semillas por mazorcas de maíz indicado por INPOFOS (1999) y la estimulación del llenado de granos indicado por Malavolta *et al.*, (1997).

El tratamiento completo resultó 7.8% por debajo del tratamiento –Mg, lo que indica que este nutriente presente en el suelo ($1.0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) está en cantidades suficientes para obtener buen peso de semilla (Tabla 3.1.)

4.1.12. Eficiencia fisiológica

En la Tabla 4.3. se observa que la eficiencia fisiológica del N fue mayormente afectada por la omisión de Zn, consiguiendo una disminución de 63.7 kg de grano kg^{-1} de N absorbido, que corresponde al 268.09% comparado con el tratamiento de fertilización completa (FC). Por otro lado, en el tratamiento – K, se consigue superar la eficiencia del N en 319.9 kg kg^{-1} al tratamiento –N y en $296.16 \text{ kg kg}^{-1}$ al de fertilización completa, indicativo de que la aplicación de este elemento con el fertilizante afecta la eficiencia fisiológica del N, siendo los niveles naturales suficientes. Estas eficiencias resultan menores a los 35 kg de maíz por kg de N absorbido, reportado por Celaya (2009) citado por Tasistro (2013, p. 14) en maíz comercial y acordes con Andrade (2009) que para líneas de maíz la eficiencia fisiológica varía de 20 a 24 kg kg^{-1} y cuando éste cita a D'Andrea (2008) revela que varía de 27 a 51 kg kg^{-1} . Igualmente García y Salvagiotti (2010) citan a Salvagiotti (2009, p. 12), quien indica una eficiencia promedio de 22.7 kg kg^{-1} de dos genotipos de maíz cultivados en tres sitios experimentales; Dobermann, (2007) citado por Stewart (2007, p. 2) expone que en cereales, este índice puede variar, entre 10 a 30 kg de grano adicional por cada kg de nutriente absorbido siendo mayor a 25 en sistemas eficientes con bajos niveles de N aplicado.

La eficiencia del P se ve afectada principalmente en el tratamiento de FC con valores menores en $614.24 \text{ kg kg}^{-1}$ en relación al de omisión de P, esto seguramente se debe a la adición de B, en vista de que en el tratamiento que se omite este último elemento, se eleva la eficiencia respecto al de omisión de P en $1250.36 \text{ kg kg}^{-1}$ y $1864.6 \text{ kg kg}^{-1}$ respecto al de fertilización completa.

La eficiencia del K llega a 54.07 kg kg^{-1} en el tratamiento de FC, que por omisión de S, reduce en $183.69 \text{ kg kg}^{-1}$, mayor que el provocado por la omisión de N $123.48 \text{ kg kg}^{-1}$. Por

otro lado, la eficiencia del S, se ve limitada principalmente por la omisión de Mg, donde se reduce $1144.45 \text{ kg kg}^{-1}$, que corresponde a 160.96% respecto a la eficiencia obtenida con el tratamiento FC, contrario a esto se encuentra con la omisión de P, que eleva la eficiencia en $3999.60 \text{ kg de grano kg}^{-1}$ de S absorbido.

En cuanto al Mg, todas las omisiones de nutrientes elevaron su eficiencia fisiológica, resaltando la omisión de S, con el que se consigue elevar $398.80 \text{ kg kg}^{-1}$ respecto al de omisión de Mg y se podría considerar que la aplicación de S, disminuye la eficiencia en 33.52 kg kg^{-1} (9.18%) si comparado con el tratamiento FC, que lleva este elemento.

La eficiencia fisiológica del Zn y B, se ven reducidas por la omisión de todos los elementos, siendo para el primer caso la omisión de K, cuya eficiencia se reduce en 13.93 kg kg^{-1} , respecto al tratamiento FC. Para el B, la omisión de S, disminuye la eficiencia fisiológica en 3.2 kg kg^{-1} , que corresponde al 58.71% , respecto al tratamiento de fertilización completa.

Tabla 4.3. Eficiencia fisiológica de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)

Tratamiento	N	P	K	S	Mg	Zn	B
	(kg aumento en producción/ kg aumento en absorción elemento)						
PKSMgZnB (-N)	0.00	43.37	-69.41	1562.55	80.66	0.77	3.61
NKSMgZnB (-P)	9.28	0.00	125.59	3999.69	34.97	0.81	3.07
NPSMgZnB(-K)	319.92	146.24	0.00	-89.48	51.72	0.60	2.61
NPKMgZnB (-S)	16.27	434.83	129.62	0.00	398.80	3.08	2.25
NPKSZnB (-Mg)	10.27	10.87	4.72	-433.42	0.00	1.04	4.08
NPKSMgB (-Zn)	-39.94	-191.58	46.29	23.40	272.04	0.00	2.63
NPKSMgZn (-B)	23.66	1250.36	75.50	146.72	33561	0.99	0.00
NPKSMgZnB (FC)	23.76	-614.24	54.07	711.03	365.28	14.53	5.45
PFI	18.51	612.56	22.66	811.58	242.74	-0.60	0.75
Testigo	16.81	54.37	22.90	970.74	101.72	1.11	2.83
Promedio	44.28	194.09	16.97	855.87	209.28	2.48	3.03

4.1.13. Eficiencia agronómica

En la Tabla 4.4. se observa que la mayor eficiencia agronómica del N (6.31 kg de grano kg^{-1} de elemento aplicado) se consiguió con el tratamiento de FC, siendo afectado negativamente por la omisión de todos los nutrientes, especialmente del P, donde se reduce esta eficiencia en 6.26 kg kg^{-1} (99.2%). Estos valores de eficiencia agronómica del N, están muy por debajo de los valores reportados por Snyder y Bruulsema (2008) citados por Snyder (2009, p. 3), que indican que para producción de granos de cereal está entre 10 y 30 unidades de grano de cereal por unidad de nutriente aplicado, sin embargo, hay que considerar que en esta investigación se utilizaron líneas homocigotas.

Las omisiones de P y N en la fertilización reducen la eficiencia agronómica, teniendo que el tratamiento FC mostró el mayor valor (19.05 kg kg^{-1}), que se ve reducido en 19.2 kg kg^{-1} (100.78%) con la omisión de N. Estas eficiencias conseguidas en el trabajo resultan menores a las referencias de 30 a 50 kg kg^{-1} , presentado por Tasistro (2013); mas, se relaciona con los valores encontrados por García y Espinosa (2009), en trabajo de

fraccionamiento de N y P en el híbrido de maíz FNC3056, cuyas eficiencias variaron de 5.4 a 20.8 kg de grano kg^{-1} de P aplicado.

La máxima eficiencia del K, se encontró en el tratamiento de FC con 12,64 kg kg^{-1} , mientras que con la omisión de nutrientes fueron bajos, especialmente del N, que redujo en 14.72 kg kg^{-1} , que corresponde al 116.45%. Las eficiencias encontradas están acordes a los niveles indicados por Tasistro (2013) y García y Espinosa (2009), que varían de 10 a 20 kg kg^{-1} y de 2.0 a 15.0 kg kg^{-1} , en su orden.

La aplicación de fertilización completa mostró una eficiencia agronómica de S de 9.31 kg kg^{-1} , que resultó la más alta y que por efecto de la omisión de nutrientes tiende a disminuir, principalmente cuando en el plan de fertilización se omite el N y P, mostrando eficiencias menores en 20.07 y 19.91 kg kg^{-1} , equivalente a 215.57 % y 213.86 %, respectivamente. Los valores conseguidos resultaron menores a los 45 kg kg^{-1} indicado por Steinbach y Álvarez (2014) para la región Pampeana de Argentina.

Tabla 4.4. Eficiencia agronómica de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Tratamiento	N	P	K	S	Mg	Zn	B
	(kg aumento en la producción / kg elemento aplicado)						
PKSMgZnB (-N)	0.00	-0.15	-2.08	-10.76	-0.76	-33.33	-444.44
NKSMgZnB (-P)	0.05	0.00	-1.97	-10.60	-0.63	-32.87	-439.81
NPSMgZnB(-K)	0.89	2.57	0.00	-7.92	1.52	-25.00	-361.11
NPKMgZnB (-S)	3.38	10.14	5.81	0.00	7.85	-1.77	-128.77
NPKSZnB (-Mg)	0.30	0.75	-1.39	-9.81	0.00	-30.56	-416.67
NPKSMgB (-Zn)	3.57	10.72	6.25	0.60	8.33	0.00	-111.11
NPKSMgZn (-B)	4.76	14.34	9.03	4.39	11.36	11.11	0.00
NPKSMgZnB (FC)	6.31	19.05	12.64	9.31	15.30	25.56	144.44
PFI	0.99	2.87	0.23	-7.61	1.77	0.00	0.00
Testigo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Promedio	2.25	6.70	3.17	-3.60	4.97	-9.65	-195.27

La mayor eficiencia agronómica del Mg, se encontró con el tratamiento FC que presentó 15.30 kg kg^{-1} , siendo afectado mayormente por la omisión de N y P, que reducen en 16.06 y 15.93 kg kg^{-1} , correspondiendo a 105.0 % y 104.12 %, respectivamente. Eficiencia agronómica de Mg en el orden de 21 y 27 kg kg^{-1} fue conseguida por Carrillo et al. (2010) trabajando con el híbrido de maíz INIAP H-553, en las zonas de Patricia Pilar y Santo Domingo de los Tsáchilas, que resultaron mayores a los de este trabajo, sin embargo, las mayores reducciones fueron observadas también con la omisión de N y P.

Para el Zn y el B, las mayores eficiencias se observaron con el tratamiento de FC con valores de 25.56 y $144.44 \text{ kg kg}^{-1}$, viéndose reducida su eficiencia con la omisión de N y P, en porcentajes mayores de 228 % y 404%, en su orden.

4.1.14. Eficiencia interna

En todos los elementos evaluados, excepto el Zn, la eficiencia interna resultó menor en el tratamiento de fertilización del agricultor y el testigo absoluto (Tabla 4.5.).

La eficiencia del N en producir grano, se observa en la (Tabla 4.5.) donde se encuentran diferencias estadísticas significativas por efectos de la omisión de nutrientes. Con valores de eficiencia mayores de $17 \text{ kg de grano kg}^{-1}$ de N absorbido, se presentan los tratamientos de FC y -S, estadísticamente diferente al encontrado con el tratamiento testigo, cuya producción de grano fue de 11.41 kg kg^{-1} y aunque no es estadísticamente diferente, la omisión de Mg, P y Zn son los que mayormente disminuyen la eficiencia interna del N (mayor al 25% en relación al tratamiento FC). Estos valores resultan menores a los encontrados por Carrillo et al. (2010) en Santo Domingo de los Tsáchilas, donde el promedio fue de 52.02 kg kg^{-1} , solo que estos autores trabajaron con el híbrido y no con los parentales, consiguiendo además elevar la eficiencia en 22.59 kg kg^{-1} con la omisión de Mg.

Para este nutriente se observaron diferencias estadísticas significativas, encontrando que la omisión de B eleva en 15.3% la eficiencia interna del P, al comparar con los 84.59 kg kg^{-1} del tratamiento de FC; por el contrario, la omisión de Mg resultó similar al tratamiento testigo, provocando reducción de más del 40% en la eficiencia del P. Carrillo *et al.*, (2010), en Patricia Pilar observó una reducción no significativa de la eficiencia del P por omisión de Mg.

Observando la eficiencia interna del potasio en el cultivo de maíz (Tabla 4.5.), se encuentra que las omisiones provocaron diferencias estadísticas significativas; además, resultó claro que el tratamiento -Mg, reduce la eficiencia en más del 32%, casi igual que el tratamiento testigo. Por el contrario, la omisión de B eleva la eficiencia interna del potasio, provocando un incremento de 2.74 kg kg⁻¹, equivalente a 15.7%.

En la Tabla 4.5. se observa que la eficiencia interna de S se ve afectado por la omisión de nutrientes, presentando diferencias estadísticas significativas. Se aprecia que el B es el único elemento que esta mayormente disminuyendo su efecto, siendo que al omitir presenta una eficiencia de 383.22 kg kg⁻¹ de Mg, superior en 5.94 kg kg⁻¹ que corresponde a 1.28%.

Tabla 4.5. Eficiencia interna de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Tratamiento	N	P	K	S	Mg	Zn	B
(kg producción / kg elemento absorbido)							
PKSMgZnB (-N)	13.45 AB	57.10 AB C	14.14 AB	297.57 AB	104.97 A	1.67 B C D	2.14 A B
NKSMgZnB (-P)	12.43 AB	48.87 AB	13.28 AB	344.97 AB	106.45 A	1.50 AB	2.06 A B
NPSMgZnB(-K)	15.58 AB	58.78 AB C	16.18 AB	337.84 AB	137.75 A	1.90 C D	2.45 A B
NPKMgZnB (-S)	17.87 B	66.46 AB C	17.97 AB	474.52 B	126.38 A	1.20 A	2.41 A B
NPKSZnB (-Mg)	11.15 A	43.91 AB	11.82 A	312.28 AB	101.51 A	1.26 A	2.00 A B
NPKSMgB (-Zn)	17.37 B	73.31 B C	17.45 AB	377.28 AB	122.51 A	1.18 A	2.14 A B
NPKSMgZn (-B)	16.56 AB	84.59 C	20.19 B	383.22 AB	135.99 A	1.35 AB	2.48 B
NPKSMgZnB (FC)	12.98 AB	73.50 B C	14.95 AB	377.42 AB	119.04 A	1.35 AB	2.15 A B
PFI	13.14 AB	57.39 AB C	17.18 AB	347.72 AB	122.28 A	1.44 AB	1.96 A B
Testigo	11.41 A	42.65 A	12.26 AB	216.42 A	99.65 A	1.41 AB	1.81 A
Promedio	14.19	60.66	15.54	346.92	177.65	1.43	2.16

Promedios seguidos de una misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente; Tukey (P=0.05)

Resalta el resultado con el tratamiento de omisión de S, donde se obtiene la mayor eficiencia (4774.52 kg kg⁻¹), indicativo que los valores naturales de este elemento en el suelo son suficientes y eficientes para la transformación en grano. Contrario a esto, la simple omisión de N, provoca disminución de 79.71 y 176.95 kg kg⁻¹ que corresponde a 21.12% y 37.29% en la eficiencia del azufre, respecto a los tratamientos de fertilización completa y -S, respectivamente.

Respecto a la eficiencia interna del Mg, no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Tabla 4.5.), observando simplemente una pequeña disminución por efecto de la omisión de N, P y Zn. Por el contrario, la omisión de K y B, provocaron los mayores incrementos en la eficiencia del Mg.

Para la eficiencia interna del Zn se encontraron diferencias estadísticas significativas y diferentes a las observadas con los otros nutrientes (Tabla 4.5.). El tratamiento de fertilización completa presentó una eficiencia de 1.18 kg kg^{-1} , siendo superada por todos los restantes tratamientos, indicando la interacción o dependencia que tiene este elemento con la presencia de los otros nutrientes. La mayor eficiencia interna se consiguió al omitir el K, superando en 0.72 kg kg^{-1} , que corresponde al 61.0%.

Al igual a lo observado con el S, en la Tabla 4.5. se encuentra que la omisión del B provoca incremento en la eficiencia interna de este mismo elemento, presentando diferencias aunque no estadísticas significativas, pero sí numéricas. Esta diferencia es de 0.34 kg kg^{-1} (15.88 %); por el contrario, la omisión de Mg provocó disminución de 0.14 kg kg^{-1} que corresponde a 6.54 %.

4.1.15. Factor parcial de productividad

Observando los resultados que se presentan en la Tabla 4.6. se encuentra que el tratamiento de fertilización completa, presenta los mayores factores parciales de productividad en para todos los elementos evaluados, y existe respuesta negativa a las omisiones de nutrientes, experimentando una reducción, principalmente cuando se omiten los elementos N, P y Mg, que provocan los mayores efectos negativos, o sea, menos kilogramos de maíz producido, por cada kilogramo de producto aplicado. Estos valores encontrados en la investigación son contrastantes con los 87 y 296 kg de grano kg^{-1} de N y P aplicado, reportados por García y Salvagotti (2010).

Tabla 4. 6. Factor parcial de productividad de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)

Tratamiento	N		P		K		S		Mg		Zn		B	
(kg cosechado / kg elemento aplicado)														
PKSMgZnB (-N)	0.0	D	18.4	C	14.1	C	19.2	C	15.4	C	56.4	B	564.8	D
NKSMgZnB (-P)	6.1	C	0.0	D	14.2	BC	19.4	C	15.3	C	56.9	B	569.4	D
NPSMgZnB (-K)	6.9	BC	21.1	BC	0.0	D	22.1	BC	17.6	BC	64.8	BC	648.1	BCD
NPKMgZnB (-S)	9.4	ABC	28.7	ABC	22.0	ABC	0.0	D	24.0	AB	88.0	AB	880.4	ABC
NPKSZnB (-Mg)	6.3	C	19.3	C	14.8	C	20.2	C	0.0	BC	59.2	C	592.5	CD
NPKSMgB (-Zn)	9.6	ABC	29.2	ABC	22.4	ABC	30.6	ABC	24.5	D	0.0	A	1153.7	A
NPKSMgZn (-B)	10.8	ABC	32.9	BC	25.2	ABC	34.4	ABC	27.5	A	100.9	C	898.1	ABC
NPKSMgZnB (FC)	12.3	A	37.6	ABC	28.8	A	39.3	A	31.4	A	115.3	BC	0.0	E
PFI	7.0	BC	21.4	BC	16.4	BC	22.4	BC	17.9	D	0.0	D	0.0	E
Testigo	0.0	D	0.0	D	0.0	D	0.0	D	0.0	D	0.0	D	0.0	E
Promedio	6.8		20.8		15.8		20.7		17.3		54.1		530.7	

Promedios seguidos de una misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente; Tukey (P=0.05)

4.1.16. Eficiencia aparente de recuperación

Los valores de Eficiencia aparente de recuperación son bastante bajos en general para todos los elementos evaluados (Tabla 4.7.), normalmente esto es causa de la baja producción de materia seca en la parte vegetativa y reproductiva, generado por estos progenitores de maíz, así como también por las cantidades de nutriente aplicado elevado.

Con el tratamiento de fertilización completa se consiguió una eficiencia aparente de recuperación de N de 0.29 kg de elemento absorbido kg^{-1} de elemento aplicado; valores como éstos, según Snyder y Bruulsema, (2008) citados por Snyder, (2009, p. 3) generalmente se encuentra en cultivos de maíz con mal manejo y normalmente y como referencia para productores de cereales e investigadores, recomienda considerar eficiencias de N de 0.3 y 0.5 valores mayores (0.5 a 0.8) son considerados con buen manejo.

Con el tratamiento de fertilización completa se consiguieron las mayores eficiencias para todos los elementos (0.76 para P, 0.65 para K, 0.67 para S, 0.42 para Mg, 1.73 para Zn y 7.79 para B), para el Zn y B, se observa recuperaciones mayores a las cantidades adicionadas, debido al efecto de una fertilización completa que puede provocar sinergias en la absorción, consiguiendo extraer más elemento nativo del suelo. Sin embargo la omisión de elementos reducen la eficiencia de recuperación y van en el orden de importancia de $N > K > P$.

Tabla 4. 7. Eficiencia aparente de recuperación de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

Tratamiento	N	P	K	S	Mg	Zn	B
(kg aumento de absorción / kg elemento aplicado)							
PKSMgZnB (-N)	0.00	-0.12	-0.02	-0.25	-0.32	-0.97	-19.19
NKSMgZnB (-P)	0.04	0.00	0.07	-0.13	-0.22	-0.60	-15.53
NPSMgZnB(-K)	0.01	-0.09	0.00	-0.23	-0.30	-0.89	-18.37
NPKMgZnB (-S)	0.08	0.12	0.17	0.00	-0.11	-0.23	-11.74
NPKSZnB (-Mg)	0.12	0.26	0.27	0.14	0.00	0.19	-7.53
NPKSMgB (-Zn)	0.10	0.20	0.22	0.08	-0.05	0.00	-9.48
NPKSMgZn (-B)	0.21	0.51	0.46	0.40	0.21	0.95	0.00
NPKSMgZnB (FC)	0.29	0.76	0.65	0.67	0.42	1.73	7.79
PFI	0.08	0.13	0.17	0.01	-0.11	0.00	0.00
Testigo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Promedio	0.10	0.20	0.22	0.08	-0.05	0.02	-8.23

4.1.17. Longitud de plúmula y radícula

Los valores de plúmula y radícula se muestran en la Tabla 4.8. en el que se observa que no existen diferencias estadísticas significativas para estas variables, resalta los valores más altos de plúmula que se alcanzó con los tratamiento -K y testigo, con valores de 20.82 y 19.88 cm, y para radícula con la omisión de N y P, con promedios de 16.33 y 16.17 cm. En cuanto a los menores valores de plúmula y radícula, se observa con la omisión de Mg, donde provoca una reducción de 2.3 y 1.1 cm, respectivamente, respecto al tratamiento de fertilización completa, de esta manera se observa que la omisión de Mg afecta mayormente los componentes de vigor de semilla.

Tabla 4.8. Longitud de plúmula y radícula, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)

Tratamiento	Longitud de plúmula cm	Longitud de radícula Cm
PKSMgZnB (-N)	16.05	16.33
NKSMgZnB (-P)	17.85	16.17
NPSMgZnB(-K)	20.82	15.34
NPKMgZnB (-S)	15.63	16.05
NPKSZnB (-Mg)	15.02	13.27
NPKSMgB (-Zn)	19.37	15.93
NPKSMgZn (-B)	16.35	15.00
NPKSMgZnB (FC)	17.32	14.37
PFI	16.33	14.58
Testigo	19.88	15.47
Promedio	17.46	15.25

4.2. Segunda fase

Los parámetros altura de mazorca, diámetro de tallo y mazorca, longitud de mazorca, acame, días de floración, peso de mil semillas y rendimiento, evaluados en esta etapa de la investigación no presentaron diferencias estadísticas significativas por la omisión de nutrientes a que fueron sometidos los parentales de maíz para la formación del híbrido. Sin embargo, al igual que para las características de vigor de la semilla, la omisión de Mg en la fertilización, provocó caída en los valores de altura de mazorca, diámetro de tallo, peso de 1000 semillas y rendimiento, esta última variable se redujo en 449 kg ha⁻¹, que corresponde a 7.05% en comparación al rendimiento del tratamiento de fertilización completa.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos de las variables evaluadas, se llega a concluir que:

- El potencial de rendimiento de producción de semilla de este nuevo híbrido de maíz, fue de 2134 kg ha⁻¹, conseguido con el tratamiento de omisión de azufre.
- La mayor reducción del potencial de rendimiento de semilla de este nuevo híbrido sucedió con la omisión de P, que provocó una disminución de 49.5 %.
- Según el rendimiento de semilla, las prioridades de fertilización de los parentales del híbrido de maíz, tiene la secuencia de P>N=Mg=K>>Zn>B>>S.
- El tamaño y peso de la semilla, así como la longitud y diámetro de mazorcas de maíz se ve reducida directamente, con la limitación de la aplicación del K.
- Se observó un pequeño efecto de la omisión de Mg en la fertilización, sobre el vigor de la semilla de maíz, expresada en las variables plúmula y radícula.
- No hubo efectos de la omisión de nutrientes en la fertilización de los parentales, sobre la fisiología de las plantas de maíz.
- Se presentó una reducción de rendimiento (7.05%) del híbrido de maíz (F1), por efecto de la omisión de Mg en la fertilización durante la formación del híbrido.
- Todas las eficiencias de fertilización, fueron afectadas por la omisión de nutrientes, y los mayores valores alcanzados en la investigación, estuvieron debajo de los citados en la literatura, debido principalmente a la pobre producción de materia seca de los parentales y al uso de cantidades elevadas de fertilizante.

5.2. Recomendaciones

Una vez finalizada la investigación, es importante y útil recomendar:

- Que la fertilización de parentales de maíz, se haga de acuerdo a las necesidades propias del material y no usando recomendaciones para producción comercial de grano.
- En futuras investigaciones de omisión de nutrientes se debería incluir la evaluación de enfermedades tanto en las plantas como en las semillas.
- Seguir investigando el efecto del Mg y Zn en dosis diferentes, sobre el vigor de semilla, en otras localidades y épocas del año.

BIBLIOGRAFÍA

- 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. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. International Plant Nutrition Institute*. Boletín Técnico 150. Quito, Ecuador. 27p.
- Andrade, F. (2009). *Eficiencia de uso de los nutrientes y rol de la nutrición en la producción de los cultivos*. Unidad Integrada INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias UNMP.
- Below, F. (2002). Fisiología, nutrición y fertilización nitrogenada del maíz. *Informaciones agronómicas* N° 54. *POTAFOS* (99) 7-12.
- Carrillo, M., Cedeño, J., Aldeán, A. y Dávila, 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 la Ciencia del Suelo*,1-16.
- Cervantes, F. *et al.*, (2013). Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Revista Agronomía Mesoamericana*. Costa Rica. Vol, 4 – 1. 101 -110.
- CIAT. (1982). Guía de planeación y manejo, *Programas de Semillas*, CIAT 09SSe-6 (82), 358 p.
- Cueto, J. *et al.*, (2006), Rendimiento de maíz forrajero en respuesta a fertilización nitrogenada y densidad de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 29, núm. Es2, Chapingo, México pp. 97-101.
- Domínguez, G., Studdert, G., Echeverría, H. y Andrade, F. (2001). Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo*. 19: 47-55.
- Espinosa, J. y García, J. (2008). Herramienta para mejorar la eficiencia de uso de nutrientes en maíz. *IPNI*, 10-16.
- Espinosa, J. y García, J. (2010). Herramientas para mejorar la eficiencia de uso de nutrientes en maíz. *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*,1-10.

- FAO. (1993). *El maíz en la nutrición humana* (Colección FAO: Alimentación y nutrición, N°25). Roma Italia:Código FAO: 86 AGRIS: S01, 1-5
- Fistritzer, W. y Kelly, A., (1979). Mejoramiento de la producción de semillas: *Manual de formulación, ejecución y evaluación de programas y proyectos de semillas*. Roma.165p
- Ferraris, G., Toribio M., Falconi, R. y Couretot, L. (2012). Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos y el balance de nutrientes. *IAH*, 2-6.
- Fixen, P. (2010). Eficiencia de uso de nutrientes en el contexto de agricultura sostenible. *Informaciones Agronómicas. International Plant Nutrition Institute (IPNI)*. Enero 2010. No 76.
- García, J. (2008). Uso Eficiente de nutrientes, Una necesidad mundial, *XXI Congreso de Fenalce*. 16 Noviembre-Diciembre 2008, 15-31p.
- García, J. y Espinosa, J. (2009). Herramienta para mejorar la eficiencia de uso de nutrientes en maíz. *IPNI*, 1-5.
- García, F. y Salvagiotti. (2010). Eficiencia de uso de nutrientes en sistemas agrícolas del cono sur de Latinoamérica. XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.
- Gómez, G., (1989). Efecto de dos sales fertilizantes sobre la disponibilidad y absorción de P por el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de Licenciatura. ITA No. 20 Aguascalientes, México. 122 p.
- González, J. y Díaz, G., (2008). Análisis económico y producción del maíz (*Zea mays* L.) asociado con Mucuna en Siembra Directa y dos sistemas de fertilización nitrogenada. *Ciencia y Tecnología*. 1:37-41.
- Hernández *et al.*, (2010). Evaluación y caracterización de líneas parentales de híbridos de maíz (*zea mays* l) en tres ambientes de Venezuela. *Asociación Interciencia*, vol. 35, núm. pp. 290-298. Caracas Venezuela.

- INEC. (2012). Ecuador en cifras. Revisado el 23 de octubre, 2013. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.com/cifras-inec/main.html>.
- INPOFOS (Instituto del Fósforo y la Potasa). (1997). Manual internacional de fertilidad de suelos. Querétaro, México. Potash and Phosphate Institute, USA. 120 p.
- INPOFOS (1999). Síntomas de deficiencia de N, P, y K en las plantas de maíz. Informaciones Agronómicas. Instituto de la Potasa y el Fosforo A.C. México y Norte de Centroamérica – Potash. Diciembre 1997. No 4.
- INIAP. (2008). Semillas-Tecnología de Producción y Conservación. Impreso por editorial Chiriboga, Quito - Ecuador. 5-29 p.
- Johnston, A. Syers, K. (2010). Una nueva forma de determinar la eficiencia de uso de fósforo en agricultura. Informaciones Agronómicas. *International Plant Nutrition Institute* (IPNI). Enero 2010. No 76.
- Kass, D. (2007). *Fertilidad de los suelos*. EUNED, 2da reimpresión. San José, Costa Rica. 272 p
- León, H., Jaramillo, A., Martínez, G., Rodríguez, S. (1998). Híbridos dobles de maíz de baja depresión endogámica en F2. Agricultura Mesoamericana. Vol. 38. No. 41.
- Luc, M., Heffer, P. (2006). Desarrollo Tecnológico en el uso de Fertilizantes. IPNI. *Informaciones Agronomicas*.6-11.
- López, E., Loeza, JM., Brena, I., Campos, JM., Guerrero, O., Salgado, G. (2014). Eficiencia agronómica del fósforo, biomasa y rendimiento de dos variedades nativas de maíz y un híbrido en el centro de México. *Phyton* (B. Aires), vol.83, n.1, pp. 171-178.
- Malavolta, E., Vitti, G., y. de Oliveira, S. (1997). Avaliação do estado nutricional das plantas: principios e aplicações. 2da Ed. POTAFOS. Piracicaba-SP. 319 pp.
- Martínez, L., Mendoza, L., García, G., Mendoza, M., Martínez, A. (2005). Producción de semilla híbrida de maíz con líneas andro fértiles y andro estériles isogénicas y su

respuesta a la fertilización y densidad de población. Artículo científico, Revista Fito técnica Mexicana. Vol 28 – 2. Pp 127-133.

Martínez, L. (2008). *Agriculturas Andinas, TLC y globalización agroalimentaria*. Lima, : Maria Isabel Merino.

Melgar, R.J. (2001). Respuesta a la fertilización con boro y zinc en sistemas Intensivos de producción de maíz. *Sociedad de la Ciencia del Suelo*. 109- 114 p.

Melgar, R., Torres, M. (2003). Manejo de la fertilización en maíz. Proyecto fertilizar. INTA Pergamino, Buenos Aires, Argentina. IDIA XXI. P 114-121.

Murrell, T. (2009). Principios básicos de la eficiencia de fósforo y potasio. *Informaciones Agronómicas*. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Octubre 2009. No 75.

Pineda, P., Martínez, J., Amante, A., Ruiz, V. (2001). Respuesta del maíz al fósforo y un mejorador de suelos en áreas yesosas de la zona media de San Luis Potosí. *Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas*. Universidad Autónoma Chapingo. Revista Chapingo serie zonas áridas. p 106-113. México.

Poey, F. (1978). *El mejoramiento integral del maíz*. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Chapingo – México. 25-55 p.

Raymond, A. (1989). *Producción de semillas de plantas hortícola*. Ed. Mundi Prensa. pp. 330.

Ratto, S., Miguez, F. (2006). Zinc en el cultivo de maíz, deficiencia de oportunidad. *Informaciones Agronómicas*. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Octubre 2006. No 63.

Rodríguez, F. (1982). *Fertilizantes - Nutrición Vegetal*. DF, México:A.G.T, Editor S.A. 129-134 p.

Snyder, C. (2009). Eficiencia del uso del nitrógeno: Desafíos mundiales, tendencias futuras. *Informaciones Agronómicas*. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Octubre 2009. No 75.

- Snyder, C., Bruulsema, T., Jensen, T. (2008). Mejores prácticas de manejo para minimizar emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el uso de fertilizantes. *Informaciones Agronómicas*. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Julio 2008. No 70.
- Steinbach, H., Álvarez, R. (2014). Eficiencia de respuesta de trigo, maíz y soja a la fertilización azufrada en la región pampeana argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. IAH 13 – Marzo 2014.
- Stewart, W. (2007). Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas*. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Octubre 2007. No 67.
- Tasistro, A. (2013). Eficiencia de uso de nutrientes. *Informaciones Agronómicas*. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Marzo 2013.
- Yáñez, D., Valverde, F., Cartagena, Y. (2008). Evaluación del elemento faltante en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la provincia de Bolívar. *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, 1-12

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de variancia para Eficiencia fisiológica de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)

Fuentes de variación	Grados de libertad	(-N)	(-P)	(-K)	(-S)	(-Mg)	(-Zn)	(-B)
Total	29							
Repeticiones	2	511.7 ns	501795.9 ns	806.2 ns	1815388.8 ns	111827.9 ns	27.2 ns	4.0 ns
Tratamientos	9	534.1 *	492832.2 ns	3593.2 ns	4202438.9 ns	219755.3 ns	58.1 ns	4.9 *
Error experimental	18	222.5	411606.9	3994.0	3067872.1	144924.6	53.0	1.4
CV (%)		67.3	385.8	150.9	321.3	239.8	332.7	46.5

Anexo 2. Análisis de variancia para Eficiencia agronómica de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)

Fuentes de variación	Grados de libertad	(-N)	(-P)	(-K)	(-S)	(-Mg)	(-Zn)	(-B)
Total	29							
Repeticiones	2	2.2 ns	33.8 ns	15.72 ns	36.52 ns	23.6 ns	388.7 ns	75768.9 ns
Tratamientos	9	41.0 **	380.07 **	228.09 **	419.07 **	267.9 **	4108.8 **	397044.3 **
Error experimental	18	1.8	18.69	12.31	23.41	14.4	119.0	11381.9
CV (%)		31.51	33.32	34.59	33.08	34.76	28.57	27.20

Anexo 3. Análisis de variancia para Eficiencia interna de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)

Fuentes de variación	Grados de libertad	(-N)	(-P)	(-K)	(-S)	(-Mg)	(-Zn)	(-B)
Total	29							
Repeticiones	2	13.8 ns	355.2 ns	22.8 ns	13147.0 ns	1097.0 ns	0.04 ns	0.12 ns
Tratamientos	9	18.1 *	567.2 *	22.1 *	13401.8 *	578.1 ns	0.15 *	0.15 *
Error experimental	18	3.9	107.3	7.3	3676.7	328.1		
CV (%)		13.97	17.08	17.42	17.48	15.40	8.29	10.39

Anexo 4. Análisis de variancia para Factor parcial de productividad de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)

Fuentes de variación	Grados de libertad	(-N)	(-P)	(-K)	(-S)	(-Mg)	(-Zn)	(-B)
Total	29							
Repeticiones	2	2.01 ns	2.65 ns	5.96 ns	7.79 ns	3.44 ns	139.29 ns	33966.60 ns
Tratamientos	9	51.77 **	479.20 **	282.62 **	499.66 **	335.97 **	344.98 **	503575.27 **
Error experimental	18	1.80	18.31	12.20	23.07	14.14	111.60	10220.86
CV (%)		19.52	20.49	22.09	23.12	21.61	19.50	19.05

Anexo 5. Análisis de variancia para Eficiencia aparente de recuperación de N, P, K, S, Mg, Zn, B, afectada por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)

Fuentes de variación	Grados de libertad	(-N)	(-P)	(-K)	(-S)	(-Mg)	(-Zn)	(-B)
Total	29							
Repeticiones	2	0.04 ns	0.00 ns	0.15 ns	0.00064 ns	0.02 ns	130.80 ns	6966.44 ns
Tratamientos	9	0.06 *	0.02 *	0.24 *	0.00091 *	0.06 *	307.60 *	30570.19 *
Error experimental	18	0.02	0.011	0.09	0.00029	0.02	231.15	8955.87
CV (%)		78.48	461.10	109.79	176.62	196.55	81.01	91.07

Anexo 6. Análisis de variancia para altura de mazorca, diámetro de tallo y mazorca, longitud de mazorca, acame, plantas mal polinizadas, floración e índice de cosecha afectado por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Altura de mazorca	Diámetro de tallo	Diámetro de mazorca	Longitud de mazorca	Acame de raíz	Días a floración	Índice de cosecha	Rendimiento
Total	29								
Repeticiones	2	0.01 ns	0.63 ns	42.17 ns	1.17 ns	0.02 ns	9.63 *	0.0037 ns	36739.03 ns
Tratamientos	9	0.04 *	9.44 **	51.19 ns	8.80 *	0.01 ns	2.80 ns	0.0027 ns	469778.4 *
Error experimental	18	0.003	0.95	50.19	3.28	0.01	2.19	0.0011	132144.2
CV (%)		6.13	5.91	21.21	18.93	4.88	2.44	17.26	26.03

Anexo 7. Análisis de variancia para altura de carga, diámetro de tallo y mazorca, longitud de mazorca, acame, días a floración, peso de mil semillas y rendimiento, afectado por la omisión de nutrientes en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Altura de mazorca	Diámetro de tallo	Diámetro de mazorca	Longitud de mazorca	Acame de raíz	Peso mil semillas	Días a floración	Rendimiento
Total	29								
Repeticiones	2	0.01 ns	0.15 ns	0.34 ns	0.66 ns	3.73 ns	655.83 ns	1.23 ns	4196238.70 *
Tratamientos	9	0.0042 ns	0.37 ns	3.84 ns	1.22 ns	10.00 ns	1015.11 ns	1.35 ns	320759.49 ns
Error experimental	18	0.01	0.88	5.28	1.11	6.77	558.28	0.97	455469.66
CV (%)		9.83	4.70	4.63	6.65	166.08	6.12	1.80	10.43