



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES**

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Dinámica nutricional en interacciones NPK relacionada a
características morfológicas y fisiológicas en
cacao (*Theobroma cacao* L.) clon CCN 51**

Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

Autor

Rebeca Ximena Herrera Mancheno

Director

Ing. Johnny Fernando Granja Travez Mg. Sc.

**Loja – Ecuador
2019**

CERTIFICADO

Ing. Johnny Fernando Granja Travez Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de tesis titulado: “DINÁMICA NUTRICIONAL EN INTERACCIONES NPK RELACIONADA A CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FISIOLÓGICAS EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN 51”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, de la egresada: Rebeca Ximena Herrera Mancheno, se autoriza su presentación debido a que el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigido para la carrera de Ingeniería Agronómica.

En mi calidad de Director de Tesis certifico que el trabajo de investigación realizado ha sido el trabajo propio del egresado.

Loja, 16 de julio de 2019.



Ing. Johnny Fernando Granja Travez Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

APROBACIÓN

“DINÁMICA NUTRICIONAL EN INTERACCIONES NPK RELACIONADA
A CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FISIOLÓGICAS
EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN 51”

TESIS

Presentada al Honorable Tribunal de Calificación como requisito previo a obtener
el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA:

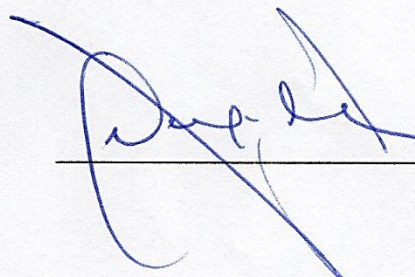
Ing. Simón Bolívar Peña Merino Mg. Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Kléver Iván Granda Mora PhD.

VOCAL DEL TRIBUNAL



Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.

VOCAL DEL TRIBUNAL




AUTORÍA

Yo, Rebeca Ximena Herrera Mancheno, declaro ser el autor del presente trabajo de Tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Declaro, que durante la investigación y elaboración de la tesis el uso de referencias publicadas por otros autores cumplió con las normas y regulaciones establecidas.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Rebeca Ximena Herrera Mancheno



Cédula: 210070368-1

Fecha: 17 de julio de 2019

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, Rebeca Ximena Herrera Mancheno, declaro ser el autor de la tesis titulada: “DINÁMICA NUTRICIONAL EN INTERACCIONES NPK RELACIONADA A CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FISIOLÓGICAS EN CACAO (*Theobroma cacao* L.) CLON CCN 51”, como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrónomo por lo que autoriza al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre a mundo la publicación intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden hacer uso de este trabajo investigativo en las redes de información del país (RID) y del exterior, con las que mantengan convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio de dicha tesis que realice una tercera persona.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los diecisiete días del mes de julio del 2019.

Firma:  _____

Autor:

Rebeca Ximena Herrera Mancheno

Cédula: 210070368-1

Dirección: Barrio Puerto Aguarico,
Lago Agrio-Sucumbíos.

Correo electrónico:
rbkherrera1995@gmail.com

Celular: 0939787154

Directora de tesis:

Ing. Johnny Fernando Granja T. Mg. Sc.

Tribunal de grado:

Ing. Simón Bolívar Peña Merino Mg. Sc.
PRESIDENTE

Ing. Kléver Iván Granda Mora PhD.
VOCAL

Ing. Mirian Irene Capa Morocho PhD.
VOCAL

AGRADECIMIENTO

A mi madre Silvania Mancheno y hermanos por todo su amor, dedicación, apoyo incondicional y motivación, muchos de mis logros se los debo a ustedes, en los que se incluye este. A mi gran amigo José Imbaquingo, quien me tendió su mano en momentos de dificultad, por alentarme a seguir mis sueños y sus innumerables consejos.

A mis amigos Juan Andrés Buri, Diego Labanda y Melissa Romero por cada gesto amable, cada favor desinteresado y su apoyo incondicional; así mismo, a mis apreciadas amigas Cynthia Ortiz, Leydi Guerrero y Margarita Carrión por compartir penas y alegrías durante el transcurso de mi vida estudiantil.

A la Universidad Nacional de Loja, en especial a la carrera de Ingeniería Agronómica por permitirme formarme profesionalmente, de igual forma, a mi director de tesis el Ing. Johnny Fernando Granja Mg. Sc., por su dirección, apoyo y revisión del presente trabajo, contribuyendo a culminar con éxito esta investigación. Así mismo, a la Ing. Beatriz Guerrero técnica del laboratorio de Bromatología, por su predisposición y gentileza y al Sr. Augusto Carrión propietario de la finca, por su predisposición y cuidados adecuados realizados al cultivo utilizado.

DEDICATORIA

A mi madre, por ser la mujer más valiente y decidida; invencible ante las vida y luchadora incansable por tus hijos, si hoy en día soy una profesional se debe a ti, ya que las lecciones más valiosas que adquirí, me las diste tú.

Rebeca.

ÍNDICE

Certificado	ii
Aprobación	iii
Autoría	iv
Carta de autorización de tesis por parte del autor para la consulta, reproducción total o parcial y publicación electrónica del texto completo	v
Agradecimiento	vi
Dedicatoria	vii
Índice	viii
Título	x
Resumen	xi
Abstract	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Cacao clon CCN 51	3
2.2 Nutrición mineral del cacao	4
2.3 Nitrógeno	6
2.3.1 Efecto del nitrógeno en el crecimiento del cultivo de cacao.	6
2.3.2 Efecto del nitrógeno en el funcionamiento del cultivo de cacao.	6
2.3.3 Efecto del nitrógeno en el suelo.	7
2.4 Fósforo	7
2.4.1 Efecto del fósforo en el crecimiento del cultivo de cacao.	7
2.4.2 Efecto del fósforo en el funcionamiento del cultivo de cacao.	8
2.4.3 Efecto del fósforo en el suelo.	9
2.5 Potasio	9
2.5.1 Efecto del potasio en el crecimiento del cultivo de cacao.	9
2.5.2 Efecto del potasio en el funcionamiento del cultivo de cacao.	10
2.5.3 Efecto del potasio en el suelo.	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Ubicación del área de estudio	12
3.2 Manejo del experimento	13

3.2.1	Análisis de suelo.	13
3.2.2	Aplicación de los tratamientos.	14
3.3	Diseño experimental	15
3.3.1	Delineamiento Experimental.	15
3.4	Metodología	16
3.4.1	Interacción del NPK en el crecimiento de estructuras vegetativas.	16
3.4.2	Interacción del NPK en el crecimiento de estructuras productivas.	17
3.4.3	Interacción del NPK en la relación a los contenidos nutricionales en brotes y frutos de cacao.	18
3.4.4	Efecto del NPK en las propiedades químicas del suelo.	21
3.5	Análisis Estadístico	21
4.	RESULTADOS.....	23
4.1	Interacción del NPK en el crecimiento de estructuras vegetativas	23
4.1.1	Área foliar.	24
4.1.2	Tasa de crecimiento absoluta y relativa del brote.	26
4.2	Interacción del NPK en el crecimiento de estructuras productivas.....	29
4.2.1	Peso del fruto.	30
4.2.2	Tasa de crecimiento absoluta y relativa del fruto.	31
4.3	Interacción del NPK en la relación a los contenidos nutricionales en brotes y frutos de cacao.....	32
4.3.1	Análisis bromatológicos de brotes.	32
4.3.2	Análisis bromatológicos de frutos.	34
4.4	Efecto del NPK en las propiedades químicas del suelo.....	36
4.4.1	pH en el suelo.	40
4.5	Correlación de variables evaluadas	43
5.	DISCUSIÓN	44
6.	CONCLUSIONES	50
7.	RECOMENDACIONES	51
8.	BIBLIOGRAFÍA	52
9.	ANEXOS	62

**“DINÁMICA NUTRICIONAL EN INTERACCIONES NPK
RELACIONADA A CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y
FISIOLÓGICAS EN CACAO (*Theobroma cacao* L.)
CLON CCN 51”**

RESUMEN

Existe una demanda creciente de cacao, sin embargo, la investigación primaria data de 40 años atrás y, pese a que existen muchos estudios de fertilización a base de NPK muy pocos evalúan los efectos individuales y sus interacciones. En tal sentido surge la necesidad de analizar si los elementos mayores NPK interactúan y determinan las características morfológicas y fisiológicas en el cultivo de cacao. Para tal efecto se ejecutó un ensayo en el barrio Piuntza, provincia de Zamora Chinchipe, durante cinco meses sobre un cultivo de cacao de 5 años de la variedad CCN 51, empleando un DCA con arreglo trifactorial (N, P y K) con 8 tratamientos: Testigo, N, P, K, NP, NK, PK y NPK con dosis de 76, 51 y 68 unidades para N, P y K, respectivamente, determinadas mediante un análisis de suelos y los requerimientos del cultivo. Así también se ajustaron medidas alométricas mediante regresión para área foliar y peso de fruto, pruebas de comparación múltiple por DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves) para variables con diferencias significativas y análisis de correlación. A nivel morfológico se evaluó el crecimiento de estructuras vegetativas y productivas, a nivel fisiológico los contenidos bromatológicos de frutos y brotes y, los contenidos de macro nutrientes y fluctuación del pH en el suelo. Como parte de los resultados, al final de la investigación las aplicaciones de nitrógeno disminuyeron el área foliar, afectó los contenidos de potasio, durante el inicio de etapa productiva del cultivo; sin embargo, contribuyó a mejorar la tasa de crecimiento relativa del brote y parámetros de calidad como el porcentaje de grasa en el fruto. La fertilización con fósforo, incrementó la longitud y peso del fruto y el porcentaje de grasa en el fruto; así también, el contenido de fósforo en el suelo. El potasio aumentó la longitud y peso del fruto y, mejoró los contenidos de potasio y la disposición de calcio y magnesio en el suelo. En cuanto a las interacciones dobles de NP y PK, la primera aportó a un mayor porcentaje de grasas en el fruto, contenidos de fósforo y calcio en el suelo, mientras que la segunda incrementó la tasa de crecimiento absoluta del brote y favoreció los contenidos de fósforo, potasio en el suelo. La interacción triple NPK, favoreció los contenidos de fósforo en el suelo y los contenidos bromatológicos del brote; sin embargo, la fertilización con N, P y K de forma independiente o en interacción incrementó la acidificación del suelo.

Palabras clave: fósforo, nitrógeno, nutrición. potasio, *Theobroma cacao* L,

ABSTRACT

There is a growing demand for cocoa, however, primary research dates back 40 years and, although there are many NPK fertilization studies, very few evaluate individual effects and their interactions. In this sense, there is a need to analyze whether the major NPK elements interact and determine the morphological and physiological characteristics of the cocoa crop. For this purpose, a trial was carried out in the Piuntza district, Zamora Chinchipe province, for five months on a 5-year cocoa crop of the CCN 51 variety, using a DCA with a three-factorial arrangement (N, P and K) with 8 treatments: Witness, N, P, K, NP, NK, PK and NPK with doses of 76, 51 and 68 units for N, P and K, respectively, determined by soil analysis and crop requirements. Alometrical measurements were also adjusted by means of regression for leaf area and fruit weight, multiple comparison tests by DGC (Di Rienzo, Guzmán and Casanoves) for variables with significant differences and correlation analysis. At a morphological level, the growth of vegetative and productive structures was evaluated, at a physiological level, the bromatological contents of fruits and shoots and the contents of macro nutrients and pH fluctuation in the soil. As part of the results, at the end of the investigation the nitrogen applications decreased the foliar area, affected the potassium contents, during the beginning of the productive stage of the crop; however, it contributed to improve the relative growth rate of the shoot and quality parameters such as the percentage of fat in the fruit. The fertilization with phosphorus, increased the length and weight of the fruit and the percentage of fat in the fruit, as well as the content of phosphorus in the soil. Potassium increased the length and weight of the fruit and, improved the potassium contents and the disposition of calcium and magnesium in the soil. As for the double interactions of NP and PK, the former contributed to a higher percentage of fat in the fruit, phosphorus and calcium contents in the soil, while the latter increased the absolute growth rate of the shoot and favoured the contents of phosphorus, potassium in the soil. The triple NPK interaction favoured the phosphorus contents in the soil and the bromatological contents of the shoot; however, fertilization with N, P and K independently or in interaction increased the acidification of the soil.

Keywords: phosphorus, nitrogen, nutrition, potassium, *Theobroma cacao* L.

1. INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) pertenece a la familia Malvaceae y es originario de la cuenca alta de las amazonas (Brasil, Colombia y Ecuador), fue domesticado por las culturas pre-colombinas y, se convirtió en unos de los primeros productos que se exportó a Europa (Pabón et al., 2016); en Ecuador se cultivan los clones: CCN 51 y EET (Arvelo et al., 2017).

La producción mundial de cacao en el 2017 fue de 5 201 108 t con un rendimiento promedio de 442.71 kg ha⁻¹, siendo Costa de Marfil y Ghana los principales productores (FAOSTAT, 2018). La demanda anual de granos de cacao se incrementa en un 2.5 % y se pronostica un déficit de 150 000 t de granos de cacao para el año 2020 (Jerez, 2017).

En Ecuador, en el año 2017 se produjo 293 487 t con un rendimiento promedio 440 kg ha⁻¹ y 520 kg ha⁻¹ para CCN 51, debido a plantaciones de cacao clon CCN 51 y la reactivación del cacao fino de aroma con un total de 559 617 ha según el Ministerio de agricultura y ganadería (MAG, 2018). En la zona 7 que corresponde a las provincias de Loja, El Oro y Zamora Chinchipe, se producen 4 506 t con un rendimiento de 288.9 kg ha⁻¹ (ESPAC, 2018), en la provincia de Zamora Chinchipe cuenta con 898 ha de superficie plantada, con un rendimiento de 16.14 kg ha⁻¹ aportando con el 0.08 % a la producción nacional (Loayza y Zabala, 2018).

El cacao es un cultivo persistente que durante todo el año puede estar en constante floración; en Ecuador, para el clon CCN 51 el proceso productivo es más corto en comparación con el cacao nacional (1 ciclo al año) ya que se realizan de 3 a 4 ciclo al año (Lema, 2012). El rendimiento potencial del cacao está determinado por la ubicación, las características específicas del cultivo, la temperatura local, el CO₂, la radiación solar, la fisiología y fenología, la disponibilidad de agua y nutrientes (van Ittersum, 2013); el cacao puede alcanzar un rendimiento potencial de 5 t ha⁻¹ con una nutrición adecuada (van Vliet et al., 2015).

Los cacaotales necesitan minerales como el nitrógeno (N), fundamental en la división celular, incrementa el número de flores, mejora el peso y el tamaño de los frutos, fósforo (P), importante en la formación de flores, frutos y semillas y acelera la maduración de los frutos y potasio (K), encargado del engrosamiento de frutos y aumento de sólidos solubles (IICA, 2017). En Ecuador los servicios de extensión aún recomiendan el uso de fórmulas únicas que no toman en cuenta las

variaciones en el suelo, las condiciones ambientales, ni el balance de nutrientes a partir de las condiciones locales (Sánchez et al., 2005; Snoeck *et al.*, 2010).

van Vliet et al. (2015) explica que las investigaciones primarias en cacao se realizaron hace 40 años atrás, sobre balances de nutrientes en diferentes sistemas de producción y fertilización a corto y largo plazo; además, en los estudios de fertilización a base de NPK no se ha determinado, si los datos mostrados son sólo el resultado de parcelas con la aplicación de diferentes tasas de un solo nutriente, o de todas las parcelas en las que se aplicó el nutriente, independientemente de las tasas de los otros o existe alguna interacción de elementos; es decir, los experimentos multifactoriales incluyendo al menos diferentes tasas de los principales nutrientes N, P y K, son esenciales para explicar las lagunas de conocimiento existentes.

En vista de lo anteriormente expuesto, la presente investigación pretende analizar si, los elementos mayores NPK interactúan y determinan las características morfológicas y fisiológicas en el cultivo de cacao clon CCN 51. A fin de cumplir el propósito de esta investigación se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General.

Determinar el efecto y las interacciones de la fertilización con nitrógeno (N), fósforo (K) y potasio (K) sobre variables morfológicas y fisiológicas en cacao clon CCN 51.

Objetivos Específicos.

- Analizar la interacción de la fertilización con NPK en el crecimiento de estructuras vegetativas y reproductivas de cacao clon CCN 51.
- Explicar la interacción de la fertilización con NPK y su relación a la distribución de contenidos nutricionales en frutos y brotes de cacao clon CCN 51.
- Describir el efecto de la fertilización con NPK en las propiedades químicas del suelo del cultivo de cacao clon CCN 51.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cacao clon CCN 51

El cacao (*Theobroma cacao* L) clon CCN 51 fue obtenido del híbrido entre los clones ICS - 95 x IMC - 67 y un segundo cruce con un cacao del Oriente ecuatoriano denominado “Canelos” (ANECACAO, 2017), se destaca por su alta productividad, calidad y resistencia a plagas y enfermedades como la escoba de bruja (*Monillioptera pernicioso*), mal del machete (*Ceratocystis fimbriata*) y monilla (*Mollioptera roreri*) (Boza et al., 2014; Gómez, 2017).

Morfológicamente el cacao clon CCN 51 tiene una raíz principal pivotante de 0.80 a 1.5 m, la mayoría de las cuales se encuentran en los primeros 0.30 m de suelo (Hartemink y Donald, 2005).

Las hojas se producen en brotes de ramas terminales de 3 a 6 pares, después de lo cual la yema permanece latente durante un período hasta que se produce un nuevo brote, las flores también se forman en ramas secundarias, tienen un porcentaje de cuajado del 0.50 al 5 %, las flores no polinizadas abscisan de 24 a 36 días después de su apertura (Almeida y Valle, 2007).

Según Sandrini (2007), las etapas específicas del enrojecimiento de la hoja en el de crecimiento ortotrópico: F-1, hinchazón de las yemas: hoja inicio y desarrollo; F-2, expansión foliar: hojas finas, con fuerte pigmentación antocianica y yema apical latente; I-1, expansión foliar completa: enverdecimiento rápido y brotes apicales latentes; I-2, enteramente expandidos oscuros hojas verdes: capullo apical latente. Inmediatamente después de la emergencia de la siguiente hoja, hojas en la etapa inicial F-1 son de color rojo y se colocan casi verticalmente hacia arriba.

En cuanto a frutos miden entre 15 a 30 cm de largo y de 7 a 12 cm de ancho (ANECACAO, 2017), su peso va de 200 a 1000 g; los primeros 50 a 100 días después del cuajado del fruto, ciertos frutos pueden detener su crecimiento y ennegrecerse para ajustar la capacidad de carga del árbol (Groeneveld et al., 2010).

Según Báez (2008) y Pérez (2009), la formación de la mazorca varía entre 165 a 195 días, promedio 180 días desde el momento de la fecundación hasta el momento que esté completamente madura.

2.2 Nutrición mineral del cacao

La remoción de nutrientes en el cultivo de cacao se incrementa rápidamente durante los primeros 5 años después de la siembra, y luego mantiene una tasa de absorción estable por el resto de vida útil de la plantación, al expresar en porcentajes la cantidad de nutrientes absorbidos por la planta durante el ciclo del cultivo, se puede observar cuando ocurren los momentos de máxima absorción y así determinar las épocas oportunas para la entrega de nutrientes (García, 1993).

Las plantaciones de cacao sin la aplicación de fertilizantes y a plena luz, eliminan del sistema más nutrientes de los que se importan, aunque el cacao establecido a partir de la selva virgen en suelos fértiles puede no requerir fertilizantes durante muchos años; sin embargo, con el tiempo la producción de cacao, especialmente sin fertilizantes, agotará los nutrientes del suelo (Gockowski et al., 2013). El cacao con una adecuada nutrición genera tolerancia a factores ambientales, ataque de plagas y enfermedades; además de mejorar la calidad de los frutos, incrementa la producción y el rendimiento (ICA, 2012).

Los cacaotales necesitan minerales como el Nitrógeno (N), fundamental en la división celular, incrementa el número de flores, mejora el peso y el tamaño de los frutos, Fósforo (P), importante en la formación de flores, frutos y semillas y acelera la maduración de los frutos y Potasio (K), encargado del engrosamiento de frutos y aumento de sólidos solubles según el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2012; van Vliet et al., 2015).

Las plantas de cacao toleran un pH de 5.0 - 7.5, es ideal una relación C: N >9, una relación N: P de 1.5, con una disponibilidad de fósforo de 8 ppm, calcio 8 ppm, potasio 0.24 ppm y magnesio 2 ppm; al elevar el pH de 5.5 a 6.0 y disminuir los niveles de Al y Fe, se presentan cambios que mejoró la CIC y la disponibilidad de nutrientes para cacao (Ca, Mg, P, Zn) sin afectar otros nutrientes como N y K (Dostert et al., 2011).

En la amazonia, zona de origen del cacao predominan suelos ácidos que limitan la disponibilidad y absorción de N, K, Ca, Mg y P, para elevar el pH mediante encalado, con 7000 kg. ha⁻¹ de Ca(CO₃), en dos meses cambió el pH de 4.36 a 6.0, incrementando la disponibilidad de Ca, Mg, P y Zn, y disminuyeron la disponibilidad de Al, Fe y Mn (Quintero et al., 2013; Rosas et al., 2017).

Existen reportes sobre el uso benéfico de materiales encalates que registran que el crecimiento y la productividad del cacao se incrementan cuando se aumenta el pH de 4.0 a 5.3 y se fertiliza el suelo (Da Costa y Sena, 2007; Anda et al., 2013). Castro y Munevar (2013) encontraron que para llevar de pH 4.5 a 5.5, se requieren alrededor de 4 000 kg ha⁻¹ de CaCO₃; sin embargo, Rosas et al. (2017) mencionan que se requiere 7 000 kg ha⁻¹ para un pH entre 5.5 y 6.0

En cacao se han obtenido mayores rendimientos con la aplicación de diferentes dosis de NPK, estas investigaciones se han realizado con híbridos y clones, en diferentes suelos y condiciones climáticas, mas no es evidente la forma en la cual se monitorea la respuesta del cultivo en función del estado nutricional del mismo (Mejía, 2000; Oyewole et al., 2012; Santiago et al., 2016).

Puentes et al. (2016) mencionan que el clon CCN 51 presentó un mayor rendimiento cuando se aplicó el 25 % de NPK requerido.

Ogunlade et al. (2009) afirmaron que se requiere por cada 1000 kg de grano seco cerca de 20 kg N, 40 kg P₂O₂ y 10 kg K₂O, nutrientes que se toman del suelo con cada cosecha.

Según Arévalo (2017), se requiere 49 kg ha⁻¹ de N, 23.5 kg ha⁻¹ de P₂O₂ y 146.5 kg ha⁻¹ de K₂O y López et al. (2015) expone que se necesita en promedio de 35 kg; 50 kg K₂O y 10 kg P₂O₅.

La relación N: P, expresada en N total y P₂O₅ total, es más importante que la cantidad absoluta de P (disponible), y debería ser 2,0 (Wessel et al., 1971).

En la relación N:P, valores de 9:1 producen rendimientos de 1 600 kg ha⁻¹; en cambio con proporciones 5:1, se obtienen rendimientos bajos de 500 kg ha⁻¹, esta relación favorece el desarrollo de la zona foliar, raíces y la tasa de fotosíntesis, creando un equilibrio entre el N: P, favoreciendo el metabolismo del Carbono y así la obtención de buenos rendimientos; así mismo la relación N: K con valores por debajo de 1:1, favorece el rendimiento con una producción superior a 2 200 kg ha⁻¹ (Puentes et al., 2014).

Estudios realizados por Fernández et al. (2016) explican que, en cacao los altos niveles de N podrían afectar la absorción de K; además, el rendimiento de cacao disminuye de manera importante con una relación N: P < 5.

Marschner (1995) mencionó que el Mg hidratado presenta la menor fuerza de atracción para la pared celular y la membrana plasmática, es importante mantener el equilibrio de la relación N: Mg ya que el Magnesio participa en la molécula de clorofila y en muchas enzimas que son necesarias en el proceso de fotosíntesis.

2.3 Nitrógeno

2.3.1 Efecto del nitrógeno en el crecimiento del cultivo de cacao.

Para Salgado et al. (2006), el nitrógeno es el componente básico de todos los aminoácidos, favorece al desarrollo de órganos vegetativos de la planta, actúa como regulador ante el Fósforo y el Potasio y reduce el marchitamiento de frutos jóvenes.

Arguello y Moreno (2014) explicaron que, al existir mayor concentración de nitrógeno en el tejido vegetal, se desarrollan mayormente en la planta la longitud del tallo, la raíz y la lámina foliar.

El nitrógeno estimula el aumento en el área de las hojas, el crecimiento de plántulas jóvenes, la formación de horquetas (con K y Mg), la formación del dosel y el cierre temprano del mismo, los árboles maduros sólo pueden responder a N cuando son podados y raleados (Wessel, 1971; Jadin y Snoeck, 1985).

2.3.2 Efecto del nitrógeno en el funcionamiento del cultivo de cacao.

Es el motor del crecimiento de la planta, supone de 1 a 4 % del extracto seco de la planta. Es absorbido del suelo bajo forma de nitrato NO_3^- o de amoníaco NH_4^+ , en la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar aminoácidos y proteínas, siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y el rendimiento (FAO, 2018).

La eficiencia de uso del nitrógeno (NUE) está determinada por: a) la eficiencia de la captación (adquisición a partir del suelo, tasa de afluencia a las raíces, cinética de afluencia, transporte radial en las raíces y con las cantidades del nutriente en cuestión aplicado o presente en el suelo); b) la eficiencia de la incorporación (los transportes al brote y las hojas se basan en los parámetros del brote) y; c) la eficiencia de la utilización (basada en la removilización, es decir, parámetros de toda la planta, es decir, la raíz y el brote) (Haque et al., 2015).

La falta de nitrógeno en las plantas induce cambios en la síntesis de carbohidratos debido a la acumulación de almidón y una disminución en el área foliar específica (Bertsch, 2005).

En algunos experimentos en Ghana, las plántulas jóvenes respondieron positivamente a la aplicación de nitrógeno, mientras que el cacao maduro no mostró ninguna respuesta. (Appiah et al., 2000).

Furcal (2017), manifiesta que el aumento de la dosis de fertilización nitrogenada puede disminuir significativamente la eficiencia de uso, absorción y utilización del nitrógeno.

2.3.3 Efecto del nitrógeno en el suelo.

El nitrógeno al ser un elemento dinámico en el suelo, se requiere fraccionar sus aplicaciones para evitar pérdidas (Bertsch, 2005).

El N orgánico tiene que mineralizarse antes de que esté disponible para las plantas, las mediciones del N total del suelo son un predictor deficiente de la respuesta a los fertilizantes de N, esto se debe a que las concentraciones de N mineral en el suelo pueden fluctuar rápidamente, lo que dificulta la derivación de una prueba de suelo para indicar la deficiencia de N (van Vliet et al., 2015).

En los cultivos de cacao la mayor parte del nitrógeno se encuentra en las capas superficiales del suelo, y menos del 10 % del stock total de N se encuentra en los árboles de cacao y de sombra, el nitrógeno en la caída anual de la hojarasca es aproximadamente del 20 al 45 % del N total en la vegetación y del 2 al 3 % del N total en el suelo (Boza et al., 2014).

Jadin y Snoeck (1985) indicaron que las concentraciones totales de N son bajas en rangos de 1 a 2 %. Wessel (1971) sugirió 1.5 % de N total, como el límite inferior de adecuación, mientras que Snoeck et al. (2016) consideraron suelos inadecuados cuando el N total es inferior a 0.6%.

2.4 Fósforo

2.4.1 Efecto del fósforo en el crecimiento del cultivo de cacao

El fósforo es importante en el desarrollo de las raíces, equilibra la absorción del nitrógeno por la planta, estimula la actividad de las bacterias nitrificantes y ayuda a la floración y fructificación,

constituye de 0.1 a 0.4 % del extracto seco de la planta y juega un papel importante en la transferencia de energía (Beer et al., 2009; FAO, 2018).

La aplicación de fósforo cerca de las raíces del árbol del cacao puede aumentar la absorción en el primer año después de la aplicación (Adams,1980). El fósforo a menudo interacciona positivamente con el N (van Vliet et al., 2015).

Puentes et al. (2014) manifiesta que las plantas de cacao muestran mayor respuesta a este elemento en comparación con N y K y juega un papel importante en el desarrollo radicular.

Pellerin et al. (2000) encontraron un retraso en la aparición de raíces adventicias en plantas en condiciones de bajo contenido de fósforo, además, el índice de área foliar y la tasa neta de fotosíntesis se vieron afectados.

Según Snoeck et al. (2016), la fertilización con P aumenta el crecimiento y el rendimiento del cacao en casi todos los suelos de las regiones productoras.

2.4.2 Efecto del fósforo en el funcionamiento del cultivo de cacao.

El fósforo es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta (FAO, 2018).

En cuanto al fósforo, sólo entre 10 y 20 % del P aplicado como fertilizante es absorbido por los cultivos en el primer año siguiente a la aplicación, el resto se mantiene en el suelo y se hace gradualmente disponible en los años subsiguientes, acumulando así una reserva de P disponible con el tiempo (Ahenkorah et al.,1987 y Sattari et al., 2012).

Ahenkorah et al. (1987) establecen que el requerimiento de cacao amazónico para fósforo y potasio tiende a aumentar con la edad, especialmente cuando se reduce la densidad de sombra.

Según Basak y Biswak (2016) la deficiencia de fósforo afecta el crecimiento de los tejidos biosintéticos y disminuye la concentración de fósforo en la biomasa y, por lo tanto, la tasa máxima de fotosíntesis.

2.4.3 Efecto del fósforo en el suelo.

Gran parte del fósforo total presente en el suelo no está disponible para el crecimiento de las plantas, particularmente en suelos fuertemente ácidos o fuertemente alcalinos (Wessel 1971).

La aplicación anual de fósforo puede reducirse una vez que se ha acumulado una reserva de fósforo disponible en el suelo (Wessel, 1971; Jadin y Snoeck, 1985).

Aunque sólo se exportan pequeñas cantidades de fósforo a través de la cosecha, se ha afirmado el agotamiento del fósforo en el suelo es relativamente sustancial en comparación con los otros elementos (Wessel, 1971; Ahenkorah et al., 1987).

Jadin y Snoeck (1985) sugieren que la mejor forma de fertilizante fósforo depende del pH y de la proporción de K – Ca - Mg en el suelo, ya que algunos fertilizantes fósforo son ricos en CaO y podrían crear una proporción catiónica indeseable.

El límite inferior de adecuación utilizado por Wessel (1971) para el P disponible en suelos de cacao era de 12 mg kg⁻¹ para suelos arenosos y de 24 mg kg⁻¹ para suelos arcillosos (determinado en el extractante de Truog); además, que el fósforo disponible (utilizando el análisis de Olsen-Dabin) no debería ser inferior a 130 mg kg⁻¹.

La relación N: P, expresada en N total y P₂O₅ total, es más importante que la cantidad absoluta de P (disponible), y debería ser 2.0, la fuente de fosfato rocoso no está especificada, y la disponibilidad de fósforo del fosfato rocoso es altamente variable dependiendo de la dureza y solubilidad de la roca de fosfato (Adams, 1980).

2.5 Potasio

2.5.1 Efecto del potasio en el crecimiento del cultivo de cacao.

Los granos absorben potasio del suelo generalmente antes de la etapa de llenado o incluso de la floración (Almeida y Valle 2007).

El potasio es conocido como el elemento de calidad para la producción agrícola, genera mayor porcentaje comercializable del rendimiento total, aumento en el porcentaje de proteína en los

granos, mayor contenido de aceite y vitamina C, mejora el color y sabor de las frutas, aumento de tamaño de frutos (Imas, 2018).

Los síntomas de deficiencia de K aparecen inicialmente en las hojas más viejas y se acentúan con el desarrollo de brotes como consecuencia de la translocación del nutriente viejo a tejido joven, la translocación es de tal naturaleza que para el momento en que el brote joven se expande totalmente, las hojas viejas se caen; a medida que la deficiencia se acentúa, las hojas de los brotes y chupones son cada vez más pequeños (FAO, 2018).

2.5.2 Efecto del potasio en el funcionamiento del cultivo de cacao.

El potasio es importante para la translocación de carbohidratos (Sodré et al., 2012), aumenta la tolerancia al estrés hídrico y comprende alrededor del 70 % de los minerales ubicados en el xilema del cacao (Almeida y Valle, 2007; FAO, 2008).

Gattward et al. (2012) han descubierto que el sodio podría reemplazar parcialmente al potasio en la nutrición del cacao, con efectos beneficiosos significativos sobre la fotosíntesis y la eficiencia en el uso del agua, sugieren que el Na es más eficiente que el K en la función osmótica del cierre estomático, lo que lleva a una menor susceptibilidad a la sequía.

El potasio suple del 1 a 4 % del extracto seco de la planta, tiene muchas funciones, activa más de 60 enzimas (substancias químicas que regulan la vida), por ello juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas; este elemento crea resistencia y da vigor a la planta, fortaleciendo su sistema radicular y ayudando a la formación y desarrollo de las semillas (FAO, 2018). Es el elemento más abundante en las células de las plantas y participa en innumerables funciones incluyendo la activación de muchas enzimas, su absorción depende de las relaciones con otros nutrientes, como el Sodio y el Nitrógeno (Szczerba et al., 2006).

Hartemink y Donald (2005) en su revisión concluyeron que grandes concentraciones de K en el suelo conducen a una mejor absorción de potasio y la variabilidad en la absorción puede explicar la amplia variación del contenido de K en las cáscaras de cacao y en la caída de la hojarasca.

2.5.3 Efecto del potasio en el suelo.

A nivel del suelo, la mineralogía de la arcilla tiene un efecto en la disponibilidad de potasio, esta produce una mayor fijación y menor disponibilidad del nutriente para el cultivo (Puentes et al., 2016).

Gran parte del K total está presente en minerales que se desgastan lentamente, para reponer las reservas de K intercambiable, una gran parte del K en los ecosistemas del cacao se encuentra en la biomasa del cacao, por lo que, se exportan grandes cantidades de K en la cosecha, especialmente cuando las cáscaras no son devueltas al campo; sin embargo, la disponibilidad de K puede ser demasiado pobre para la producción de cacao amazónico (que es más exigente en K que el cacao Amelonado), especialmente sin sombra, en suelos arenosos y suelos desarrollados sobre depósitos sedimentarios (Hartemink y Donald 2005).

La acumulación de potasio es baja en los ecosistemas del cacao, y en la mayoría de los sistemas la cantidad total en la biomasa es equivalente al contenido de P disponible en la capa superior del suelo, el potasio es un nutriente importante en el cacao maduro, las existencias de potasio intercambiable en la capa superior del suelo varían de 100 a 550 kg ha⁻¹, y los niveles altos de potasio en el suelo corresponden a los niveles altos de potasio en la vegetación y en el lecho (Puentes et al., 2014).

Ahenkorah et al. (1987) encontraron que los buenos rendimientos asociados con la aplicación de potasio no duraban más allá de la fase juvenil bajo sombra media. Por lo tanto, se recomendó especialmente la aplicación de K grande en ausencia de sombra.

Jadin y Snoeck (1985) afirmaron que la proporción óptima de K de las bases intercambiables Ca, Mg y K en el suelo debería ser del 8%. Utilizando las Bases Intercambiables Totales recomendadas mínimas de 0.6 cmol kg⁻¹ de suelo, en Snoeck et al. (2010), esto sería sólo .048 cmol kg⁻¹ K. Wessel (1971) utilizó 0.2 cmol kg⁻¹ como el límite inferior de suficiencia para el potasio, que es un valor comúnmente utilizado para otros cultivos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del área de estudio

La investigación se desarrolló en el barrio Piuntza, parroquia Guadalupe, del cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador; el barrio Piuntza está ubicado en las coordenadas geográficas: Latitud Sur $03^{\circ} 52' 16.63''$, Longitud Oeste $78^{\circ} 52' 48.06''$ y a una altitud de 849 m s.n.m. (*Figura 1*). La zona de estudio presenta una temperatura media de 22°C , precipitaciones de 2000 mm anuales y una humedad relativa del 80 % (Unidad de Ordenamiento Territorial Zamora Chinchipe, 2015). De acuerdo al análisis posee un pH de 4.7 y 4 % de materia orgánica, con un alto contenido de arcilla.

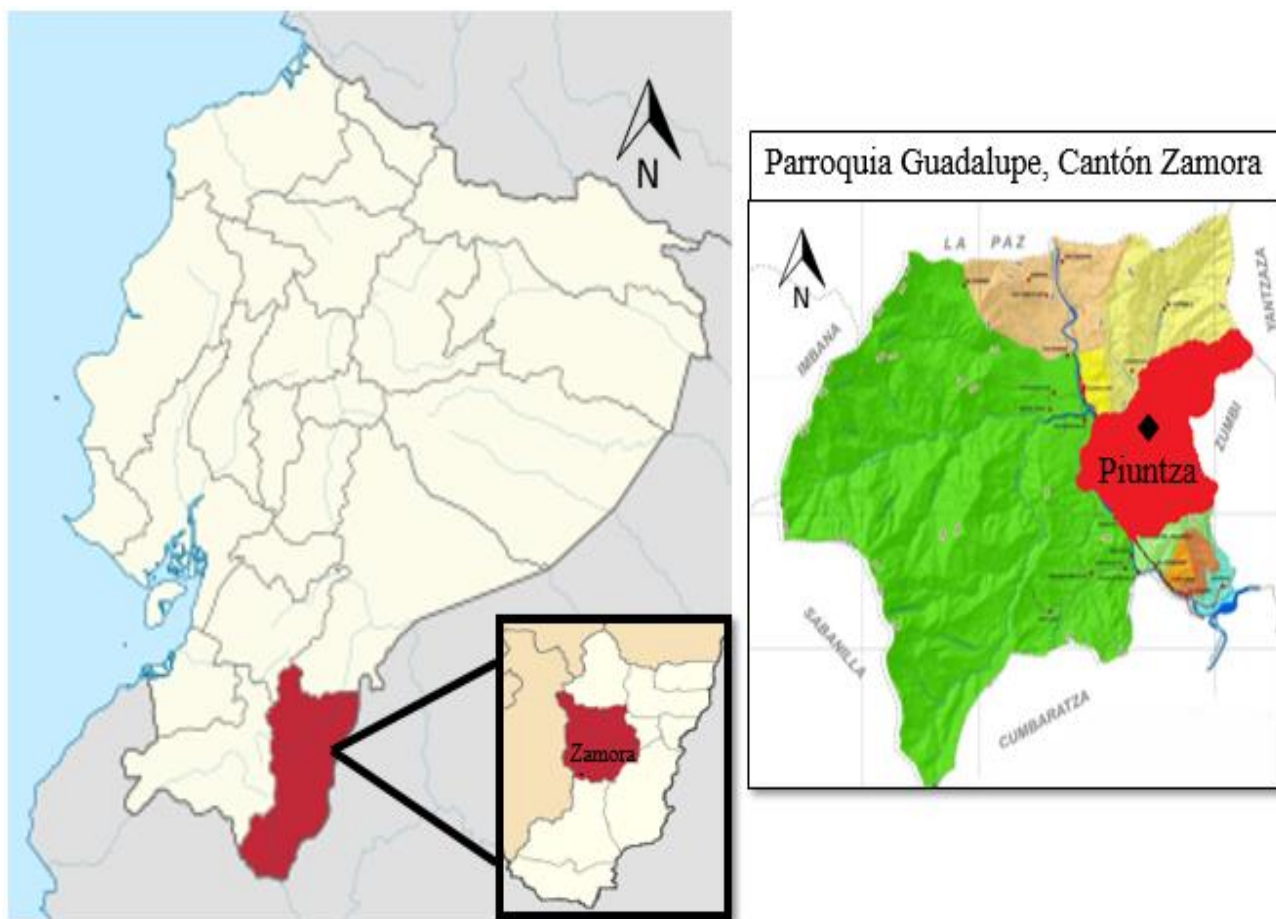


Figura 1. Ubicación del ensayo (barrio Piuntza, Zamora Chinchipe). Fuente: Autor.

3.2 Manejo del experimento

El presente trabajo constó de diferentes fases; la fase de campo, que correspondió a la delimitación del ensayo, análisis previo del suelo, aplicación de los tratamientos a base de NPK y registro de datos de las características de crecimiento vegetativas y reproductivas durante el periodo noviembre de 2018 a marzo de 2019 en una plantación de 5 años de cacao clon CCN 51, así mismo, se llevó un control de las principales enfermedades y arvenses mediante prácticas culturales, destrucción del material vegetal infectado y aplicación eventual de fungicida (Mancozeb) para proteger la cosecha en las fases críticas.

En la fase de laboratorio, para las características fisiológicas se analizó los contenidos nutricionales en frutos y brotes de cacao en el Laboratorio de suelos, aguas y bromatología (LASAB) de la Universidad Nacional de Loja; además, se realizaron análisis de las propiedades químicas del suelo del cultivo en cuanto a pH en el LASAB de la UNL y contenidos de N, P, K, Ca y Mg una vez finalizada la investigación en los laboratorios del INIAP.

3.2.1 Análisis de suelo.

Para el análisis de suelos de la parcela se aplicó la metodología detallada en el instructivo para la toma de muestras de suelos de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGOCALIDAD), una vez culminada la toma de muestras se envió para su respectivo análisis químico al laboratorio de la Estación Experimental Litoral del Sur del INIAP (Anexos 4 y Anexos 5) y se obtuvo:

Tabla 1. Análisis de suelo realizado en el laboratorio del INIAP Litoral Sur en cultivo de cacao clon CCN 51.

pH	CIC	M.O. (%)	NH ₄ (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	$\sum bases$	$\frac{Ca}{Mg}$	$\frac{Mg}{K}$	$\frac{Ca + Mg}{K}$
4.7	11.2	4.0	47.0	22.0	145.0	494.0	1.6	4.45	1.54	4.32	10.96
Muy ácido	Bajo	Medio	Alto	Alto	Medio	Bajo	Medio		Bajo	Medio	Bajo

Tabla 2. Análisis de suelo de micro elementos realizado en el laboratorio del INIAP Litoral Sur en cultivo de cacao clon CCN 51.

S (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)
16.0	4.1	6.5	711.0	34.0	0.50
Medio	Medio	Alto	Alto	Alto	Bajo

3.2.2 Aplicación de los tratamientos.

Previo a la aplicación de los tratamientos se realizó un encalado de las unidades experimentales y aplicación de Fertiboro (Anexos 6) con la finalidad de corregir la deficiencia de los elementos Ca, B y elevar el pH en el suelo expresado en los análisis de suelo (Anexos 4 y 5)

Tabla 3. Dosis de corrección de fertilizantes para Ca y B en suelo de cultivo de cacao clon CCN 51.

Descripción	Unidades (kg ha ⁻¹)	Elemento (g) por planta	Fertilizante	Dosis (g) por planta	Dosis adicional (g)
Ca*	799.5 Ca	1000.0	Cal (CaCO ₃ .)	1000.0	0.0
B*	3.47 B	4.25	Fertiboro soluble (B)	25.0	0.0

La dosis aplicada por tratamientos (Anexos 8) se determinó a partir del análisis de suelo realizado y la extracción del cultivo de los elementos N, P y K (Anexos 7) como se detalla en la tabla 4 empleando la fórmula:

$$\text{Dosis} = (\text{Demanda} - \text{Suministro}) / \text{Eficiencia.}$$

Tabla 4. Dosis de fertilizantes aplicada por tratamiento a base de NPK en cultivo de cacao clon CCN 51.

Descripción	Unidades (kg ha ⁻¹)	Elemento (g) por planta	Fertilizante	Dosis (g) por planta	Dosis adicional (g)
T1: testigo	0.0 N	0.0 N	-	0.0	0.0
	0.0 P	0.0 P			
	0.0 K	0.0 K			
T2: N	76.5 N	114.7 N	Nitrato de amonio (NH ₄ NO ₃)	340.0	
	0.0 P	0.0 P			
	0.0 K	0.0 K			
T3: P	0.0 N	0.0 N	10-30-10 (NPK)	210.0	21.0 g N 21.0 g K
	51.0 P	62.5 P			
	0.0 K	0.0 K			
T4: K	0.0 N	0.0 N	Muriato de potasio (KCl)	174.0	0.0
	0.0 P	0.0 P			
	68.0 K	104.3 K			
T5: NP	76.5 N	93.7 N	NH ₄ NO ₃	278.0	0.0
	51.0 P	62.5 P	10-30-10	210.0	21.0 g N 21.0 g K
	0.0 K	0.0 K			
T6: NK	76.5 N	93.7 N	NH ₄ NO ₃	340.0	0.0
	0.0 P	0.0 P	KCl	174.0	0.0
	68.0 K	83.3 K			
T7: PK	0.0 N	0.0 N	10-30-10	210.0	21.0 g N 21.0 g K
	51.0 P	62.5 P	KCl	139.0	0.0
	68.0 K	83.3 K			
T8: NPK	76.5 N	93.7 N	NH ₄ NO ₃	278.0	0.0
	51.0 P	62.5 P	10-30-10	210.0	21.0 g N 21.0 g K
	68.0 K	83.3 K	KCl	139.0	0.0

La fertilización se realizó el 14 de noviembre de 2018 y fue fraccionada para 6 aplicaciones mensuales, mismas que fueron aplicadas alrededor de la planta, tomando como referencia la copa del árbol aproximadamente de 1.0 m de distancia desde la base del tallo, a una profundidad de 5 cm, en 4 puntos alrededor de la misma.

3.3 Diseño experimental

El experimento se realizó en un cultivo establecido de cacao clon CCN 51 en etapa productiva de 5 años, con una distancia de siembra de 3.5 x 3.5 m², en un área aproximada de 16 000 m². Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo trifactorial, los tratamientos se establecieron en función de los elementos mayores (factores): Nitrogeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), dando un total de 8 tratamientos como se describe en la Tabla 5, con 5 repeticiones y un total de 40 unidades experimentales que corresponden a 1 árbol de cacao por cada UE.

Para la selección de las unidades experimentales se consideró los siguientes criterios: de 3 a 4 número de ramas, 1.8 a 2.0 m de altura, diámetro de copa y en prefloración, con la finalidad de someter al ensayo, plantas muy homogéneas y reducir el error experimental.

Tabla 5. Descripción de las dosis de los elementos aplicados por tratamientos en cultivo de cacao clon CCN 51, Piuntza, Zamora Chinchipe.

Tratamiento	Dosis (unidades/kg ha ⁻¹)			Descripción
	N	P	K	
*T1	0.0	0.0	0.0	*Testigo absoluto
T2	76.5	0.0	0.0	N
T3	0.0	51.0	0.0	P
T4	0.0	0.0	68.0	K
T5	76.5	51.0	0.0	NP
T6	76.5	0.0	68.0	NK
T7	0.0	51.0	68.0	PK
T8	76.5	51.0	68.0	NPK (Testigo positivo)

3.3.1 Delineamiento Experimental.

Para la implementación del ensayo se eliminó una hilera de cada extremo de la parcela con plantas de cacao clon CCN 51, para evitar el efecto borde, así como también, se procuró aplicar tratamientos en árboles que se encuentren separados entre sí para evitar traslape de la fertilización, como se representa en la figura 2.

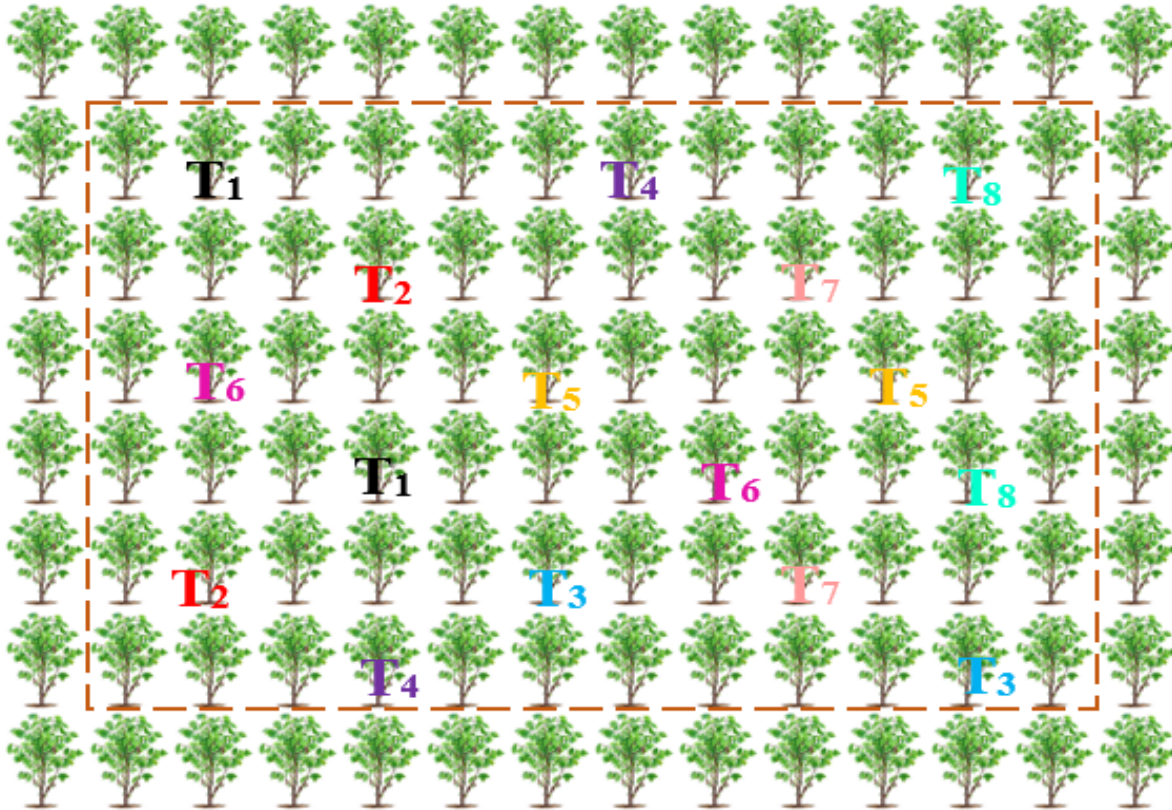


Figura 2. Diagrama del diseño experimental aplicado en campo.

3.4 Metodología

Para dar cumplimiento al primer objetivo se tomó y registró datos por cada tratamiento con sus respectivas unidades experimentales el crecimiento de estructuras vegetativas y productivas de cacao clon CCN 51 durante 4 meses después de iniciada la aplicación de los tratamientos.

3.4.1 Interacción del NPK en el crecimiento de estructuras vegetativas.

Largo del brote: se marcaron 4 brotes en crecimiento activo por unidad experimental del tercio medio de la copa y se midieron con cinta métrica mensualmente; además, se determinó la Tasa Absoluta y Relativa de crecimiento de los brotes seleccionados.

Número de metámeros por brote: a los mismos brotes marcados se contabilizó el número de metámeros una vez finalizada la evaluación.

Área foliar del brote: se determinó utilizando un ajuste con regresión simple de 27 muestras de hojas en diferentes estadios del cultivo de cacao clon CCN 51 (Anexos 1, figura 5 y 6), el área de dichas hojas se calculó mediante método de análisis digital de fotografías empleando el programa Adobe Photoshop; así mismo, se midió el largo y ancho de las misma para establecer una ecuación de ajuste en base a medidas de longitud y/o ancho.

Posteriormente se determinó el área foliar con la ecuación obtenida sobre los brotes marcados una vez al final de la aplicación de los tratamientos.

3.4.2 Interacción del NPK en el crecimiento de estructuras productivas.

Se marcaron 3 frutos por cada unidad experimental para evaluar:

Largo del fruto: Se midió con cinta métrica mensualmente desde el estadio 72 (20 % del tamaño final del fruto) de la escala BBCH modificada (Bridgemohan et al., 2016) (Anexos 3) en cada fruto seleccionados.

Peso de la mazorca: se determinó utilizando un ajuste con regresión simple de 24 frutos en diferentes estadios del cultivo de cacao clon CCN 51 (Anexos 2, figura 13), el peso de dichos frutos fue determinado empleando una balanza digital; así mismo, se midió el largo y diámetro de los para establecer una ecuación de ajuste en base a medidas de longitud. Posteriormente se estimó el peso fruto con la ecuación obtenida sobre los frutos marcados desde el estadio 72 mensualmente.

Tasa de crecimiento absoluta (TCA) y Tasa de crecimiento relativa (TCR): se estimaron mensualmente desde el estadio 72 mensualmente, mediante las siguientes fórmulas:

$$TCA = (Pt_1 - Pt_0) / (t_1 - t_0)$$

$$TCR = 1/ Pt_0 * TCA$$

Dónde:

TCA es la tasa de crecimiento absoluto ($g \cdot día^{-1}$), TCR es la tasa de crecimiento relativo del fruto ($mg \cdot g^{-1} \cdot día^{-1}$), Pt_1 y Pt_0 son la variación de peso fresco en la fecha actual (t_1) y anterior (t_0) al muestreo, respectivamente (Morandi et al., 2011; Bastías et al., 2014).

3.4.3 Interacción del NPK en relación a los contenidos nutricionales de brotes y frutos de cacao.

5.5.3.1 Análisis bromatológicos de brotes.

Los análisis bromatológicos en brotes de cacao clon CCN 51 se realizaron una vez al finalizar la aplicación de los tratamientos tomando 3 brotes en 3 repeticiones por tratamiento dando un total de 24 muestras, dichas muestras fueron colocadas en fundas de papel, con la identificación correspondiente, para ser transportada al Laboratorio de suelo, agua y bromatología de la Universidad Nacional de Loja dentro de las 24 horas siguientes con la finalidad de realizar los siguientes análisis:

Materia seca parcial: los brotes colectados se picaron manualmente, se pesaron utilizando una balanza analítica de cuatro decimales marca Sartorius modelo 2472 y se colocaron en bolsas de papel evitando compactarlos para posteriormente pasar a una estufa de convección natural marca memmert modelo 1v40 559230 a una temperatura de 65 °C hasta obtener el peso constante de aproximadamente 2 días.

La materia seca del brote fue determinada mediante la fórmula (AOAC 925.10).

$$\% \text{ MSP muestra} = \frac{\text{Peso seco de la muestra}}{\text{Peso inicial de la muestra}} \times 100$$

Los brotes secos se ubicaron en un lugar seco hasta que se equilibró su humedad con la del ambiente, para luego ser molidos en un molino de martillos marca Francolo a través de un tamiz de 1 mm, dicha muestra permitió determinar:

Fibra cruda: se determinó por doble hidrólisis ácido-básica, para lo cual los crisoles de vidrio poroso pasado por la mufla a 550 °C durante 1 hora, se dejó enfriar y pesó los mismos, luego se pesó 1 g de brote seco molido en el crisol tarado y se colocó en la unidad de extracción para determinación de fibra cruda marca Velp científica modelo Fiwe 6, añadiendo 150 mL de la solución de H₂SO₄ al 0.255 N con 60 µL de octanol como agente antiespumante durante 45 minutos, al finalizar el tiempo se vació los módulos y lavó por 3 veces con 30 mL de agua destilada

en punto de ebullición; para mejor lavado se utilizó el compresor del equipo para mezclar y la bomba de vacío, vaciar una vez acabada cada secuencia de lavado.

Posterior a esto, se añadió 150 mL de solución NaOH al 0.313 N, con 60 µL de octanol como agente antiespumante durante 45 minutos, al finalizar el tiempo se vació los módulos y lavó por 3 veces con 30 mL de agua destilada en punto de ebullición y repetir el mismo proceso que se utilizó con el H₂SO₄; para finalizar, se lavó los crisoles con 15 ml de acetona 2 veces.

Los crisoles con las muestras fueron colocados en la estufa a 105 °C durante 90 min para su secado, se los dejó enfriar por aproximadamente 1 hora en el desecador y pesó; además, los crisoles con la fibra fueron llevados a la mufla a 550 °C durante 3 horas para determinar su contenido de cenizas, los crisoles se deben retirar a temperaturas menores a 200 °C para evitar deformaciones por el choque térmico; finalmente, se colocaron en el desecador y una vez fríos pesarlos.

El contenido de fibra se determinó mediante la fórmula (AOAC 978.10).

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{(\text{Peso del crisol} + \text{fibra}) - (\text{Peso del crisol} + \text{cenizas})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Cenizas: se determinó por método gravimétrico, para lo cual se pesó 2 g de brote seco molido en un crisol de porcelana, previo a ello los crisoles deben ser lavados, secados por un espacio de 8 horas a 105 °C, enfriados en el desecador hasta temperatura ambiente y pesados; los crisoles con la muestra son llevados al horno mufla marca Naber modelo L5ISR para ser calcinados a 550 °C por 150 minutos finalmente se colocaron en el desecador para su posterior pesaje.

El contenido de cenizas se determinó mediante la fórmula (AOAC 923.03).

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(\text{Peso del crisol} + \text{cenizas}) - \text{Peso del crisol}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

5.5.3.2 Análisis bromatológicos de frutos.

Los análisis bromatológicos en frutos de cacao clon CCN 51 se realizaron a los 85 y 115 días de iniciada la aplicación de los tratamientos en el estadíos 72 y 76 respectivamente, en 1 frutos de 4 repeticiones de los 8 tratamientos dando un total de 32 muestras, dichas muestras fueron colocadas

en fundas de papel, con la identificación correspondiente, para ser transportadas al Laboratorio de suelo, agua y bromatología de la Universidad Nacional de Loja dentro de las 24 horas siguientes con la finalidad de realizar los siguientes análisis:

Materia seca parcial: los frutos fueron colectados a los 85 y 115 días de iniciada la fertilización (DIF), se picaron manualmente, pesaron utilizando una balanza analítica de cuatro decimales marca Sartorius modelo 2472 y se colocaron en bolsas de papel evitando compactarlos para posteriormente pasar a una estufa de convección natural marca memmert modelo 1v40 559230 a una temperatura de 65 °C hasta obtener un peso constante aproximadamente 2 días para los frutos de 3 meses DIF y 8 días para los frutos de 4 meses DIF.

La materia seca de los frutos fue determinada mediante la fórmula (AOAC 925.10).

$$\% \text{ MSP muestra} = \frac{\text{Peso seco de la muestra}}{\text{Peso inicial de la muestra}} \times 100$$

Los frutos secos se ubicaron en un lugar seco hasta que se equilibró su humedad con la del ambiente, para luego ser molidos en un molino de martillos marca Francolo a través de un tamiz de 1 mm con la finalidad de determinar:

Grasa bruta o extracto etéreo: se determinó por método Soxhlet a los 85 y 115 días de iniciada la fertilización, para lo cual, se pesó 2 g de fruto seco molido sobre papel filtro y se colocó dentro de un cartucho de celulosa, el cartucho fue ubicado dentro del rota vapor o sifón del equipo Soxhlet; además, se pesó un balón junto con perlas de ebullición previamente secado a 105 °C y enfriado en el desecador; así mismo, se adicionó 150 mL de éter de petróleo en el balón y ensambló el equipo Soxhlet para realizar el proceso de extracción por el lapso, de 90 minutos para los 3 meses DIF y 150 minutos para los 4 meses DIF con un goteo de 5 a 6 gotas por segundo aproximadamente.

Una vez finalizada la extracción, se recicló el solvente del sifón y secó el balón en la estufa a 105 °C durante 30 minutos, finalmente se pesó el balón cuando alcanzó la temperatura ambiente o peso constante.

El contenido de grasa aplicando la fórmula (AOAC 920.39).

$$\% \textit{Grasa bruta} = \frac{((\text{Peso del balón + Grasa bruta}) - \text{Peso del balón})}{(\text{Peso de la muestra + papel filtro}) - \text{peso del papel filtro}} \times 100$$

Cenizas: se determinó por método gravimétrico a los 85 y 115 días de iniciada la fertilización, para lo cual se pesó 2 g de fruto seco molido en un crisol de porcelana, previo a ello los crisoles fueron lavados y secados por un espacio de 8 horas a 105 °C y enfriados en el desecador hasta temperatura ambiente y su posterior pesaje; los crisoles con la muestra fueron llevados al horno mufla marca Naber modelo L5ISR para ser calcinados a 550 °C por 150 minutos, finalmente se colocaron en el desecador para su posterior pesaje.

El contenido de cenizas se determinó mediante la fórmula (AOAC 923.03).

$$\% \textit{Cenizas} = \frac{(\text{Peso del crisol + cenizas}) - \text{Peso del crisol}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

3.4.4 Efecto del NPK en las propiedades químicas del suelo.

Mensualmente se determinó el pH por volumetría potenciométrica en relación 1:25 empleando un potenciómetro marca Termo Orion 4 Star en 25 g de suelo por cada unidad experimental colectados antes de la aplicación de los tratamientos, los análisis se realizaron en el Laboratorio de suelos, aguas y bromatología de la Universidad Nacional de Loja, con la finalidad de conocer los cambios de pH que se diesen durante la investigación.

Al final de la evaluación, se realizó un análisis de las características químicas del suelo de: N y P por colorimetría, K, Ca y Mg por absorción atómica en 3 repeticiones por tratamiento (Anexos 9) dando un total de 24 muestras de 1 kg de suelo, mismas que fueron etiquetadas y enviadas al laboratorio de suelos del INIAP de Santa Catalina.

3.5 Análisis Estadístico

Los datos registrados fueron tabulados en una base de datos de Microsoft Excel, para su análisis estadístico mediante el programa Infostat versión libre.

Los datos ingresados en el programa estadístico Infostat, fueron sometidos a un análisis de varianza (ANAVA) multifactorial en función de los macro elementos N, P y K con un nivel de significancia del 5 % y pruebas de comparaciones múltiples mediante el test DGC expresada en gráfico de barras con un nivel de significancia del 5 % (Di Rienzo et al., versión 2018), para determinar si existen o no interacciones estadísticamente significativas en el crecimiento de estructuras vegetativas y productivas, contenidos nutricionales en frutos y brotes y, en las características químicas del suelo.

Además, se correlacionaron todas las variables registradas durante el tiempo de evaluación, el modelo matemático utilizado para el análisis estadístico se detalla a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} :	Variable de respuesta
μ :	Media general de las observaciones
$\alpha_i, \beta_j, \gamma_k$:	Son los efectos producidos por el nivel i-ésimo del factor A o Nitrógeno ($i \alpha_i = 0$), por el nivel j-ésimo del factor B o Fósforo, ($j \beta_j = 0$) y por el nivel k-ésimo del factor C o Potasio, ($k \gamma_k = 0$), respectivamente.
$(\alpha\beta)_{ij}, (\alpha\gamma)_{ik}, (\beta\gamma)_{jk}, (\alpha\beta\gamma)_{ijk}$:	Son los efectos producidos por las interacciones entre A × B ($(\alpha\beta)_{ij}$) o Nitrógeno x Fósforo (NP) A × C ($(\alpha\gamma)_{ik}$) o Nitrógeno x Potasio (NK) B × C ($(\beta\gamma)_{jk}$) o Fósforo x Potasio (PK) A × B × C ($(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$) o Nitrógeno x Fósforo x Potasio (NPK), respectivamente.
ε_{ijk} :	Error experimental.

4. RESULTADOS

4.1 Interacción del NPK en el crecimiento de estructuras vegetativas

Tabla 6. Longitud y número de metámeros promedio de brote en cacao clon CCN 51.

Tratamiento	Factor			32 DIF (cm)	60 DIF (cm)	85 DIF (cm)	115 DIF (cm)	N° Metámeros
	N	P	K					
T1: Testigo	0	0	0	6.00	10.88	15.28	24.52	9
T2: N	76	0	0	6.22	10.34	14.66	24.12	10
T3: P	0	51	0	4.60	8.46	11.80	20.72	7 *
T4: K	0	0	68	5.36	8.86	13.80	28.00	10
T5: NP	76	51	0	6.06	9.96	13.38	25.32	8
T6: NK	76	0	68	6.83	10.73	12.63	26.60	9
T7: PK	0	51	68	6.40	10.74	14.08	25.64	8
T8: NPK	76	51	68	5.08 *	8.42	13.92	21.94	8

* diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

El largo de brote a los 32 días de iniciada la fertilización expresó una interacción triple de los elementos N, P y K, es decir, existen diferencias estadísticas significativas entre sus niveles como se muestra en la *figura 3*; a los 60, 85 y 115 días de iniciada la fertilización no se encontró diferencia estadística significativa para los tratamientos. El número de metámeros evaluado a los 115 días de iniciada la fertilización, no expresó interacciones entre los elementos N, P y K; sin embargo, el elemento P actúa independientemente y existieron diferencias significativas entre sus niveles como se muestra en la *figura 4*.

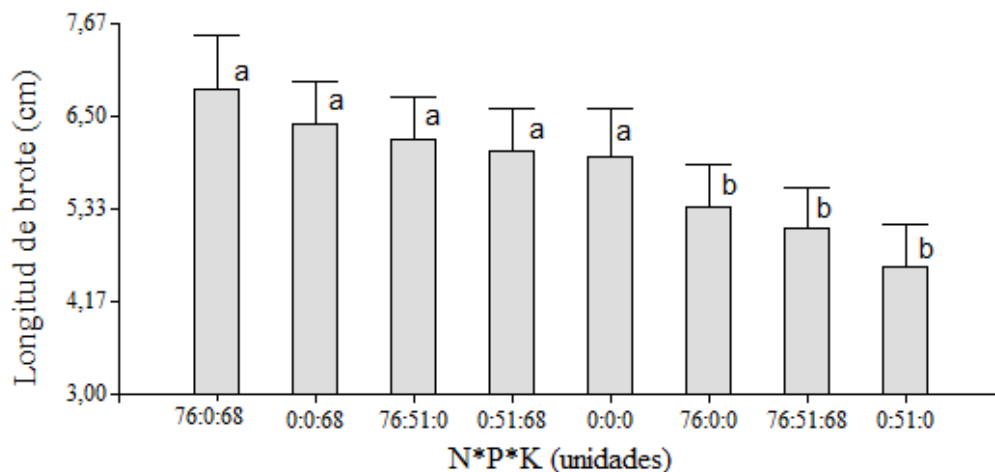


Figura 3. Longitud de brote a los 32 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

La mayor longitud de brote a los 32 días de iniciada la fertilización se obtuvo con la aplicación de NK, K, NP, PK y sin la aplicación de ningún elemento (testigo) con una media de 6.83, 6.40, 6.22,

6.06 y 6.00 cm y, la menor longitud de brote con la aplicación N, NPK y P con una media de 5.36, 5.08 y 4.60 cm respectivamente.

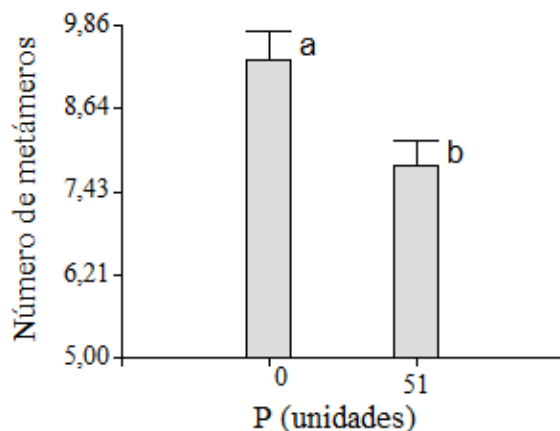


Figura 4. Número de metámeros a los 115 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor número de metámeros a los 115 días de iniciar la fertilización se alcanzó sin la aplicación de fósforo con una media de 9.3 y, el menor número de metámeros de 7.8 con la aplicación de fósforo.

4.1.1 Área foliar.

El área foliar fue determinada utilizando una medida alométrica, basada en un análisis de regresión cuyo mejor ajuste fue el modelo potencial para el ancho de la hoja, es decir, el área foliar puede expresarse mediante la medida de ancho de hoja como se muestra en la *figura 5*.

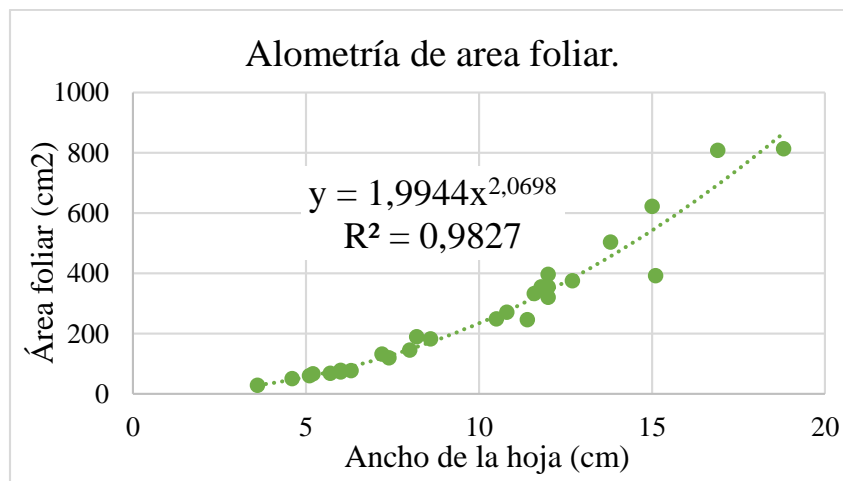


Figura 5. Gráfico de puntos del área foliar y ancho de hoja determinada a partir de hojas de cacao clon CCN 51 en diferentes estadíos.

La ecuación que se derivó del análisis alométrico para el área foliar es la siguiente $1.9944x^{2.0698}$ con un R^2 de 0.98.

Tabla 7. Área foliar promedio de brote en cacao clon CCN 51.

Tratamiento	Elemento			115 DIF (cm ²)
	N	P	K	
T1: Testigo	0	0	0	7678.67
T2: N	76	0	0	6246.73 *
T3: P	0	51	0	7820.10
T4: K	0	0	68	9107.33
T5: NP	76	51	0	7207.60
T6: NK	76	0	68	6426.00
T7: PK	0	51	68	9916.33
T8: NPK	76	51	68	7519.83

* diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

El área foliar a los 115 días de iniciada la fertilización expresó que no existen interacciones entre los elementos N, P y K; sin embargo, el elemento Nitrógeno actuó independientemente y existieron diferencias significativas entre sus niveles como se muestra en la *figura 6*.

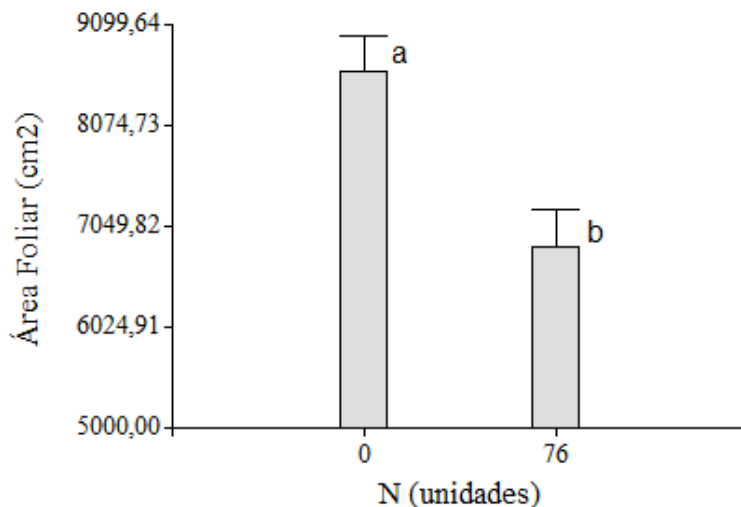


Figura 6. Área foliar a los 115 días de iniciada la fertilización con NPK en cultivo de cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

La mayor área foliar a los 115 días de iniciar la fertilización se alcanzó sin la aplicación de nitrógeno con una media de 8630.61 cm² y, la menor área foliar de 6850.04 cm² con la aplicación de nitrógeno.

4.1.2 Tasa de crecimiento absoluta y relativa del brote.

Tabla 8. Tasa de crecimiento absoluta (TCA) promedio de brote en cacao clon CCN 51.

Tratamiento	Factor			60 DIF (cm/día ⁻¹)	85 DIF (cm/día ⁻¹)	115 DIF (cm/día ⁻¹)
	N	P	K			
T1: Testigo	0	0	0	0.1261	0.1749	0.4380
T2: N	76	0	0	0.1176	0.1450	0.7551
T3: P	0	51	0	0.0839 *	0.1360	0.3553
T4: K	0	0	68	0.1449	0.1386	0.6417
T5: NP	76	51	0	0.0895	0.1596	0.5494
T6: NK	76	0	68	0.1287	0.1089	0.6584
T7: PK	0	51	68	0.1300	0.1596 *	0.6420
T8: NPK	76	51	68	0.1287	0.1669	0.6584

* diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

La tasa de crecimiento absoluta a los 60 días de iniciada la fertilización no evidenció interacciones entre los elementos N, P y K; sin embargo, el elemento P actuó independientemente y existieron diferencias significativas entre sus niveles como se muestra en la *figura 7*; así mismo, a los 85 días de iniciada la fertilización existió una interacción doble se los elementos P y K y diferencias significativas entre sus niveles como se detalla en la *figura 8*; sin embargo, a los 115 días de iniciar la fertilización no se encontró diferencia estadística significativa para los tratamientos.

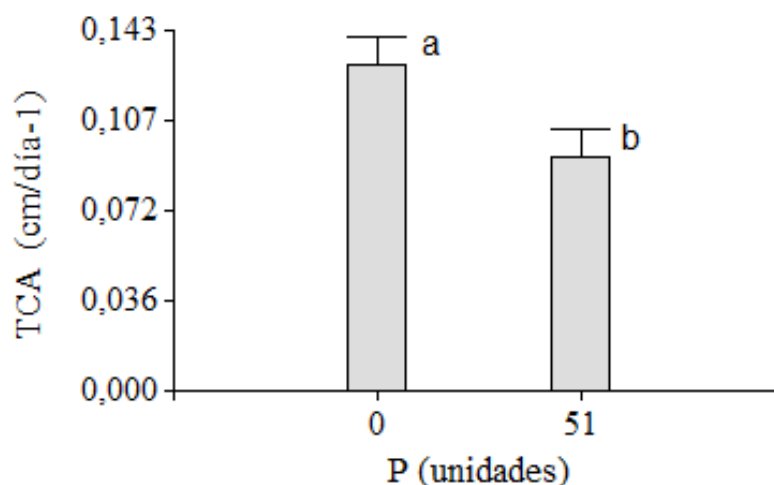


Figura 7. Tasa de crecimiento absoluta a los 60 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

La mayor tasa de crecimiento absoluta a los 60 de días de iniciada la fertilización, se alcanzó sin la aplicación de fósforo con una media de 0.1293 cm. día⁻¹ y, la menor tasa de crecimiento absoluta de 0.0933 cm. día⁻¹ con la aplicación de fósforo.

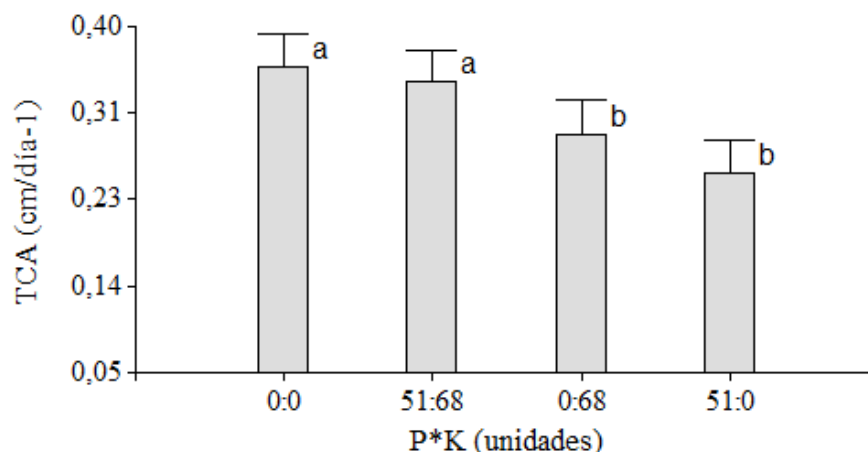


Figura 8. Tasa de crecimiento absoluta a los 85 días iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

La mayor tasa de crecimiento absoluta a los 85 días de iniciar la fertilización, se logró sin la aplicación de fósforo y potasio y con la aplicación conjunta de los mismos (PK) con una media de 0.1673 y 0.1528 cm. día⁻¹ y, la menor tasa de crecimiento absoluta de 0.1269 y 0.1100 cm. día⁻¹ con la aplicación de potasio y fósforo respectivamente.

Tabla 9. Tasa de crecimiento relativo promedio de brote en cacao clon CCN 51.

Tratamiento	Factor			60 DIF (mm.cm ⁻¹ .día ⁻¹)	85 DIF (mm.cm ⁻¹ .día ⁻¹)	115 DIF (mm.cm ⁻¹ .día ⁻¹)
	N	P	K			
T1: Testigo	0	0	0	0.0196	0.0543	0.0678
T2: N	76	0	0	0.0222	0.0725	0.1451 *
T3: P	0	51	0	0.0173	0.0485	0.0728
T4: K	0	0	68	0.0224	0.0528	0.0995
T5: NP	76	51	0	0.0149	0.0448	0.0886
T6: NK	76	0	68	0.0192	0.0375	0.0983
T7: PK	0	51	68	0.0217	0.0544	0.1088
T8: NPK	76	51	68	0.0155	0.0877 *	0.1280

* diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

La tasa de crecimiento relativo del brote a los 85 días de iniciada la fertilización expuso una interacción triple de los elementos N, P y K y diferencias significativas entre sus niveles como se detalla en la *figura 9*, a los 60 días de iniciada la fertilización no se encontraron diferencia estadística significativa para los tratamientos; sin embargo, a los 115 días de iniciada la fertilización el nitrógeno actuó independientemente y expresó diferencias estadísticamente significativas entre sus niveles como se muestra en la *figura 10*.

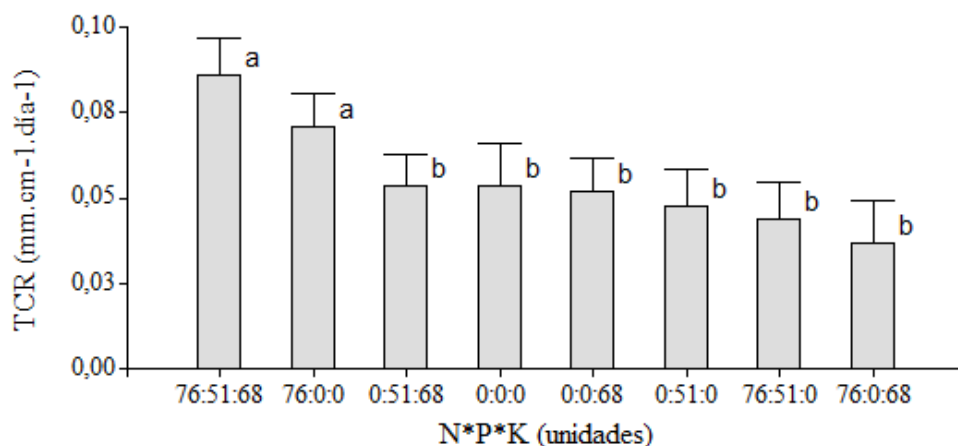


Figura 9. Tasa de crecimiento relativa a los 85 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

La mayor tasa de crecimiento relativa del brote a los 85 días de iniciada la fertilización se alcanzó con la aplicación conjunta de los 3 elementos (NPK) y con la aplicación de nitrógeno con 0.0877 y 0.0725 mm. cm⁻¹. día⁻¹ respectivamente y, la menor tasa de crecimiento relativa de 0.0544, 0.0543, 0.0528, 0.0485, 0.0448 y 0.0375 mm. cm⁻¹. día⁻¹ con aplicaciones de PK, Testigo, K, P, NP y NK.

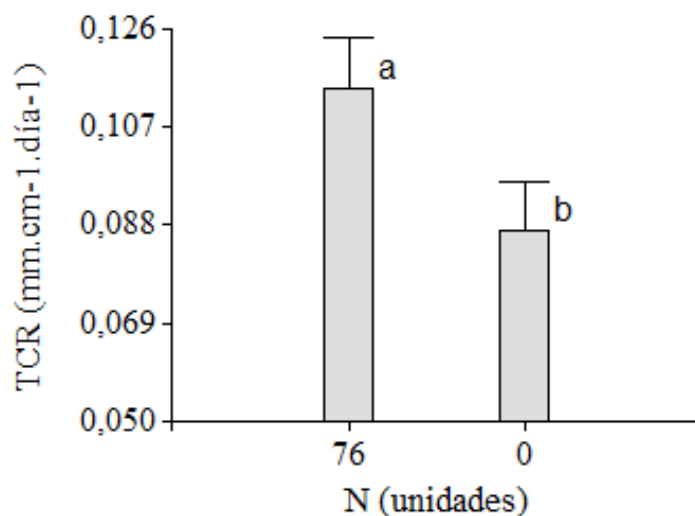


Figura 10. Tasa de crecimiento relativa a los 115 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

La mayor tasa de crecimiento relativa del brote a los 115 días de iniciada la fertilización se consiguió con la aplicación nitrógeno con 0.1150 mm. cm⁻¹. día⁻¹ y, la menor tasa de crecimiento relativa de 0.0873 mm. cm⁻¹. día⁻¹ sin la aplicación de nitrógeno.

4.2 Interacción del NPK en el crecimiento de estructuras productivas

Tabla 10. Longitud de fruto desde el estadio 72 en cacao clon CCN 51.

Tratamiento	Factor			85 DIF (cm)	115 DIF (cm)
	N	P	K		
T1: Testigo	0	0	0	12.74	23.82
T2: N	76	0	0	12.97	22.83
T3: P	0	51	0	13.20	22.52
T4: K	0	0	68	13.55	23.08
T5: NP	76	51	0	13.38	22.93
T6: NK	76	0	68	13.56	24.64
T7: PK	0	51	68	12.80 *	23.90
T8: NPK	76	51	68	12.54	23.18

* diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

La longitud del fruto a los 85 días de iniciada la fertilización expresó una interacción doble se los elementos P y K y diferencias significativas entre sus niveles como se detalla en la *figura 11*; sin embargo, a 115 días de iniciada la fertilización no se encontró diferencia estadística significativa para los tratamientos.

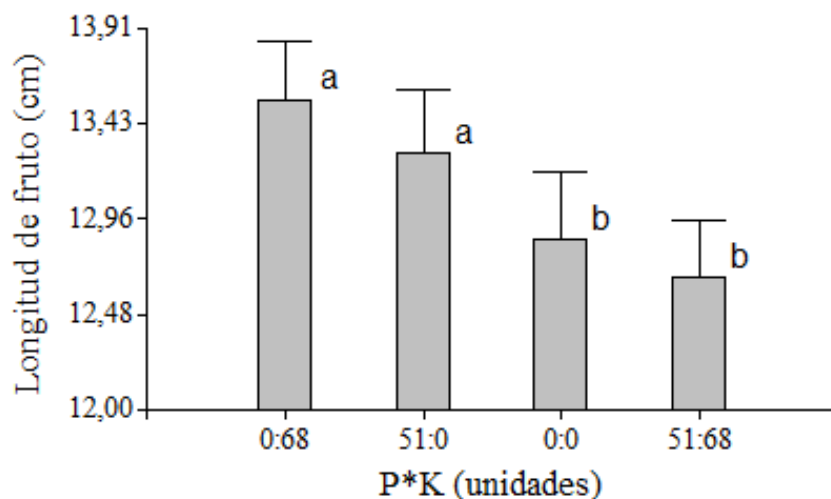


Figura 11. Longitud de fruto a los 85 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51.

Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

La mayor longitud de fruto a los 85 días de iniciada la fertilización se alcanzó con aplicaciones de potasio y fósforo con un promedio de 13.55 y 13.29 cm y, la menor longitud de fruto sin la aplicación de los elementos y con la aplicación conjunta de los mismo con 15.85 y 12.67 cm respectivamente.

4.2.1 Peso del fruto.

El peso del fruto fue estimado a partir de una medida alométrica, basada en un análisis de regresión cuyo mejor ajuste fue el modelo potencial para el largo del fruto, es decir, el peso del fruto fue estimado mediante la medida de largo del fruto como se muestra en la *figura 11*.

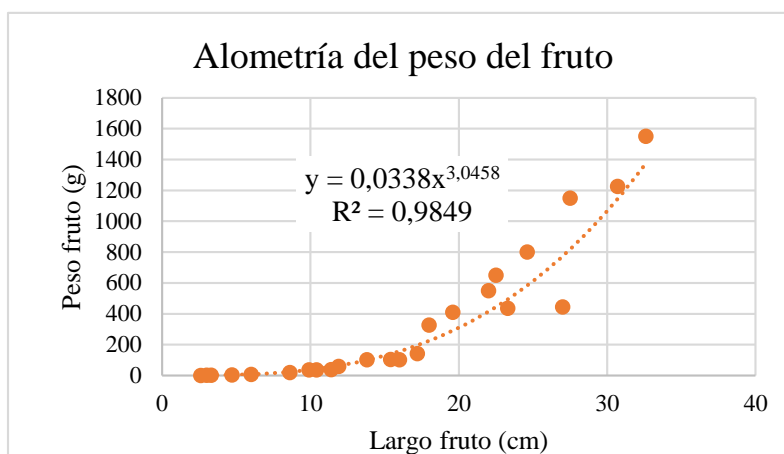


Figura 12. Gráfico de puntos del peso y largo de frutos de cacao clon CCN 51 en diferentes estadios.

La ecuación que se derivó del análisis alométrico para el peso del fruto fue la siguiente: $0.0338x^{3.0458}$ con un R^2 de 0.98.

Tabla 11. Peso del fruto desde el estadio 72 en cacao clon CCN 51.

Tratamiento	Factor			85 DIF (g)	115 DIF (g)
	N	P	K		
T1: Testigo	0	0	0	92.36	500.62
T2: N	76	0	0	85.97	457.07
T3: P	0	51	0	102.50	439.10
T4: K	0	0	68	108.88	465.72
T5: NP	76	51	0	85.42	451.65
T6: NK	76	0	68	89.90	558.54
T7: PK	0	51	68	95.78 *	504.26
T8: NPK	76	51	68	80.50	460.62

* diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

El peso del fruto a los 85 días de iniciada la fertilización expresó una interacción doble se los elementos P y K y diferencias estadísticamente significativas entre sus niveles como se detalla en la *figura 13*; sin embargo, a 115 días de iniciada la fertilización no se encontró diferencia estadística significativa para los tratamientos.

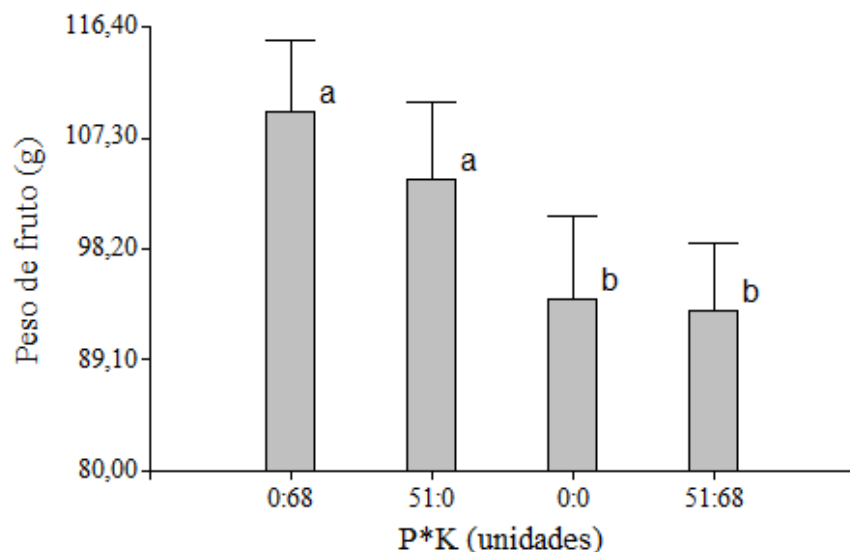


Figura 13. Peso de fruto a los 85 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor peso de fruto a los 85 días de iniciar la fertilización se obtuvo con aplicaciones de potasio y fósforo con un promedio de 109.39 y 103.94 g y, el menor peso del fruto sin la aplicación de los elementos y con la aplicación conjunta de los mismo con 94.16 y 93.14 g respectivamente.

4.2.2 Tasa de crecimiento absoluta y relativa del fruto.

Tabla 12. Tasa de crecimiento absoluta y relativa del fruto 115 días de iniciar la fertilización en cacao clon CCN 51.

Tratamiento	Factor			TCA (g. día ⁻¹)	TCR (mg. g ⁻¹ . día ⁻¹)
	N	P	K		
T1: Testigo	0	0	0	13.61	0.15
T4: K	0	0	68	12.04	0.12
T3: P	0	51	0	11.22	0.11
T7: PK	0	51	68	11.90	0.11
T2: N	76	0	0	11.54	0.12
T6: NK	76	0	68	14.95	0.14
T5: NP	76	51	0	13.62	0.15
T8: NPK	76	51	68	12.34	0.14

* diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Las tasas de crecimiento absoluto y relativo (TCA y TCR) de los frutos a los 115 días de iniciada las fertilizaciones no expresaron diferencias estadísticamente significativas para ningún tratamiento.

4.3 Interacción del NPK en los contenidos nutricionales del brote y frutos

4.3.1 Análisis bromatológicos de brotes.

Tabla 13. Contenidos bromatológicos del brote a los 115 días de iniciar la fertilización en cacao clon CCN 51.

Tratamiento	Factor			Materia seca (%)	Fibra bruta (%)	Cenizas (%)
	N	P	K			
T1: Testigo	0	0	0	38.78	33.44	11.47
T2: N	76	0	0	42.05	30.87	10.53 *
T3: P	0	51	0	42.65	29.45	11.14
T4: K	0	0	68	40.02	30.85	10.65
T5: NP	76	51	0	40.57	32.27	10.39
T6: NK	76	0	68	40.46	34.09	10.30
T7: PK	0	51	68	40.42	35.18	10.55
T8: NPK	76	51	68	42.07 *	34.29 *	10.56

* diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

La materia seca de brote a los 115 días de iniciada la fertilización expresó una interacción triple entre los elementos N, P y K y diferencias estadísticamente significativas entre sus niveles como se detalla en la *figura 14*. Así mismo, la fibra cruda de brote en el mismo periodo presentó una interacción triple de los elementos N, P y K como se muestra en la *figura 15*; además, el contenido de ceniza a 115 días de iniciar la fertilización no muestra interacciones entre los elementos; sin embargo, el elemento nitrógeno actúa independiente y existieron diferencias significativas entre sus niveles como se muestra en la *figura 16*.

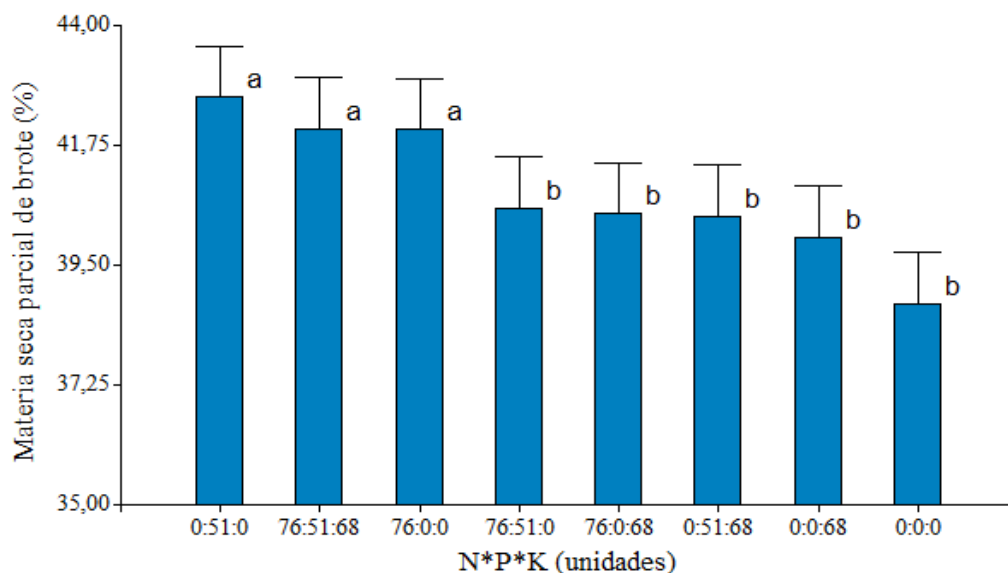


Figura 14. Contenido de materia seca de brote a los 115 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor contenido de materia seca de brote a los 115 días de iniciada la fertilización se alcanzó con aplicaciones de fósforo, los tres elementos conjuntamente (NPK) y nitrógeno con 42.65, 42.07 y 42.05 % y, el menor contenido con aplicaciones de NP, NK, PK, K y sin la aplicación de ningún elemento (testigo) con 40.57, 40.46, 40.42, 40.02 y 38,78 % respectivamente.

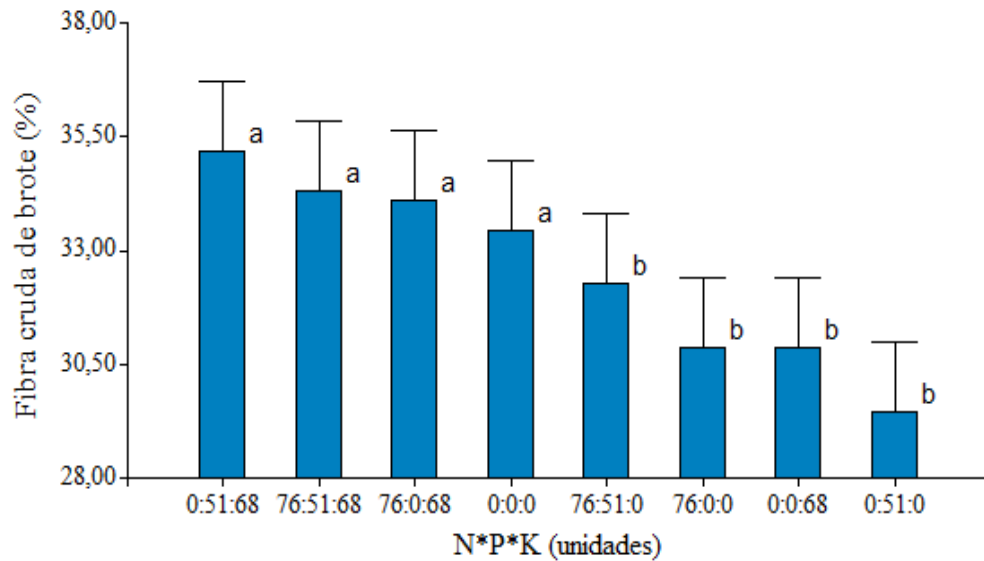


Figura 15. Contenido de fibra cruda de brote a los 115 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor contenido de fibra bruta de brote a los 115 días de iniciada la fertilización se logró con aplicaciones de PK, los tres elementos conjuntamente (NPK), NK y sin la aplicación de ningún elemento (testigo) con 35.18, 34.29, 34.09 y 33.44 % y el menor contenido con aplicaciones de NP, N, K y P con 32.27, 30.87, 30.85 y 29.45 % respectivamente.

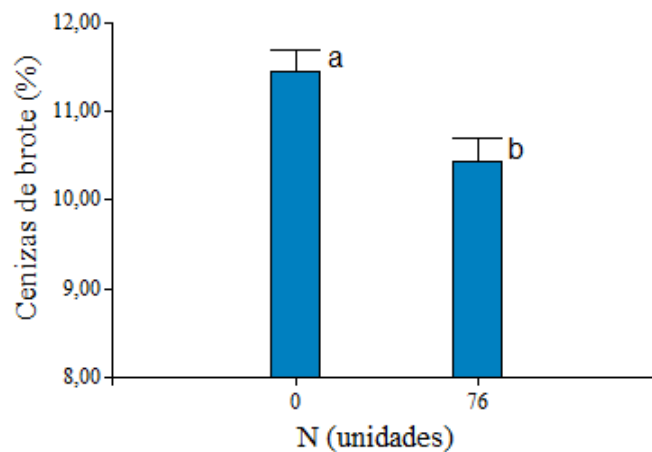


Figura 16. Contenido de cenizas de brote a los 115 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor contenido de cenizas en el brote a los 115 días de iniciada la fertilización, se alcanzó sin la de nitrógeno con 11.45 % y el menor contenido de 10.44 % con la aplicación de nitrógeno.

4.3.2 Análisis bromatológicos de frutos.

Tabla 14. Contenido bromatológico en fruto de cacao clon CCN 51.

Tratamiento	Factor			Materia seca		Grasa bruta (%)		Cenizas %	
	N	P	K	85 DIF (%)	115 DIF (%)	85 DIF (%)	115 DIF (%)	85 DIF (%)	115 DIF (%)
T1: Testigo	0	0	0	12.56	11.73	0.81	1.29	8.78	7.70
T2: N	76	0	0	11.21	11.40	1.19	2.59	7.88	7.00
T3: P	0	51	0	11.53	9.64	1.04	1.19	7.69	8.40
T4: K	0	0	68	11.29	10.82	0.89	2.63	8.48	7.50
T5: NP	76	51	0	11.46	10.37	0.65	2.75 *	7.81	7.70
T6: NK	76	0	68	11.44	10.33	0.71	1.56	8.06 *	7.30
T7: PK	0	51	68	10.77	11.75	0.75	2.54	7.27	7.70
T8: NPK	76	51	68	10.45	11.57	0.56 *	2.04	7.39	7.90

* diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

El porcentaje de materia seca del fruto a los 85 y 115 días de iniciada la fertilización no expresó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos.

El porcentaje de grasa en el fruto a los 85 días de iniciada la fertilización expresó una interacción triple entre los elementos N, P y K y diferencias estadísticamente significativas entre sus niveles como se muestra en la *figura 17*. Así mismo, a los 115 días de iniciada la fertilización muestra una interacción doble de los elementos nitrógeno y fósforo (NP), con diferencias estadísticamente significativas como se muestra en las *figuras 18*.

El porcentaje de cenizas en el fruto a los 85 días de iniciada la fertilización evidenció una interacción doble entre los elementos nitrógeno y potasio (NK) y diferencias significativas entre sus niveles como se muestra en la *figura 19*. Sin embargo, a los 115 días de iniciar la fertilización no se expresó diferencias estadísticamente significativas para ningún tratamiento.

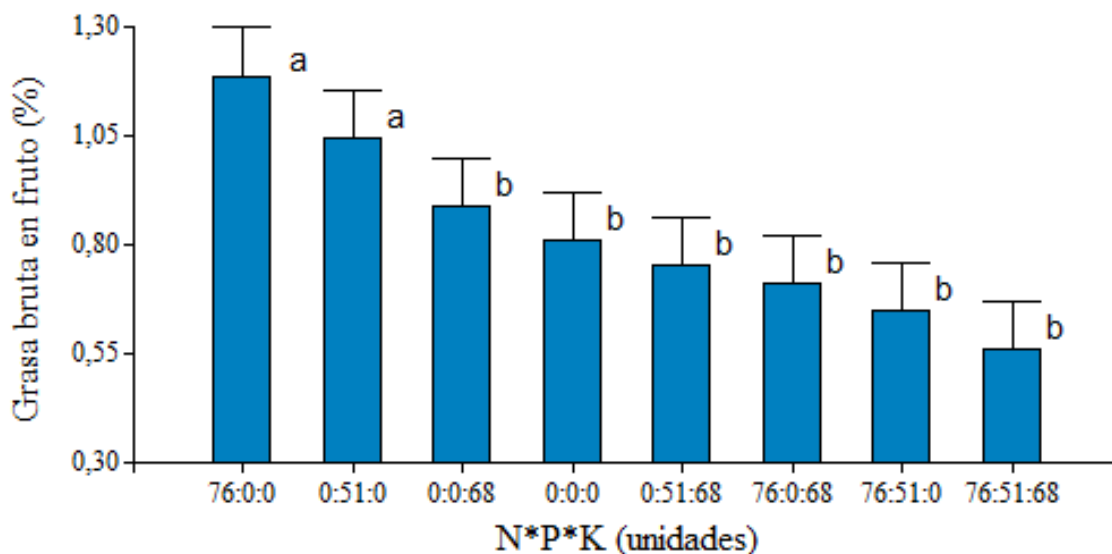


Figura 17. Contenido de grasas en fruto a los 85 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor contenido de grasa bruta en frutos a los 85 días de iniciada la fertilización se obtuvo con aplicaciones de nitrógeno y fósforo con 1.19 y 1.04 % y, el menor contenido con aplicaciones de K, sin ningún elemento (testigo), PK, NK, NP y NPK con 0.89, 0.81, 0.75, 0.71, 0.65 y 0.56 % respectivamente.

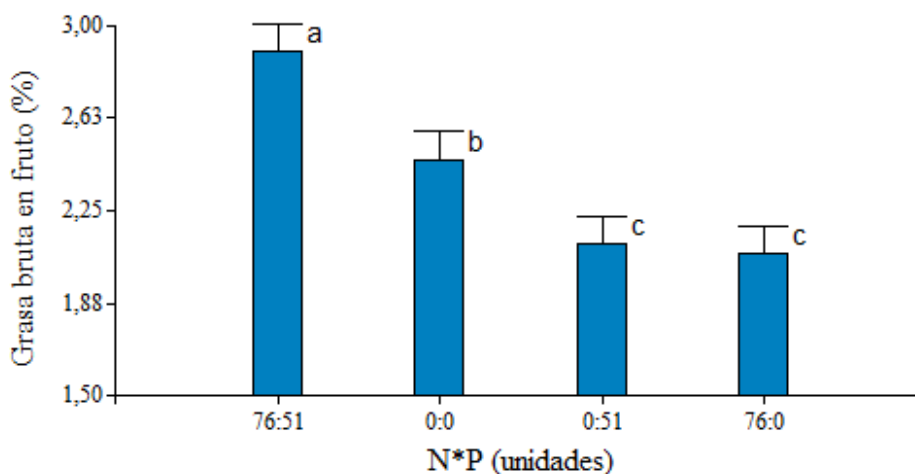


Figura 18. Contenido de grasas en fruto a los 115 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor contenido de grasa en el fruto a los 115 días de iniciada la fertilización se consiguió con aplicaciones conjunta de los elementos nitrógeno y fósforo (NP) con 2.89 % y el menor contenido con la aplicación individual de los elementos Fósforo y nitrógeno con 2.11 y 2.08 % respectivamente.

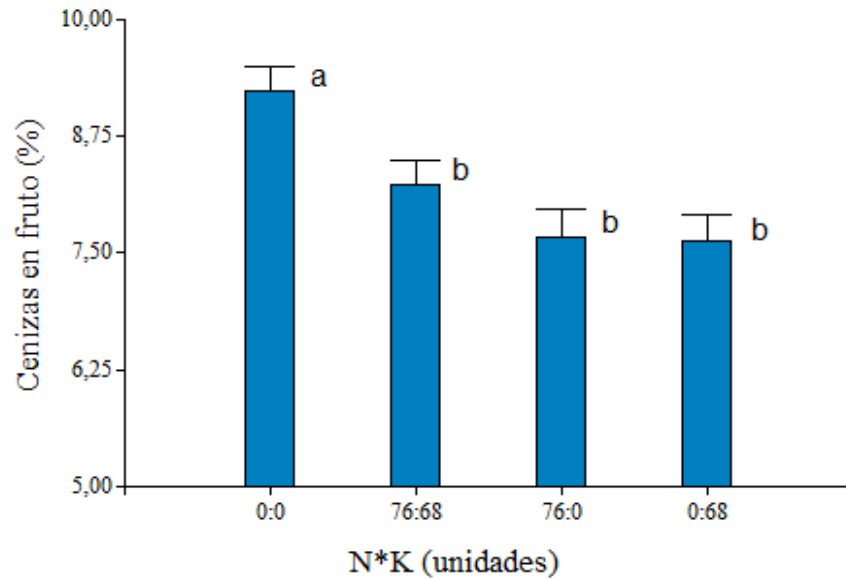


Figura 19. Contenido de cenizas en fruto a los 85 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor contenido de ceniza en el fruto a los 85 días de iniciada la fertilización se alcanzó sin la aplicación de los elementos nitrógeno y potasio con 9.23 % y el menor contenido con la aplicación conjunta de los elementos nitrógeno y potasio (NK), nitrógeno y potasio con 8.23, 7.67 y 7.63 % respectivamente.

4.4 Efecto de la interacción NPK en las propiedades químicas del suelo

Tabla 15. Contenido de macro elemento en el suelo en cultivo de cacao clon CCN 51.

Tratamiento	Factor			N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
	N	P	K					
T1: Testigo	0	0	0	108.0	42.0	0.2	2.97	1.8
T2: N	76	0	0	120.7	32.7	0.1 *	5.80	1.0
T3: P	0	51	0	135.0	318.3 *	0.4	5.34	1.1
T4: K	0	0	68	85.0	40.0	1.1 *	2.52	1.3
T5: NP	76	51	0	179.0	302.0	0.3	6.03 *	1.3 *
T6: NK	76	0	68	148.0	29.3	0.6	3.83	0.9
T7: PK	0	51	68	96.7	369.0	1.2	3.24	1.2
T8: NPK	76	51	68	125.7	377.0	0.9	4.78	1.2

* diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

El contenido de nitrógeno (N) en el suelo no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos a los 115 días de iniciada la fertilización.

El contenido de fósforo (P) en el suelo a los 115 días de iniciada la fertilización expresó que no existen interacciones entre los elementos N, P y K; sin embargo, el elemento fósforo (P) actuó independientes y existieron diferencias estadísticamente significativas entre sus niveles como se muestra en la *figura 20*.

Así mismo, el potasio (K) en el suelo evaluado en el mismo periodo expresó que no existen interacciones entre los elementos N, P y K; sin embargo, los elementos nitrógeno (N) y potasio (K) actúan independientemente y hubo diferencias estadísticamente significativas entre sus niveles como se muestra en la *figura 21 y 22*.

El calcio (Ca) y magnesio (Mg) en el suelo a los 115 días de iniciada las fertilizaciones evidenciaron una interacción doble entre los elementos nitrógeno y fósforo (NP) y diferencias estadísticamente significativas entre sus niveles como se muestra en la *figura 23 y 24*.

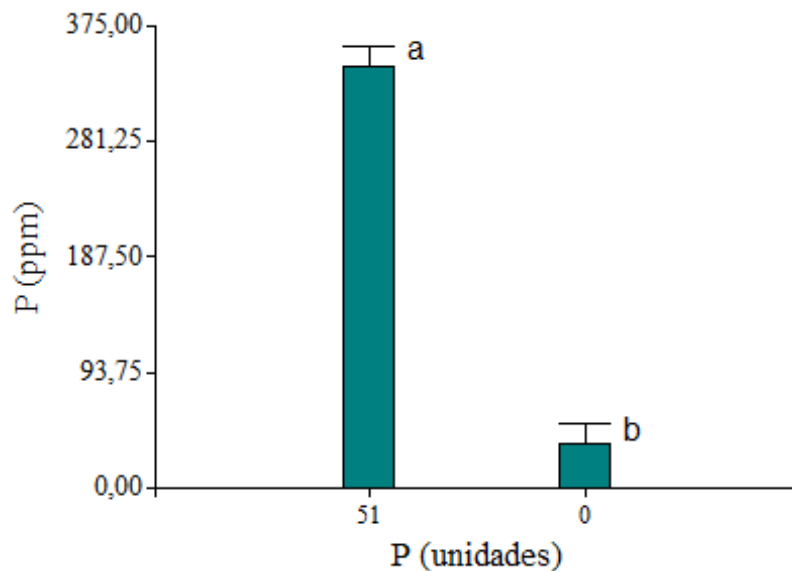


Figura 20. Fósforo en el suelo a los 115 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor contenido de fósforo en el suelo a los 115 días de iniciada la fertilización, se consiguió con la aplicación de fósforo con 341.58 ppm y el menor contenido de 36.0 ppm sin la aplicación de fósforo.

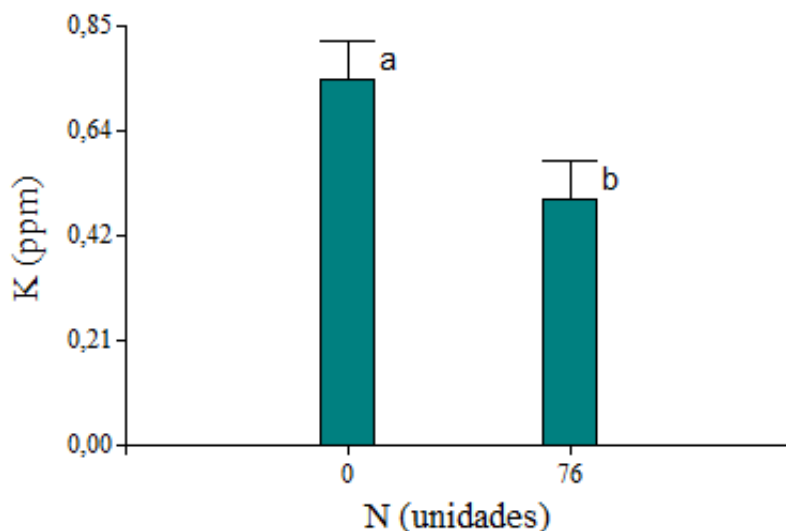


Figura 21. Potasio en el suelo a los 115 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor contenido de potasio en el suelo a 115 días de iniciada la fertilización, se alcanzó sin aplicaciones de nitrógeno con 0.74 ppm y, el menor contenido de 0.50 ppm con la aplicación de nitrógeno.

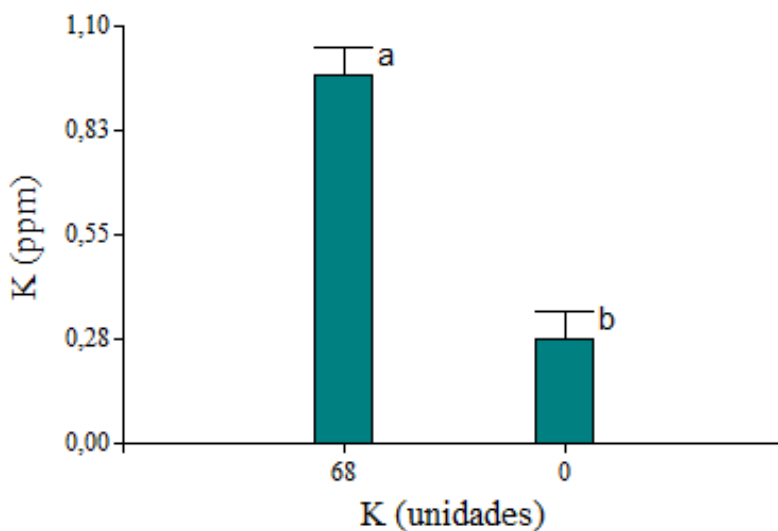


Figura 22. Potasio en el suelo a los 115 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor contenido de potasio en el suelo a los 115 días de iniciada la fertilización, se logró con la aplicación de potasio con 0.97 ppm y, el menor contenido de 0.27 ppm sin la aplicación de potasio.

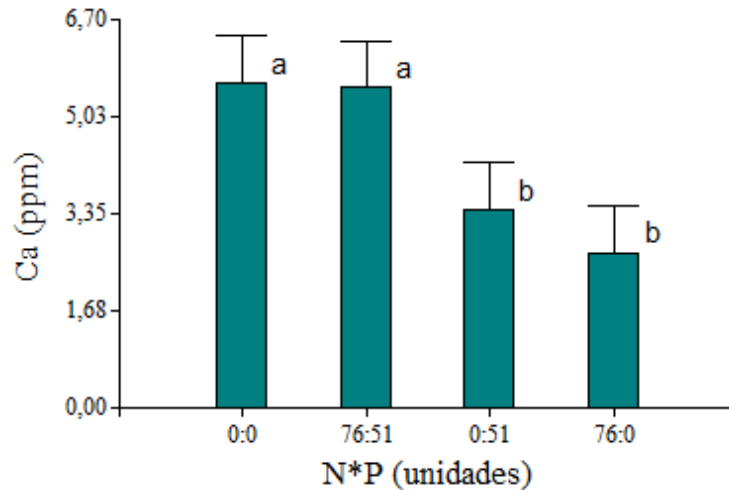


Figura 23. Calcio en el suelo a los 115 días de iniciada de la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor contenido de calcio en el suelo a los 115 días de iniciada la fertilización se obtuvo sin la aplicación de los elementos nitrógeno y fósforo y con la aplicación conjunta de los mismos (NP) con 5.62 y 5.53 ppm y los menores valores con aplicaciones de fósforo y nitrógeno con 3.43 y 2.68 ppm respectivamente.

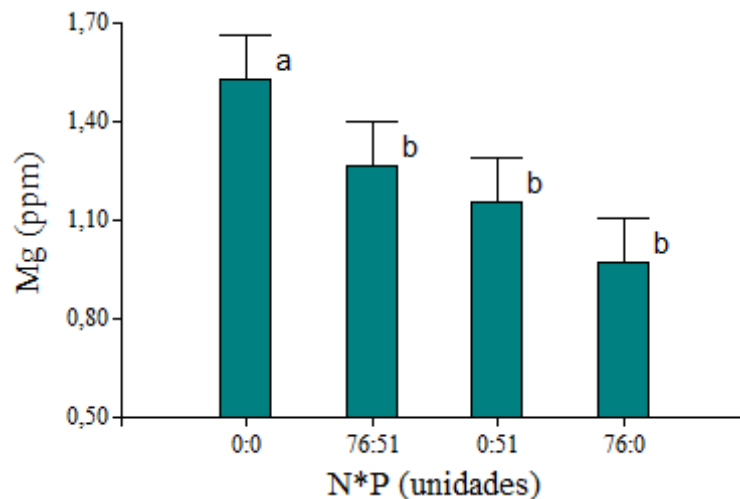


Figura 24. Magnesio en el suelo a los 115 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor contenido magnesio en el fruto a los 115 días de iniciada la fertilización se adquirió sin la aplicación de los elementos nitrógeno y fósforo con 1.53 ppm y, el menor contenido con la aplicación conjunta de los elementos nitrógeno y fósforo (NP), fósforo y nitrógeno con 1.27, 1.16 y 0.97 ppm respectivamente.

4.4.1 pH en el suelo.

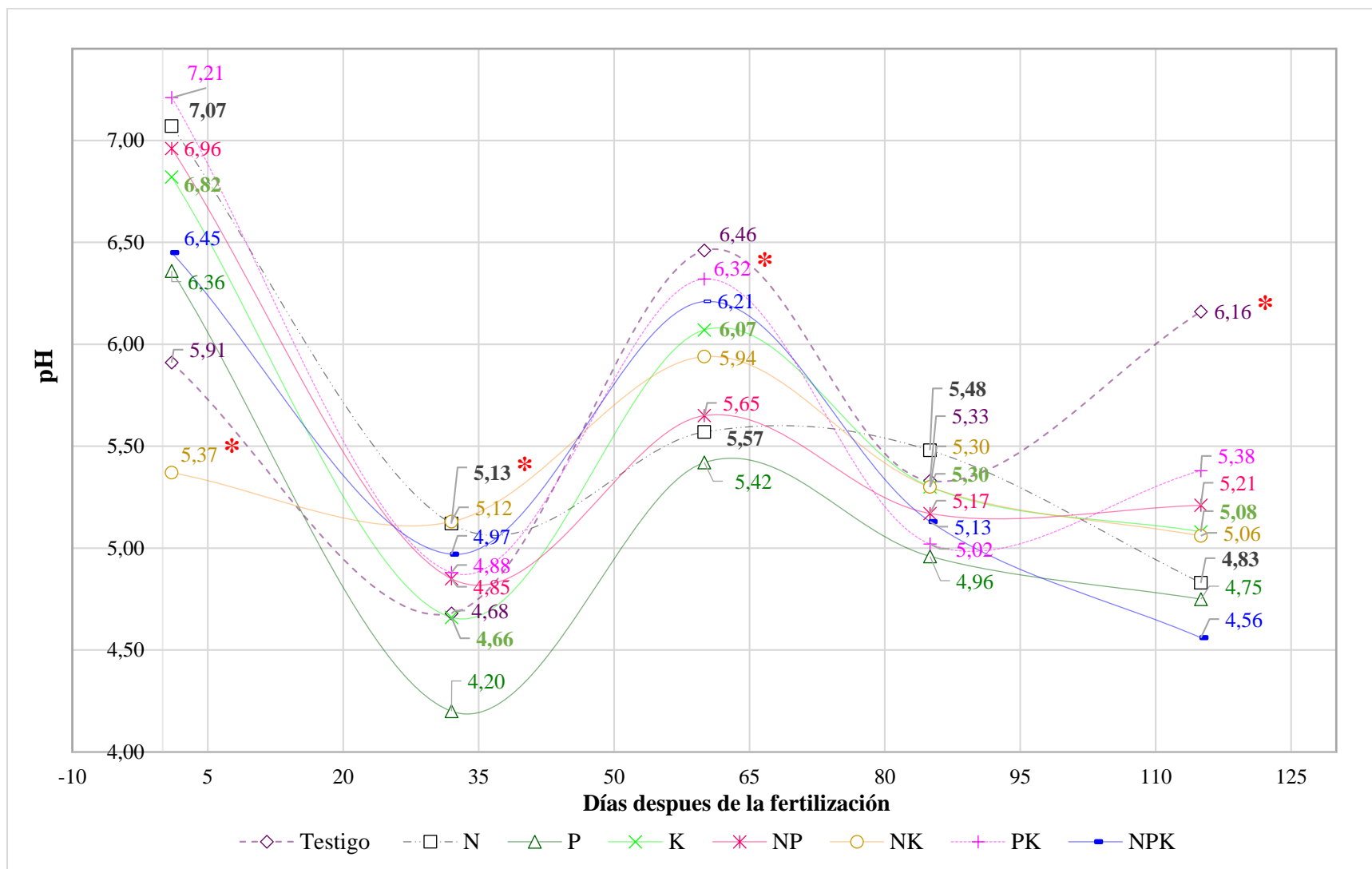


Figura 25. Fluctuación de pH en el suelo con fertilización NPK en cultivo de cacao clon CCN 51.
* diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

La variable pH al inicio de la fertilización habiendo encalado, expresó una interacción doble entre los elementos nitrógeno y potasio (NK) como se muestra en la *figura 26*. A los 32 días de iniciada la fertilización en general el pH tendió a disminuir con respecto a la medida anterior y los valores de pH no expresaron diferencias estadísticas significativas con excepción del elemento nitrógeno (N) como expresa en la *figura 27*. A los 60 días de iniciada la fertilización las medias generales de pH se elevaron y se evidenció diferencias estadísticamente significativas para la interacción fósforo y potasio (PK) como se indica en la *figura 28*. A los 85 días de iniciar la fertilización la tendencia de los valores de pH disminuyeron con respecto a la medida anterior y no se expresaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y a los 115 días después de iniciada la fertilización los valores se mantuvieron similares con respecto a la medida anterior y se expresó una interacción triple entre los elementos nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), mostrando el valor más elevados el testigo con un pH de 6.16, mientras que los menores valores de pH se expresaron con la aplicación de fertilización. En el tratamiento en que se aplicó los tres elementos conjuntamente (NPK) evidenció el menor rango de pH con 4.56 pese a que es estadísticamente similar a los demás tratamientos como se muestra en la *figura 29*.

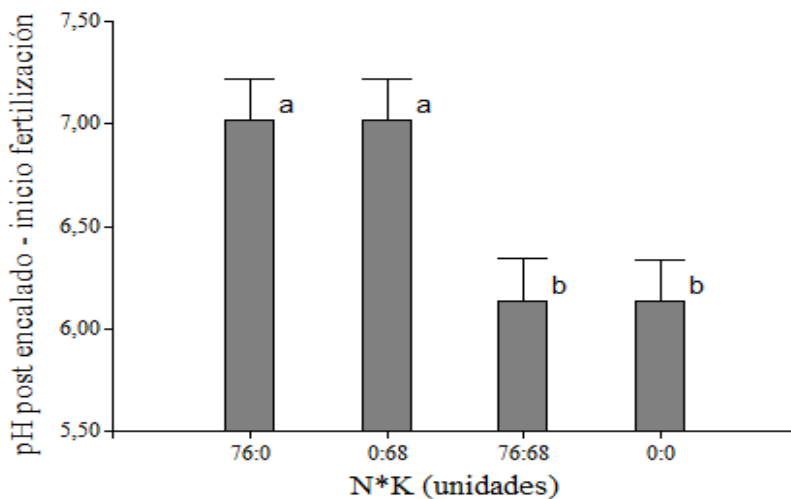


Figura 26. pH en el suelo post encalado – al inicio de la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

Los mayores valores de pH post encalado al inicio de la fertilización se logró con la aplicación de nitrógeno y potasio con 7.02 y 7.02 y, los menores valores de pH de 6.14 y 6.13 con aplicaciones con junta de nitrógeno y potasio y sin la aplicación de los mismos respectivamente.

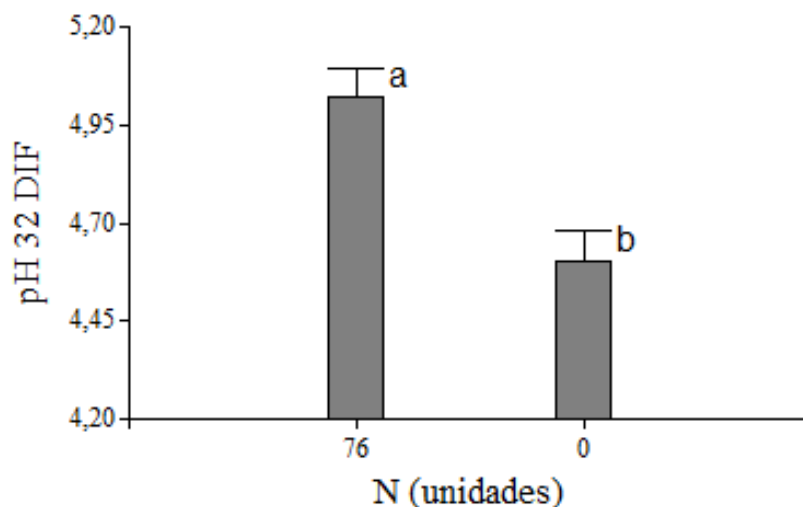


Figura 27. pH en el suelo a los 32 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor valor de pH en el suelo a los 32 días de iniciada la fertilización se alcanzó con la aplicación de nitrógeno con 5.02 y, los menores valores de pH de 4.6 sin la aplicación de nitrógeno.

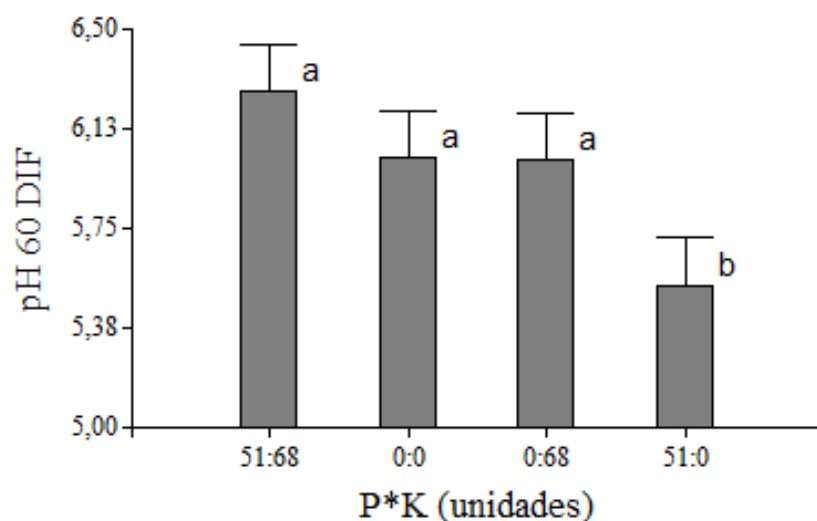


Figura 28. pH en el suelo a los 60 días de iniciada la fertilización con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

Los mayores valores de pH en el suelo a los 60 días de iniciada la fertilización se consiguió con la aplicación conjunta de fósforo y potasio (PK), sin la aplicación de estos elementos y con la aplicación de potasio con 6.26, 6.01 y 6.01 y, el menor valor de pH con 5.53 con la aplicación de fósforo.

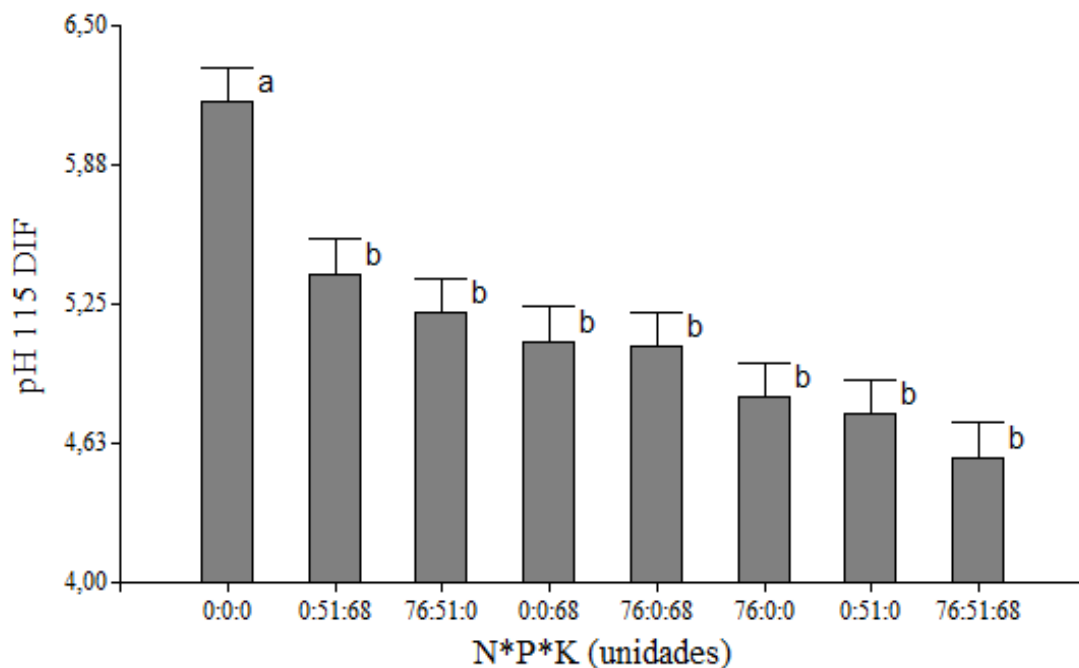


Figura 29. pH en el suelo a los 115 días de iniciada la fertilización (DIF) con NPK en cacao clon CCN 51. Letras diferentes indican diferencia estadística significativa según prueba de DGC ($p < 0.05$).

El mayor valor de pH en el suelo a los 115 días de iniciada la fertilización se logró sin la aplicación de ningún elemento (testigo) con 6.16 y, los menores valores de pH con 5.38, 5.21, 5.08, 5.06, 4.83, 4.75 y 4.56 con fertilización de PK, NP, K, NK, N, P y NPK respectivamente.

4.5 Correlaciones

Se correlacionaron todas las variables evaluadas (Anexos 10) y destacaron las más importantes como se describe a continuación:

Tabla 16. Correlaciones de las variables evaluadas en cacao clon CCN 51.

Var (1)	Var 2	n	Pearson	p-valor
Suma bases en el suelo	pH	24	0,88	< 0.0001
Ca suelo (ppm) suelo	pH	24	0,85	< 0.0001
N suelo (ppm) suelo	pH	24	-0,62	0.0012

Existió una correlación positiva de las variables suma de bases en el suelo y calcio en el suelo con el pH en el suelo con un $r = 0.88$ y 0.85 respectivamente; así mismo, se expresa una correlación negativa entre las variables nitrógeno en el suelo y pH en el suelo con un $r = -0.62$.

5. DISCUSIÓN

En el presente estudio el desarrollo promedio de brote a los 32 días de iniciada la fertilización (DIF), se vio favorecido por aplicaciones de NK, K, NP, PK y testigo, lo que concuerda con FAO (2018) y Barro (2005) quienes indicaron que el nitrógeno y potasio en el cacao, promueven que el brote joven se expanda totalmente; algo que llama la atención es que solo el potasio, como elemento solo contribuye a una mayor longitud de brote, además, en este periodo el brote se comportó como órgano sumidero y demandó de dichos nutrientes para su desarrollo.

El número de metámeros promedio de brote a los 115 DIF aumentó sin la aplicación de fósforo con 9 metámeros por brote, acorde a lo reportado por Appiah et al. (2000) quienes expresaron que aplicaciones de fósforo en estado productivo, son mejor asimiladas por los frutos que por la parte vegetativa en árboles de cacao; así mismo, Fernández (2016) encontró que la aplicación de fósforo en plantas de cacao IMC67 bajo invernadero disminuyó significativamente el desarrollo vegetativo.

La mayor área foliar promedio de brote a los 115 DIF se obtuvo sin la aplicación de nitrógeno con 8630.61 cm², lo que no concuerda con Salgado et al. (2006) y Arguello y Moreno (2014) quienes expresaron que el nitrógeno favorece al desarrollo de órganos vegetativos, además, la falta de nitrógeno en las plantas disminuye el área foliar específica; sin embargo, Salas (2002) expresó que la demanda del nutrimento no determina su movimiento en la planta, sino, la capacidad de absorción que posee la misma; así mismo, Appiah et al. (2000) obtuvieron en algunos experimentos realizados en Ghana, que las plántulas jóvenes respondieron positivamente a la aplicación de nitrógeno, mientras que el cacao maduro no mostró ninguna respuesta. Esto puede deberse a que esta variable fue tomada durante la formación de los frutos, por ende, la planta empieza a utilizar mayor cantidad de recursos en la formación de frutos y semillas reduciendo el crecimiento vegetativo.

La tasa de crecimiento absoluta (TCA) a los 60 y 85 DIF se incrementó sin la aplicación de fósforo con 0.1293 y 0.1673 cm. día⁻¹ respectivamente; a los 115 DIF cuando el brote ya no es sumidero y es capaz de abastecerse con los fotoasimilados de las hojas maduras, se expresó una TCA promedio de 0.5873 cm. día⁻¹ lo que concuerda con Beer et al. (2009), quienes enunciaron que el fósforo equilibra la absorción del nitrógeno por la planta, sobre todo en época de fructificación en

cacao regulando el desarrollo vegetativo de la planta. Esto ocurre ya que de la demanda nutricional de la planta se concentra en el crecimiento de órganos productivos, siendo el fósforo y nitrógeno los principales componentes estructurales de las semillas de cacao. Respecto a la tasa de crecimiento relativa (TCR), a los 85 y 115 DIF los mayores valores se alcanzaron con la aplicación de nitrógeno con 0.0877 y 0.1150 mm. cm⁻¹. día⁻¹; sin embargo, en el cultivo de cacao los estudios de TCA y TCR no especifican valores exactos y a futuro se requiere de mayores investigaciones que especifiquen rangos de crecimiento en diferentes estados fenológicos.

En cuanto al crecimiento de estructuras productivas los frutos alcanzaron entre 22.5 y 24.6 cm sin llegar a la madurez en el estadio 76 a los 115 DIF, valores por encima de los reportados por Pérez y Freile (2017) quienes en clones CCN 51 registraron longitudes de 24 cm para la mazorca en la fase de madurez fisiológica, en el mismo periodo su incremento de peso fue de entre 439.1 y 558.54 g faltando desarrollarse las semillas y la placenta de la mazorca, peso inferior al encontrado por Pérez y Freile (2017) quienes reportaron que la mazorca al completar su madurez fisiológica alcanzó 810 g. Los frutos de cacao expresaron la mayor longitud y peso de fruto con aplicaciones ya sea de fósforo o potasio lo que contrasta con Almeida y Valle (2007) e Imas (2018) quienes expresaron que el potasio es conocido como el elemento de calidad para la producción agrícola y contribuye en el aumento de tamaño de frutos; así mismo, coincide Pellerin et al. (2000) y Snoeck et al. (2010) quienes demostraron que la fertilización con fósforo aumenta el crecimiento y el rendimiento del cacao en casi todos los suelos de las regiones productoras.

Los contenidos bromatológicos en el brote a 115 DIF, la materia seca parcial se vio favorecida por aplicaciones de fósforo con 42.65 %, así mismo, el mayor contenido de fibra bruta de brote a los 115 días de iniciar la fertilización se alcanzó con aplicaciones de PK, NPK, NK y testigo lo que concordaría en parte con Rodríguez (2003) y Koblitz (2011) quienes indicaron, que el fósforo de manera independiente favorece en la producción de biomasa en el cultivo de cacao y contribuye a diferenciación de las células estructurales y para el desarrollo de los tejidos, sin embargo llama la atención la interacción con el potasio, la interacción triple de los elementos NPK y la interacción del NK ya que esta última a nivel morfológico el N como elemento solo es contra productivo en el desarrollo vegetativo sobre todo en época productiva; además, sin la aplicación de fertilización se obtiene altos niveles de fibra en los brotes.

El porcentaje de cenizas en el brote a los 115 días de iniciar la fertilización, se alcanzó sin la de nitrógeno con 11.45 % lo que coincide con Fallah y Tadayon (2010), quienes manifestaron que el aumento de la dosis de fertilización nitrogenada puede disminuir significativamente la eficiencia de uso, absorción y utilización del nitrógeno. Esto se debe a que en un inicio el suelo contenía niveles medios de nitrógeno y al suplementar con fertilizantes incidió a nivel foliar. Sin embargo, no se encontraron referencias claras acerca de los contenidos bromatológicos de brotes de cacao para contrastar estos valores obtenidos en la investigación.

Debe indicarse que las muestras para la materia seca parcial, grasas y cenizas en fruto, fueron tomadas en el estadio 72 cuando el fruto tuvo el 20 % de su tamaño final, en el cual el fruto aun no desarrollaba semillas ni pulpa si no principalmente cáscara lo cual corrobora con Alexander (2015) quien expresó que los primeros 80 a 120 días el porcentaje de la cascara es de alrededor del 80 al 60 % es así que, el mayor contenido de grasa en fruto a los 85 DIF se obtuvo con aplicaciones tanto de nitrógeno como de fósforo con 1,19 % respectivamente y a los 115 días con aplicaciones conjuntas de los dos elemento (NP) con 2.89 % lo que concuerda con Vriesmann et al. (2011) quienes enunciaron que el contenido de grasa en cáscara de cacao va de 1.5 %. Así mismo, los contenidos de cenizas en fruto a 85 DIF sin aplicaciones de nitrógeno y potasio con 9.23 %, este valor supera los reportados por Vriesmann et al. (2011) y Vera et al. (2014) quienes manifestaron, que el contenido de cenizas en cacao es de 6.70 % y de 2,79 % para el clon CCN 51. Esto puede deberse a la fertilización suplementada al cultivo y al estadio del fruto en el que fue tomado.

El contenido de macro elementos en el suelo para el nitrógeno no expresó ninguna diferencia estadística significativa lo que coincide con Bertsch (2005) y van Vliet et al. (2015) quienes expresaron que las concentraciones de nitrógeno en el suelo pueden fluctuar rápidamente, lo que dificulta la derivación de una prueba de suelo para indicar la deficiencia o variaciones de nitrógeno. Esto incidió en la baja absorción del elemento en la parte aérea de la planta, ya las aplicaciones de nitrógeno se han almacenado el suelo; así mismo, Ribeiro et al. (2008), encontró que el aumento de la eficiencia de la absorción de N disminuyó la eficiencia en el uso del N tanto a nivel de raíz como de parte aérea.

En cuanto al fósforo, los tratamientos en los que se aplicó fósforo expresaron los mayores niveles lo que contrasta con Jadin y Snoeck (1985) y Sattari et al. (2012) quienes afirman que el

agotamiento del fósforo disponible en suelos cacaoteros es relativamente más sustancial en comparación de los otros elementos por lo que se deben hacer aplicaciones constantes del mismo.

Las aplicaciones de potasio incrementaron su contenido en el suelo lo que concuerda con Hartemink y Donald (2005) y Puentes et al. (2014) quienes indicaron que las plantaciones adultas de cacao grandes concentraciones de potasio en el suelo conducen a una absorción mayor del mismo, además, la hojarasca contiene cantidades de potasio altamente soluble. El lavado de la lluvia y la rápida liberación de potasio de la hojarasca pudieron haber incidido en los niveles de potasio encontrados.

Sin embargo, los menores contenidos de potasio en el suelo se obtuvieron con aplicaciones de nitrógeno, esto coincide con lo reportado por Szczerba et al. (2006) y Fernández et al. (2016) quienes expresaron que el nitrógeno como amonio influye en la absorción y acumulación de potasio, posiblemente por que compite con él para ingresar a la célula, así mismo, en cacao las aplicaciones de nitrógeno afectan la absorción de potasio. Algo que hay que considerar, es que la aplicación de nitrógeno es contra productiva en la disponibilidad de este elemento, por lo tanto, su aplicación debe moderarse sobre todo durante la etapa productiva del cultivo en la formación y desarrollo del fruto.

El calcio y Magnesio en el suelo alcanzaron los mayores valores sin aplicaciones de nitrógeno y fósforo lo que no concuerda con Soria (2008) quien expresó que el fósforo del suelo al ser absorbido por la planta tiende a activar la absorción del magnesio para que participe en la fase de floración, por lo tanto, un exceso de fósforo puede incrementar la absorción del magnesio; sin embargo, Jones (2012) indicó que la relación elemental de 3 a 1 entre N y P se considera crítica en el suelo, además, la nutrición con amonio puede crear una deficiencia de Ca al reducir su absorción, así también, es importante mantener el equilibrio de la relación N/Mg, ya que el magnesio en el suelo puede verse afectado; así mismo Jadin y Snoeck (1985) quienes mencionaron que el magnesio está ligado a los contenidos de P en el suelo, ya que algunos fertilizantes P son ricos en CaO y podrían crear una proporción catiónica indeseable en la relación Ca/Mg.

El pH del cultivo de cacao en el que se aplicó el ensayo fue de 4.7 debajo de los requeridos reportado por Vázquez et al. (2010) y Dostert et al. (2011) quienes mencionaron que las plantas de cacao toleran un pH de 5.0 a 7.5, por debajo de estos niveles se debe realizar un encalado del cultivo. Posterior a la práctica de encalado, el pH en general subió a valores medios de 6.5 incrementándose en 1.8 unidades, lo que indica que las condiciones de suelo de la zona permiten esta práctica para corregir valores de pH. Como lo demuestran Rosas et al. (2017) y Caire et al. (2015) quienes aplicando 7 000 kg ha⁻¹ de cal, en dos meses se lograron cambiar el pH de 4.36 a 6.0, provocando un incremento de la disponibilidad de Ca, Mg, P y Zn, y una disminución de los elementos Al, Fe y Mn en el suelo.

Las aplicaciones de nitrógeno al inicio de la fertilización post encalado y a los 32 días de iniciada las fertilizaciones expresaron los mayores pH de 7.2 y 5.02 lo que concuerda con Barber (1995) quien enunció que La forma en que la planta toma el nitrógeno (nitrato o amonio) repercute en los niveles de pH, si el nitrógeno se absorbe como amonio se segregan protones disminuyendo el pH; por el contrario, si es el nitrato el que es absorbido, se desplazan mayor cantidad de aniones incrementando el pH.

Los mayores valores de pH en el suelo a los 60 días de iniciada la fertilización se consiguió con la aplicación conjunta de fósforo y potasio con 6.26 unidades de pH esto concuerda con Millán et al. (2010) y Rozas et al (2017) quienes indicaron que la no reposición de los nutrientes extraídos del suelo por los cultivos principalmente de potasio, calcio y magnesio, que son nutrientes que no tienen una reposición natural alteran negativamente las propiedades químicas del suelo, así como el pH. A los 115 días de iniciada la fertilización, el mayor valor de pH se obtuvo sin la aplicación de fertilizantes (testigo) y los menores valores con la aplicación de cualquiera de los fertilizantes y sus interacciones, lo que concuerda con Sainz et al. (2011) y Bernal et al. (2014) quienes indicaron que el uso excesivo de fertilizantes contribuye a las alteraciones y bajos niveles de pH.

La fluctuación del pH durante la investigación expresó variaciones continuas, post encalado al inicio de la fertilización alcanzó una media de 6.5, sin embargo, a los 32 días de iniciar la fertilización se expresó una media de 4.8 similar al pH inicial del cultivo de 4.7 lo que coincide con Zapata (2004) quien indicó que el poder de neutralización y reacción de una cal se expresa en forma integral a los tres meses. A los 60 días de iniciada la fertilización el pH aumenta con respecto

a la medida anterior e inicial (4.7) con una media de 6.0, lo que contrasta con Quintero et al. (2013) y Rosas et al. (2017) quienes encontraron que una plantación de cacao post encalado a los dos meses de aplicación el pH se incrementó aproximadamente 1,7 puntos. Las alteraciones de pH en el suelo al aplicar cal pudieron haber sido inducidas por las condiciones propias del mismo suelo, el cual influye en la cantidad de cal a aplicarse y el tiempo que dura dicho efecto. Rosas et al (2017) reporta que la pérdida de bases en el suelo es menor, cuando los contenidos de arcilla y materia orgánica son altos; sin embargo, el suelo en el que se desarrolló la investigación es arcillo y los contenidos de materia orgánica altos (4 %), peso a ello se observó que la curva de pH del suelo evidenció constantes cambios.

A los 85 y 115 días de iniciada la fertilización se obtuvo medias similares de 5.2 y 5.1 respectivamente con un ligero descenso con respecto a la medida anterior, este descenso de pH en el suelo puede deberse a las altas precipitaciones de la localidad y aplicación de fertilizantes al suelo lo que coincide con lo reportado Zapata (2004), Bernal et al. (2014) y Prochnow, (2014) quienes expresaron que el proceso de acidificación del suelo tiene una tendencia natural en regiones tropicales, este se origina por el material parental ácido, por excesiva pluviosidad y aplicaciones constantes de fertilizantes; sin embargo, Fernández (2016) indicó que el los cambios en el pH del suelo son menores cuando el contenido de arcilla y materia orgánica son altos en el suelo.

Así mismo el pH del suelo, se correlaciona positivamente con la suma de bases del suelo y el contenido de calcio en el suelo lo que coincide con Ogunlade et al. (2009) y Osorno (2012) quienes indican que la alteración o lixiviación de bases cambiables incrementan la acidez en el suelo, además, Díaz (2016) y Najafi y Jalali (2016) expresan que el pH en el suelo está relacionado íntimamente con el calcio y aplicaciones cálcicas tienden a elevar el pH en el suelo y a mejorar las relaciones existentes entre los elementos K, Ca y Mg. Sin embargo, el nitrógeno en el suelo se correlaciona negativamente con el mismo, según Muller (2003) y Osorno (2012) esto se debe a que las dos formas principales de absorción del nitrógeno inorgánico del suelo son: amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), si el nitrógeno se absorbe como amonio se segregan protones disminuyendo el pH.

6. CONCLUSIONES

- En el presente estudio se encontró que aplicaciones de nitrógeno en el cultivo de cacao clon CCN 51, disminuyeron el área foliar a 6850.04 cm², el porcentaje de cenizas en el fruto, afectó los contenidos en el suelo de potasio en 0.50 ppm, calcio en 2.68 ppm y magnesio en 1.16 ppm, durante el inicio de etapa productiva del cultivo; sin embargo, contribuyó a una mayor tasa de crecimiento relativa del brote y mejoró los parámetros de calidad como el porcentaje de grasa en el fruto.
- La fertilización de fósforo, de efecto independiente, incrementó la longitud del fruto, peso del fruto y el porcentaje de grasa en el fruto; así también, el contenido de fósforo en el suelo en 341.58 ppm, pero, afectó los contenidos de calcio en 3.43 ppm y magnesio 1.27 ppm y a nivel vegetativo disminuyó el número de metámeros por brote y la Tasa de crecimiento absoluta del brote.
- El elemento potasio contribuyó al desarrollo promedio del brote a 32 días de iniciada la fertilización, incrementó la longitud del fruto, peso del fruto, mejoró los contenidos de potasio en el suelo en 0.97 ppm y la disponibilidad en el suelo de calcio en 5.62 ppm y magnesio en 1.53 ppm.
- En cuanto a las interacciones dobles de NP y PK, la primera aportó aun mayor porcentaje de grasas en el fruto, mejoró los contenidos calcio en 5.53 ppm y el fósforo en el suelo, mientras que la segunda incrementó la tasa de crecimiento absoluta del brote y favoreció los contenidos de fósforo, potasio en el suelo.
- La interacción triple NPK favoreció los contenidos de fósforo en el suelo, mejoró los contenidos bromatológicos del brote; sin embargo, la fertilización con N, P y K de forma independiente o en interacción incrementó la acidificación del suelo, siendo la interacción triple NPK la que presentó un pH de 4.56 inferior al pH inicial del cultivo 4.7, pese a ser estadísticamente similar a las demás fertilizaciones.
- La interpretación de las interacciones de los elementos NPK son de complejo análisis por lo que se requiere mayor tiempo de investigación con la finalidad de esclarecer y comprender sus implicaciones.

7. RECOMENDACIONES

- Continuar la investigación hasta que los frutos del cultivo de cacao clon CCN 51 llegue a su madurez fisiológica para lograr identificar si existen o no las interacciones de los elementos NPK y su efecto es el rendimiento del mismo.
- Realizar estudio acerca de la TCA y TCR en frutos y brotes de cacao en diferentes estadios del cultivo de cacao y su respuesta a la fertilización NPK.
- Analizar los contenidos bromatológicos a nivel foliar y de frutos en diferentes estadios del cultivo de cacao clon CCN 51 con la finalidad de determinar su distribución en las diferentes etapas y relación con los macro elementos NPK.
- Profundizar en el estudio del comportamiento fisiológico en cuanto a la eficiencia fotosintética del cultivo de cacao con la aplicación de diferentes dosis de NPK.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Adams F. (1980). Interactions of phosphorus with other elements in soils and in plants. In: Khasawuch F., Sample E., Kamprath E. (eds.). The role of phosphorus in agriculture. Madison: ASA, CSSA, SSSA, pp. 893.
- Ahenkorah Y., Halm B., Appiah M., Akrofi G. y Yirenkyi J. (1987). Twenty years' results from a shade and fertilizer trial on Amazon cocoa (*Theobroma cacao*) in Ghana. *Exp. Agric*, vol. 23, pp. 31-39
- Alexander P. (2015). Características de calidad del cacao e Colombia. Catálogo de 26 cultivares. (Primera Edición ed.). Bucaramanga- Colombia: División de publicaciones UIS.
- Almeida A. y Valle R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. *Braz. J. Plant Physiol*, vol. 4, no. 19, pp. 425-448.
- Anda M. Shamsuddin J. y Fauziah C. (2013). Increasing negative charge and nutrient contents of a highly weathered soil using basalt and rice husk to promote cocoa growth under field conditions. *Soil and Tillage Research*, vol. 1, no. 132, pp. 1-11.
- ANECACAO. (2017). Sabor Arriba. *Revista Especializada en CACAO*, vol. 12, no. 1, pp. 26-43.
- Appiah M., Ofori, K. y Afrifa, A. (2000). Evaluation of fertilizer application on some peasant cocoa farms in Ghana, *Ghana Journal of Agricultural Science*, vol. 33, no. 1, pp. 183-190.
- Arguello A. y Moreno L. (2014). Evaluación del potencial biofertilizante de bacterias diazótrofes aisladas de suelos con cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Acta Agronómica*, 63 (3): 238-245.
- Arvelo M., González D., Maroto S., Delgado T. y Montoya P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao: practicas latinoamericanas. IICA. San José, Costa Rica, pp. 165
- Arvelo M., González D., Maroto S., Delgado T., Montoya P. (2017). Manual técnico del cultivo de cacao: practicas latinoamericanas. Primera edición. San José, Costa Rica: IICA. 165p.

- Báez N. (2008). Manejo de la arquitectura aérea del árbol de cacao “Poda de cono natural”. [FEDECACAO]. San Vicente, Santander, Colombia. Recuperado en: <https://studylib.es/doc/5106473/manejo-de-la-arquitectura-aerea-del-arbol-de-cacao-%E2%80%9Cpoda-...> Consultado el: 07 de diciembre de 2018.
- Barber S. (1995) Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. 2nd Edition. New York: Wiley, pp. 414.
- Barro N. (2005). Biochemical and physiological aspects of leaf development in cocoa (*Theobroma cacao*). III. Changes in soluble sugar content and sucrose synthesizing capacity. New Phytologist Trust, 75: 519-524.
- Basak B. y Biswak D. (2016). Potentiality of Indian rock phosphate as liming material in acid soil. *Geoderma*, vol. 1, no. 263, pp. 104-109.
- Bastías R., Diez F. y Finot V. (2014). Absolute and relative growth rates as indicators of fruit development phases in sweet cherry (*Prunus avium*). *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia*, vol. 2, no. 30, pp. 89-98.
- Beer J., Bonnemann A., Chavez W., Fassbender H., Imbach A. y Martel I. (2009). Modelling agroforestry systems of cacao (*Theobroma cacao*) with laurel (*Cordia alliodora*) or poro (*Erythrina poeppigiana*) in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, vol. 12, no. 1, pp. 229-249.
- Bernal V., Fageria N. y Carrera P. (2014). Soil aluminum effects on growth and nutrition of cacao. *Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 5, no. 51, pp. 709-713.
- Bertsch F. (2005). Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. *Informaciones agronómicas*, vol. 7, no. 57, pp. 1-11.
- Boza E., Motamayor J., Amores F., Cedeño S., Tondo C., Livingstone D., et al. (2014). Genetic characterization of the cacao cultivar CCN 51: Its impact and significance on global cacao improvement and production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, vol. 2, no.139, pp. 219-229

- Bridgemohan P., Mohamed M., Mohammed M., Singh K., Shamir R. (2016). The Application of BBCH Scale for Codification and Illustrations of the Floral Stages of Caribbean Fine Cacao *Theobroma cacao* L. *Journal of Agricultural Science and Technology*, vol. 1, no. 6, pp. 1-10.
- Britto G. y Kronsucker L. (2008). Studies on the chemical composition of isolated soil solution and the cation absorption by plants. *Plant and Soil*, vol. 3, no. 37, pp. 589-607.
- Caire E., Haliski A., Bini A., y Scharr, D. (2015). Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil. *European Journal of Agronomy*, vol. 1, no. 66, pp. 41-53.
- Castro H. y Munevar O. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, vol. 2, no. 16, pp. 409-416.
- Da Costa M. y Sena S. (2007). Calagem e adubação potássica na produção do cupuaçuzeiro em sistemas agroflorestais da Amazônia Ocidental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 7, no. 42, pp. 957-963.
- Di Rienzo J., Casanoves F., Balzarini M., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C. InfoStat versión (2018). Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Díaz P. (2016). Evaluación edafoclimática de las tierras del trópico bajo colombiano para el cultivo de cacao. Corpoica, Produmedios, Mosquera, Colombia, pp. 191.
- Dostert N., Roque J., Cano A., La Torre M., Weigend M. (2011). Hoja botánica: Cacao. Primera edición. Lima, Perú: Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C, pp. 19.
- Fallah S. y Tadayon S. (2010). Effects of shade-tree species and spacing on soil and leaf nutrient concentrations in cocoa plantations at 8 years after establishment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol.1, no. 246, pp. 134–143.

- FAOSTAT. (2018). Producción/Rendimiento de Cacao, en grano en Mundo + (Total) 2017. Recuperado en: Consultado 20/06/2019.
- Fernández L. (2016). Dinámica nutricional del cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización con N, P y K en vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, vol. 10, no. 2, pp. 367-380.
- Flores M. (2017). La protección jurídica para el cacao fino y de aroma del Ecuador. Universidad Andina Simón Bolívar. Editorial Abya-Yala. Serie Magiste, vol. 76, no. 1, pp. 159.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2018). Aplicaciones de fertilidad mineral y sus efectos en cacao (*Theobroma cacao* L). San José, Costa rica, vol.1 no. 2, pp.19. consultado: 06/05/2019. Disponible en: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ2012066703>
- Furcal B. (2017). Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). San Carlos, Costa Rica. *Agron. Mesoam*, vol. 28, no. 1, pp. 113-129. ISSN 2215-3608.
- García A. (1993). Sintomatología de las deficiencias nutricionales en cacao. Primera edición. Bogotá: ICA. 12 p. (Boletín técnico)
- Gattward J., Almeida A., Souza J., Gomes F. y Kronzucker H. (2012). Sodium–potassium synergism in *Theobroma cacao*: stimulation of photosynthesis, water-use efficiency and mineral nutrition. *Physiologia plantarum*, vol. 146, no. 1, pp. 350-362.
- Gockowski J., Afari V., Sarpong D., Osei Y. y Agyeman N. (2013) Improving the productivity and income of Ghanaian cocoa farmers while maintaining environmental services: what role for certification. *International Journal of Agricultural Sustainability*, vol. 11, no. 1, pp. 331-346.
- Gómez J. (2017). Tesis Masterado. Diseño de plan de producción de cacao CCN-51 sector Las Piedras - Los Ríos para exportar. Universidad de Guayaquil, Facultad de ciencias Administrativas. Guayaquil, Ecuador. pp. 16 – 20.

- Groeneveld J., Tschardt T., Moser G. y Clough Y. (2010). Experimental evidence for stronger cacao yield limitation by pollination than by plant resources. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, vol. 12, no. 1, pp. 183-191.
- Haque M., Saleque M., Shah A., Biswas J. y Joo Kim P. (2015). Long-Term Effects of Sulfur and Zinc Fertilization on Rice Productivity and Nutrient Efficiency in Double Rice Cropping Paddy in Bangladesh, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 22, no. 46, pp. 2877-2887. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2015.1104333>
- Hartemink A. y Donald L. (2005). Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: A review. *Advances in Agronomy*, vol. 1, no. 1, pp. 227-253.
- Imas A. (2018). Caracterización morfológica del cacao (*Theobroma cacao* L.) en la cuenca del río Nangaritza provincia de Zamora Chinchipe. Tesis: Ingeniero en Administración y Producción Agropecuaria. Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja, pp. 155.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2012). Manejo fitosanitario del cultivo del cacao. Bogotá, Colombia: Línea agrícola.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), (2017). Manual técnico del cultivo de cacao: prácticas latinoamericanas / Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica, pp. 165.
- Jadin P., Snoeck J. (1985) La méthode du diagnostic sol pour calculer les besoins en engrais des cacaoyers. *Café Cacao Thé*, vol. 4, no. 29, pp. 255-272.
- Jones J. (2012). *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. 2nd ed. CRC Press, Boca Raton, Francia, pp. 30
- Koblitz O. (2011). Increasing negative charge and nutrient contents of a highly weathered soil using basalt and rice husk to promote cocoa growth under field conditions. *Soil and Tillage Research*, vol 1, no. 11, pp. 132.
- Lema J. (2012). Tesis maestra. Centro de acopio de cacao CCN 51 en Carrizal ciudad de Milagro. Escuela superior politécnica del Ecuador, ESPOL. Guayaquil, Ecuador, pp. 76

- Loayza F. y Zabala J. (2018). Tesis. Análisis de la cadena productiva del cacao ecuatoriano para el diseño de una política pública que fomente la productividad y la eficiencia de la producción cacaotera periodo 2007-2016. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. pp. 109.
- López O., Ramírez S., Espinosa S., Moreno J., Ruiz C., Villarreal J. y Ruiz L. (2015) Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao. Revista digital de la Universidad Autónoma de Chiapas, México, vol. 4, no. 7, pp. 35.
- Marschner H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. 2 editions. London: Academic Press, pp. 889.
- Mejía D. (2000). Nutrient Interactions in crop plants. J. Plant Nutr, vol. 8, no. 24, pp. 1269-1290
- Millán L., Serrano P. y Biehl B. (2010). Photosynthetic characteristics during development of leaves from *Theobroma cacao* L. Physiology Plant., pp. 889.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2018) Boletín Situacional Cacao. Recuperado el 11/06/2018 en: http://sipa.agricultura.gob.ec/biblioteca/boletines_situacionales/2016/boletin_situacional_cacao_%202016.pdf.
- Morandi B., M. Zibordi P. Losciale L. Manfredi E. y Pierpaoli L. (2011). Shading decreases the growth rate of young apple fruit by reducing their phloem import. Sci. Hortic. Vol. 3, no. 127, pp. 347-352
- Murrell T. (2003). Transformaciones de los nutrientes en el suelo. Informaciones agronómicas, vol. 1, no. 49, pp. 2-4.
- Najafi L. y Jalali E. (2016). Relationships among pH aluminum solubility and aluminum complexation with organic matter in acid forest soils of the Northeastern United States. Geoderma, vol 1, no. 271, pp. 234-242.

- Ogunlade M., Oluyole K., Aikpokpodion P. (2009). An Evaluation of the level of fertilizer utilization for cocoa production in Nigeria. *Journal of Human Ecology*, vol. 3, no. 25, pp. 175-178.
- Osorno H. (2012). Determinación de los requerimientos de cal. *Suelos ecuatoriales*, vol. 1, no.41, pp. 29-35.
- Oyewole O., Ajayi O. y Rotimi I. (2012). Growth of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings on old cocoa soils amended with organic and inorganic fertilizers. *Afr. J. Agric. Res*, vol.7, no. 24, pp. 3604-3608.
- Pabón M., Herrera L. y Sepúlveda W. (2016) Socioeconomic and productive characterization of cocoa crops in the Santander Department (Colombia). *Revista Mexicana de Agro negocios*, vol. 20, no. 1, pp. 283–294.
- Pellerin M., Serrano P. y Biehl B. (2000). Photosynthetic characteristics during development of leaves from *Theobroma cacao* L. *Physiology Plant*. 853 (A): 105-599.
- Prochnow E. (2014). Fertilización Foliar de cultivos Frutícolas. En: *Memoria Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones*. Editores: Meléndez G., Molina E. Costa Rica, pp. 152
- Puentes Y., Menjivar J y Ortíz A. (2016). Eficiencia fisiológica de uso de NPK en clones autoincompatible y autocompatible de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 7, no. 1, pp. 17 – 24. ISSN 2145-6453.
- Puentes Y., Menjivar J. y Aranzazu F. (2014). Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agron*, vol. 63, no. 1, pp. 145-152.
- Quintero C., Prats F., Zamero M., Arévalo E., Blas N. y Boschetti G. (2011). Absorción de nitrógeno y rendimiento de arroz con diferentes formas de nitrógeno aplicado previo al riego. *Ciencia del Suelo (Argentina)*, vol. 2, no. 29, pp. 233-239
- Ribeiro Q., da Silva J., Aitken W., Machado R. y Baligar V. (2008). nitrogen use efficiency in cacao genotypes. *J. Plant Nutr.* Vol. 2, no. 31, pp. 239-249.

- Rodríguez A., Guedes de Carvalho J. y Melo P. (2003). Efeito do fósforo e do zinco sobre o crescimento de mudasdo cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum.). *Cerne*, vol. 2, no. 9, pp. 221-230.
- Rosas G., Puentes Y., Menjivar J. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol. 3, no. 18, pp. 529-541.
- Rozas R., Álvarez D., Huera T., Changoluisa D., Bravo C. (2011). La fertilidad del suelo como un servicio eco sistémico en cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en la provincia de Napo. En: Libro de memorias: Simposio internacional sobre Manejo sostenible de tierras y seguridad alimentaria. Alemán R., Reyes H., Bravo C. (Eds.). Puyo, Ecuador: Universidad Estatal Amazónica, pp.99-106.
- Sainz J., Anda M., Fauziam C. y Syed S. (2011). Growth of cocoa planted on highly weathered soil as affected by application of basalt and/or compost. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 22, no. 42, pp. 70-90
- Salas R. (2002). Herramientas de diagnóstico para definir recomendaciones de fertilización foliar. En: Memoria Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones. Editores: Meléndez G., Molina E. Costa Rica, pp. 152.
- Salgado P., Gutiérrez J. y Andrade H. (2006). Evaluación y caracterización de selecciones clonales de cacao (*Theobroma cacao* L.) del Programa de Mejoramiento del CATIE. Tesis: Magister Scientiae en Agricultura Ecológica. Turrialaba, Costa Rica: CATIE, Escuela de Posgrado, pp. 164.
- Sánchez L., Parra D., Gamboa E. y Rincón J. (2005). Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado Táchira, Venezuela. *Bioagro*, vol. 17, no. 1, pp. 119-122.
- Sandrini, L., Hostin, L., Lana, p. y Pellizzari, F. (2007). Un nuevo método de análisis digital para la determinación de los niveles de consumo foliar. *Centro de Estudios del Mar, Universidade Federal do Paranun, Brasil*, vol. 35, no. 1, pp. 111-116

- Santiago M., Canacuan I., Franco J., Bohórquez w. y Fernández J. (2016). Determinación de los estados críticos de nutrientes de cacao en etapa de vivero. Construyendo investigación: semilleros generadores de ideas. Ediciones Unisalle, Bogotá, pp. 191-204.
- Sattari S., Bouwman A, Giller K. y van Ittersum M. (2012). Residual soil phosphorus as the missing piece in the global phosphorus crisis puzzle. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, no. 1, pp. 6348-6353.
- Snoeck D., Koko L., Joffre J., Bastide P. y Jagoret P. (2010) Cacao nutrition and fertilization. Lichtfouse, E. (ed.). *Sustainable Agriculture Reviews*, Springer International Publishing, Suiza, vol. 19, no. 1, pp. 155-202.
- Sodré G., Venturini M., Ribeiro D. y Lima C. (2012). Extrato da casca do fruto do cacauero como fertilizante potássico no crescimento de mudas de cacauero. *Rev. Bras. Frutic.* Vol. 3, no. 34, pp. 881-887.
- Soria, Y. (2008). Differential response of wheat genotypes to phosphorus in acid soils. *J. Plant Nutr.* Vol. 1, no.15, pp. 513-526.
- Szczerba M., Britto D., Kronzucker H. (2006). Rapid, futile K⁺ cycling and pool-size dynamics define low-affinity potassium transport in barley. *Plant Physiology*, vol. 1 no.141, pp. 1494-1507.
- Unidad de Ordenamiento Territorial de Zamora Chinchipe. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial, Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Zamora Chinchipe. Consultado el: 20 de noviembre de 2018.
- van Ittersum M., Cassman K., Grassini P., Wolf J., Tiftonell P. y Hochman Z. (2013) Yield gap analysis with local to global relevance-A review. *Field Crops Research*, vol. 143, no.1, pp. 4-17.
- van Vliet, J., Slingerland M. y Giller K. (2015) Mineral Nutrition of Cocoa. A Review. Wageningen University and Research Centre, Wageningen, pp. 57. ISBN 978-94-6257-705-3

- Vázquez B., Cakmak D., Saljnikov E., Mrvic V., Jakovljevic M., Stajkovic O. y Bogdanovic, D. (2010). Optimization of macroelement contents in raspberry leaves by liming in an extremely acid soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*, vol. 1, no. 9, pp. 329-337.
- Vera T. (2014). Efeito da origem do cacauna sua qualidade comercial, funcional e sensorial. O caso do cacau catongo de Sao Tome e Principe e do Brasil. Dissertacao. Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, pp. 87.
- Wessel M. (1971). Fertilizer requirements of cacao (*Theobroma cacao* L.) in South-Western Nigeria. *Communication 61*. Koninklijk Instituut voor de Tropen, Amsterdam, vol. 1, no. 1, pp. 104.
- Zapata R. (2004). Química de la acidez del suelo. [Documento de trabajo]. Bdigital, Repositorio Institucional UN. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

9. ANEXOS

Anexos 1. Desarrollo de estructuras vegetativas en cacao clon CCN 51 con fertilización de NPK.



Figura 1. Brote a los 32 días de iniciar la fertilización con NPK.



Figura 2. Brote a los 60 días de iniciar la fertilización con NPK.



Figura 3. Brote a los 85 días de iniciar la fertilización con NPK.



Figura 4. Brote a los 115 días de iniciar la fertilización con NPK.



Figura 5. Hojas en diferentes estadios fenológicos de cacao clon CCN 51 para determinar el área foliar.



Figura 6. Fotografía de hoja de cacao clon CCN 51 para determinar el área foliar por Photoshop.

Anexos 2. Desarrollo de estructuras productivas en cacao clon CCN 51 con fertilización de NPK.



Figura 7. Selección de plantas de cacao clon CCN 51.



Figura 8. Plantas de cacao clon CCN 51 post encalado, al inicio de la fertilización con NPK.



Figura 9. Plantas de cacao clon CCN 51 a los 32 días de iniciar la fertilización con NPK.



Figura 10. Plantas de cacao clon CCN 51 a los 60 días de iniciar la fertilización con NPK.



Figura 11. Plantas de cacao clon CCN 51 a los 85 días de iniciar la fertilización con NPK.



Figura 12. Plantas de cacao clon CCN 51 a los 115 días de iniciar la fertilización con NPK.



Figura 13. Frutos en diferentes estadios fenológicos de cacao clon CCN 51 para determinar el peso del fruto.

Anexos 3. Fenología del cultivo de cacao.

Tabla. Principales estadios de crecimiento reproductivo 5-8 de cacao var. TSH, según escala BBCH modificada.

Estadio	Días	Cód.	Descripción
Estadio 5. Emergencia de la inflorescencia	0 - 30	2	Yemas florales expandidas, emergencia del primordio sepal (yema < 1 mm Long)
		5	Yemas florales expandidas, sépalos encierran la yema (yema 1 - 2 mm Long)
		6	Yemas florales expandidas, emergencia del pedúnculo (yema 2 - 3 mm Long)
		8	Yema floral expandida, yema que cambia de verde a blanco (yema 2-4 mm de largo)
		9	Crecimiento completo de yema floral (yemas 6 mm de largo y 3 mm de largo; pedículo 14 mm), yemas cerradas
Estadio 6. Floración	30 - 31	1	Inicio de la floración.
		2	10% de flores abiertas.
		5	50% de flores abiertas.
		9	90% de flores abiertas.
Estadio 7. Desarrollo del fruto	32 - 75	1	Comienza a crecer el fruto; celularización del endospermo; desarrollo de óvulos y pericarpio; comienzo de la fase de marchitez de la querella; los frutos del 10 % de su tamaño final (cigoto latente).
		2	División del cigoto y desarrollo preliminar del embrión; los frutos se hinchan; los frutos han alcanzado el 30 % del tamaño final.
		5	Fin de la fase de marchitez del cernelo; diámetro/longitud 0.35; frutos del 50 % del tamaño final.
		6	Comienzo de la fase no marchita; óvulo lleno de gelatina como el endospermo; los frutos han alcanzado el 60 % del tamaño final.
		7	Grasa, proteínas de almacenamiento y antocianina acumuladas en los cotiledones; el endospermo es gradualmente reabsorbido por el embrión; los frutos han alcanzado el 70 % de su tamaño final.
Estadio 8. Maduración del fruto y semillas	75 - 225	9	Embriones completamente desarrollados, con restos de endospermo alrededor de los cotiledones carnosos; aumento de los cotiledones externos.
		1	Cambio del color de la fruta de verde a amarillo o naranja.
		5	Aumento de la intensidad del color de la fruta.
		9	La fruta está completamente madura, adherida al tallo principal o a las ramas y puede cosecharse con cuchillo o alfanje.

Fuente: Bridgemohan et al., 2016.

Anexo 4. Análisis de suelo previo a la aplicación de tratamientos en el cultivo de cacao clon CCN 51 en Piuntza, Zamora Chinchipe.



**ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR
"DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS**
Km. 26 Vía Durán - Tambo Apdo. Postal 09-01-7069 Yaguachi - Guayas - Ecuador
Teléfono: 042724260 - 042724119 e-mail: labsuelos.eels@iniap.gob.ec

INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		DATOS DE LA MUESTRA	
Nombre :	MELISSA ALEXANDRA ROMERO ZAMBRANO	Nombre :	S/N	Informe No. :	21547
Dirección :	JUAN JOSE PEÑA Y AZUAY	Provincia :	ZAMORA CHINCHIPE	Responsable Muestreo :	Cliente
Ciudad :	LOJA	Cantón :	ZAMORA	Fecha Muestreo :	12/09/2018
Teléfono :	N/E	Parroquia :	ZAMORA	Fecha Ingreso :	18/09/2018
Fax :	N/E	Ubicación :	N/E	Condiciones Ambientales :	T°C: 23.0 %H: 56.0
				Factura No. :	05641
				Fecha Análisis :	03/10/2018
				Fecha Emisión :	05/10/2018
				Fecha impresión :	05/10/2018
				Cultivo Actual :	CACAO

N° Laborat.	Identificación del Lote	pH	ug/ml											
			* NH ₄	* P	K	* Ca	* Mg	* S	* Zn	Cu	*Fe	*Mn	*B	* Cl
68627	CACAO ZAMORA	4.7 MAc RC	47 A	22 A	145 M	494 B	195 M	16 M	4.1 M	6.5 A	711 A	34.0 A	0.50 B	

Interpretación	pH	
NH ₄ , P, K, Ca, Mg, S	MAc = Muy Acido	N = Neutro
Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	Ac = Acido	LAI = Lig. Alcalino
B = Bajo	MeAc = Med. Acido	MeAl = Med. Alcalino
M = Medio	LAc = Lig. Acido	Al = Alcalino
A = Alto	PN = Prac. Neutro	RC = Requiere Cal

Determinación	Metodología	Extractante
NH ₄ , P	Colorimetría	Olsen
K, Ca, Mg	Absorción	Modificado
Zn, Cu, Fe, Mn	Atómica	pH 8.5
S	Turbidimetría	Fostato de Ca
B	Colorimetría	Monobásico
Cl	Volumetría	Pasta Saturada
pH	Potenciométrica	Suelo: agua (1:2.5)

Niveles de Referencia Optimos			
Medio (ug/ml)			
NH ₄ 4	20 - 40	Mg 121,5 - 243	Fe 20 - 40
P	10 - 20	S 10 - 20	Mn 5 - 15
K	78 - 156	Zn 2,0 - 7,0	B 0,5 - 1,0
Ca	800 - 1600	Cu 1,0 - 4,0	Cl 17 - 34

N/E = No entregado

<LC = Menor al Limite de Cuantificación

Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo

Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación solicitado al OAE

Las opiniones, interpretaciones, etc. que se indican a continuación, están fuera del alcance de acreditación solicitado al OAE

** Ensayo subcontratado

Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a copiar que sea en su totalidad


Responsable Técnico del Laboratorio
Mgs. Diana Acosta J.



**ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR
"DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS**
Km. 26 Vía Durán - Tambo Apdo. Postal 09-01-7069 Yaguachi - Guayas - Ecuador
Teléfono: 042724260 - 042724119 e-mail: labsuelos.eels@iniap.gob.ec

INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		DATOS DE LA MUESTRA			
Nombre :	MELISSA ALEXANDRA ROMERO ZAMBRANO	Nombre :	S/N	Informe No. :	21547	Factura No. :	05641
Dirección :	JUAN JOSE PEÑA Y AZUAY	Provincia :	ZAMORA CHINCHIPE	Responsable Muestreo :	Cliente	Fecha Análisis :	03/10/2018
Ciudad :	LOJA	Cantón :	ZAMORA	Fecha Muestreo :	12/09/2018	Fecha Emisión :	05/10/2018
Teléfono :	N/E	Parroquia :	ZAMORA	Fecha Ingreso :	18/09/2018	Fecha Impresión :	05/10/2018
Fax :	N/E	Ubicación :	N/E	Condiciones Ambientales :	T°C:23.0 %H: 56.0	Cultivo Actual :	CACAO

Nº Laborat.	Identificación	* Textura (%)			* Clase Textural			meq/100ml			mS/cm	C.E.	M.O.	K	meq/100ml			Ca	Mg	Ca+Mg		
		Arena	Limo	Arcilla	* Al+H	* Al	* Na	* Ca	* Mg	Σ Bases					Mg	K	K					
68627	CACAO ZAMORA							4.00	M	0.37	M	2.47	B	1.60	M	4.45	1.54	B	4.32	M	10.96	B

Interpretación	
Al+H, Al, Na	C.E.
Ad = Adecuado	NS = No Salino
LT = Ligeram. Tóxico	LS = Lig. Salino
T = Tóxico	S = Salino
	MS = Muy Salino

Abreviaturas
C.E. Conductividad Eléctrica
M.O. Materia Orgánica
CIC Capacidad de Intercambio Catiónico

Determinación	Metodología	Extractante
M.O.	Walkey black	Dicromato de K
CIC		Acetato de Amonio
Na		Cloruro de Bario
C.E.	Extracto de pasta saturada	Agua

Lig. Tóxico meq/100mL	Niveles de Referencia			
	Lig. Salino (ds/m)	Medio		Medio (meq/100mL)
Al+H 0.51 - 1.5	C.E. 2.0 - 4.0	Ca/Mg 2.0 - 8.0	K 0.2 - 0.4	
Al 0.31 - 1.0	Medio (%)	Mg/K 2.5 - 10.0	Ca 4 - 8	
Na 0.5 - 1.0	M.O. 3.1 - 5.0	(Ca+Mg)/K 12.5 - 50.0	Mg 1 - 2	

N/E = No entregado
 <LC = Menor al Límite de Cuantificación
 Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometida(s) al ensayo.
 Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación solicitado al OAE.
 Las opiniones, interpretaciones, etc, que se indican a continuación, están fuera del alcance de acreditación solicitado al OAE
 ** Ensayo subcontratado.
 Se prohíbe la reproducción parcial, si se va a copiar que sea en su totalidad

Responsable Técnico del Laboratorio
 Mgs. Diana Acosta J.

Anexos 5. Análisis de capacidad de intercambio catiónico (CIC) en el suelo previo a la aplicación de tratamientos en el cultivo de cacao clon CCN 51 en Piuntza, Zamora Chinchipe.



Provincia:	Zamora Chinchipe	FECHA DE INGRESO:	22-10-2018
Cantón:	Zamora	FECHA DE EGRESO:	29-10-2018
Parroquia:	Guadalupe	RESPONSABLE:	Srta. Rebeca Herrera
Sector:	Piuntza		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Cam.	CIC
		meq/100gs
2156	Piuntza	11,2

2. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Cam.	CIC
		meq/100gs
2156	Piuntza	Bajo



Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexos 6. Cálculos de dosis de corrección de los elementos Ca y B.

En una hectárea a una densidad de siembra de 3.5 x 3.5 m se tienen 816 plantas de cacao de acuerdo al análisis de suelo realizado, los elementos que requieren corrección son Ca y B.

DOSIS DE CORRECCIÓN DE CALCIO

$$\begin{array}{r} 11,20 \\ 2,47 \end{array} \quad \begin{array}{r} 100 \% \\ x \end{array}$$

Optimo 55 %

$$deficit = 22,05 - 55 = 32,95 \%$$

$$x = \frac{2,47 * 100}{11,20} = 22,05\%$$

$$Deficit Ca = CIC * \frac{\% deficit}{100} * 200$$

$$Deficit Ca = 11,2 * \frac{32,95}{100} * 200 = 738,08 ppm$$

$$Ca \left(\frac{Kg}{ha} \right) = deficit * densidad aparente * profundidad de suelo * 10$$

$$Ca \left(\frac{Kg}{ha} \right) = 738 * 1,3 * 0,25 * 10 = 2398,5 / 3 años = 799,5 unidades$$

La dosis de corrección se aplicó de forma fraccionada en 3 aplicaciones.

$$\begin{array}{r} 799,5 \text{ unidades de Ca} \\ x \end{array} \quad \begin{array}{r} 816 \text{ plantas de cacao} \\ 1 \text{ planta de cacao} \end{array}$$

$$x = \frac{799,5}{816} * 1000 = 979,78 \text{ gr Ca/planta}$$

DOSIS DE CORRECCIÓN DE BORO

$$B \left(\frac{Kg}{ha} \right) = \frac{deficit * densidad aparente * profundidad del suelo (m) * 10}{Fc}$$

$$B \left(\frac{Kg}{ha} \right) = \frac{0,3 * 1,3 * 0,25 * 10}{0,26} = 3,75 \text{ unidades}$$

$$\begin{array}{r} 3,75 \text{ unidades de B} \\ x \end{array} \quad \begin{array}{r} 816 \text{ plantas de cacao} \\ 1 \text{ planta de cacao} \end{array}$$

$$x = \frac{3,75}{816} * 1000 = 4,60 \text{ gr B/planta}$$

Anexos 7. Cálculos de dosis de mantenimiento de los elementos N, P y K

DOSIS DE MANTENIMIENTO DE NITRÓGENO

$$\begin{array}{lll} 36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N} & 1 \text{ t de cacao} & x = 36 \times 0,850 = 30,6 \text{ Kg N} \\ x & 0,850 \text{ t (15 sacos)} & \end{array}$$

$$\text{dosis} = \frac{D - S}{E} = \frac{30,6}{0,40} = 76,5 \text{ Unidades N}$$

$$\begin{array}{lll} 76,5 \text{ kg N} & 816 \text{ plantas de cacao} & x = \frac{76,5}{816} \times 1000 = 93,75 \text{ gr N/planta} \\ X & 1 \text{ planta de cacao} & \end{array}$$

DOSIS DE MANTENIMIENTO DE FOSFORO

$$\begin{array}{lll} 9 \text{ kg P} & 1 \text{ t de cacao} & x = 9 \times 0,850 = 7,65 \text{ Kg P} \\ x & 0,850 \text{ t} & \end{array}$$

$$\text{dosis} = \frac{D - S}{E} = \frac{7,65}{0,15} = 51 \text{ unidades P}$$

$$\begin{array}{lll} 51 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P} & 816 \text{ plantas de cacao} & x = \frac{51}{816} \times 1000 = 62,5 \text{ gr P/planta} \\ X & 1 \text{ planta de cacao} & \end{array}$$

DOSIS DE MANTENIMIENTO DE POTASIO

$$\begin{array}{lll} 40 \text{ kg K} & 1 \text{ t de cacao} & x = 40 \times 0,850 = 34 \text{ Kg K} \\ x & 0,850 \text{ t} & \end{array}$$

$$\text{dosis} = \frac{D - S}{E} = \frac{34}{0,50} = 68 \text{ Unidades K}$$

$$\begin{array}{lll} 68 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K} & 816 \text{ plantas de cacao} & x = \frac{68}{816} \times 1000 = 83,33 \text{ gr K/planta} \\ X & 1 \text{ planta de cacao} & \end{array}$$

No se va aplicar dosis de mantenimiento de Mg, ya que la relación Ca/Mg da negativo para el contenido de Ca. Al aplicar Mg se inhibiría la absorción de Ca.

Anexos 8. Cálculos de dosis de fertilizantes a utilizar.

CÁLCULO DE DOSIS DE FERTILIZANTES

Cal

$$\begin{array}{r}
 100 \text{ g cal} \qquad 98 \text{ g Ca} \\
 \times \qquad \qquad \qquad 979 \text{ g Ca} \\
 \hline
 x = \frac{979.7 \times 100}{98} = 999.7 \text{ gr Cal}
 \end{array}$$

Se aplicó 1 kg planta⁻¹ 2 veces (1 mes antes de la aplicación de los tratamientos y 15 días después de la aplicación de los tratamientos).

T2: N

Unidades requeridas: 93 g N (dosis mantención) + 21 g N (elemento adicional 10-30-10) = 114 g N

Nitrato de amonio: 33.5% N

$$\begin{array}{r}
 114.0 \text{ g N} \qquad X \\
 33.5 \text{ gr N} \qquad 100 \text{ gr NH}_4\text{NO}_3 \\
 \hline
 X = \frac{114.0 \times 100}{33.5} = 340.0 \frac{\text{gr NH}_4\text{NO}_3}{\text{planta}} \\
 \text{Dosis: } 57 \text{ g NH}_4\text{NO}_3/\text{mes/planta}
 \end{array}$$

T4: K

Unidades requeridas: 83.3 g K (dosis mantención) + 21 g K (elemento adicional 10-30-10) = 104.3 g K

Muriato de potasio: 60% K

$$\begin{array}{r}
 104.3 \text{ g K} \qquad X \\
 60.0 \text{ gr K} \qquad 100 \text{ gr KCl} \\
 \hline
 X = \frac{104.3 \times 100}{60.0} = 173.8 \frac{\text{gr NH}_4\text{NO}_3}{\text{planta}}
 \end{array}$$

Fertiboro soluble

$$\begin{array}{r}
 4,25 \text{ g B} \qquad X \\
 17 \text{ g B} \qquad 100 \text{ g Fertiboro} \\
 \hline
 X = \frac{4,25 \times 100}{17} = 25 \text{ g Fertiboro}
 \end{array}$$

Se aplicó 4,25 g de boro debido a que en niveles superiores es tóxico para el cultivo.

T3: P

10-30-10: 10% N, 30% P, 10% K

$$\begin{array}{r}
 62.5 \text{ gr P} \qquad X \\
 30.0 \text{ gr P} \qquad 100 \text{ g } 10-30-10
 \end{array}$$

$$X = \frac{62.5 \times 100}{30} = 210 \frac{\text{gr } 10-30-10}{\text{planta}}$$

Dosis: 35.0 g 10-30-10/mes/planta

Elementos adicionales

$$\begin{array}{r}
 x \qquad \qquad \qquad 210 \text{ gr } 10-30-10 \\
 10.0 \text{ gr K o N} \qquad 100 \text{ g } 10-30-10
 \end{array}$$

$$X = \frac{210 \times 10}{100} = 21 \text{ g K o N}$$

El fertilizante adiciona: 21 g de K y 21 g de N

T5: NP

Nitrato de amonio: 33.5% N

$$\begin{array}{r}
 93.0 \text{ g N} \qquad X \\
 33.5 \text{ gr N} \qquad 100 \text{ gr NH}_4\text{NO}_3
 \end{array}$$

$$X = \frac{93.0 \times 100}{33.5} = 278.0 \frac{\text{gr NH}_4\text{NO}_3}{\text{planta}}$$

10-30-10: 10% N, 30% P, 10% K

$$\begin{array}{r}
 62.5 \text{ gr P} \qquad X \\
 30.0 \text{ gr P} \qquad 100 \text{ g } 10-30-10
 \end{array}$$

$$X = \frac{62.5 \times 100}{30} = 210 \frac{\text{gr } 10-30-10}{\text{planta}}$$

Dosis: 29 g KCl/mes/planta

Dosis: 46.0 g NH₄NO₃/mes/planta + 35.0 g 10-30-10/mes/planta

T6: NK

T7: PK

Nitrato de amonio: 33.5% N

10-30-10: 10% N, 30% P, 10% K

114.0 g N X
33.5 gr N 100 gr NH₄NO₃

62.5 gr P X
30.0 gr P 100 g 10-30-10

$$X = \frac{114.0 \times 100}{33.5} = 340.0 \frac{\text{gr NH}_4\text{NO}_3}{\text{planta}}$$

$$X = \frac{62.5 \times 100}{30} = 210 \frac{\text{gr } 10 - 30 - 10}{\text{planta}}$$

Dosis:

Muriato de potasio: 60% K

Muriato de potasio: 60% K

104.3 g K X
60.0 gr K 100 gr KCl

83.3 g K X
60.0 gr K 100 gr KCl

$$X = \frac{104.3 \times 100}{60.0} = 173.8 \frac{\text{gr NH}_4\text{NO}_3}{\text{planta}}$$

$$X = \frac{83.3 \times 100}{60.0} = 139.0 \frac{\text{gr NH}_4\text{NO}_3}{\text{planta}}$$

Dosis:

57 g NH₄NO₃/mes/planta+29 g KCl/mes/planta

Dosis: 35.0 g 10-30-10/mes/planta + 23 g KCl/mes/planta

T8: NPK

Nitrato de amonio: 33.5% N

93.0 g N X
33.5 gr N 100 gr NH₄NO₃

$$X = \frac{93.0 \times 100}{33.5} = 278.0 \frac{\text{gr NH}_4\text{NO}_3}{\text{planta}}$$

10-30-10: 10% N, 30% P, 10% K

62.5 gr P X
30.0 gr P 100 g 10-30-10

$$X = \frac{62.5 \times 100}{30} = 210 \frac{\text{gr } 10 - 30 - 10}{\text{planta}}$$

Muriato de potasio: 60% K

83.3 g K X
60.0 gr K 100 gr KCl

$$X = \frac{83.3 \times 100}{60.0} = 139.0 \frac{\text{gr NH}_4\text{NO}_3}{\text{planta}}$$

Dosis: 46.0 g NH₄NO₃/mes/planta + 35.0 g 10-30-10/mes/planta + 23 g KCl/mes/planta

Anexos 9. Análisis de suelo al finalizar la aplicación de tratamientos en el cultivo de cacao clon CCN 51 en Piuntza, Zamora Chinchipe.

 INIAP <small>INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</small>	ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693	
--	---	---

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<p style="text-align: center;">DATOS DEL PROPIETARIO</p> Nombre : Rebeca Ximena Herrera Dirección : Zamora Ciudad : Teléfono : Fax :	<p style="text-align: center;">DATOS DE LA PROPIEDAD</p> Nombre : Piuntza Provincia : Zamora Chinchipe Cantón : Zamora Parroquia : Ubicación :	<p style="text-align: center;">PARA USO DEL LABORATORIO</p> Cultivo Actual : Cacao Fecha de Muestreo : 10/03/2019 Fecha de Ingreso : 13/03/2019 Fecha de Salida : 26/03/2019
---	---	--

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH4	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
110846	T1 R1	5,66LAc	141,00 A	80,00 A		0,19 B	4,60 M	1,66 M					
110847	T1 R3	5,90LAc	107,00 A	37,00 A		0,15 B	6,70 M	2,40 A					
110848	T1 R5	5,90LAc	76,00 A	9,00 B		0,22 M	6,60 M	1,33 M					
110849	T2 R1	5,46 Ae RC	108,00 A	52,00 A		0,18 B	7,80 M	0,90 B					
110850	T2 R3	4,64 Ae RC	117,00 A	19,00 M		0,12 B	1,60 B	1,43 M					
110851	T2 R5	4,68 Ae RC	137,00 A	27,00 A		0,09 B	1,90 B	0,80 B					
110852	T3 R1	5,32 Ae RC	93,00 A	249,00 A		0,36 M	5,00 M	1,12 M					
110853	T3 R3	4,73 Ae RC	139,00 A	390,00 A		0,52 A	2,00 B	1,45 M					
110854	T3 R5	4,60 Ae RC	173,00 A	316,00 A		0,43 A	2,20 B	0,76 B					

INTERPRETACION			
pH		Elementos	
Ae	= Acido	N	= Neutro
LAc	= Liger. Acido	LAI	= Lige. Alcalino
PN	= Prac. Neutro	AI	= Alcalino
		RC	= Requieren Cal
		B	= Bajo
		M	= Medio
		A	= Alto
		T	= Tóxico (Boro)

METODOLOGIA USADA			
pH	= Suelo: agua (1:2,5)	P K Ca Mg	= Olsen Modificado
S, B	= Fosforo de Calcio	Cu Fe Mn Zn	= Olsen Modificado
		B	= Curcumina


RESPONSABLE LABORATORIO


LABORATORISTA



ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"

LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS

Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340

Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693



REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO

Nombre : Rebeca Ximena Herrera
 Dirección : Zamora
 Ciudad :
 Teléfono :
 Fax :

DATOS DE LA PROPIEDAD

Nombre : Piantza
 Provincia : Zamora Chinchipe
 Cantón : Zamora
 Parroquia :
 Ubicación :

PARA USO DEL LABORATORIO

Cultivo Actual : Cacao
 Fecha de Muestreo : 10/03/2019
 Fecha de Ingreso : 13/03/2019
 Fecha de Salida : 26/03/2019

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
110855	T4 R5	5,66LAc	71,00 A	37,00 A		0,63 A	4,50 M	1,12 M					
110856	T4 R3	6,00LAc	83,00 A	26,00 A		1,03 A	5,70 M	1,24 M					
110857	T4 R5	5,67LAc	101,00 A	57,00 A		1,74 A	5,60 M	1,43 M					
110858	T5 R1	4,58 Ac RC	321,00 A	342,00 A		0,36 M	2,30 B	1,11 M					
110859	T5 R3	5,83LAc	111,00 A	326,00 A		0,40 M	8,70 A	1,88 M					
110860	T5 R5	5,08 Ac RC	105,00 A	238,00 A		0,27 M	5,00 M	0,95 B					
110861	T6 R1	4,70 Ac RC	181,00 A	19,00 M		0,83 A	0,50 B	0,73 B					
110862	T6 R3	5,19 Ac RC	101,00 A	21,00 A		0,48 A	3,40 B	0,97 B					
110863	T6 R5	4,78 Ac RC	162,00 A	48,00 A		0,60 A	0,86 B	1,01 M					

INTERPRETACION

pH		Elementos		
Ac	= Acido	N	= Neutro	
LAc	= Liger. Acido	LAI	= Lige. Alcalino	
PN	= Prac. Neutro	Al	= Alcalino	
	RC	= Requieren Cal	T	= Tóxico (Boro)
		B	= Bajo	
		M	= Medio	
		A	= Alto	

METODOLOGIA USADA

pH = Suelo: agua (1:2,5) P K Ca Mg = Olsen Modificado
 S, B = Fosfato de Calcio Cu Fe Mn Zn = Olsen Modificado
 B = Curcumina

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA



ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"

LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS

Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340

Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693



REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO	DATOS DE LA PROPIEDAD	PARA USO DEL LABORATORIO
Nombre : Rebeca Ximena Herrera Dirección : Zamora Ciudad : Teléfono : Fax :	Nombre : Piuntza Provincia : Zamora Chinchipe Cantón : Zamora Parroquia : Ubicación :	Cultivo Actual : Cacao Fecha de Muestreo : 10/03/2019 Fecha de Ingreso : 13/03/2019 Fecha de Salida : 25/03/2019

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm				
			NH ₄	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
110864	T7 R1	5,54LAc	94,00 A	435,00 A		1,37 A	4,60 M	1,12 M					
110865	T7 R3	5,49 Ac RC	97,00 A	226,00 A		0,73 A	3,50 B	1,22 M					
110866	T7 R5	5,13 Ac RC	99,00 A	446,00 A		1,55 A	3,30 B	1,26 M					
110867	T8 R1	5,34 Ac RC	115,00 A	386,00 A		0,95 A	5,00 M	1,31 M					
110868	T8 R3	5,38 Ac RC	125,00 A	358,00 A		0,95 A	5,50 M	1,05 M					
110869	T8 R5	5,65LAc	137,00 A	387,00 A		0,76 A	6,70 M	1,30 M					

INTERPRETACIÓN			
pH		Elementos	
Ac	= Acido	N	= Neutro
LAc	= Liger. Acido	LAI	= Lige. Alcalino
PN	= Prac. Neutro	AI	= Alcalino
	RC		= Requieren Cal
		B	= Bajo
		M	= Medio
		A	= Alto
		T	= Tóxico (Boro)

METODOLOGIA USADA			
pH	= Suelo: agua (1:2,5)	P K Ca Mg	= Olsen Modificado
S, B	= Fosfato de Calcio	Cu Fe Mn Zn	= Olsen Modificado
		B	= Curcumina


RESPONSABLE LABORATORIO


LABORATORISTA

Anexos 10. Correlación de las variables

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
Incremento en peso Fruto (..	TCA Fruto (g. día-1)	24	1	< 0,0001
Peso 2 del fruto (g)	TCA Fruto (g. día-1)	24	0,99	< 0,0001
Largo Brote 4 (cm)	Incremento brote 3 (cm)	24	0,99	< 0,0001
Largo 2 del Fruto (cm)	TCA Fruto (g. día-1)	24	0,99	< 0,0001
Incremento brote 3 (cm)	TCA 3 brote (cm/día-1)	24	0,99	< 0,0001
Largo 2 del Fruto (cm)	Incremento en peso Fruto (..	24	0,99	< 0,0001
Largo Brote 4 (cm)	TCA 3 brote (cm/día-1)	24	0,98	< 0,0001
Peso 2 del fruto (g)	Incremento en peso Fruto (..	24	0,98	< 0,0001
Largo 2 del Fruto (cm)	Peso 2 del fruto (g)	24	0,98	< 0,0001
Ca suelo (ppm)	(meq/100ml)/Suma bases	24	0,98	< 0,0001
Suma de bases	pH	24	0,88	< 0,0001
Incremento brote 3 (cm)	TCR 3 brote (mm.cm-1.día-1..	24	0,88	< 0,0001
TCA 3 brote (cm/día-1)	TCR 3 brote (mm.cm-1.día-1..	24	0,88	< 0,0001
Mg/K	(Ca+Mg)/K	24	0,85	< 0,0001
Ca suelo (ppm)	pH	24	0,85	< 0,0001
Incremento en peso Fruto (..	TCR Fruto (mg. g-1. día-1)..	24	0,83	0,0001
TCA Fruto (g. día-1)	TCR Fruto (mg. g-1. día-1)..	24	0,83	0,0002
Ca suelo (ppm)	Ca/Mg	24	0,83	0,0004
Largo 2 del Fruto (cm)	TCR Fruto (mg. g-1. día-1)..	24	0,81	0,0006
Largo Brote 4 (cm)	TCR 3 brote (mm.cm-1.día-1..	24	0,79	0,0008
Peso 2 del fruto (g)	TCR Fruto (mg. g-1. día-1)..	24	0,75	0,0011
Ca/Mg	(meq/100ml)/Suma bases	24	0,74	0,0012
N suelo (ppm)	pH	24	-0,62	0,0012
Largo Brote 4 (cm)	Largo Metámeros Brote (cm..	24	0,61	0,0016
Largo Metámeros Brote	TCA 3 brote (cm/día-1)	24	0,6	0,0019
Largo Metámeros Brote	Incremento brote 3 (cm)	24	0,6	0,0019
Ca/Mg	pH INIAP	24	0,59	0,0024
Mg suelo (ppm)	pH 5 suelo	24	0,59	0,0026
Mg suelo (ppm)	Mg/K	24	0,59	0,0027
Mg suelo (ppm)	(meq/100ml)/Suma bases	24	0,56	0,0040
P suelo (ppm)	N° Metámeros Brote	24	-0,55	0,0055
(meq/100ml)/Suma bases	% grasa Fruto 2	24	0,55	0,0055
Mg suelo (ppm)	pH INIAP	24	0,54	0,0063
Ca suelo (ppm)	% grasa Fruto 2	24	0,54	0,0065
Largo Brote 4 (cm)	N° Metámeros Brote	24	0,53	0,0084
% MS Fruto 2	% grasa Fruto 2	24	0,52	0,0095
% grasa Fruto 2	% cenizas Fruto2	24	-0,51	0,0118
Área Foliar (cm2)	N° Metámeros Brote	24	-0,5	0,0139
Mg suelo (ppm)	(Ca+Mg)/K	24	0,5	0,0139

N suelo (ppm)	(meq/100ml)/Suma bases	24	-0,49	0,0152
% MS Brote	Largo Brote 4 (cm)	24	-0,49	0,0159
K suelo (ppm)	Área Foliar (cm ²)	24	0,48	0,0171
Largo Metámeros Brote	TCR 3 brote (mm.cm-1.día-1..)	24	0,48	0,0173
Ca suelo (ppm)	(Ca+Mg)/K	24	0,48	0,0178
N° Metámeros Brote	TCA 3 brote (cm/día-1)	24	0,48	0,0183
N° Metámeros Brote	Incremento brote 3 (cm)	24	0,48	0,0184
Ca suelo (ppm)	Mg suelo (ppm)	24	0,48	0,0188
% MS Fruto 2	% cenizas Fruto2	24	-0,47	0,0193
% MS Brote	TCA 3 brote (cm/día-1)	24	-0,47	0,0197
% MS Brote	Incremento brote 3 (cm)	24	-0,47	0,0200
N suelo (ppm)	Ca suelo (ppm)	24	-0,47	0,0207
Ca/Mg	% grasa Fruto 2	24	0,45	0,0263
P suelo (ppm)	Largo Brote 4 (cm)	24	-0,45	0,0282
% MS Brote	Largo Metámeros Brote (cm..)	24	-0,43	0,0364
P suelo (ppm)	Mg/K	24	-0,43	0,0366
pH INIAP	% grasa Fruto 2	24	0,43	0,0367
N suelo (ppm)	Ca/Mg	24	-0,42	0,0400
P suelo (ppm)	(Ca+Mg)/K	24	-0,41	0,0483