



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE
MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE CARRERA: AGRÍCOLA

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA**

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON N, S, MICRONUTRIENTES
Y FITORREGULADORES SOBRE EL RENDIMIENTO Y
RENTABILIDAD DEL CACAO NACIONAL EN EL VALLE DEL
RIO CARRIZAL**

AUTORES:

**ROBERT ENRIQUE LÓPEZ NÚÑEZ.
VERIS ANTONIO SALDARRIAGA LUCAS.**

TUTOR:

ING. GALO A. CEDEÑO GARCÍA, M.Sc.

CALCETA, NOVIEMBRE 2018

DERECHOS DE AUTORÍA

ROBERT ENRIQUE LÓPEZ NÚÑEZ y VERIS ANTONIO SALDARRIAGA LUCAS, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

.....
ROBERT E. LÓPEZ NUÑEZ

.....
VERIS A. SALDARRIAGA LUCAS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

ING. GALO ALEXANDER CEDEÑO GARCÍA certifico haber tutelado el trabajo de titulación de **EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON N, S, MICRONUTRIENTES Y FITORREGULADORES SOBRE EL RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DEL CACAO NACIONAL EN EL VALLE DEL RIO CARRIZAL**, que ha sido desarrollada por **ROBERT ENRIQUE LÓPEZ NÚÑEZ** y **VERIS ANTONIO SALDARRIAGA LUCAS**, previa la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de acuerdo al **REGLAMENTO DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....

ING. GALO A. CEDEÑO GARCÍA, M.Sc.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaran que han **APROBADO** el trabajo de titulación **EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON N, S, MICRONUTRIENTES Y FITORREGULADORES SOBRE EL RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DEL CACAO NACIONAL EN EL VALLE DEL RIO CARRIZAL**, que ha sido propuesto, desarrollado y sustentado por **ROBERT ENRIQUE LÓPEZ NÚÑEZ** y **VERIS ANTONIO SALDARRIAGA LUCAS**, previa la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de acuerdo al **REGLAMENTO DE TRABAJO DE TITULACIÓN** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

.....
ING. SERGIO VELEZ ZAMBRANO, Mg. ING. FROWEN CEDEÑO SACON, Mg.

MIEMBRO

MIEMBRO

.....
ING. GONZALO CONSTANTE TUBAY, Mg

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por permitir que todo el plan de la investigación se realizó con normalidad, y así poder finalizar la investigación de la mejor manera.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual nos hemos forjados nuestros conocimientos profesionales día a día.

A la dirección de carrera de Ingeniería agrícola en su cargo dirigida por el Ing. Leonardo Vera Macías quien nos supo facilitar el área del lote experimental de cacao nacional.

Al tutor de tesis Ing. Galo Cedeño García, por guiarnos con gran dedicación, sacrificio y responsabilidad, en este paso fundamental de formación para nuestra vida profesional.

A los Ings. Paul Cedeño y Geoconda Alava encargados del área de cacao y área de producción respectivamente, que aportaron desinteresadamente con sus conocimientos y apoyo logístico durante la ejecución de la investigación.

A los profesores de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López en especial a los profesores de la carrera de Ingeniería Agrícola por facilitarnos conocimientos de manera dedicada y por hacer de nosotros profesionales de calidad.

A los señores Ings, miembros del tribunal especializado N°1 de la carrera de Ingeniería Agrícola, por aportar con sus conocimientos en los ajustes y en el desarrollo de la presente investigación.

Y a todas las personas que directa o indirectamente influyeron con la realización de esta investigación.

DEDICATORIA

A mis padres por ser el pilar fundamental, por su amor, trabajo y sacrificio en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo a través del tiempo. A mi madre Eloisa Núñez, por darme la vida, quererme mucho y el apoyo incondicional. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti, a mi padre Robert López, por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis abuelos Galo Nuñez y Elena Solis, por impulsarme y apoyarme a lograr mis propósitos siempre, esto también se lo debo a ustedes, los amo inmensamente.

Mi esposa Domenica Mendoza, por brindarme su apoyo incondicional día a día, por brindarme mi más grande inspiración, mi hijo Roberth Emiliano, esto es para uds mis grandes amores. Mis tíos Edison y Josselyn Núñez, por estar ahí cuando tuve inconvenientes por esa voz de apoyo que nunca faltó.

Mis hermanas Karen Elena y Gabriela, por su firmeza hacia mí, en decisiones que realmente las necesite. Mis suegros Ricardo Mendoza y María José Ganchozo, por la confianza y motivación para las acciones realizadas durante este proceso.

Y por supuesto a la Universidad y a todas las autoridades, por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia, orientación y guiarme en el desarrollo de esta investigación.

Robert E. López Núñez

DEDICATORIA

Con las siguientes palabras quiero ofrecer mi más emotiva dedicatoria a las personas que estuvieron allí apoyándome y que nunca lo dejaron de hacerlo.

Ante todo, en primer lugar, al todopoderoso por permitirme la existencia, además permitirme seguir adelante y más aún en esos momentos difíciles y siempre mantenerme claro por la misión que estoy aquí, a él le dedico uno de mis mayores esfuerzos.

A mis padres el Sr: Veris Saldarriaga Santana y la Sra: Lupy Lucas Almeida gracias por darme la vida, por sus consejos brindados, por su entrega y preocupación incondicional, por estar en los momentos “difíciles y fáciles”, “tristezas y alegrías”, por poner su confianza total en mi a pesar de las circunstancias y aceptar todos mis resultados.

A mis hermanas Diana y Rosa, por brindarme su apoyo incondicional y desearle éxitos en sus objetivos y que siempre que se propongan emprender una actividad realicen lo necesario para lograr sus grandes anhelos y los cumplan, porque con perseverancia y constancia se logra el triunfo.

A las familias Saldarriaga Santana y Lucas Almeida, por su preocupación constante en el desarrollo como persona y brindar su apoyo incondicional.

A todos mis seres queridos y amigos por creer y brindarme la confianza necesaria, para lograr cada uno de mis objetivos.

Y a todas aquellas personas que en la vida son perseverantes y luchan día tras día por ser la mejor versión si mismos para superarse siempre teniendo claro su misión.

Veris A. Saldarriaga Lucas.

CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
DEDICATORIA	vii
CONTENIDO GENERAL	viii
CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
CAPITULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.2.1. METODOLÓGICA.....	3
1.2.2. PRÁCTICA	3
1.2.3. SOCIAL.....	4
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.2.1. GENERAL	5
1.2.2. ESPECÍFICOS.....	5
1.4. HIPÓTESIS	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO.....	6
2.2. SITUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y ECONOMÍA DEL CACAO	7
2.3. MATERIALES DE CACAO NACIONAL RECOMENDADOS PARA MANABÍ	7
2.4. ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE CACAO	9
2.4.1. MONILLA.....	10
2.4.2. ESCOBA DE BRUJA	10
2.4.3. MAL DE MACHETE.....	10
2.5. FERTILIZACIÓN BALANCEADA Y BALANCE DE NUTRIENTES.....	11
2.6. NITRÓGENO EN LAS PLANTAS	12
2.7. FOSFORO EN LAS PLANTAS	13
2.8. POTASIO EN LAS PLANTAS	14

2.9.	AZUFRE EN LAS PLANTAS	15
2.10.	CALCIO EN LAS PLANTAS	16
2.11.	MAGNESIO EN LAS PLANTAS	17
2.12.	BORO EN LAS PLANTAS	18
2.13.	COBRE EN LAS PLANTAS	19
2.14.	HIERRO EN LAS PLANTAS	19
2.15.	MANGANESO EN LAS PLANTAS	20
2.16.	MOLIBDENO EN LAS PLANTAS	22
2.17.	ZINC EN LAS PLANTAS	23
2.18.	BIORREGULADORES EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	23
2.19.	CARACTERÍSTICAS DE LOS FERTILIZANTES	25
2.19.1.	UREA	25
2.19.2.	MICRO ESSENTIAL SZ	26
2.19.3.	MURIATO DE POTASIO	26
2.19.4.	YESOLINA	27
2.19.5.	MICROMIX II® CALCIO-MAGNESIO	28
2.19.6.	MAXI-GROW EXCEL®	28
CAPITULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO		30
3.1.	UBICACIÓN	30
3.2.	DURACIÓN DEL TRABAJO	30
3.3.	CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS	30
3.4.	MATERIAL VEGETAL	31
3.5.	FACTORES EN ESTUDIO	31
3.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS	32
	Esquema del ANOVA	33
3.7.	UNIDAD EXPERIMENTAL	34
3.8.	CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES	34
3.9.	VARIABLES RESPUESTA	35
3.9.1.	Número de escobas de bruja vegetativas	35
3.9.2.	Número de frutos enfermos	35
3.9.3.	Número de frutos cherelles	35
3.9.4.	Número de frutos sanos	35
3.9.5.	Rendimiento de cacao seco	35
3.10.	ANÁLISIS ECONÓMICO	35
3.11.	MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO	36

3.10.1.	CONTROL DE MALEZA.....	36
3.10.2.	RIEGO.....	36
3.10.3.	PODAS DE MANTENIMIENTO Y FITOSANITARIAS.....	36
3.10.4.	FERTILIZACIÓN.....	37
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		38
4.1.	RESULTADOS DE VARIABLES FITOSANITARIAS.....	38
4.2.	RESULTADOS DE VARIABLES PRODUCTIVAS.....	43
4.3.	RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO.....	49
4.4.	DISCUSIÓN GENERAL.....	54
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		58
5.1.	CONCLUSIONES.....	58
5.2.	RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFÍA.....		59
ANEXOS.....		69
ANEXO 1. INSTALACIÓN DEL EXPERIMENTO.....		70
1	-A. ESTADO INICIAL DEL LOTE EXPERIMENTAL.....	70
1	-B. SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES....	70
ANEXO 2. MANEJO DEL EXPERIMENTO.....		71
2	-A. PODA PRODUCTIVA Y FITOSANITARIA.....	71
2	-B. RIEGO DEL LOTE EXPERIMENTAL.....	71
2	-C. LIMPIEZA DE LAS MALEZAS EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES.	71
2	-D. FERTILIZANTES UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO.....	72
2	-E. DOSIFICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES PARA LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.....	72
2	-F. CALIBRACIÓN DE DOSIS FERTILIZANTE POR PLANTA.....	72
2	-G. APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.....	73
2	-H. APLICACIÓN DE LOS FITORREGULADORES.....	73
2	-J. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LA EMISIÓN DE FLORES DE CACAO NACIONAL.....	74
2	-K. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LAS MAZORCAS DE CACAO NACIONAL.....	74
2	-L. CONTEO DE VARIABLES FITOSANITARIAS.....	74
2	-M. COSECHA DE CACAO NACIONAL EXPUESTO A LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.....	75

CONTENIDO DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 2. 1. Características del ClonEET-103.....	8
Cuadro 2. 2. Características del ClonEET-575.....	8
Cuadro 2. 3. Características del ClonEET-576.....	9
Cuadro 2. 4. Propiedades físico –químicas de la Urea.	25
Cuadro 2. 5. Características físicas y composición química de Micro Essential sz.	26
Cuadro 2. 6. Propiedades Físico-Química de Muriato de Potasio granular Rojo 60%.	27
Cuadro 2. 7. Propiedades físico –químicas de la Yesolina.	27
Cuadro 2. 8. Características y composición química de MICROMIX II Calcio-Magnesio.	28
Cuadro 2. 9. Composición porcentual de Maxi-Grow Excel.	29
Cuadro 3. 1. Condiciones climáticas.....	30
Cuadro 3. 2. Condiciones edáficas.	30
Cuadro 3. 3. Diseño ortogonal $L_9(3)^4$ según Nutrientes a evaluarse.	31
Cuadro 3. 4. Diseño de los tratamientos según los principios matemáticos de la ortogonalidad.....	31
Cuadro 3. 5. Tratamientos codificados con sus respectivas combinaciones de factores y niveles más un tratamiento control.....	32
Cuadro 3. 6. Esquema de ANOVA.	33
Cuadro 4. 1. Efecto de varias combinaciones de fertilización a base de N, S, micronutrientes y fitorreguladores sobre variables fitosanitarias en cacao tipo Nacional Bolívar, Manabí, 2018.....	38
Cuadro 4. 2. Efecto de varias combinaciones de fertilización a base de N, S, micronutrientes y fitorreguladores sobre variables productivas en cacao tipo Nacional Bolívar, Manabí, 2018.....	44
Cuadro 4. 3. Análisis económico de las combinaciones de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores comparadas con fertilización convencional NPK. Calceta, Ecuador, 2018.	51
Cuadro 4. 4. Análisis económico de los tratamientos de fertilización en relación con el testigo control. Calceta, Ecuador, 2018.....	52
Figura 3. 1. Esquema de campo de las unidades experimentales de la investigación.....	34
Figura 4. 1. Influencia de varios niveles de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores sobre el número de escobas bruja por planta ⁻¹ año ⁻¹ en cacao nacional.	39
Figura 4. 2. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores (combinación óptima de fertilización) vs testigo convencional NPK y testigo control sobre el número de escobas bruja por planta ⁻¹ año ⁻¹ en cacao nacional.....	40
Figura 4. 3. Influencia de varios niveles de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores sobre el número de frutos enfermos planta ⁻¹ año ⁻¹ en cacao nacional.	41

Figura 4. 4. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores (combinación óptima de fertilización) vs testigo convencional NPK y testigo control sobre el número de frutos enfermos planta ⁻¹ año ⁻¹ en cacao nacional.	41
Figura 4. 5. Influencia de varios niveles de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores sobre el número de frutos cherelles planta ⁻¹ año ⁻¹ en cacao nacional.	42
Figura 4. 6. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores (combinación óptima de fertilización) vs testigo convencional NPK sobre el número de frutos cherelles planta ⁻¹ año ⁻¹ en cacao nacional.	43
Figura 4. 7. Influencia de varios niveles de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores sobre el número de frutos sanos planta ⁻¹ año ⁻¹ en cacao nacional.....	45
Figura 4. 8. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores (combinación óptima de fertilización) vs testigo convencional NPK sobre el número frutos sanos planta ⁻¹ año ⁻¹ en cacao nacional.	45
Figura 4. 9. Influencia de varios niveles de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores sobre el peso fresco kg planta ⁻¹ año ⁻¹ en cacao nacional.	46
Figura 4. 10. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores (combinación óptima de fertilización) vs testigo convencional NPK sobre peso fresco kg planta ⁻¹ año ⁻¹ en cacao nacional.....	46
Figura 4. 11. Influencia de varios niveles de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores sobre el rendimiento de granos seco kg ha ⁻¹ año ⁻¹ en cacao nacional.	47
Figura 4. 12. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores (combinación óptima de fertilización) vs testigo convencional NPK sobre el rendimiento de granos seco qq ha ⁻¹ año ⁻¹ en cacao nacional.....	48
Figura 4. 13. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores sobre el número total de frutos en cacao nacional.	48
Figura 4. 14. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores sobre el porcentaje de frutos sanos, enfermos y cherelles en cacao nacional.....	49
Figura 4. 15. Beneficio neto de las diferentes combinaciones de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores en cacao Nacional. Calceta, Ecuador, 2018.	53
Figura 4. 16. Beneficio neto de la combinación óptima de fertilización vs la fertilización NPK. Calceta, Ecuador, 2018.....	54
Foto 1. Estado inicial del lote experimental de Cacao Nacional.	70
Foto 2. Selección y ubicación de las unidades experimentales.	70
Foto 3. Poda productiva y fitosanitaria en lote experimental de Cacao Nacional.....	71
Foto 4. Aplicación de riego a lote experimental de Cacao Nacional.....	71

Foto 5. Limpieza de malezas y restos vegetales de las unidades experimentales.	71
Foto 6. Fertilizantes utilizados para las combinaciones de los tratamientos en estudio.	72
Foto 7. Dosificación de cada fertilizante para los tratamientos en estudio.	72
Foto 8. Calibración de cantidad de fertilizante combinado por planta tratamiento.	72
Foto 9. Aplicación de los tratamientos en estudio en la corona de la planta.	73
Foto 10. Aplicación de las distintas dosis de fitorregulador Maxcrow excell.	73
Foto 11. Efecto de las combinaciones de fertilizante y fitorregulador en la planta de cacao nacional.....	73
Foto 12. Efecto de las combinaciones de fertilizante y fitorregulador en la emisión de flores en plantas de cacao nacional.	74
Foto 13. Efecto de los tratamientos en las mazorcas de cacao nacional	74
Foto 14. Toma de datos número de frutos enfermos, chereles y escobas vegetativas.	74
Foto 15. Cosecha de cacao nacional expuesto a los tratamientos en estudio	75

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue Incrementar el rendimiento y rentabilidad del cacao nacional mediante la fertilización con nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores. La investigación se estableció en una plantación de cacao en producción sembrada con el policlon conformado por los cultivares EET-103, EET-575 y EET-576. El experimento se desarrolló con un diseño de bloques completos al azar con 11 tratamientos de fertilización, tres replicas y 33 unidades experimentales. La unidad experimental se conformó de parcelas con cuatro hileras de seis plantas, donde el registro de datos se realizó en las ocho plantas centrales. Los tratamientos de fertilización fueron combinaciones de nitrógeno (250, 350 y 450 kg ha⁻¹ año⁻¹), azufre (50, 100 y 150 kg ha⁻¹ año⁻¹), micronutrientes (25, 50 y 75 kg ha⁻¹ año⁻¹) y fitorreguladores (0.5, 1.0 y 1.5 L por aplicación) que fueron aplicados en los picos de floración y fructificación. Además, se incluyó un tratamiento NPK y un testigo control. Las principales variables registradas fueron rendimiento y beneficio económico neto. El análisis de datos se hizo con análisis de varianza, la separación de medias con Tukey_{0.05} y la combinación óptima de fertilización se obtuvo a través de análisis regular de taguchi L₉(3)⁴. Los resultados en base a la predicción de respuesta máxima de taguchi evidenciaron que el mayor rendimiento (54 qq ha⁻¹ año⁻¹) y beneficio económico neto (2507 USD ha⁻¹ año⁻¹) fue obtenido por la combinación de 450 kg de N, 100 kg de S, 25 kg de micronutrientes y 0.5 L ha⁻¹ de fitorregulador.

Palabras clave: Cacao fino de aroma, Combinación óptima de fertilización, Método Taguchi.

ABSTRACT

The objective of the research was to increase the yield and profitability of the national cocoa through fertilization with nitrogen, sulfur, micronutrients and phytohormones. The research was established in a production cocoa plantation planted with the polyclone formed by cultivars EET-103, EET-575 and EET-576. The experiment was developed with a randomized complete block design with 11 fertilization treatments, three replicates and 33 experimental units. The experimental unit consisted of plots with four rows of six plants, where data was recorded in the eight central plants. Fertilization treatments were combinations of nitrogen (250, 350 and 450 kg ha⁻¹ year⁻¹), sulfur (50, 100 and 150 kg ha⁻¹ year⁻¹), micronutrients (25, 50 and 75 kg ha⁻¹ year⁻¹) and phytohormones (0.5, 1.0 and 1.5 L per application) that were applied in the peaks of flowering and fruiting. In addition, an NPK treatment and a control were included. The main variables recorded were yield and net economic benefit. The analysis of data was done with analysis of variance, the separation of means with Tukey 0.05 and the optimal combination of fertilization was obtained through regular analysis of taguchi L9 (3) 4. The results based on the prediction of taguchi maximum response showed that the highest yield (54 qq ha⁻¹ year⁻¹) and net economic benefit (2507 USD ha⁻¹ year⁻¹) was obtained by the combination of 450 kg of N, 100 kg of S, 25 kg of micronutrients and 0.5 L ha⁻¹ of phytohormone.

Key words: *Fine aroma cocoa, optimal combination of fertilization, Taguchi Method.*

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Ecuador es el primer productor y exportador mundial de cacao fino y de aroma, puesto que más del 70% de la producción de este tipo de cacao se encuentra establecida en el país. Este tipo de cacao, posee características distintivas de aromas y sabores florales, frutales, nueces, almendras, especias que lo hace único y especial, sobresaliendo con el denominado sabor arriba (Amores *et al.*, 2010). Todos estos detalles de sabor y aroma están en función al origen genético del grano, que se logra con el adecuado manejo post-cosecha, sumado a condiciones naturales de suelo, clima, temperatura, luminosidad que convergen en el territorio ecuatoriano (PRO ECUADOR, 2013).

Existen plantadas en la actualidad 508885 has, de las cuales la mayor parte se encuentran establecidas en Guayas, Los Ríos, Manabí y Esmeraldas, con 108868, 105462, 97799 y 51734 has, respectivamente. Desde el año 2000 al 2012, la producción nacional de cacao en Ecuador aumentó en 105%, debido principalmente a la creciente demanda internacional de este producto y al incremento en los precios internacionales (MAGAP, 2013). El rubro cacao es de gran importancia económica para el país, puesto que, en el 2012, fue el quinto producto más exportado por el Ecuador, dentro de las exportaciones no petroleras, después del banano, pescado, rosas y demás formas de oro para uso no monetario. Así mismo, En el año 2012 se registró una exportación de cacao y sus elaborados por un total de 496.63 millones de dólares y 182,794 toneladas (PRO ECUADOR, 2013).

Si bien es cierto, Ecuador es el primer exportador mundial de cacao fino y de aroma, pero al mismo tiempo es el país que presenta los más bajos rendimientos de la región sudamericana, junto con Brasil y Colombia, alcanzado tan solo un promedio de 0.44 t ha⁻¹, en comparación con Venezuela, Bolivia y Perú que registran rendimientos promedios de 0.52, 0.56 y 0.73 t ha⁻¹,

respectivamente (MAGAP, 2013; FAOSTAT, 2015). Por otra parte, dentro de Ecuador, la provincia del Guayas registra el mayor rendimiento con 0.63 t ha^{-1} , seguida por la provincia de Los Ríos con 0.49 t ha^{-1} , mientras que Esmeraldas y Manabí registran los menores rendimientos con 0.36 y 0.22 t ha^{-1} (MAGAP, 2013). Estas diferencias en rendimiento dentro del territorio ecuatoriano, se deben a que en Guayas y Los Ríos existe una mayor área establecida con cacao CCN-51, el mismo que presenta mayor potencial productivo que los tradicionales cacaos del complejo nacional, mientras que en Manabí y Esmeraldas prevalecen estos últimos (INEC, 2015).

Los bajos rendimientos registrados en Ecuador, se debe a una serie de factores tales como la escasa inversión en tecnología, inadecuado manejo agronómico del cultivo, uso inadecuado del material de siembra, etc. Sin embargo, al parecer uno de los factores que más limita la producción de cacao, es la incidencia constante de problemas fitosanitarios, puesto que, según estadísticas oficiales, en el año 2013 se reportó una pérdida de 16287 has, solo por causa de problemas fitosanitarios (INEC, 2015).

Sumado a lo anteriormente descrito, se conoce que las enfermedades como la moniliasis (*Moniliophthora roreri*), escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*) y mazorca negra (*Phytophthora* sp.), son responsables de la pérdida del 50 al 60% del potencial productivo de una huerta de cacao (Amores *et al.*, 2010; Pico *et al.*, 2012). Por otra parte, los suelos cacaoteros de Manabí y especialmente los valles del río Carrizal, se caracterizan por tener niveles bajos de macronutrientes como N y S, así como de algunos micronutrientes, razón por la cual se limita grandemente la producción del cultivo (Motato y Pincay, 2015). Por los motivos anteriormente descritos, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Puede la fertilización con N, S, micronutrientes y fitorreguladores incrementar el rendimiento y rentabilidad del cacao nacional en el valle del Río carrizal?

1.2. JUSTIFICACIÓN

1.2.1. METODOLÓGICA

Generalmente la productividad e ingresos económicos de la actividad cacaotera, se ha venido reduciendo marcadamente, debido a la falta de inversión en tecnologías por parte del productor. Una de estas tecnologías que debe ser implementada para mejorar producción y rentabilidad del cacao, es la fertilización balanceada del cultivo, donde se integren macronutrientes, micronutrientes y fitorreguladores. En el territorio manabita no se ha desarrollado investigación suficiente relacionada a programas de fertilización balanceada en cacao, por lo que es indispensable determinar combinaciones de fertilización óptimas que permitan mejorar la situación nutricional del cultivo con fines a incrementar la productividad y rentabilidad de este rubro agrícola, y por ende mejorar la situación económica y social de los productores cacaoteros.

1.2.2. PRÁCTICA

Debido a que la fertilización balanceada del cultivo de cacao es desconocida y no es aplicada por los productores cacaoteros en el valle del río carrizal, la producción se ve seriamente afectada, dado que en el mejor de los casos solo se aplica NPK y más aún cuando se tiene antecedentes que los suelos cacaoteros de Manabí presentan bajas concentraciones de algunos macros y micronutrientes. En este sentido, con la ejecución de la investigación que plateo determinar combinaciones óptimas de fertilización a base de N, S, micronutrientes y fitorreguladores, se espera contribuir a la generación de adecuados planes de fertilización para ser recomendados a productores cacaoteros del valle del río carrizal.

1.2.3. SOCIAL

Desde el punto de vista social, la cadena productiva del cacao genera empleo directo e indirecto para una parte significativa de la población económicamente activa, por lo tanto, la baja productividad del cultivo afecta significativamente la tasa de empleabilidad del sector rural dependiente del cacao. En este sentido, incrementar la productividad del cultivo a través de programas de fertilización permitirá mejorar las condiciones socio-económicas de los productores cacaoteros del valle del río carrizal.

1.3. OBJETIVOS

1.2.1. GENERAL

- Incrementar el rendimiento y rentabilidad del cacao nacional mediante la fertilización con nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores.

1.2.2. ESPECÍFICOS

- Determinar la combinación óptima de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores para incrementar la productividad del cacao nacional
- Medir el efecto de las combinaciones de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores sobre la incidencia de enfermedades en cacao nacional
- Estimar las ventajas económicas de varias combinaciones de N, S, micronutrientes y fitoreguladores en cacao nacional.

1.4. HIPÓTESIS

- La fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores incrementan significativamente el rendimiento y la rentabilidad del cacao nacional

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO

El cultivo del cacao tuvo su origen en América, pero no se puede indicar con precisión el lugar específico ni su distribución, por lo cual aún hoy día continúa siendo tema de discusión, otros autores indican que el cultivo del cacao se inició en México y América Central y señalan al mismo tiempo que los españoles no lo vieron cultivado en América del Sur cuando arribaron a ese continente, aunque lo encontraron creciendo en forma natural en muchos bosques a lo largo de los ríos Amazonas y Orinoco y sus afluentes, donde aún hoy existen tipos genéticos de mucho valor, como el caso del Ecuador es un cuarto tipo genético, tomando en consideración sus características de aroma y sabor, el cual se denomina Cacao Nacional del Ecuador (Batistia, 2009).

Arvelo *et al.* (2016) destacan que la planta de cacao es originaria de Suramérica y domesticada en Meso-américa, e indican que es un cultivo que requiere de condiciones climáticas adecuadas de temperatura, humedad y precipitaciones para obtener buenos rendimientos de producción y reducir la susceptibilidad a plagas y enfermedades. El manejo agronómico de una plantación de cacao incluye el conjunto de prácticas que deben efectuarse durante toda su vida útil de cultivo, estas incluyen control de malezas, la fertilización, poda, regulación de sombra, manejo de insectos y otros microorganismos benéficos, control de plagas y enfermedades, cosecha y Postcosecha.

2.2. SITUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y ECONOMÍA DEL CACAO

Arvelo *et al.* (2017) mencionan que la producción de cacao en los últimos cincuenta años ha crecido de manera sostenida logrando cuadruplicar la oferta de cacao a nivel mundial, especialmente durante las décadas de los ochenta, noventa y la primera del actual siglo. Por otra parte, la producción de cacao a nivel mundial es altamente dependiente de las condiciones climáticas, en síntesis, las variabilidades de los factores climáticos afectan el ciclo fisiológico del cultivo.

Continuando con la publicación de Arvelo *et al.* (2017) indican que desde el año 2007, el consumo mundial de cacao ha crecido de forma sostenida en un aproximado del 11.5 %, el equivalente a una tasa interanual de crecimiento del 1.3%. Igualmente, establece que el cacao es el primer eslabón de una gran cadena agroindustrial y un mega negocio global que moviliza más de 120 mil millones de dólares en ventas anuales en todo el mundo, con buenas proyecciones de crecimiento en todos sus ámbitos desde la producción al consumo, pero que tiene por delante un conjunto de retos y necesidades que requieren ser atendidos en corto y mediano plazo.

2.3. MATERIALES DE CACAO NACIONAL RECOMENDADOS PARA MANABÍ

De acuerdo a Quiroz *et al.* (2010) indican cada una de las características de los clones EET-103, EET-575, EET-576 respectivamente:

Cuadro 2. 1. Características del ClonEET-103.

Características Clon EET-103	
Flor	
Pigmentación de estambres:	Rojo
Fruto	
Forma	Amelonado
Lomos	Pareados y rugosos
Color inmaduro	Verde
Color maduro	Amarillo intenso con halo verde
Índice	18-20 mazorcas Kg de cacao fermentado y seco ⁻¹
Semilla	
Forma	Cilíndrica
Tipo	Grande
Color	Púrpura oscuro
Índice	1,5 g semilla fermentada y seca
Hoja	
Color de brotes tiernos	Rojo oscuro
Compatibilidad	
	Auto-compatible
Rendimiento	
	2000 Kg ha ⁻¹
Resistencia a enfermedades	
Escoba de bruja	Susceptible
Monilla	Moderadamente susceptible
Mal de machete	N.D*

Fuente: (Quiroz *et al.*, 2010).

Cuadro 2. 2. Características del ClonEET-575.

Características Clon EET-575	
Flor	
Pigmentación de estambres:	Rojo oscuro
Fruto	
Forma	Amelonado
Lomos	Pareados y semirugosos
Color inmaduro	Verde pálido
Color maduro	Amarillo verdoso
Índice	23 mazorcas Kg de cacao fermentado y seco ⁻¹
Semilla	
Forma	Cilíndrica
Tipo	Mediana
Color	Púrpura
Índice	1,2 g semilla fermentada y seca
Hoja	
Color de brotes tiernos	Rojo
Compatibilidad	
	Auto-compatible
Rendimiento	
	1500 Kg ha ⁻¹
Resistencia a enfermedades	
Escoba de bruja	N.D*
Monilla	N.D*
Mal de machete	N.D*

Fuente: (Quiroz *et al.*, 2010).

Cuadro 2. 3. Características del ClonEET-576.

Características Clon EET-576	
Flor	
Pigmentación de estambres:	Rojo oscuro
Fruto	
Forma	Amelonado
Lomos	Pareado ligeramente rugosos y no profundos
Color inmaduro	Verde pigmentado
Color maduro	Amarillo fuerte con tono verde
Índice	19 mazorcas Kg de cacao fermentado y seco ⁻¹
Semilla	
Forma	Aplanada
Tipo	Mediana
Color	Púrpura oscura
Índice	1,3 g semilla fermentada y seca
Hoja	
Color de brotes tiernos	Rojo rosado
Compatibilidad	
	Auto-compatible
Rendimiento	
	1200 Kg ha ⁻¹
Resistencia a enfermedades	
Escoba de bruja	Resistente
Monilla	Tolerante
Mal de machete	N.D*

Fuente: (Quiroz *et al.*, 2010).

2.4. ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE CACAO

Las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L.) inciden en mayor o menor proporción, en todas las plantaciones del Litoral ecuatoriano, convirtiéndose en el factor más limitante de la producción, en algunas localidades. El cultivo de cacao puede ser afectado por varias enfermedades infecciosas, pero en Manabí inciden principalmente las conocidas como “Monilla”, “Escoba de bruja” y “Mal de machete”, además de estas existen ciertos problemas causados por plantas epífitas, parasitas y no parasitas que pueden perjudicar a los cultivos (Zambrano *et al.*, 2010).

2.4.1. MONILLA

Es causada por el hongo *Moniliophthora roreri* afecta a las mazorcas en cualquier estado de desarrollo, y los síntomas iniciales se manifiestan como manchas pardas en la superficie de las mismas. Los daños causados por monilla están directamente relacionados con ciertas condiciones ambientales, como altas humedad y temperatura, estimándose que las pérdidas económicas por mazorcas afectadas van desde el 0% hasta 80%, además las condiciones predisponentes se potencializan con malas prácticas como, exceso de sombras, altas densidades poblacionales o una fertilización inadecuada (Zambrano *et al.*, 2010).

2.4.2. ESCOBA DE BRUJA

Es causada por el hongo *Moniliophthora perniciosa* infectan los tejidos meristemáticos y ocasionan diferentes tipos de síntomas dependiendo del órgano infectado (brotes, botones florales, flores y frutos en desarrollo); en los meristemas apicales, el síntoma es el crecimiento hipertrófico (proliferación vegetativa), en los botones florales induce filodia y formación de frutos partenocarpios y cuando la infección ocurre en frutos las semillas se pudren (Mora y Espinoza, 2016).

2.4.3. MAL DE MACHETE

Es causada por el hongo *Ceratocystis cacaofunesta* que destruye arboles entero, infecta al cacao por medio de lesiones en los troncos y ramas principales, además de matar un árbol de manera rápida. Es importante controlar la muerte de árboles por esta enfermedad, ya que de no ser así puede llegar a perderse hasta el 10%, en especial plantaciones abandonadas (TecnoAgro, 2016).

2.5. FERTILIZACIÓN BALANCEADA Y BALANCE DE NUTRIENTES

La fertilización balanceada comprende el desarrollo de la mejor práctica de manejo para la producción de cultivos económicamente rentables y de forma sustentable para el sistema en el tiempo, lo que, se refiere al aporte necesario de nutrientes al sistema productivo, conforme a la demanda de los cultivos en la unidad de superficie, enmarcada en la oferta completa y balanceada de nutrientes, maximizando la interacción sinérgica entre ellos, permitiendo expresar al cultivo su máximo potencial genético, con la rentabilidad y sustentabilidad óptima que contribuya al cuidado del medioambiental (Petri y Toribio, 2009).

El balance de nutrientes es la diferencia entre las cantidades de nutrientes aplicadas y removidas de un sistema de producción (García y González, 2010; Cruzate y Casas, 2012). Se puede estimar en distintas escalas espaciales (lote, establecimiento, región, país) y temporales (cultivo anual, toda una secuencia de rotación, etc.). En general, los balances se estiman sobre la reserva total de nutrientes del suelo, bajo el concepto de "caja negra", es decir sin considerar las transformaciones de los nutrientes y sus fracciones dentro del suelo (García y González, 2013).

Entre los parámetros más importantes que determinan el rendimiento en este cultivo se pueden citar la intercepción de luz, la tasa de fotosíntesis, la respiración, la morfología del fruto, el proceso de fermentación de las semillas y la disponibilidad hídrica (Alemida y Valle, 2007; Osei-Bunsu *et al.*, 2002). La fertilización deficiente es uno de los factores limitantes en la producción de cacao. La disponibilidad, la absorción y la distribución de nutrientes esenciales en la planta, así como la absorción de estos están relacionados con su tasa de

crecimiento y son los factores que ejercen mayor influencia sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de cacao (López *et al.*, 2002; Puentes *et al.*, 2014).

En este sentido algunos experimentos han demostrado que la respuesta a la fertilización en cacao depende del sistema de producción. El cacao a plena exposición solar experimenta mayores tasas fotosintéticas, por lo que la demanda de nutrientes es mayor y por ende la respuesta a la fertilización (Uribe *et al.*, 2000; Mohotti y Lawlor, 2002). No obstante, el cacao como especie no tolera altas radiaciones, por lo que sugiere la necesidad de sombra en alrededor del 60% más aún si no se maneja una adecuada fertilización y riego (Zuidema *et al.*, 2005). Experimentos conducidos en Colombia demostraron que la fertilización adecuada del cacao a plena exposición es rentable y que los rendimientos se sostienen a través del tiempo (Uribe *et al.*, 2000).

2.6. NITRÓGENO EN LAS PLANTAS

Snyder (2009) menciona la importancia de las interacciones “nitrógeno-carbono-clima” y se han planteado inquietudes acerca de los efectos de la disponibilidad del nitrógeno (N) en el secuestro de carbono (C) en la biósfera terrestre y las implicaciones de este proceso en la mitigación del cambio climático. Lo cual, considerando el vínculo entre el (N) y (C) en la materia orgánica del suelo y el vínculo entre el ciclo del (N) y el (C), es claro que los agrónomos y los científicos del suelo juegan un importante papel frente a los significativos desafíos provenientes de las presiones agronómicas y ambientales asociadas con el crecimiento de la población mundial, tanto desde la perspectiva económica de corto plazo, como de la perspectiva de sostenibilidad a largo plazo.

Uno de las principales limitantes de la productividad de los cultivos es la disponibilidad de nitrógeno (N), que junto con otros nutrientes determinan el crecimiento vegetal. En otras palabras, quiere decir que para incrementar la disponibilidad de este nutriente y mejorar la productividad de los cultivos, se introducen al suelo fertilizantes químicos, aunque su utilización es crítica para la producción de alimentos, por lo que hoy en día se ha convertido en una práctica costosa y que acarrea serias consecuencias ambientales (Fiedls, 2004).

La absorción del N en las plantas lo hace en forma de iones amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-), además cantidades pequeñas de urea se absorbe directamente por las hojas y pequeñas cantidades de N se obtienen de materiales como aminoácidos disueltos en agua (IPNI, 1997).

Las principales funciones básicas del nitrógeno en las plantas es ser parte de la estructuración y ser parte del proceso metabólico. Desde el punto de vista estructural el N está implicado en la formación de órganos de la planta, al ser constituyente esencial de aminoácidos y proteínas que forman las paredes y membranas celulares, así como también la estructura básica de las clorofila y ácidos nucleicos. Desde el punto de vista metabólico el N forma parte de enzimas y hormonas, implicadas en procesos fisiológicos como fotosíntesis, respiración, crecimiento y desarrollo (Taíz y Zeiger, 2006; Azcón-Bieto y Talón, 2008).

2.7. FOSFORO EN LAS PLANTAS

El P es uno de los 16 nutrientes esenciales para el crecimiento de la planta, lo que significa que sus funciones no pueden ser realizadas por ningún otro nutriente, es requerido en mayor cantidad que cualquier otro nutriente con excepción del N, su forma de ingreso a la planta es a través de los pelos

radicales, punta de la raíz y la parte externa de las células de las raíces, es usualmente absorbido como el ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-), y también es absorbido como ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}) (IPNI, 2016).

La productividad de la planta depende de la fotosíntesis, lo cual el proceso fotosintético se basa en compuestos que contienen P, por lo tanto, un uso eficiente de P en la fotosíntesis es un determinante potencialmente importante de la producción de biomasa por unidad de P por unidad de tiempo (PUE) en el cultivo. La eficiencia del uso del fósforo fotosintético (PPUE_{max}) se define como la tasa instantánea saturada de luz de la fotosíntesis de la hoja expresada por unidad de P en la hoja (Veneklaas *et al.* 2012). El uso de fosfatos acelera la maduración y promueve la producción de semillas, ya dentro de las células vegetales, incluso es parte importante de numerosos compuestos fundamentales en el metabolismo vegetal, tales como biosíntesis de glúcidos, biosíntesis de lípidos y metabolismo de los ácidos orgánicos (Estrada *et al.* 2011).

2.8. POTASIO EN LAS PLANTAS

El (K^+) es uno de los nutrientes más importantes, participa en diferentes procesos bioquímicos y fisiológicos de los vegetales, es encargado de funciones esenciales en la activación enzimática, síntesis de proteínas, transporte en el floema, etc. Uno de los roles más crítico del (K) es el transporte de azúcares en el floema, luego que se realiza la fotosíntesis se obtiene fotoasimilados que posteriormente son transportados a los órganos sumideros (flores, frutos, etc.) la carga de los fotoasimilados es impulsado por la ATPasa, y el encargado de la activación es (K), es decir si se limita la llegada de demanda de carbohidratos a los órganos, estos no logran la longitud o el tamaño adecuado (INTAGRI, 2017).

El potasio (K) juega un papel importante en las funciones básicas del crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, K también está involucrado en numerosas funciones fisiológicas relacionadas con la salud de las plantas y la tolerancia al estrés biótico y abiótico. Sin embargo, las deficiencias ocurren ampliamente dando como resultado un crecimiento pobre, pérdida de rendimiento y calidad de fibra reducida (Oosterhuis *et al.* 2014)

2.9. AZUFRE EN LAS PLANTAS

Dentro del grupo de los macronutrientes se encuentra el azufre (S) junto con el N, P, K, Ca y Mg, es un macronutriente, es decir un nutriente que los cultivos requieren en mayor proporción. Las necesidades de S son menores que las de N, K y Ca, pero son de la misma magnitud del P y Mg. La producción y calidad de los cultivos se ve afectada por la deficiencia de S como sucede con cualquier nutriente esencial, aun cuando los demás nutrientes estén en cantidades adecuadas en el suelo (Sabino *et al.*, 2007). Las plantas generalmente pueden absorber S en diversas formas: SO₂, S-Cisteína y S elemental (S⁰), sin embargo, los cultivos absorben mayormente el S del suelo en forma de ion SO₄⁼ (Carciochi *et al.*, 2015).

La deficiencia de S se caracteriza por una coloración amarillenta en las hojas nuevas. La materia orgánica del suelo es la principal fuente de S, razón por la cual las deficiencias de este nutriente son comunes en suelos pobres en MO, tales como los arenosos, ácidos y aluviales con lluvias excesivas. Desde el punto de vista nutricional, el S es tan importante como el N en los cultivos, debido a que forma aminoácidos, proteínas y enzimas, además de jugar un papel importante en la defensa de las plantas contra plagas y enfermedades (Sabino *et al.*, 2007; Carciochi *et al.*, 2015).

El S también está involucrado en procesos metabólicos como la fotosíntesis, donde forma parte de las proteínas ferrosulfuradas que participan en el transporte de electrones durante la fase luminosa. Además, en investigaciones actuales se ha demostrado el papel del S en el transporte y detoxificación de metales pesados en las plantas tales como Cd y Pb, al formar parte de un grupo de proteínas denominadas fitokelatinas implicadas en esta función (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

2.10. CALCIO EN LAS PLANTAS

Las funciones críticas del calcio (Ca^{2+}) en las plantas son bien conocidas desde hace mucho tiempo, y se le relaciona directamente con el crecimiento de la raíz y la calidad de los frutos después del amarre, aunque es un nutriente que está involucrado en un mayor número de procesos (INTAGRI, 2018). El Ca^{2+} dentro de la planta es relativamente inmóvil; el ion tiende a ser secuestrado en la vacuola de las células maduras, esto es llevado a cabo por miembros del CAX H^+ : Ca^{2+} pueden antiporte familia y por ATP-driven P-type ATPasas, no se han identificado transportadores responsables de la carga de xilema de Ca^{2+} y una proporción de Ca^{2+} de xilema puede llegar a través del apoplasto, pero también en el sistema vascular, la movilidad de Ca^{2+} es baja (Maathuis, 2009).

En la producción de cultivos un aporte nutricional completo contempla la adición de este elemento esencial, ya que las deficiencias de este nutriente en los vegetales provocan: mal desarrollo radical, desarrollo anormal de hojas y enrollamientos, deformación y falta de tamaño de frutos, pudrición apical o blossom end rot, depresión amarga o bitter pit, rajado de frutos, mala vida de anaquel y frutos aguados. Tanto en la planta como nutriente estructural y en el suelo como mejorador, el calcio cumple funciones de gran importancia que son irremplazables (INTAGRI, 2018).

2.11. MAGNESIO EN LAS PLANTAS

El magnesio es requerido por muchas enzimas involucradas en el metabolismo del fosfato y es constituyente de la clorofila, puede moverse con bastante rapidez y si el suministro de raíces es inadecuado, se transfiere de hojas más viejas a órganos en crecimiento y especialmente a semillas y frutas. Por lo tanto, las actividades de las enzimas influenciadas por Mg se reducen inicialmente, pero sin un colapso repentino del metabolismo, el daño a la flor o la fruta, de haber alguno, será leve al principio (Thomas *et al.* 2016).

La deficiencia Mg provoca drásticas inhibiciones en el crecimiento de la raíz incluso antes de que se observe cualquier síntoma en el crecimiento del tallo o en la concentración de clorofila, el efecto del Mg se asocia con drásticos y tempranos trastornos en el transporte de fotoasimilados, se ha sugerido que los rápidos descensos en el crecimiento de la raíz provocados por una disfunción en el transporte de azúcar dentro del floema son el primer síntoma a la deficiencia del magnesio (Goujard y Bayón, 2014).

Además, la deficiencia de Mg conduce a una descomposición rápida de la clorofila porque los Mg incorporados en petioles no actúan como reservas, ya que no pueden ser remobilizados, pero pueden administrarse Mg de clorofila, debido a que el Mg es relativamente móvil dentro de la planta, los síntomas de la deficiencia de Mg se presentan de manera pronunciada en las hojas más viejas con una clorosis en las hojas más viejas, las hojas dañadas por deficiencia de Mg generalmente se eliminan prematuramente (Thomas *et al.* 2016).

2.12. BORO EN LAS PLANTAS

A pesar de haber sido definido como esencial hace más de 80 años, el boro es probablemente el microelemento cuyo papel fisiológico y bioquímico en las plantas es aún poco conocido (Azcón-Bieto y Talón, 2008). Actualmente se conoce que el B es móvil en el floema de todas las especies que utilizan polioles (azúcares simples) como un metabolito fotosintético primario. En estas especies, un complejo poliol-B-poliol se forma en los tejidos fotosintéticos y es transportado en el floema hacia zonas de acumulación activa, como los meristemas vegetativos o reproductivos (Brown y HU, 1999; Yamada, 2000).

En especies que no producen cantidades significativas de polioles, el B, una vez transportado hasta la hoja a través del flujo transpiratorio, no puede reentrar en el floema, dando como resultado una completa inmovilidad de este elemento en la hoja (Brown y Hu, 1999).

La deficiencia de B afecta muchos procesos fisiológicos de la planta como el transporte de azúcares, síntesis y estructura de la pared celular, lignificación, metabolismo de carbohidratos, metabolismo del RNA, AIA, fenoles y ascorbatos, respiración e integridad de la membrana plasmática (Yamada, 2000). Entre las diversas funciones atribuidas al B en las plantas dos están claramente definidas. La primera es la síntesis de la pared celular, puesto que se ha estimado que el 95% del B en las plantas se encuentra en la pared celular (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

La segunda función importante del B es integridad de la membrana plasmática, dado que, en tejidos deficientes en B, la actividad de la ATPasa, ligada a la membrana plasmática y la tasa de absorción de iones, disminuyen. Las membranas presentan fugas, pero pueden ser rápidamente restauradas por el abastecimiento de este nutriente. Finalmente, otra importante función que

desempeña el B en las plantas, es que interviene en la germinación del polen y el alargamiento del tubo polínico, por lo que es de vital importancia para el cuajado del fruto (Kirkby y Romheld, 2008c; Azcón-Bieto y Talón, 2008).

2.13. COBRE EN LAS PLANTAS

El cobre es un metal esencial para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas, aunque también es potencialmente tóxico (Yruela, 2005). El cobre es de suma importancia para la vida, es esencial para la fotosíntesis y la respiración mitocondrial, para el metabolismo del carbono y el nitrógeno, para protección al estrés oxidativo, y se requiere para la síntesis de la pared celular, etc. En condiciones fisiológicas, el cobre existe en los dos estados de oxidación Cu^1+ y Cu^2+ y pueden intercambiar entre estas formas (el cobre monovalente es inestable), permite al Cu funcionar como un agente reductor u oxidante en reacciones bioquímica, pero al mismo tiempo, lo hace también potencialmente tóxico (Hansch y Mendel, 2009).

El Cu en ocasiones cuándo se encuentra en exceso en las células de las plantas surgen problemas, tales como, inhibir el crecimiento de las plantas y perjudica los procesos celulares de intercambio. Dado que el cobre es a la vez un cofactor esencial y un elemento tóxico, que involucra una red completa de vías de tráfico, se han desarrollado diferentes estrategias en las plantas para regular adecuadamente su homeostasis como una función del nivel de cobre ambiental (Yruela, 2005).

2.14. HIERRO EN LAS PLANTAS

El hierro es un micronutriente esencial para casi todos los organismos vivos debido a que juega un papel fundamental en procesos metabólicos tales como

la síntesis de ADN, la respiración y la fotosíntesis, además, muchas rutas metabólicas son activados por el Fe (Gyana y Sahoo, 2015).

La deficiencia de hierro (Fe) es un factor limitante del rendimiento para una variedad de cultivos en el mundo y, en general, los resultados de la interacción de suelo limitando biodisponibilidad Fe y genotipo de cultivo susceptible. Por lo cual las estrategias examinadas para uso en terrenos donde la deficiencia Fe es una preocupación incluye la selección cultivares con tolerancia, el uso de fertilizante y prácticas culturales, aplicaciones foliares, etc (Hansen *et al.* 2006).

El Fe tiene un rol fundamental en diversos procesos fisiológico y rutas bioquímicas en las plantas, sirve como un componente de muchas enzimas vitales, tales como los citocromos del transporte de electrones cadena, por lo que es necesario para una amplia gama de funciones biológicas. Además, el Fe está involucrado en la síntesis de clorofila, y es esencial para el mantenimiento de la estructura y función del cloroplasto (Gyana y Sahoo, 2015). La clorosis presente en plantas deficiente en Fe no es solamente una expresión del efecto del Fe en el desarrollo y función de los cloroplastos para la biosíntesis de clorofila, siendo de esta manera que cerca del 80% del Fe en las hojas se encuentran localizados en los cloroplastos (Kirkby, y Romheld 2008a).

2.15. MANGANESO EN LAS PLANTAS

La forma que se encuentra presente el Mn en las plantas principalmente es como Manganeseo divalente Mn (II). Esta forma de Mn se combina rápidamente con ligandos orgánicos, en los puede ser rápidamente oxidado a Mn (III) y Mn (IV). El Mn se considera inmóvil dentro de la planta (floema) y su disponibilidad para los cultivos está influenciada por los factores del suelo que intervienen en el proceso de óxido-reducción, generalmente pH, contenido de materia

orgánica, estado hídrico del suelo y la actividad microbial (Kirkby y Romheld, 2008a; Gómez *et al.*, 2006).

En suelos ácidos su disponibilidad mucho mayor debido a la solubilización de los compuestos que contienen Mn. A medida que aumenta el pH se reduce su disponibilidad, ya que por cada aumento en cada unidad de pH la concentración de Mn se reduce 100 veces, por lo tanto, en este tipo de suelos es más probable la deficiencia de este nutriente (Fagería *et al.*, 2002). El síntoma más significativo de la deficiencia de Mn es la clorosis intervenal asociada con el desarrollo de pequeñas manchas necróticas en las hojas (Azcon-Bieto y Talón, 2008).

La función fisiológica más documentada del Mn en las plantas es la reacción que oxida la molécula de agua durante la reacción luminosa de la fotosíntesis, denominada reacción de Hill o fotólisis. En esta reacción los electrones son liberados por la enzima que oxida el agua, la cual contiene cuatro átomos de Mn y luego son transferidos al fotosistema II (P680) insertado en la membrana tilacoidal del cloroplasto (Kirkby y Romheld, 2008a). Por ello, el Mn es de vital importancia para el proceso fotosintético, dado que esta directamente involucrado en el sistema transportador de electrones necesarios para la fotofosforilación y producción de NADPH₂ y ATP (Taíz y Zeiger, 2006).

Otros de los roles del Mn es el de actuar como activador de la enzima Mn-superóxido dismutasa presente en las mitocondrias. Además, es un importante co-factor de varias enzimas fundamentales para la biosíntesis de metabolitos secundarios de las plantas asociados con la vía del ácido shiquímico, incluyendo aminoácidos aromáticos fenólicos, cumarinas, ligninas y flavonoides (Kirkby y Romheld, 2008a; Azcón-Bieto y Talón, 2008).

2.16. MOLIBDENO EN LAS PLANTAS

El molibdeno es un micronutriente esencial para las plantas, ya que es requerido por una serie de enzimas que catalizan reacciones clave en la asimilación de nitrógeno, la síntesis de fitohormonas de deshidratación de las purinas y la desintoxicación de sulfitos. Sin embargo, el molibdato en sí mismo es biológicamente inactivo y necesita ser acomplejado por una pterina orgánica específica para servir como un grupo protésico unido permanentemente, el cofactor de molibdeno, para las llamadas enzimas molibdeno (Bittner, 2014).

El molibdeno es un componente esencial de nitrogenasa y nitrato reductasa que son dos enzimas principales en las plantas. La deficiencia de molibdeno en las plantas se asemeja a la de la deficiencia de nitrógeno, ya que la función más importante del Mo en el metabolismo de las plantas es la reducción de los iones de nitrato. Los síntomas de deficiencia de molibdeno aparecen primero en las hojas medianas y viejas como formas cloróticas, pero a diferencia de los síntomas de deficiencia de nitrógeno, los síntomas necróticos aparecen muy rápidamente en los márgenes de las hojas (Thomas *et al.* 2016).

Sin embargo, evidencia reciente indica que los niveles de molibdato intracelular están estrechamente controlados por transportadores de molibdato, en particular durante el desarrollo de la planta. Además, se presume una estrecha conexión entre el molibdeno y el metabolismo del hierro porque los mecanismos de absorción del molibdato y el hierro se afectan entre sí, la mayoría de las enzimas molibdeno también requieren grupos redox que contienen hierro, como las proteínas de hierro y azufre implican la función mitocondrial específica transportador tipo ABC (Bittner, 2014).

2.17. ZINC EN LAS PLANTAS

El Zn a diferencia del Fe, Cu, Mn y Mo, es un elemento de transición que no está sujeto a cambios de valencia y está presente en las plantas solamente como ion Zn^{++} . El elemento funciona principalmente como ion divalente en metaloenzimas, algunas de las cuales ligan las enzimas y sus correspondientes sustratos, mientras que, en otros casos, el Zn forma complejos tetrahídricos con el N y el O, y particularmente ligados de S en una variedad de compuestos orgánicos (Kirkby y Romheld, 2008b).

Muchas enzimas dependientes del Zn actúan en el metabolismo de los carbohidratos en especial de las hojas donde se desarrolla el proceso fotosintético. El Zn también está implicado en la biosíntesis de auxinas (AIA), dado que al parecer el aminoácido triptófano que participa en el metabolismo de las auxinas, requiere Zn para su formación (Ratto y Miguez, 2006). Se ha demostrado en cultivos como el maíz, que la aplicación de quelatos de Zn a las semillas puede incrementar el potencial germinativo y vigor de las plántulas (Miguez, 2006). También existe evidencia de que el Zn desempeña un papel importante en la defensa contra patógenos al mantener la estructura e integridad de la membrana y el control de la permeabilidad (Kirkby y Romheld, 2008b).

2.18. BIORREGULADORES EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Actualmente, las hormonas vegetales o biorreguladores ofrecen una magnífica oportunidad para mejorar los sistemas de producción agrícola. Estas sustancias son únicas en su característica de ser absorbidas por el tejido vegetal y transportadas a un sitio de reacción antes de inducir un efecto deseado (Yáñez, 2002). En la agricultura moderna, los biorreguladores son considerados como modificadores de la acción de genes; características de

gran valor ya que permiten realizar, avances que tomarían décadas usando las técnicas tradicionales (Ramírez, 2003, INTAGRI, 2015).

Las hormonas juegan un papel muy importante en la expresión fenotípica de los cultivos ya que estas actúan como mensajeros entre el genómico y el ambiente, por ejemplo, cuando la planta está expuesta a condiciones de sequía o bajos niveles de humedad, se estimula la síntesis del ácido abscísico, el cual actúa sobre la activación de los genes específicos de resistencia a dichas condiciones en el interior de la planta (Yáñez, 2002). El conocimiento generado sobre las hormonas en las plantas es lo que ha orientado a la industria agroquímica a desarrollar formulaciones a base de compuestos hormonales naturales o sintéticos, para aplicarlos a las plantas y manipular sus eventos fisiológicos. De ahí surge el concepto de los biorreguladores hormonales también conocidos como reguladores de crecimiento o fitohormonas (Camargo *et al.*, 2009).

Un biorregulador es un compuesto orgánico que promueve, inhibe o modifica procesos morfológicos y fisiológicos de las plantas cuando son aplicados en pequeñas concentraciones. Las formulaciones de los productos biorreguladores contienen uno o dos compuestos hormonales, cuya acción fisiológica está muy definida para cada evento o proceso fisiológico. Pero lo más importante desde el punto de vista económico, es incrementar la productividad y rentabilidad de los cultivos (Galván *et al.*, 2009; Cuesta y Moncada, 2014).

Ya se ha eliminado la era de árboles grandes con poca densidad de plantación y con una gama de cultivares en el mismo huerto en donde el productor, conforme esperaba varios años para obtener su primera producción (Ramírez, 2003). Esta situación ha sido substituida por árboles más compactos, permitiendo aumentar la densidad de plantación por hectárea, misma que con un buen manejo, puede producir considerablemente el tercer o cuarto año de

establecida utilizando solo un cultivar por huerto o quizás, dos como máximo cuando se trate de donadores de polen. Lógicamente estas modificaciones también han producido algunos problemas agronómicos, mismos que pueden ser solucionados con el uso biorreguladores (Cuesta y Moncada, 2014; Ariza *et al.*, 2015).

2.19. CARACTERÍSTICAS DE LOS FERTILIZANTES

2.19.1. UREA

FERMAGRI (2018) describe a la urea como un fertilizante granulado que aporta nitrógeno en forma ureica, entre los fertilizantes sólidos, es la fuente nitrogenada de más alta concentración en el mercado con 46% de nitrógeno total. El nitrógeno ofrece una serie de beneficio como su esencialidad para la síntesis de la clorofila y por ende está involucrado con los procesos fotosintéticos, estando directamente relacionado con el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Cuadro 2. 4. Propiedades físico –químicas de la Urea.

Propiedades físico-químicas	
Fórmula Química	CO (NH ₂) ₂
Peso Molecular	60.6
Nitrógeno Total (N)	46%
Nitrógeno Ureico (N-NH ₂)	46%
Biuret	1% máx
Granulometría	90% 2 -4 mm
Densidad Aparente	1000 -1200 Kg m ³ -1
Angulo de reposo	26 -28 grados
Presentación Física	Perlas esféricas blancas
pH (solución 10%)	9.2 -9.5
Solubilidad (20°C)	1.080 g litros ⁻¹
Humedad	0.5% máx
Humedad Relativa Crítica (30°C)	72%
Índice de Salinidad	75

Fuente: (FERMAGRI, 2018).

2.19.2. MICRO ESSENTIAL SZ

Micro Essential SZ es un fertilizante fosforado revolucionario, que además aporta Nitrógeno, Azufre y Zinc, es un MAP enriquecido con Azufre y Zinc y lo revolucionario de este producto es que los cuatro nutrientes están distribuidos homogéneamente en cada gránulo, logrando uniformidad de estos cuando se aplica en suelo. Ofrece beneficios en el crecimiento y desarrollo de la raíz, tallo, follaje, flor y fruto de la planta (ACA, 2015).

Cuadro 2. 5. Características físicas y composición química de Micro Essential sz.

Características físicas y composición química	
Apariencia	Gránulo gris oscuro
Nitrógeno	12%
Humedad	0.84%
P ₂ O ₅	40%
P ₂ O ₅ Soluble en agua	36%
Azufre como S	5%
Total de Azufre como SO ₄	10%
Zinc	1%
Granulometría 1-4 mm	98

Fuente: (ACA, 2015).

2.19.3. MURIATO DE POTASIO

Fertilizante potásico granular con alto contenido de potasio en forma de cloruro, ofrece diversos beneficios como los siguientes promueve la fotosíntesis, mejora la asimilación del nitrógeno, la eficiencia del uso del agua, la calidad del fruto y da resistencia al ataque de plagas, además por poseer granulometría uniforme facilita la elaboración de mezclas homogéneas para aplicaciones manuales o mecanizadas (FERMAGRI, 2018).

Cuadro 2. 6. Propiedades Físico-Química de Muriato de Potasio granular Rojo 60%.

Propiedades físico-químicas	
Fórmula Química	KCl
Peso Molecular	74.6
Cloruro de potasio (ClK)	95.7%
Potasio Total (K ₂ O)	60%
Potasio Soluble en agua (K ₂ O)	60%
Granulometría	94% min. 2-4 mm
Densidad Aparente	1.000 -1.500 Kg m ³ -1
Angulo de reposo	36-38 grados
Presentación Física	Gránulos irregulares
pH (Solución al 10%)	7-8
Humedad	0.6% máx.
Índice de Salinidad	116.3
Humedad Relativa Crítica (30°C)	84%

Fuente: (FERMAGRI, 2018).

2.19.4. YESOLINA

De acuerdo a La Colina (2017) indica que la yesolina es un mineral natural que se obtiene de yacimiento marinos, con una composición rica en Azufre y Calcio que permite corregir suelos salinos -sódicos, intervenir sobre el crecimiento de las raíces de las plantas, mejorar la textura y estructura del suelo e incrementar la resistencia del cultivo a plagas y enfermedades, ofrece beneficios como, permitir una mayor retención de agua, suministra Azufre, componente básico de los aminoácidos que forman las proteínas vegetales, mejora el rendimiento del cultivo, disminuye el contenido de elementos tóxicos, etc.

Cuadro 2. 7. Propiedades físico –químicas de la Yesolina.

Propiedades físico-químicas	
pH	8-9
Granulometría	1-3 mm
Presentación física	Polvo fino
Calcio (CaO)	26%
Azufre (S)	18%
Magnesio (MgO)	0.4%
Potasio (K ₂ O)	0.03%

Fuente: (La Colina, 2017).

2.19.5. MICROMIX II® CALCIO-MAGNESIO

Es un fertilizante granulado que contiene una fórmula balanceada de tres de los nutrientes secundarios de mayor demanda en suelos ácidos, además contiene otros elementos traza, todos retenidos en una arcilla montmorillonita de alta capacidad de intercambiar nutrientes de carga positiva, es decir de intercambio catiónico. Es una fórmula que complementa la fertilización por resultados no sólo en cantidad, sino en calidad, su mecanismo de acción está determinado por la arcilla que contiene, esta no solo es el vehículo de los nutrientes sino también es medio que permite intercambio de los nutrientes retenidos en ella y las raíces de las plantas (EDIFARM, 2016).

Cuadro 2. 8. Características y composición química de MICROMIX II Calcio-Magnesio.

Características y composición Química	
Composición química	
Magnesio (Mg)	9.0%
Calcio (Ca)	5.0%
Hierro (Fe)	1.0%
Zinc (Zn)	7.5%
Manganeso (Mn)	1.2%
Cobre (Cu)	0.6%
Boro (B)	0.1%
Cobalto (Co)	0.014%
Molibdeno (Mo)	0.0025%
Presentación	20Kg

Fuente: (EDIFARM, 2016).

2.19.6. MAXI-GROW EXCEL®

Es un bioestimulante complejo de origen orgánico que contiene micronutrientes en forma quelatada. Todos estos componentes interactúan sobre los procesos metabólicos de las plantas, pudiendo favorecer incrementos en las cosechas. Además, ofrece diversos beneficios como promover el crecimiento vigoroso de raíces, impartir resistencia a las plantas para enfrentar condiciones adversas, estimula la producción de flores y amarre de frutos, acelera la maduración, hace más eficiente la absorción de nutrientes por la raíz, aumentar la calidad y el tiempo de vida de los frutos después de la cosecha (COSMOCEL, 2013).

Cuadro 2. 9. Composición porcentual de Maxi-Grow Excel.

Composición porcentual	
Combinación de extractos orgánicos	112.5 g l ⁻¹
Auxinas	0.09
Giberelinas	0.10
Citoquininas	1.50
Nitrógeno (N)	6.6 g l ⁻¹
Fósforo (P ₂ O ₅)	13.3 g l ⁻¹
Potasio (K ₂ O)	13.3 g l ⁻¹
Calcio (Ca)	2.0 g l ⁻¹
Magnesio (Mg)	4.0 g l ⁻¹
Cobre (Cu)	13.3 g l ⁻¹
Fierro (Fe)	17.2 g l ⁻¹
Manganeso (Mn)	13.3 g l ⁻¹
Zinc (Zn)	26.5 g l ⁻¹
Aspecto físico	Suspensión acuosa

Fuente: (COSMOCEL, 2013).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

El presente trabajo se realizó en la unidad de docencia, investigación y vinculación investigación de la Escuela Superior politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López” en el área de producción, situada a 00°49’23” latitud Sur y 80°11’01” longitud oeste, a 15 msnm.

3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

La investigación se realizó en el periodo de Agosto del 2017 a Julio del 2018, con una duración de 12 meses.

3.3. CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS.

CLIMA

Cuadro 3. 1. Condiciones climáticas

Condición anual	
Precipitación media anual	777,3 mm
Temperatura media anual	26 °C
Humedad relativa anual	82%
Heliofanía anual	925,2 (horas/sol)
Evaporación media anual	1269,6 mm
Velocidad del viento	1,7 m/s

Fuente: Estación meteorológica de la Espam MFL.¹

EDÁFICAS

Cuadro 3. 2. Condiciones edáficas.

Condiciones edáficas	
Topografía	Plana
Textura	Franco
pH	6,7 (Prac. Neutro)
Materia Orgánica	1,6% (Bajo)
NH ₄	5 ppm (Bajo)
P	45 ppm (Alto)
K	1,09 meq/100ml (Alto)
S	5 (Bajo)

¹Tarazona, L. 2015. Boletín anual 2015. Boletín informativo. N° .p 9

3.4. MATERIAL VEGETAL

Se utilizó una plantación de cacao nacional en producción establecido como policlón, con los materiales EET – 103, EET- 575 y EET – 576. Las plantas están sembrada a una densidad de 1111 plantas ha⁻¹

3.5. FACTORES EN ESTUDIO

Se evaluó el efecto de combinaciones y niveles de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores, siguiendo la metodología del Diseño Ortogonal L₉(3)⁴ de Taguchi.

Cuadro 3. 3. Diseño ortogonal L₉(3)⁴ según Nutrientes a evaluarse.

Factores en estudio		Niveles en estudio		
Nombre	Código	1	2	3
Nitrógeno (Urea)	A	250 kg ha ⁻¹ (543 kg urea)	350 kg ha ⁻¹ (760 kg urea)	450 kg ha ⁻¹ (978 kg urea)
Azufre (Yeso)	B	50 kg ha ⁻¹ (278 kg yeso)	100 kg ha ⁻¹ (556 kg yeso)	150 kg ha ⁻¹ (833 kg yeso)
Micronutrientes	C	25 kg ha ⁻¹ de Micromix II	50 kg ha ⁻¹ de Micromix II	75 kg ha ⁻¹ de Micromix II
Dosis fitorreguladores (Auxina, giberelinas y citocininas)	D	0.5 L ha ⁻¹ aplicación ⁻¹	1.0 L ha ⁻¹ aplicación ⁻¹	1.5 L ha ⁻¹ aplicación ⁻¹

Cuadro 3. 4. Diseño de los tratamientos según los principios matemáticos de la ortogonalidad.

Tratamientos	Factores			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Cuadro 3. 5. Tratamientos codificados con sus respectivas combinaciones de factores y niveles más un tratamiento control.

Tratamientos	Código	Combinaciones
1	A1B1C1D1	250 kg ha ⁻¹ de N + 50 kg ha ⁻¹ de S + 25 kg ha ⁻¹ de Micromix II + 0.5 L ha ⁻¹ de fitoregulador
2	A1B2C2D2	250 kg ha ⁻¹ de N + 100 kg ha ⁻¹ de S + 50 kg ha ⁻¹ de Micromix II + 1 L ha ⁻¹ de fitoregulador
3	A1B3C3D3	250 kg ha ⁻¹ de N + 150 kg ha ⁻¹ de S + 75 kg ha ⁻¹ de Micromix II + 1.5 L ha ⁻¹ de fitoregulador
4	A2B1C2D3	350 kg ha ⁻¹ de N + 50 kg ha ⁻¹ de S + 50 kg ha ⁻¹ de Micromix II + 1.5 L ha ⁻¹ de fitoregulador
5	A2B2C3D1	350 kg ha ⁻¹ de N + 100 kg ha ⁻¹ de S + 75 kg ha ⁻¹ de Micromix II + 0.5 L ha ⁻¹ de fitoregulador
6	A2B3C1D2	350 kg ha ⁻¹ de N + 150 kg ha ⁻¹ de S + 25 kg ha ⁻¹ de Micromix II + 1 L ha ⁻¹ de fitoregulador
7	A3B1C3D2	450 kg ha ⁻¹ de N + 50 kg ha ⁻¹ de S + 75 kg ha ⁻¹ de Micromix II + 1 L ha ⁻¹ de fitoregulador
8	A3B2C1D3	450 kg ha ⁻¹ de N + 100 kg ha ⁻¹ de S + 25 kg ha ⁻¹ de Micromix II + 1.5 L ha ⁻¹ de fitoregulador
9	A3B3C2D1	450 kg ha ⁻¹ de N + 150 kg ha ⁻¹ de S + 50 kg ha ⁻¹ de Micromix II + 0.5 L ha ⁻¹ de fitoregulador
10	Testigo convencional	Con fertilización NPK (250, 50 y 200 kg ha ⁻¹) sin aplicación de micronutrientes y fitoregulador
11	Testigo control	Sin fertilización

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el ensayo se utilizó un diseño de Bloques completos al azar con 11 tratamientos y tres repeticiones, con un total de 33 unidades experimentales. El análisis de datos consistió en dos fases:

En la primera fase se realizó el análisis de varianza (ANOVA) donde se incluyeron los 11 tratamientos. A continuación, se muestra el modelo matemático del diseño experimental y el esquema del ANOVA.

El modelo matemático es el que sigue: $Y_{ij} = \mu + T + \beta + e_{ij}$

Donde

Y_{ij} = es la j ésima parcela dentro del i ésimo tratamiento.

μ = es la media general.

T_i = efecto debido al i ésimo tratamiento.

B_j = efecto del j ésimo bloque

E_{ij} = error experimental asociado al j ésimo bloque del i ésimo tratamiento.

Esquema del ANOVA

Cuadro 3. 6. Esquema de ANOVA.

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Bloques	$r-1 = 2$
Tratamientos	$t-1 = 10$
Error	$(r-1)(t-1) = 20$
Total	$t*r-1 = 32$

En la segunda fase se realizó el análisis regular de medias de Taguchi del tratamiento 1 al 9 con la finalidad de predecir y establecer la combinación óptima de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores. En análisis de Taguchi consta de los siguientes pasos:

- 1) **Elaboración de la tabla de respuestas.** - se elaboró usando las medias y separando los efectos factoriales por cada factor y nivel.
- 2) **Gráficas factoriales.** - es la representación de los efectos individuales de cada factor usando una gráfica de barras.
- 3) **Combinación óptima.** - la combinación óptima de los factores y niveles se deriva de la tabla de respuestas. Si se tratara de variables experimentales como: rendimiento, beneficio neto o producción de biomasa la respuesta “*mayor es mejor*”, es lo deseable. Si se tratara de variables experimentales como: porcentaje de grano vano, número de plantas enfermas, etc., la respuesta “*menor es mejor*”, es lo deseable.
- 4) **Predicción de la máxima respuesta.** - la predicción de la respuesta máxima se estimó asumiendo que los efectos son aditivos a partir de la “*media de medias*”, adicionando los efectos parciales de cada nivel en estudio por factor, según la tabla de respuesta y la combinación óptima definida. La predicción se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Predicción} = \bar{Y} + \sum (A_i - \bar{Y}) + (B_j - \bar{Y}) + (C_k - \bar{Y}) + (D_z - \bar{Y})$$

Donde:

\bar{Y} = Media de factores

A_i = Media del i nivel del factor A

B_j = Media del j nivel del factor B

C_k = Media del k nivel del factor C

D_z = Media del z nivel del factor D

3.7. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental se conformó por cuatro hileras de seis plantas, donde la información se registró de las ocho plantas centrales.

3.8. CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

Número de tratamientos 11

Tamaño total de las unidades experimentales 18m x 12m

Número de unidades experimentales 33

Tamaño total del área útil: 12m x 6m

Densidades de siembra 3m entre hilera y 3m entre planta (1111pl ha-1).

Superficie Total: 7128m²

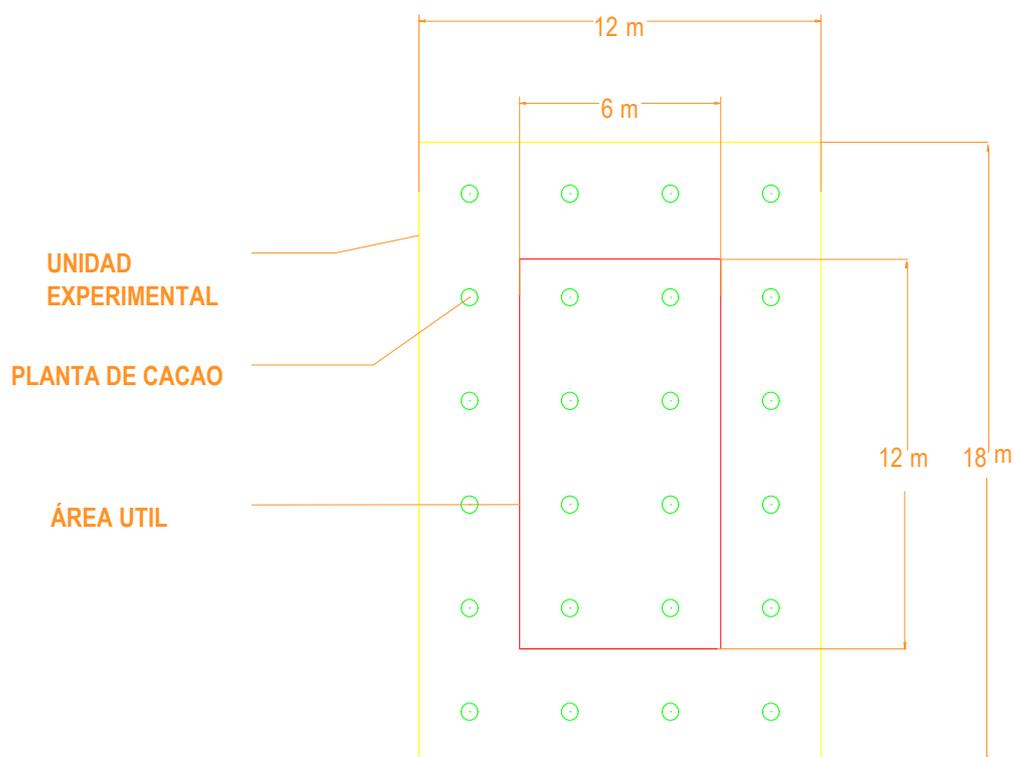


Figura 3. 1. Esquema de campo de las unidades experimentales de la investigación.

3.9. VARIABLES RESPUESTA

a. Número de escobas de bruja vegetativas

Se realizó contabilizando el número de escobas vegetativas por planta en cada unidad experimental, este dato se lo registró mensualmente.

b. Número de frutos enfermos

Se realizó contabilizando el número de frutos enfermos por planta en cada unidad experimental, este dato se lo registró mensualmente.

c. Número de frutos cherelles

Se realizó contabilizando el número de frutos cherelles o marchitos por planta en cada unidad experimental, este dato se lo registró mensualmente.

d. Número de frutos sanos

Se realizó contabilizando el número de frutos sanos por planta en cada unidad experimental, este dato se lo registró mensualmente.

e. Rendimiento de cacao seco

Esta variable se la registró mensualmente mediante la recolección de frutos sanos en cada planta y tratamiento, el peso fresco del cacao será transformado mediante constante $(100 - 40)$ con 7% de humedad. Este resultado por simple regla de tres será llevado a hectárea para obtener el rendimiento de cacao seco $\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

3.10. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico se realizó a través de la estimación del beneficio neto de la fertilización. Para esto se estimaron los costos que varían por tratamiento

(CqV), los que estuvieron en función de la cantidad de fertilizante aplicado (kg ha^{-1}), número de aplicaciones, costo unitario del fertilizante ($\text{US\$ kg}^{-1}$) y costo de la mano de obra. En el Testigo control, el costo que varía es cero ($\text{CqV}=0$). Con los datos de rendimiento (kg ha^{-1}) y precio unitario del qq de cacao seco ($\text{US\$ qq}^{-1}$) se calcularon los ingresos brutos. Con base en la diferencia entre los rendimientos de cada tratamiento y el testigo se estimó el efecto de la aplicación de la fertilización. Con los datos de costos e ingresos se calcularon los beneficios netos (Duicela y Ponce, 2015).

3.11. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

a. CONTROL DE MALEZA

Se realizó deshierbas manuales con la ayuda de machete en la parte cercana a la planta y en la parte lejana a la planta cuando esta representaba un costo superior al de umbral económico.

b. RIEGO

Para esta actividad se tomó en cuenta las condiciones meteorológicas y las necesidades del cultivo

c. PODAS DE MANTENIMIENTO Y FITOSANITARIAS

Consistió en la eliminación de ramas muertas y mal ubicadas que forman doble piso, permitiendo mantener una altura adecuada y estructura equilibrada del árbol, facilitando la realización de las otras prácticas, además se eliminó frutos enfermos con escoba de bruja, moniliasis, mazorca negra y otros problemas fitosanitarios.

d. FERTILIZACIÓN

Los fertilizantes fueron aplicados en la superficie del suelo a capacidad de campo, en forma de corona o luna completa. En total se realizó 12 fracciones o aplicaciones en el año. Los fitorreguladores fueron aplicados en seis ocasiones al follaje de las plantas, tres aplicaciones de forma mensual se aplicaron en los picos de producción de floración y fructificación de Agosto, Septiembre y Octubre del 2017, y las restantes aplicaciones se hicieron durante los picos de Febrero, Marzo y Abril del 2018. Todos los tratamientos recibieron 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 y 200 kg ha^{-1} de K_2O , debido a que el análisis de suelos reportó concentraciones altas de estos nutrientes. El tratamiento testigo recibió una fertilización de $250, 50$ y 200 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 y K_2O .

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE VARIABLES FITOSANITARIAS

En análisis de varianza reportó diferencias significativas ($p < 0.0488$) para la variable número de escobas, lo cual indica que la fertilización influyó sobre esta variable, en contraste, las variables frutos enfermos y frutos cherelles no fueron afectadas significativamente ($p > 0.05$) por los tratamientos de fertilización probados (**Cuadro 4.1**). El contraste ortogonal de medias entre las combinaciones de fertilización y el tratamiento control (T_1 - T_{10} vs T_{11}) mostró una cantidad significativamente ($p < 0.05$) mayor de escobas de bruja y frutos enfermos en el tratamiento control. Por su parte el contraste de medias entre las combinaciones de fertilización y el testigo convencional a base de N-P-K (T_1 - T_9 vs T_{10}) muestran un comportamiento similar. Lo anterior indica que el cacao sin una adecuada fertilización es más susceptible a problemas fitosanitarios. (**Cuadro 4.1**).

Cuadro 4. 1. Efecto de varias combinaciones de fertilización a base de N, S, micronutrientes y fitorreguladores sobre variables fitosanitarias en cacao tipo Nacional Bolívar, Manabí, 2018.

Tratamientos	Número de escobas	Número de frutos enfermos	Número de frutos Cherelles
T ₁	23 ab ^{1/}	14	74
T ₂	17 ab	15	67
T ₃	18 ab	17	61
T ₄	21 ab	20	101
T ₅	13 a	18	62
T ₆	18 ab	14	63
T ₇	16 ab	20	82
T ₈	16 ab	16	100
T ₉	13 a	18	90
T ₁₀	17 ab	12	61
T ₁₁	29 b	27	31
<i>p</i> -valor ANOVA			
Tratamientos	0,0488*	0,2161 ^{NS}	0,0728 ^{NS}
Contraste T ₁ -T ₁₀ vs T ₁₁	0,0010**	0,0073**	0,0060**
Contraste T ₁ -T ₉ vs T ₁₀	0,8986 ^{NS}	0,1536 ^{NS}	0,2657 ^{NS}

^{1/} Medias dentro de columnas con medias distintas, difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

De acuerdo al análisis regular de taguchi aplicado a la variable número de escobas bruja, la gráfica factorial (**figura 4.1**) muestra que la mejor combinación de fertilización que redujo la cantidad de escobas fue la dosis alta de N (450 kg ha^{-1}), media de S (100 kg ha^{-1}), alta de micronutrientes (75 kg ha^{-1}) y la baja de fitorreguladores (0.5 L ha^{-1}). De acuerdo a la predicción de respuesta máxima de taguchi, $\text{predicción} = \bar{Y} + \Sigma (A_3 - \bar{Y}) + (B_2 - \bar{Y}) + (C_3 - \bar{Y}) + (D_1 - \bar{Y})$, la combinación óptima de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores ($A_3B_2C_3D_1$) produciría 11 escobas bruja planta⁻¹ año⁻¹ en comparación al tratamiento convencional NPK y control con 17 y 29 escobas brujas, respectivamente, lo cual significa una reducción del 59 y 37% con respecto al tratamiento control (**figura 4.2**).

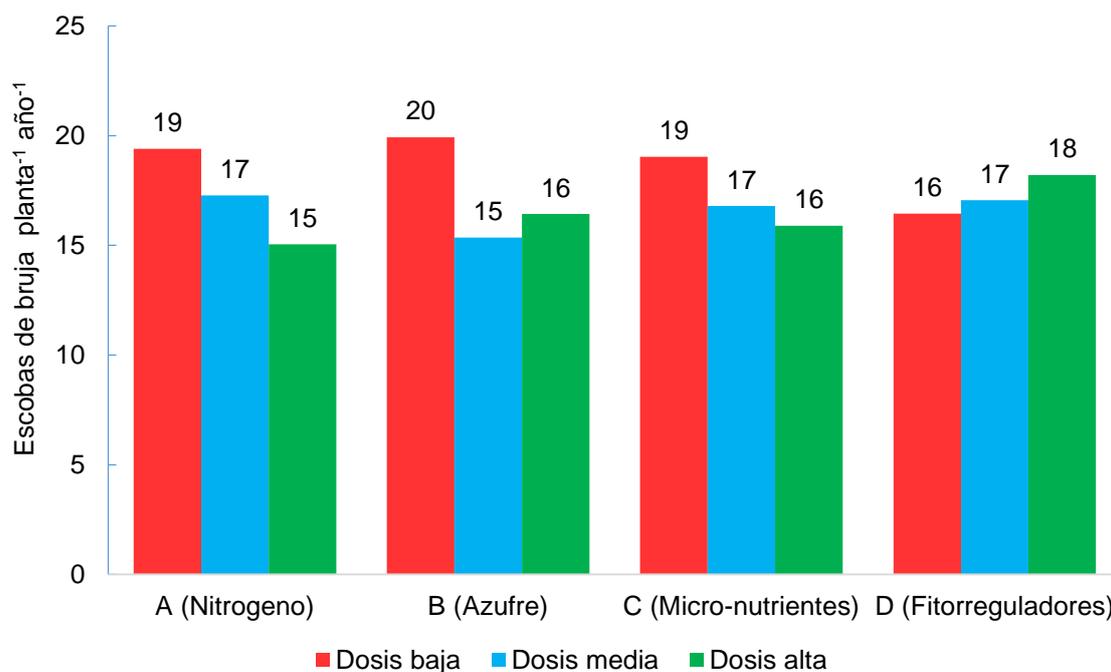


Figura 4. 1. Influencia de varios niveles de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores sobre el número de escobas bruja por planta⁻¹ año⁻¹ en cacao nacional.

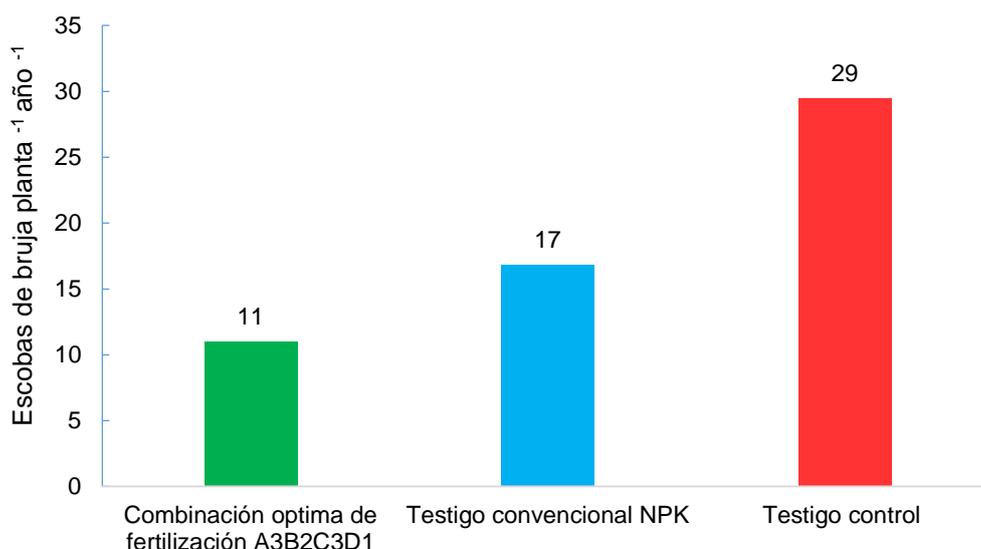


Figura 4. 2. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores (combinación optima de fertilización) vs testigo convencional NPK y testigo control sobre el número de escobas bruja por planta⁻¹ año⁻¹ en cacao nacional.

La gráfica factorial de taguchi (**figura 4.3**) muestra que la combinación de fertilización que redujo la cantidad de frutos enfermos planta⁻¹ fue la dosis baja de N (250 kg ha⁻¹), alta de S (150 kg ha⁻¹), baja de micronutrientes (25 kg ha⁻¹) y media de fitorreguladores (1 L ha⁻¹). De acuerdo a la predicción de respuesta máxima de taguchi, $predicción = \bar{Y} + \Sigma (A_1 - \bar{Y}) + (B_3 - \bar{Y}) + (C_1 - \bar{Y}) + (D_2 - \bar{Y})$, la combinación optima de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores (A₁B₃C₁D₂) produciría 12 frutos enfermos planta⁻¹ año⁻¹ al igual que en el tratamiento convencional NPK, con respecto al tratamiento control con 27 frutos enfermos, lo cual significa una reducción del 56% con respecto al tratamiento control (**figura 4.4**).

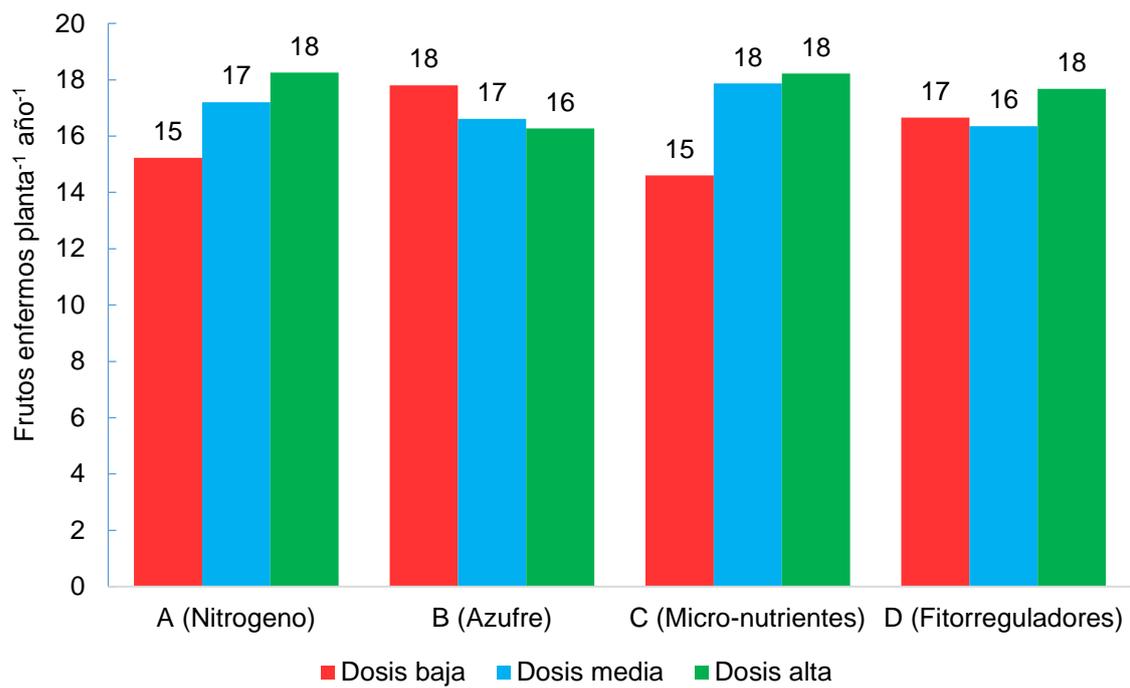


Figura 4. 3. Influencia de varios niveles de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores sobre el número de frutos enfermos planta⁻¹ año⁻¹ en cacao nacional.

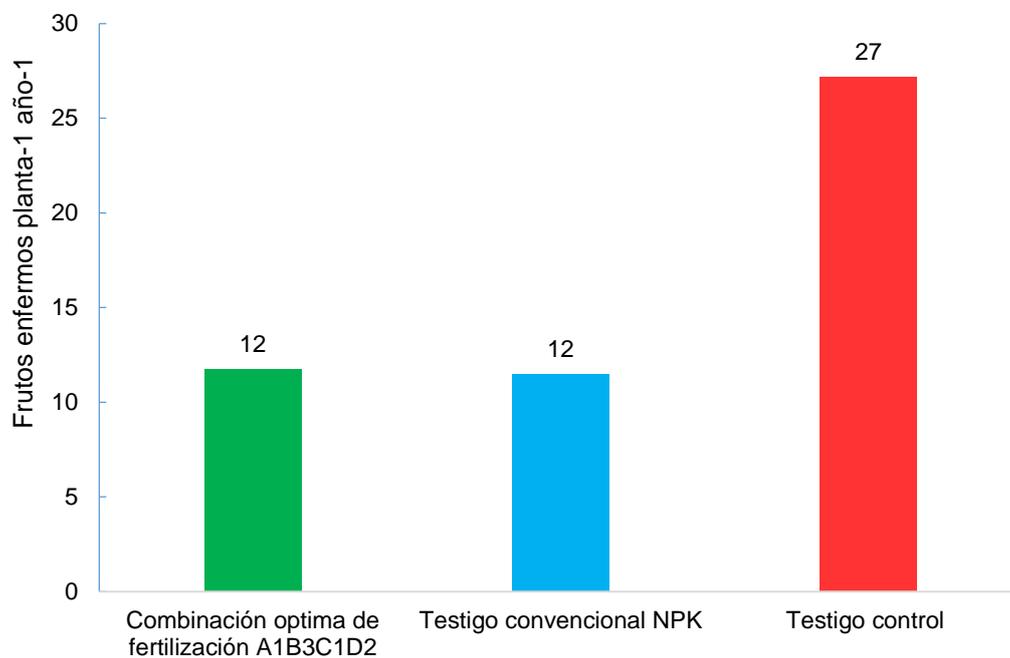


Figura 4. 4. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores (combinación óptima de fertilización) vs testigo convencional NPK y testigo control sobre el número de frutos enfermos planta⁻¹ año⁻¹ en cacao nacional.

La gráfica factorial de taguchi (**figura 4.5**) muestra que la combinación de fertilización óptima que redujo la cantidad de frutos cherelles planta⁻¹ fue la dosis baja de N (250 kg ha⁻¹), alta de S (150 kg ha⁻¹), alta de micronutrientes (75 kg ha⁻¹) y media de fitorreguladores (1 L ha⁻¹). De acuerdo a la predicción de respuesta máxima de taguchi, $predicción = \bar{Y} + \Sigma (A_1 - \bar{Y}) + (B_3 - \bar{Y}) + (C_3 - \bar{Y}) + (D_2 - \bar{Y})$, la combinación óptima de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores (A₁B₃C₃D₂) produciría 45 frutos cherelles planta⁻¹ año⁻¹, en comparación al tratamiento convencional NPK con 61 frutos cherelles. El tratamiento control presentó la menor cantidad de frutos cherelles en relación a los tratamientos de fertilización, lo cual indica la menor capacidad de cuajado de frutos por planta (**figura 4.6**).

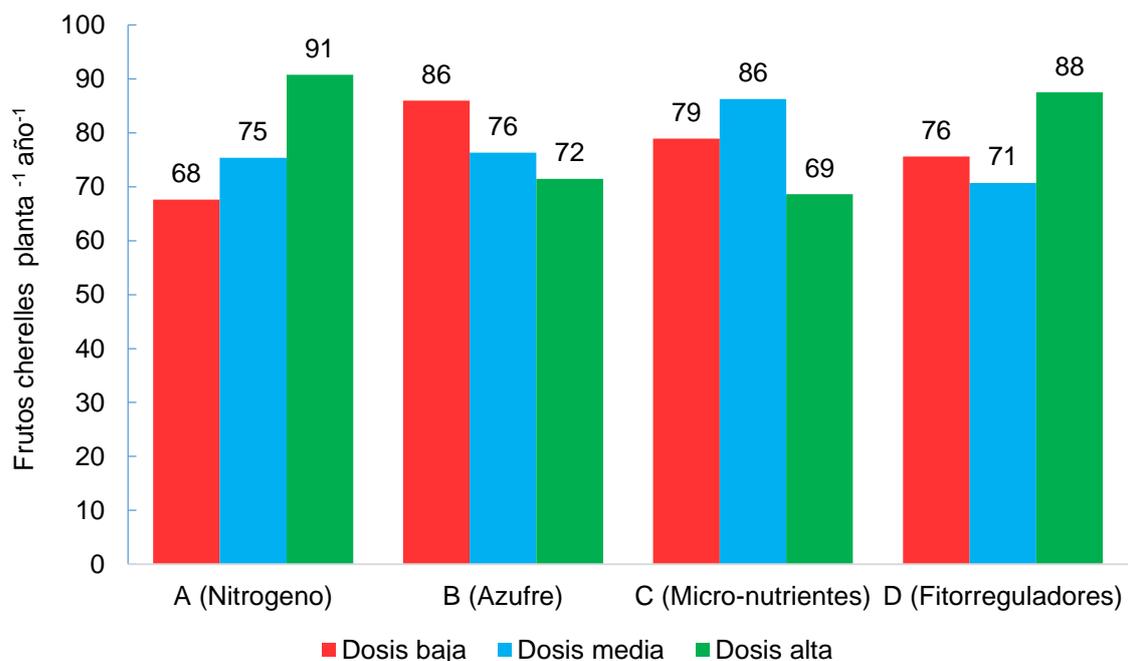


Figura 4. 5. Influencia de varios niveles de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores sobre el número de frutos cherelles planta⁻¹ año⁻¹ en cacao nacional.

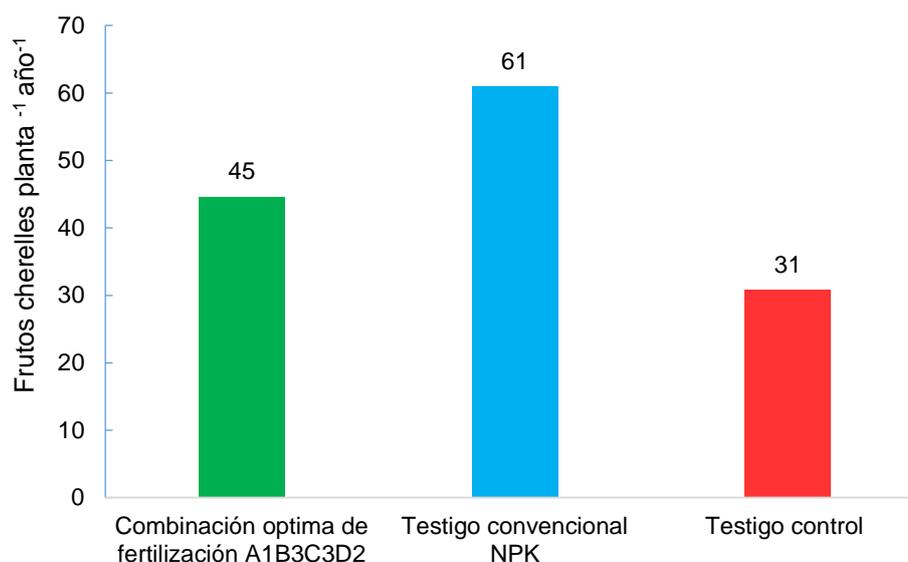


Figura 4. 6. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores (combinación optima de fertilización) vs testigo convencional NPK sobre el número de frutos cherelles planta⁻¹año⁻¹ en cacao nacional.

4.2. RESULTADOS DE VARIABLES PRODUCTIVAS

En análisis de varianza aplicado a las variables productivas reportó diferencias significativas ($p < 0.05$) para las variables número de frutos sanos, peso fresco por planta y rendimiento de grano seco, lo cual indica que la fertilización influyó positivamente sobre estas variables (**Cuadro 4.2**). El contraste ortogonal de medias entre las combinaciones de fertilización y el tratamiento control (T_1 - T_{10} vs T_{11}) mostró un incremento significativo ($p < 0.05$) de frutos sanos, peso fresco de granos por planta y rendimiento de granos secos ha⁻¹. Por el contrario, el contraste de medias entre las combinaciones de fertilización y el testigo convencional a base de N-P-K (T_1 - T_9 vs T_{10}) muestran un comportamiento similar en cuanto a peso fresco de granos por planta y rendimiento de granos seco ha⁻¹. Los resultados reflejan que la fertilización es determinante para incrementar el rendimiento del cacao. (**Cuadro 4.2**).

Cuadro 4. 2. Efecto de varias combinaciones de fertilización a base de N, S, micronutrientes y fitoreguladores sobre variables productivas en cacao tipo Nacional Bolívar, Manabí, 2018.

Tratamientos	Frutos Sanos planta ⁻¹ año ⁻¹	Peso Fresco planta ⁻¹ año ⁻¹	Rendimiento de grano seco (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)
T ₁	43 bc ^{1/}	4,66 b	2069,32 b
T ₂	40 abc	4,36 b	1935,82 b
T ₃	32 abc	3,27 ab	1453,60 ab
T ₄	41 bc	4,26 b	1891,79 b
T ₅	40 abc	4,32 b	1918,44 b
T ₆	38 abc	4,08 ab	1811,56 ab
T ₇	43 bc	4,63 b	2057,56 b
T ₈	52 c	5,51 b	2448,13 b
T ₉	45 bc	4,29 b	1907,99 b
T ₁₀	26 ab	3,26 ab	1449,68 ab
T ₁₁	15 a	1,36 a	605,86 a
p-valor ANOVA			
Tratamientos	0,0043**	0,0037**	0,0038**
Contraste T ₁ -T ₁₀ vs T ₁₁	0,0001**	0,0001**	0,0001**
Contraste T ₁ -T ₉ vs T ₁₀	0,0094**	0,0609 ^{NS}	0,0618 ^{NS}

^{1/} Medias dentro de columnas con medias distintas, difieren significativamente de acuerdo al test de Tukey al 5% de probabilidad de error.

Las gráficas factoriales de taguchi (**figura 4.7 y 4.9**) muestran que la combinación óptima de fertilización que incrementó la cantidad de frutos sanos y el peso fresco de granos planta⁻¹ año⁻¹, fue la dosis alta de N (450 kg ha⁻¹), media de S (100 kg ha⁻¹), baja de micronutrientes (25 kg ha⁻¹) y baja de fitoreguladores (0.5 L ha⁻¹). De acuerdo a la predicción de respuesta máxima de taguchi, $predicción = \bar{Y} + \Sigma (A_3 - \bar{Y}) + (B_2 - \bar{Y}) + (C_1 - \bar{Y}) + (D_1 - \bar{Y})$ la combinación óptima de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitoreguladores (A₃B₂C₁D₁) produciría 53 frutos sanos y 5.60 kg de granos frescos planta⁻¹ año⁻¹, en comparación al tratamiento NPK que produjo 26 frutos sanos y 3.26 kg de granos frescos planta⁻¹ año⁻¹. El tratamiento control mostro la menor cantidad de frutos sanos y peso fresco de granos planta⁻¹ año⁻¹ con 15 y 1.60, respectivamente (**figura 4.8 y 4.10**).

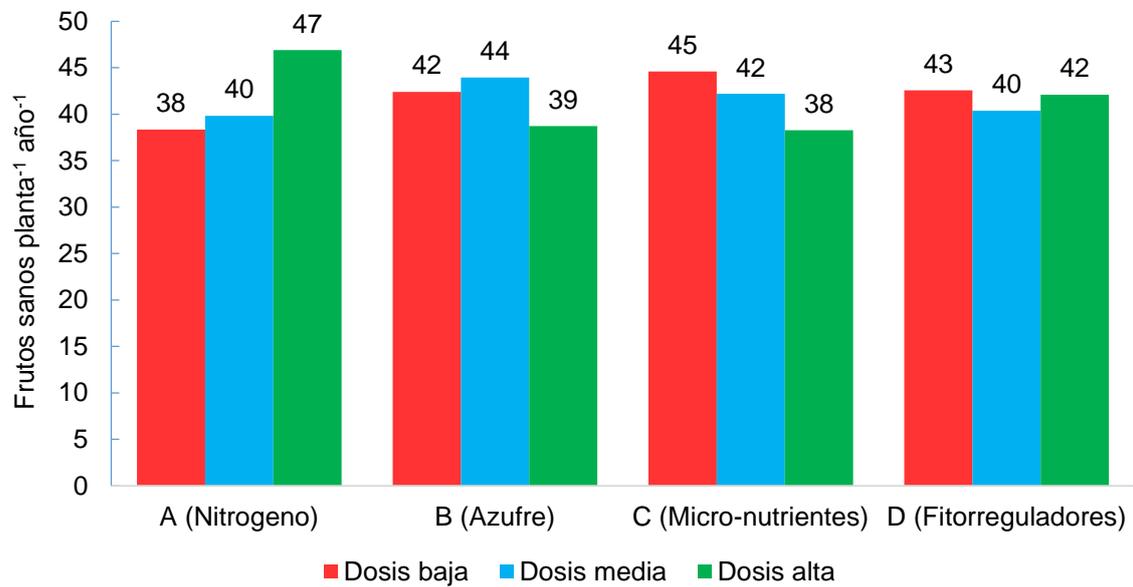


Figura 4. 7. Influencia de varios niveles de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores sobre el número de frutos sanos planta⁻¹ año⁻¹ en cacao nacional.

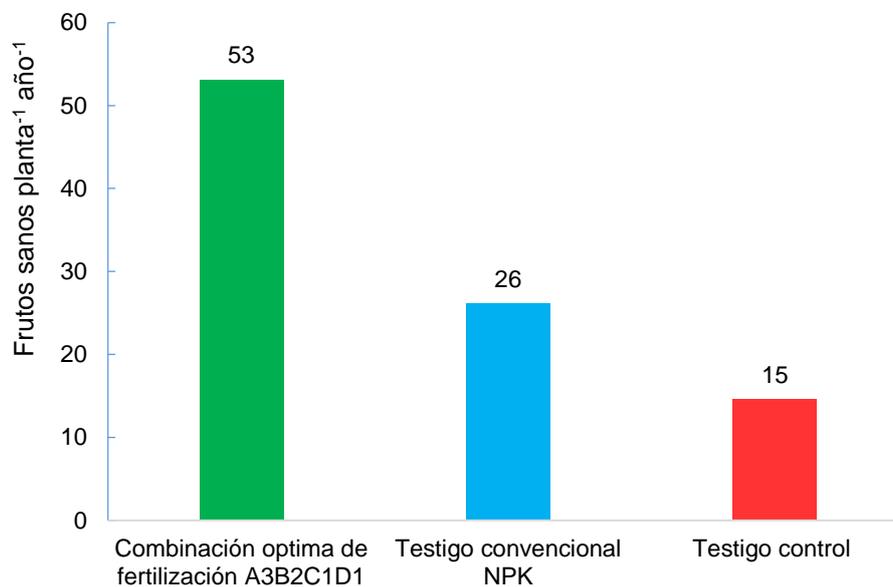


Figura 4. 8. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores (combinación óptima de fertilización) vs testigo convencional NPK sobre el número frutos sanos planta⁻¹ año⁻¹ en cacao nacional.

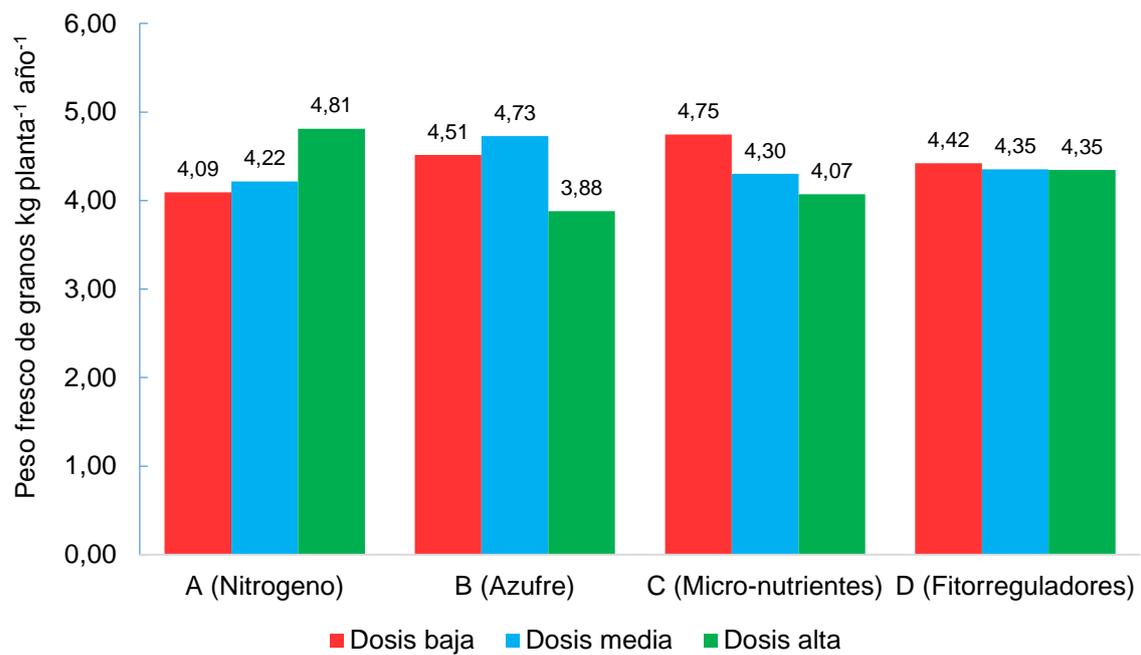


Figura 4. 9. Influencia de varios niveles de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores sobre el peso fresco $\text{kg planta}^{-1} \text{año}^{-1}$ en cacao nacional.

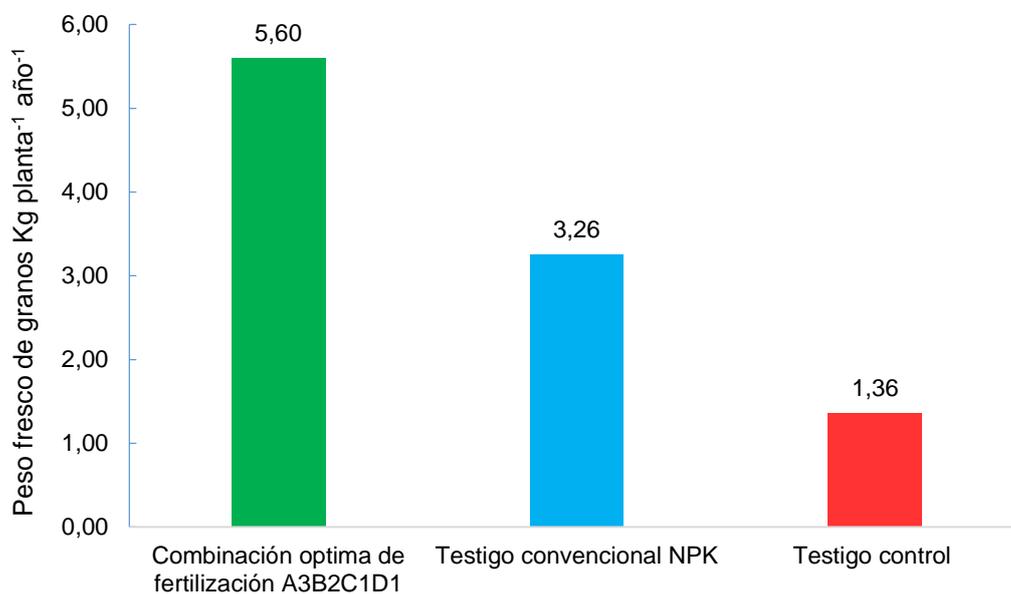


Figura 4. 10. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores (combinación optima de fertilización) vs testigo convencional NPK sobre peso fresco $\text{kg planta}^{-1} \text{año}^{-1}$ en cacao nacional.

La gráfica factorial de taguchi (**figura 4.11**) evidencia que la combinación óptima de fertilización que incrementó el rendimiento de grano seco $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, fue la dosis alta de N (450 kg ha^{-1}), media de S (100 kg ha^{-1}), baja de micronutrientes (25 kg ha^{-1}) y baja de fitorreguladores (0.5 L ha^{-1}). De acuerdo a la predicción de respuesta máxima de taguchi, $\text{predicción} = \bar{Y} + \Sigma (A_3 - \bar{Y}) + (B_2 - \bar{Y}) + (C_1 - \bar{Y}) + (D_1 - \bar{Y})$, la combinación óptima de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores ($A_3B_2C_1D_1$) produciría $53.73 \text{ qq ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en comparación al tratamiento NPK y control con 31.89 y $13.32 \text{ qq ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, lo cual indica un incremento del 75 y 41% de producción para los tratamientos de fertilización óptima y NPK con respecto al testigo (**figura 4.12**).

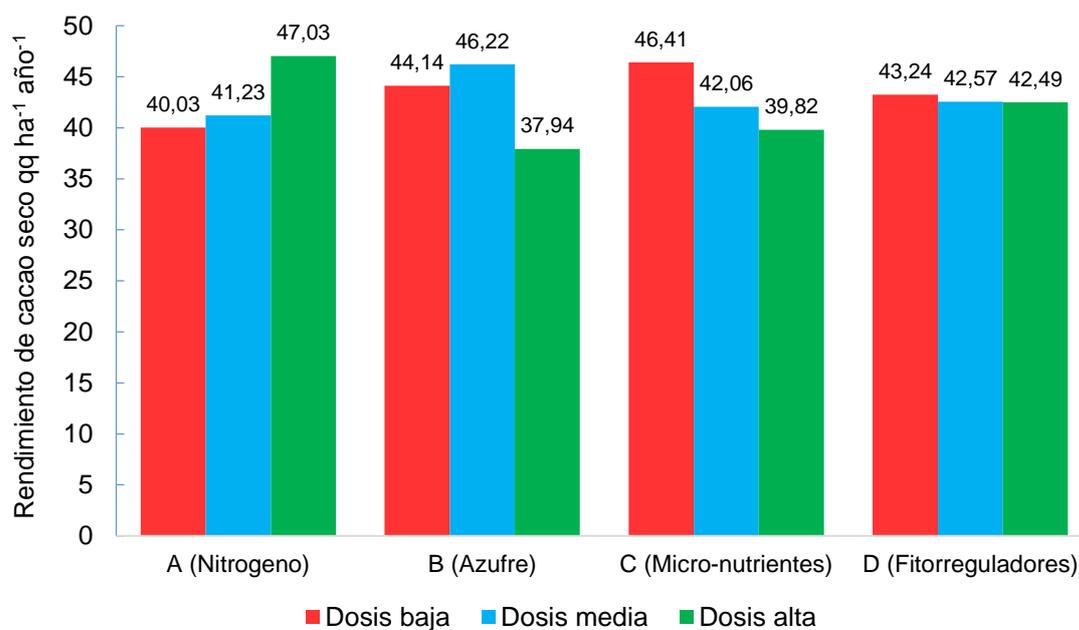


Figura 4. 11. Influencia de varios niveles de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores sobre el rendimiento de granos seco $\text{qq ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en cacao nacional.

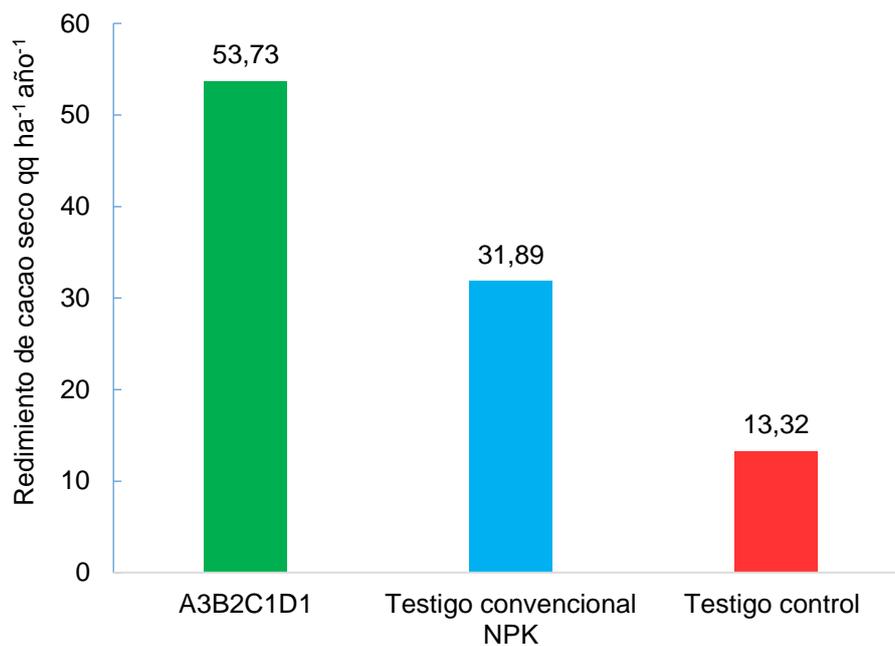


Figura 4. 12. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores (combinación óptima de fertilización) vs testigo convencional NPK sobre el rendimiento de granos seco qq ha⁻¹ año⁻¹ en cacao nacional.

En la **figura 4.13**, se muestra la cantidad de frutos totales planta⁻¹ año⁻¹, donde es evidente que la fertilización influye marcadamente sobre la producción de frutos, siendo el tratamiento control (T₁₁) el que presenta la menor cantidad de frutos, seguido por el tratamiento de fertilización convencional NPK (T₁₀) con 73 y 99 frutos, respectivamente.

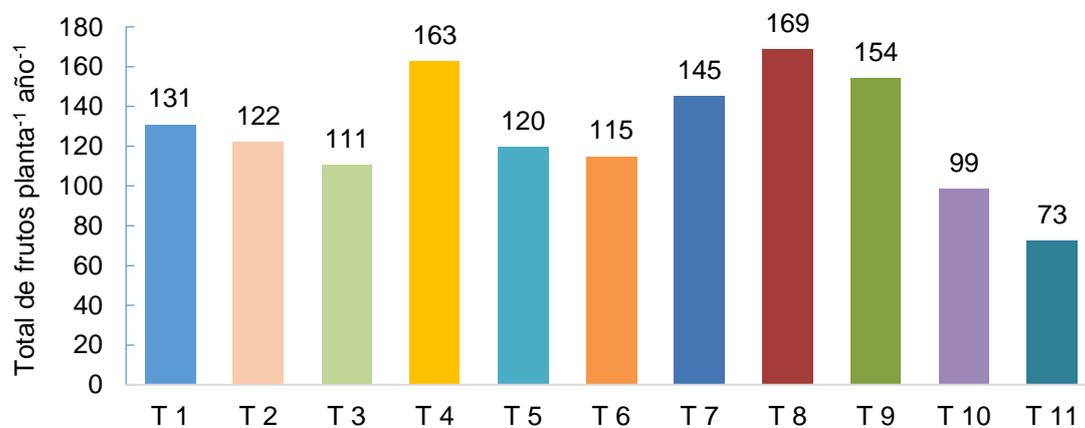


Figura 4. 13. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores sobre el número total de frutos en cacao nacional.

En cuanto a la proporción de frutos sanos, enfermos y cherelles, la **figura 4.14**, muestra que los tratamientos con fertilización producen mayor porcentaje de frutos sanos y menores niveles de frutos enfermos, en contraste al tratamiento control (T₁₁) que produjo el mayor porcentaje de frutos enfermos y la menor cantidad de frutos sanos, lo cual evidencia la influencia marcada que ejerce la fertilización equilibrada sobre la producción de frutos sanos y enfermos. Sin embargo, se nota que el tratamiento control produjo menor cantidad de frutos cherelles en relación a los tratamientos de fertilización, lo cual puede estar relacionado a la menor producción de frutos totales por planta, debido a la falta de fertilización.

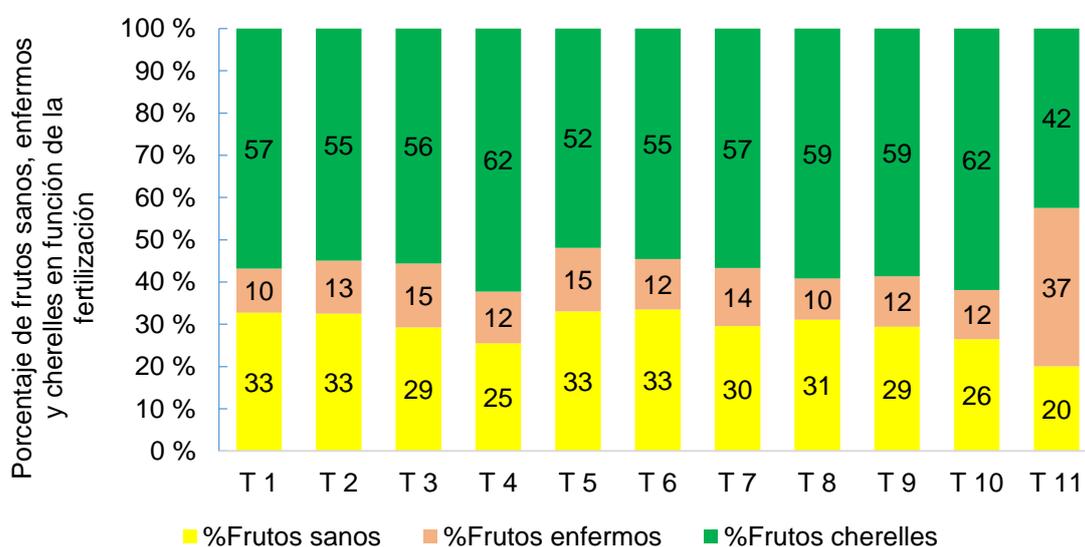


Figura 4. 14. Efecto de la fertilización a base de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores sobre el porcentaje de frutos sanos, enfermos y cherelles en cacao nacional.

4.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico realizado en base a beneficios netos (*diferencia entre los incrementos de los costos que varían y el incremento de los rendimientos de los tratamientos en relación al tratamiento de fertilización NPK*) mostró que el tratamiento 8 (450 kg de N, 100 kg de S, 25 kg de micronutrientes y 0,5 L del fitorregulador) obtuvo el mejor beneficio neto con 1136 USD ha⁻¹ año⁻¹, puesto que obtuvo el mayor rendimiento (54 qq), con un incremento de rendimiento de 22 qq ha⁻¹ año⁻¹ en relación al testigo NPK que solo produjo 32 qq, lo cual

indica un incremento del 69% de rendimiento y por tanto de los ingresos económicos (**cuadro 4.15**). Así mismo, en el **cuadro 4.16**, se muestra el beneficio neto de los tratamientos de fertilización en relación al tratamiento control. Se aprecia que el mismo tratamiento 8 indicado en el párrafo anterior, produjo el mayor beneficio neto con 2397 USD ha⁻¹ año⁻¹, al producir 54 qq, con un incremento de 41 qq en relación al rendimiento del tratamiento control con apenas 13 qq ha⁻¹ año⁻¹, que indica un 315% de rendimiento adicional y por ende de los ingresos económicos.

Cuadro 4. 3. Análisis económico de las combinaciones de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores comparadas con fertilización convencional NPK. Calceta, Ecuador, 2018.

Tratamientos	Costos Totales	Costos que no varían en los tratamientos. Cf = Prácticas culturales, fertilizantes P y K, aplicación de fertilizantes, control de malezas y cosecha	Costo que varían por fertilización (US\$ ha ⁻¹). Cqv = costo de fertilizantes N, S y Micronutrientes, fitorregulador y aplicación de fitorregulador	ICVT=Incremento de los costos que varían con respecto al testigo NPK (US \$ ha ⁻¹): Icq _v = Cqv n - Cqv 10	Rendimiento (qq ha ⁻¹). RTn	Incrementos de los rendimientos respecto al testigo NPK (qq ha ⁻¹). IR = RTn - RT4	Precio unitario de venta (US \$ qq ⁻¹): Pc	Incremento de los ingresos en relación al testigo NPK (US \$ ha ⁻¹). ling = IR * Pc	Ingresos totales (US \$ ha ⁻¹). IT = RTn * Pc	Beneficio neto de las combinaciones de fertilización con N, S, Micronutrientes y fitorreguladores con respecto al testigo NPK (US \$ ha ⁻¹).BNT n = ling - Icq _v
Cacao Nacional establecido a 1111 plantas ha⁻¹										
T1	\$ 1.658,00	\$ 1.170,00	\$ 488,00	\$ 293,00	45,52	13,63	\$ 80,00	\$ 1.090,40	\$ 3.641,60	\$ 797,40
T2	\$ 1.879,00	\$ 1.170,00	\$ 709,00	\$ 514,00	42,59	10,7	\$ 80,00	\$ 856,00	\$ 3.407,20	\$ 342,00
T3	\$ 2.099,00	\$ 1.170,00	\$ 929,00	\$ 734,00	31,98	0,09	\$ 80,00	\$ 7,20	\$ 2.558,40	(\$ 726,80)
T4	\$ 1.980,00	\$ 1.170,00	\$ 810,00	\$ 615,00	41,62	9,73	\$ 80,00	\$ 778,40	\$ 3.329,60	\$ 163,40
T5	\$ 1.976,00	\$ 1.170,00	\$ 806,00	\$ 611,00	42,21	10,32	\$ 80,00	\$ 825,60	\$ 3.376,80	\$ 214,60
T6	\$ 1.913,00	\$ 1.170,00	\$ 743,00	\$ 548,00	39,86	7,97	\$ 80,00	\$ 637,60	\$ 3.188,80	\$ 89,60
T7	\$ 2.078,00	\$ 1.170,00	\$ 908,00	\$ 713,00	45,27	13,38	\$ 80,00	\$ 1.070,40	\$ 3.621,60	\$ 357,40
T8	\$ 2.016,00	\$ 1.170,00	\$ 846,00	\$ 651,00	53,86	21,97	\$ 80,00	\$ 1.757,60	\$ 4.308,80	\$ 1.106,60
T9	\$ 2.011,00	\$ 1.170,00	\$ 841,00	\$ 646,00	41,98	10,09	\$ 80,00	\$ 807,20	\$ 3.358,40	\$ 161,20
T10	\$ 1.365,00	\$ 1.170,00	\$ 195,00	\$ 0,00	31,89	0	\$ 80,00	\$ 0,00	\$ 2.551,20	\$ 0,00

Cuadro 4. 4. Análisis económico de los tratamientos de fertilización en relación con el testigo control. Calceta, Ecuador, 2018.

Tratamientos	Costos Totales	Costos que no varían en los tratamientos. Cf = Prácticas culturales, fertilizantes P y K, aplicación de fertilizantes, control de malezas y cosecha	Costo que varían por fertilización (US\$ ha ⁻¹). Cqv = costo de fertilizantes N, S y Micronutrientes, fitorregulador y aplicación de fitorregulador	ICVT=Incremento de los costos que varían con respecto al testigo control(US \$ ha ⁻¹): Icqv = Cqv n - Cqv 10	Rendimiento (qq ha ⁻¹). RTn	Incrementos de los rendimientos respecto al testigo control (qq ha ⁻¹). IR = RTn - RT4	Precio unitario de venta (US \$ qq ⁻¹): Pc	Incremento de los ingresos en relación al testigo control (US \$ ha ⁻¹). ling = IR * Pc	Ingresos totales (US \$ ha ⁻¹). IT = RTn * Pc	Beneficio neto de los tratamientos de fertilización en relación al tratamiento control (US \$ ha ⁻¹).BNT n = ling - Icqv
Cacao Nacional establecido a 1111 plantas ha⁻¹										
T1	\$ 1.658,00	\$ 1.170,00	\$ 488,00	\$ 488,00	45,52	32,2	\$ 80,00	\$ 2.576,00	\$ 3.641,60	\$ 2.088,00
T2	\$ 1.879,00	\$ 1.170,00	\$ 709,00	\$ 709,00	42,59	29,27	\$ 80,00	\$ 2.341,60	\$ 3.407,20	\$ 1.632,60
T3	\$ 2.099,00	\$ 1.170,00	\$ 929,00	\$ 929,00	31,98	18,66	\$ 80,00	\$ 1.492,80	\$ 2.558,40	\$ 563,80
T4	\$ 1.980,00	\$ 1.170,00	\$ 810,00	\$ 810,00	41,62	28,3	\$ 80,00	\$ 2.264,00	\$ 3.329,60	\$ 1.454,00
T5	\$ 1.976,00	\$ 1.170,00	\$ 806,00	\$ 806,00	42,21	28,89	\$ 80,00	\$ 2.311,20	\$ 3.376,80	\$ 1.505,20
T6	\$ 1.913,00	\$ 1.170,00	\$ 743,00	\$ 743,00	39,86	26,54	\$ 80,00	\$ 2.123,20	\$ 3.188,80	\$ 1.380,20
T7	\$ 2.078,00	\$ 1.170,00	\$ 908,00	\$ 908,00	45,27	31,95	\$ 80,00	\$ 2.556,00	\$ 3.621,60	\$ 1.648,00
T8	\$ 2.016,00	\$ 1.170,00	\$ 846,00	\$ 846,00	53,86	40,54	\$ 80,00	\$ 3.243,20	\$ 4.308,80	\$ 2.397,20
T9	\$ 2.011,00	\$ 1.170,00	\$ 841,00	\$ 841,00	41,98	28,66	\$ 80,00	\$ 2.292,80	\$ 3.358,40	\$ 1.451,80
T10	\$ 1.365,00	\$ 1.170,00	\$ 195,00	\$ 195,00	31,89	18,57	\$ 80,00	\$ 1.485,60	\$ 2.551,20	\$ 1.290,60
T11	\$ 740,00	\$ 740,00	0	0	13,32	0	\$ 80,00	0	\$ 1.065,60	0

El análisis regular de Taguchi aplicado a los beneficios netos de los tratamientos de fertilización con N, S, Micronutrientes y Fitorreguladores (**figura 4.13**), también evidencia que la dosis alta de nitrógeno, media de azufre, baja de micronutrientes y baja de fitorreguladores probados mostraron los mayores beneficios netos $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$. En este sentido, de acuerdo a la predicción de respuesta máxima de taguchi, $\text{predicción} = \bar{Y} + \Sigma (A_3 - \bar{Y}) + (B_2 - \bar{Y}) + (C_1 - \bar{Y}) + (D_1 - \bar{Y})$, la combinación óptima de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores ($A_3B_2C_1D_1$) produciría un beneficio neto económico de 2507 USD $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ vs el tratamiento NPK con tan solo un beneficio neto de 1291 USD $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (**Figura 4.14**).

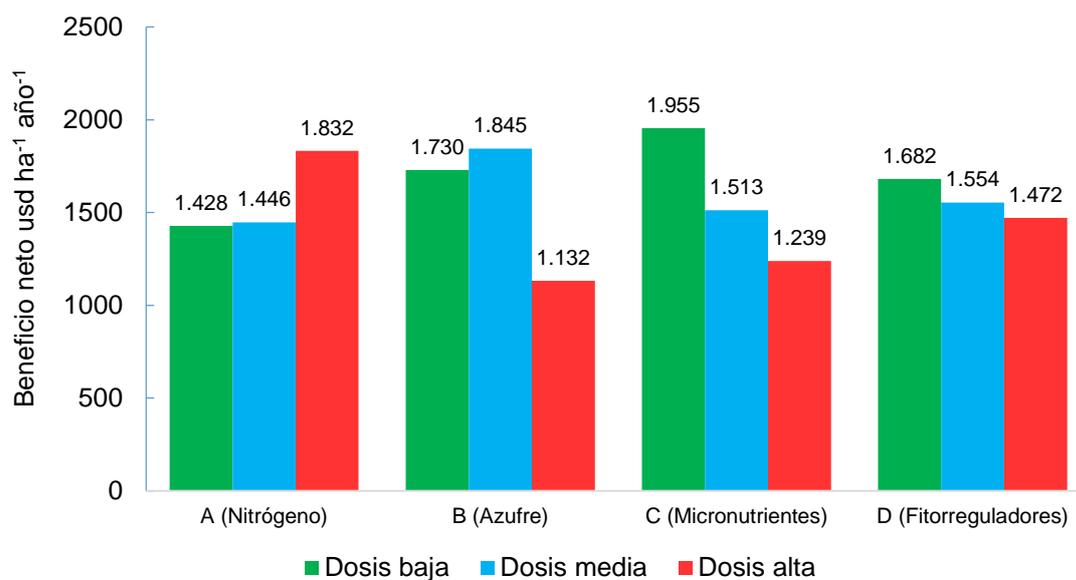


Figura 4. 15. Beneficio neto de las diferentes combinaciones de nitrógeno, azufre, micronutrientes y fitorreguladores en cacao Nacional. Calceta, Ecuador, 2018.

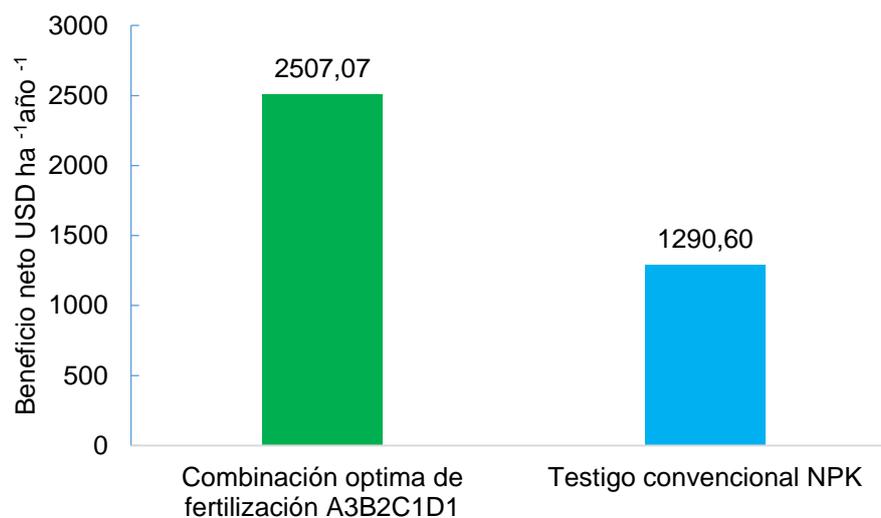


Figura 4. 16. Beneficio neto de la combinación óptima de fertilización vs la fertilización NPK. Calceta, Ecuador, 2018.

4.4. DISCUSIÓN GENERAL

Los resultados obtenidos reflejan que la fertilización independientemente, de las combinaciones de N, S, Micronutrientes y fitoreguladores, reduce marcadamente la cantidad de frutos enfermos y escobas bruja por planta, lo cual indica la importancia de la nutrición balanceada con macro y micronutrientes en contraste a al tratamiento sin fertilización. En este sentido, los resultados coinciden a los reportados por Morais (1998) y Ávila (2014) quienes reportaron menores cantidades de escobas de bruja con fertilización equilibrada a base de macro y micronutrientes, en contraste a los tratamientos que no recibieron fertilización. Resultados similares fueron reportados por Cedeño y Vera (2017) quienes reportaron menor cantidad de escobas y frutos enfermos con fertilización balanceada. Así mismo, Minyaka *et al.* (2018) reportaron mayor tolerancia del cacao a *Phytophthora megakarya* con fertilización a base de sulfato de Magnesio. Resultados reportados por Kouadio *et al.* (2017) demostraron que la aplicación foliar de B redujo el número de mazorcas deformadas por el cocoa swollen shoot virus (CSSV) y mejoró la densidad foliar de la planta.

De acuerdo a Van Vliet *et al.* (2015) el efecto de la fertilización sobre la reducción de problemas sanitarios en cacao aún no está claros por lo que se

debe investigar más profundamente este tema. Sin embargo, autores como Ofori-Frimpong *et al.* (2007) mencionan que una nutrición adecuada, puede incrementar la resistencia de las plantas de cacao hacia problemas sanitarios. Se ha demostrado que la fertilización equilibrada con N y S juega un rol importante en el manejo de enfermedades. La deficiencia de S y exceso de N incrementan el contenido de hidratos de carbono, reduce la concentración de azúcares y la biosíntesis proteica, lo cual provoca acumulación de aminoácidos que favorecen la proliferación de plagas y patógenos. Por estas razones hay que mantener un balance adecuado de N y S, pues este último en cantidades adecuadas posee un efecto fungicida (Williams y Cooper, 2004; Sabino *et al.*, 2007; Bhaduri *et al.*, 2014). En cuanto a los micronutrientes, la evidencia científica sugiere que pueden reducir una serie de enfermedades, dado que tiene un rol vital en la biosíntesis de metabolitos secundarios, que son utilizados como mecanismos de defensa, así como también en el fortalecimiento de las estructuras vegetales (Kirkby y Romheld, 2008abc; Dordas, 2008).

Los resultados hallados en cuanto a variables de producción, demostraron que la fertilización equilibrada a base de macronutrientes, micronutrientes y fitorreguladores de crecimiento es determinante para incrementar el rendimiento del cultivo de cacao Nacional. En este sentido, los resultados encontrados guardan similitud a los obtenidos por Cedeño y Vera (2017) quienes obtuvieron la mayor cantidad de frutos sanos, peso fresco por planta y rendimiento de grano seco $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ con dosis de 450 kg de N, 100 kg de S, 10 kg de micronutrientes y 0.5 L ha^{-1} de un fitorregulador a base de auxinas, giberelinas y citocininas. Resultados similares fueron hallados por Ruales *et al.* (2011) quienes evaluaron dosis bajas (400 g planta^{-1}), medias (575 g ha^{-1}) y altas (1150 g planta^{-1}) de varios fertilizantes comerciales a base de macro y micro nutrientes en cinco clones de cacao, donde obtuvieron rendimientos mayores a 2000 kg $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ con la dosis alta de fertilización. Así mismo, los resultados coinciden a los reportados por Morais (1998) y Puentes *et al.* (2015), que obtuvieron mejores respuestas de los componentes de rendimiento del cacao con la fertilización NPK complementada con micronutrientes.

Los resultados encontrados en cuanto al efecto específico de la fertilización basada con solo NPK sin la inclusión de micronutrientes y fitorreguladores, presento menor rendimiento que los tratamientos que incluyeron micronutrientes y fitorreguladores, pero superó de forma significativa al tratamiento control, lo cual indica que la adición de oligoelementos y fitorreguladores es determinante para incrementar producción. En este aspecto, los resultados son coincidentes a los hallados por Uribe *et al.* (2001) quienes evaluaron varios niveles de NPK en Colombia y obtuvieron en el mejor de los casos rendimientos promedios de $1160 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, en relación al testigo con $562 \text{ kg de grano seco ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Por su parte, Kouadio *et al.* (2017) reportaron mayor floración y fructificación en cacao que recibió aplicaciones foliares de B.

En cuanto al uso de fitorreguladores en cacao, existe escasa evidencia reportada, lo cual no permite contrastar los resultados de manera eficiente. Sin embargo, en experimentos desarrollados por Cedeño y Vera (2017) demostraron que el uso de un fitorregulador trihormonal incrementó el número de frutos por planta y aumentó la producción de forma significativa. Así mismo, León (2015) el número de frutos cuajados en cacao con la aplicación del bioestimulantes bioplus a base de giberelinas y citocininas. Por su parte, Pinto *et al.* (2012) y Carchi (2016) encontraron que aplicaciones de bioestimulantes y fitorreguladores como Silicato de potasio y Pacrobutrazol, respectivamente, tuvieron efectos positivos marcados sobre el cuajado y la fructificación. Sin embargo, la evidencia científica ha demostrado que el uso adecuado de fitorreguladores en frutales promueve aspectos fisiológicos como floración, fructificación y desarrollo del fruto (McAtee *et al.*, 2013 y Suman *et al.*, 2017).

El efecto significativo hallado sobre el rendimiento del cacao con la aplicación combinada de macro y micronutrientes fitorreguladores, se deba probablemente a las funciones metabólicas desempeñadas por estos nutrimentos y hormonas en el metabolismo vegetal. En este sentido, son bien conocidas las funciones del N y el S en la estructuración de aminoácidos, proteínas y enzimas, así como también en la biosíntesis de metabolitos

secundarios, que son importantes para el desarrollo, producción y reacciones de defensa del cultivo (Barker y Pilbeam, 2007; Sabino *et al.*, 2007). Por su parte, los micronutrientes desempeñan funciones oxido-reductoras, y participan en reacciones catalíticas que promueven un mejor desempeño fisiológico, productivo y reproductivo de las plantas (Kirkby y Romheld, 2008abc, Rakshit *et al.*, 2015). Así mismo los diferentes fitorreguladores empleados en agricultura incrementan la producción mediante la modificación de procesos que involucran crecimiento, desarrollo y tolerancia a estreses abióticos (Brown y Saa, 2015; Du Jardín, 2015).

Finalmente, los resultados económicos encontrados en esta investigación, se asemejan a los reportados por Cedeño y Vera (2017), Uribe *et al.* (2001) y Ruales *et al.* (2011) quienes alcanzaron mayores beneficios netos con fertilizaciones equilibradas a base de macro y micronutrientes y la aplicación foliar de fitorreguladores, lo cual sugiere la necesidad de implementar la fertilización balanceada en suelos cacaoteros con bajos contenidos en N, S y micronutrientes, para incrementar rendimiento y rentabilidad del cultivo de cacao.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- La fertilización equilibrada de macro y micronutrientes conjuntamente con fitorreguladores es determinante para incrementar el rendimiento y rentabilidad del cultivo de cacao Nacional.
- El mayor rendimiento y beneficio económico se produjo con la combinación de dosis de 450, 100, 25, kg ha⁻¹ año⁻¹ de N, S y micronutrientes, respectivamente, más la aplicación foliar del fitorregulador a base de auxinas, giberelinas y citocininas en dosis de 0.5 L ha⁻¹ en los picos de floración y fructificación.
- Bajo las condiciones donde se desarrolló el experimento, las variables sanitarias no mostraron un comportamiento homogéneo a la aplicación de las diferentes combinaciones de fertilización y aplicación de fitorreguladores, sin embargo, en relación al tratamiento control se observó menor cantidad de frutos enfermos y escobas de bruja.

5.2. RECOMENDACIONES

- Probar la aplicación combinada de micronutrientes, fitoreguladores y bioestimulantes en nuevos estudios de fertilización, con la finalidad de inducir mayores tasas de floración y fructificación en cacao Nacional.
- Incluir en futuros estudios la aplicación de enmiendas para mejorar fertilidad del suelo y establecer relaciones optimas entre balance de nutrientes, productividad y rentabilidad.
- Repetir el experimento en el tiempo y en varias localidades con la finalidad de ajustar datos y desarrollar dominios de recomendaciones de fertilización en cacao Nacional en Manabí.

BIBLIOGRAFÍA

- ACA (Asociación de Cooperativas Argentinas). 2015. Micro Essential SZ. Ficha Técnica, Buenos Aires, Argentina.
- Alemida, A. y Valle, R. 2007. Ecophysiology of the cocoa tree. *Braz. J. Plant Physiol.* 19(4):425 - 448.
- Amores, F; Suárez, C; Garzón, I. 2010. Producción intensiva de cacao nacional con sabor “arriba”: Tecnología, presupuesto y rentabilidad. Estación Experimental Tropical Pichilingue – INIAP. Quevedo, Ecuador. 170 p. (Manual Técnico N° 82).
- Ariza, R; Barrios, A; Herrera, M; Barbosa, F; Michel, A; Otero, M. y Alia, I. 2015. Fitohormonas y bioestimulantes para la floración, producción y calidad de lima mexicana de invierno. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(7): 1653 – 1666.
- Arvelo, M; Delgado, T; Maroto, S; Rivera, J; Higuera, I; Navarro, A. 2016. Estado actual sobre la producción el comercio y cultivo de cacao en América. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura- IICA. Costa Rica
- _____; González, D; Delgado, T; Maroto, S y Montoya, P. 2017. Estado actual sobre la producción el comercio y cultivo de cacao en América. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura- IICA. Costa Rica
- Ávila, D. 2014. Estudio de la fertilización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) Nacional en suelos volcánicos de Quevedo. Tesis de Ing. Agrónomo. Universidad Técnica de Manabí. Santa Ana, Manabí, Ecuador. 72 p.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal, 2 ed. McGraw-Hill Interamericana. Madrid, España. 651 p.
- Barker, A y Pilbeam, D. (Eds). 2007. Handbook of Plant Nutrition. CRC Press, Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL, USA. 662 p.

- Batistia, L. 2009. Guía técnica El cultivo de Cacao en la Republica Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana. CEDAF, 2009. 250pp
- Bhaduri, D; Rakshit, R y Chakraborty, K. 2014. Primary and Secondary Nutrients-a Boon to Defense System against Plant Diseases. International Journal of Bio-resource and Stress Management 5(3):461-46.
- Bittner, F.2014. Molybdenum metabolism in plants and crosstalk to iron. Plant Nutrition. Ge. 5, 1-6
- Brown, P. y Hu, H. 1999. Manejo del boro de acuerdo a su movilidad en la planta. Informaciones Agronómicas 36: 6 – 8.
- _____. y Saa, S. 2015. Biostimulants in agriculture. Frontiers in Plant Science 6(671): 1 – 3.
- Camargo, R; Melinsky, C; Andrade, M; Mazza, L. y Rossi, G. 2009. Agroquímicos de Controle Hormonal, Fosfitos e Potencial de Aplicação dos Aminoácidos na Agricultura Tropical. Piracicaba. Serie Produtor Rural. Universidad de São Paulo-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-Divisão de Biblioteca e Documentação. São Paulo, Brasil. 83p.
- Carchi, M. 2016. Efecto de biorreguladores y anillado sobre el rendimiento y calidad del fruto del cacao (*Theobroma cacao L.*). Guayaquil, EC. Tesis de Ing. Agrónomo. Universidad de Guayaquil. 78 p.
- Carciochi, W; Divito, G; Reussi, N. y Echeverría, H. 2015. Las mejores prácticas de manejo de la fertilización azufrada en cultivos extensivos. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 20: 2 – 6.
- Cedeño, D. y Vera, E. 2017. Efectividad de varias combinaciones de nitrógeno, azufre, zinc, manganeso, boro y fitohormonas sobre el rendimiento y rentabilidad del cacao Nacional. Tesis de Ing. Agrícola. ESPAM MFL, Calceta, Ecuador. 81 p.

- COSMOCEL (Empresa Mexicana, dedicada a la producción y comercialización de productos de nutrición vegetal). 2013. Maxi-Grow Excel® Bioestimulante complejo para aplicación foliar. Hoja Técnica. Monterrey, México.
- Cruzate, G. y Casas, R. 2012. Extracción y balance de nutrientes en los suelos agrícolas de Argentina. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 6: 7 – 14.
- Cuesta, G. y Moncada, E. 2014. Efecto de un biorregulador a base de auxinas sobre el crecimiento de plantines de tomate. *Revista Chapingo Serie Hortícola*. 20(2): 215 – 222.
- Dordas, C. 2008. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 28(1): 33 – 46.
- Duicela, L. y Ponce, L. 2015. Uso de fungicidas sistémicos en el control de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix Berk. & Br.*) en la provincia de Manabí. *La Técnica* 15: 6–17.
- Du Jardín, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196: 3–14
- EDIFARM (Editora de productos y servicios tecnológicos con información actualizada). 2016. MICRO MIX II® CALCIO-MAGNESIO. Vademécum Agrícola 2016-2017. Quito, Ecuador.
- Estrada, E; Trejo, L; Gómez, F; Núñez, R y Sandoval, M. 2011. Respuestas bioquímicas en fresa al suministro de fósforo en forma de fosfito. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 3-129-133.
- Fageria, N; Baligar, V. y Clark, R. 2002. Los micronutrientes en la producción de cultivos. Elsevier Science. pp. 185 – 286.
- FAOSTAT (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Dirección Estadística, Producción de Cultivos. Consultado en línea (Abril 29 del 2015). Disponible en: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S>

FERMAGRI (Empresa que importa y comercializa fertilizantes agrícolas). 2018a. Urea Granular 46%. Ficha Técnica. Guayaquil, Ecuador.

_____. 2018b. Muriato de potasio granular rojo 60% K₂O. Ficha Técnica. Guayaquil, Ecuador.

Fiedls, S. 2004. Global Nitrogen: Cycling out of Control. *Environmental Health Perspectives* 112: 556 -563.

Galván, J; Briones, F; Rivera, P; Valdés, L; Soto, M; Rodríguez, J. y Salazar, O. 2009. Amarre, Rendimiento y calidad del fruto en naranja con aplicación de un complejo hormonal. *Agricultura Técnica en México* 35(3): 339 – 345.

García, F. y González, M. 2010. Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 48: 1 – 5.

_____. 2013. La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* 9: 1 – 7.

Gómez, M; López, M. y Cifuentes, Y. 2006. El manganeso como factor positivo en la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) y arveja (*Pisum sativum* L.) en suelos del altiplano Cundiboyacense. *Agronomía Colombiana* 24(2): 340 – 347.

Goujard, O y bayón, C. 2014. Importancia del potasio y el magnesio en la minimización del estrés provocado por sequía. (En línea), Es. Consultado 24 Ago. 2018. Formato PDF. Disponible en <https://www.kali-gmbh.com>

Gyana, R and Sahoo, S. 2015. Role of Iron in plant growth and metabolism. Odisha, In. *Reviews in Agricultural Science*, 3:1-24

Hansch, R y Mendel, R. 2009. Physicological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, and Cl). Elsevier. Ge. 12, 259-266.

Hansen, N; Hopkins, B; Ellsworth, J; Jolley, V. 2006. Iron Nutrition in field crops. Springer. NL. 23-59

INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo). 2015. Procesador de Estadísticas Agropecuarias, Cacao almendra seca, superficie plantada pro variedad. (En línea), EC. Consultado 29 Abr. 2017. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/procesador-de-estadisticas-agropecuarias-3/>

INTAGRI (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura). 2015. Bioestimulantes en nutrición, fisiología y estrés vegetal. 4 p.

_____. 2018. Funciones del Calcio Ca en la Nutrición Vegetal. Serie Nutrición Vegetal. Artículos Técnicos. México. N° 122, 1-5

_____. 2017. Las Funciones del Potasio en la Nutrición Vegetal. Serie Nutrición Vegetal Núm. 100. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 100, 1-4

IPNI (International Plant Nutrition Insitute). 1997. Manual internacional de fertilidad de suelos. Quito, EC. 108 p.

_____. 2016. El Rol del Fosforo en las Plantas. Informaciones agronómicas. N° 7. México

Kirkby, E. y Romheld, V. 2008a. Micronutrientes en la fisiología de las plantas: Funciones, absorción y movilidad (Primera parte). Informaciones Agronómicas 68: 1 – 6.

_____. 2008b. Micronutrientes en la fisiología de las plantas: Funicones, absorción y movilidad (Segunda parte). Informaciones Agronómicas 69: 9 – 13.

_____. 2008c. Micronutrientes en la fisiología de las plantas: Funicones, absorción y movilidad (Tercera parte). Informaciones Agronómicas 70: 10 – 13.

- Kouadio, S.; Tienebo, E.; Koffi, J.; Koko, L. and Abo, K. 2017. Foliar Application of Boron during Flowering Promotes Tolerance to Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Swollen Shoot Viral Disease. European Scientific Journal July 2017 edition, 13(21): 387 – 406. doi: 10.19044/esj.2017.v13n21p387
- La Colina (Empresa de agro tecnología para el sector agrícola, pecuario, acuícola e industria). 2017. Yesolina Agro tecnología. Ficha Técnica. Guayaquil. Ecuador.
- León, E. 2015. Eficacia del bioplus en diferentes dosis de aplicación para aumentar el número de frutos cuajados en una plantación de *Theobroma cacao* L. Tesis de Ing. Agrónomo. ESPOCH, Riobamba, Ecuador. 117.
- López-Lefebvre, L.; Rivero, R.; García, R.; Sánchez, E.; Ruiz, J.; y Romero, L. 2002. Boron effect on mineral nutrients of tobacco. J. Plant Nutr. 25(3):509 - 522.
- Maathuis, F. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. Science Direct. UK.12, 250-258
- MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca). 2013. Cacao, Boletín Situacional. Quito, Ecuador. 4 p.
- McAtee, P.; Karim, S.; Schaffer, R and David, K. 2013. A dynamic interplay between phytohormones is required for fruit development, maturation, and ripening. Frontiers in Plant Science 4(79): 1 – 7.
- Miguez, F. 2006. Efecto de la aplicación de promotores de crecimiento sobre la velocidad de germinación y el vigor en semillas de maíz. Informe presentado a Fertiva Latinoamericana S.A.
- Minyaka, E.; Madina, V.; Kusznierevich, B.; Doungous, O.; Haouni, S.; Hawadak, J.; Niemenak, N. and Omokolo, D. 2018. Effect of MgSO₄ Nutrition on *Theobroma cacao* Susceptibility to *Phytophthora megakarya* Infection. Plant Protect. Sci. 54(2): 74–82.
- Mohotti, A. y Lawlor, D. 2002. Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during grown in the field. J. Exp. Bot. 53:313 - 322.

- Mora, G y Espinoza, V. 2016. Escoba de bruja del cacao. Ficha técnica. N°4. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad agroalimentaria – SENASICA. México.
- Morais, F. 1998. Efeitos do fracionamento da adubação mineral, da adubação orgânica e da calagem na produtividade e incidência de vassoura-de-bruxa em cacauzeiros da amazônia. R. Bras. Ci. Solo. 22:71-75.
- Motato, N. y Pincay, J. 2015. Calidad de los suelos y aguas para riego en áreas cacaoteras de Manabí. La técnica 14: 6 – 23.
- Ofori-Frimpong, K., Asase, A., Mason, J. & Danku, L. 2007. Shaded versus unshaded cocoa: implications on litter fall, decomposition, soil fertility and cocoa pod development. Symposium on multistrata agroforestry systems with perennial crops, CATIE Turrialba, pp. 17-21. Costa Rica.
- Oosterhuis, D; Loka, D; Kawakami, E; Pettigrew, W. 2014. Chapter Three-The Physiology of Potassium in Crop Production. Science Direct. 126, 203-233
- Osei-Bonsu, K.; Opoku-Ameyaw, K.; Amoah, F. y Oppong, F. 2002. Cacao-coconut intercropping in Ghana: agronomic and economic perspectives. Agrof. Syst. 55:1 - 8.
- Petri, J. y Toribio, M. 2009. Fertilización balanceada. Investigación y Desarrollo 17: 1 – 12.
- Pico, J.; Calderón, D.; Fernández, F.; Díaz, A. 2012. Guía del manejo integrado de enfermedades del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L*) en la Amazonía. Estación Experimental Central de la Amazonía – INIAP, Joya de los Sachas, Ecuador. 19 p.
- Pinto, D.; Galeas, M.; Spaggiari, C.; Silva, D.; Siqueira, P.; Cao, J y Zanetti, L. 2012. Alterações fisiológicas após aplicação de silício em cacau e sua influência na preferência por pulgões. Rev. Ceres, Viçosa 59(3): 360-367.

PRO ECUADOR (Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones). 2013. Análisis del sector cacao y elaborados. Quito, Ecuador. 40 p.

Puentes, Y.; Menjivar, J.; Gómez, A. y Aranzazu, F. 2014. Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agronómica* 63(2): 145 – 152.

_____; Gómez, A. and Menjivar, J. 2015. Influence of the relationship among nutrients on yield of cocoa (*Theobroma cacao L.*) clones. *Acta Agron.* 65 (2): 176-182.

Quiroz, J; Mestanza, S; Parada, N. 2010. Catálogo de clones de cacao recomendados por INIAP. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuaria –INIAP, Estación Experimental Litoral Sur. Yaguachi, Ecuador.

Rakshit, A.; Bahadur, H. and Sen, A. (Eds.). 2015. Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances. Springer New Delhi Heidelberg New York Dordrecht London. 417 p.

Ramírez, H. 2003. El uso de hormonas en la producción de cultivos hortícolas para exportación. 22 p. En: Memorias del III Simposio Nacional de Horticultura. Saltillo, México 2003.

Ratto, S. y Miguez, F. 2006. Zinc en el cultivo de maíz, deficiencia de oportunidad. *Informaciones Agronómicas* 63: 8 – 11.

Ruales, J.; Burbano, H. y Ballesteros, W. 2011. Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao L.*). *Revista de Ciencias Agrícolas* 28(2): 81 – 94.

Sabino, H; Lavres, J. y Ferreira, M. 2007. Azufre como nutriente y agente de defensa contra plagas y enfermedades. *Informaciones Agronómicas* 65: 1 – 4.

Snyder, C. 2009. Eficiencia del uso de nitrógeno: Desafíos mundiales y tendencias futuras. *Informaciones Agronómicas* 75: 1 – 5.

- Suman, M; Sangma, P; Ram, D y Prakash, O. 2017. Effect of plant growth regulators on fruit crops. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 6(2): 331-337
- Taíz, L y Zeiger, E. 2006. *Fisiología vegetal*, 3 ed. Universitat de Jaume I. Castelló de la Plana, España. 1338 p.
- TecnoAgro (Revista Avances tecnológicos y Agrícolas. 2016. Plagas y enfermedades del cacao. *TecnoAgro*. N°110. México.
- Thomas, B; Murray, B; Murphy, D. 2016. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. 2ed. USA. Academic Press. p 1706
- Uribe, A, Méndez, H, y Mantilla, J. 2000. Efecto de niveles de nitrógeno, fosforo y potasio en la producción de cacao en Colombia. *Informaciones Agronómicas* 41: 4 – 7.
- _____. 2001. *Better Crops International* 15(2): 3 – 5.
- Van Vliet, J; Slingerland, M. y Giller, K. 2015. Mineral nutrition of cocoa: a review. 57 pp. Wageningen University and Research Centre, Wageningen.
- Veneklaas, E; Lambers, H; Bragg, J; Finnegan, P; Lovelock, C; Plaxton, W; Price, C; Sheible, W; Shane, M; White, P y Raven J. 2012. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. *New Phytologist*. 195, 306-320
- Williams, J y Cooper, R. 2004. The oldest fungicide and newest phytoalexin – reappraisal of the fungicity of elemental sulphur. *Plant Pathology* 53: 263 – 279.
- Yamada, T. 2000. Boro: se están aplicando las dosis suficientes para el adecuado desarrollo de las plantas. *Informaciones Agronómicas* 41: 8 – 13.

Yáñez, J. 2002. Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales. 22 p. En: Memorias del II Simposio Nacional de Horticultura. Saltillo, México 2002.

Yruela, I. 2005 Copper in plants. *Plant Physiol.* 17 (1), 145-156.

Zambrano, O; Mendoza, A; Rodríguez, M. 2010. Manual Técnico del cultivo de cacao en Manabí. N° 75. Estación Experimental Portoviejo –INIAP. Portoviejo, Ecuador.

Zuidema, P; Leffelaar, P; Gerritsma, W; Mommer, L; y Anten, N. P. 2005. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agric. Syst.* 84:195 – 225.

ANEXOS

ANEXO 1. INSTALACIÓN DEL EXPERIMENTO.

1 –A. ESTADO INICIAL DEL LOTE EXPERIMENTAL.



Foto 1. Estado inicial del lote experimental de Cacao Nacional.

1 –B. SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES.



Foto 2. Selección y ubicación de las unidades experimentales.

ANEXO 2. MANEJO DEL EXPERIMENTO. 2 –A. PODA PRODUCTIVA Y FITOSANITARIA.



Foto 3. Poda productiva y fitosanitaria en lote experimental de Cacao Nacional.

2 –B. RIEGO DEL LOTE EXPERIMENTAL.



Foto 4. Aplicación de riego a lote experimental de Cacao Nacional.

2 –C. LIMPIEZA DE LAS MALEZAS EN LAS UNIDADES EXPERIMENTALES.



Foto 5. Limpieza de malezas y restos vegetales de las unidades experimentales.

2 –D. FERTILIZANTES UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO.



Foto 6. Fertilizantes utilizados para las combinaciones de los tratamientos en estudio.

2 –E. DOSIFICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES PARA LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.



Foto 7. Dosificación de cada fertilizante para los tratamientos en estudio.

2 –F. CALIBRACIÓN DE DOSIS FERTILIZANTE POR PLANTA.



Foto 8. Calibración de cantidad de fertilizante combinado por planta tratamiento.

2 –G. APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.



Foto 9. Aplicación de los tratamientos en estudio en la corona de la planta.

2 –H. APLICACIÓN DE LOS FITORREGULADORES.



Foto 10. Aplicación de las distintas dosis de fitorregulador Maxcrow excell.

2 –I. PLANTAS DE CACAO NACIONAL EXPUESTAS A LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.



Foto 11. Efecto de las combinaciones de fertilizante y fitorregulador en la planta de cacao nacional.

2 –J. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LA EMISIÓN DE FLORES DE CACAO NACIONAL.



Foto 12. Efecto de las combinaciones de fertilizante y fitoregulator en la emisión de flores en plantas de cacao nacional.

2 –K. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS EN LAS MAZORCAS DE CACAO NACIONAL.



Foto 13. Efecto de los tratamientos en las mazorcas de cacao nacional

2 –L. CONTEO DE VARIABLES FITOSANITARIAS.



Foto 14. Toma de datos número de frutos enfermos, chereles y escobas vegetativas.

2 –M. COSECHA DE CACAO NACIONAL EXPUESTO A LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.



Foto 15. Cosecha de cacao nacional expuesto a los tratamientos en estudio