



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

## **TITULO**

**Aplicación de diferentes fuentes nitrogenadas y su influencia en la morfología,  
fisiología y productividad de cacao *Theobroma cacao* L. CCN51**

**Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo**

**Autor:**

**Adriana Elizabeth Romero Maza**

**Director:**

**Ing. Johnny Fernando Granja Travez Mg. Sc.**

**Loja – Ecuador**

**2020**

## CERTIFICADO

Ing. Johnny Fernando Granja Travez Mg.Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de tesis titulado: “Aplicación de diferentes fuentes nitrogenadas y su influencia en la morfología, fisiología y productividad de cacao *Theobroma cacao* L. CCN51”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, de la egresada: Adriana Elizabeth Romero Maza, se autoriza su presentación debido a que el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigido por la carrera de Ingeniería Agronómica.

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

Loja, 23 de julio del 2020



Firmado electrónicamente por:  
**JOHNNY FERNANDO  
GRANJA TRAVEZ**

Ing. Johnny Fernando Granja Travez Mg. Sc.  
**DIRECTOR DE TESIS**

## CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Una vez cumplida la reunión del tribunal de calificación del trabajo final de tesis titulado: “Aplicación de diferentes fuentes nitrogenadas y su influencia en la morfología, fisiología y productividad de cacao *Theobroma cacao* L. CCN51” de la autoría de la Srta. Adriana Elizabeth Romero Maza, egresada de la carrera de Ingeniería Agronómica.

En tal virtud, nos permitimos certificar que el trabajo final consolidado de investigación está acorde con los requerimientos de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, por lo tanto, se autoriza continuar con los trámites pertinentes.

Loja, 11 de septiembre del 2020

MIRIAN  
IRENE  
CAPA  
MOROCHO

Firmado digitalmente por  
MIRIAN IRENE  
CAPA MOROCHO  
Fecha: 2020.09.16  
05:53:47 -05'00'

**PhD. Mirian Capa**  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

MARINA  
MAZON  
MORALES

Firmado digitalmente por  
MARINA MAZON  
MORALES  
Fecha: 2020.09.16  
14:25:31 -05'00'

**PhD. Marina Mazón**  
**VOCAL**



Firmado electrónicamente por:  
**SANTIAGO  
CRISTOBAL VASQUEZ  
MATUTE**

**PhD. Santiago Vásquez**  
**VOCAL**

## AUTORÍA

Yo, Adriana Elizabeth Romero Maza, 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.

Autor: Adriana Elizabeth Romero Maza

Firma:



Firmado electrónicamente por:

**ADRIANA  
ELIZABETH  
ROMERO MAZA**

Cédula: 1105631012

Fecha: 11 de septiembre de 2020

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

Yo, Adriana Elizabeth Romero Maza, declaro ser el autor de la tesis titulada “Aplicación de diferentes fuentes nitrogenadas y su influencia en la morfología, fisiología y productividad de cacao *Theobroma cacao* L. CCN51” como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, por lo que autorizo 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 mantenga 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 11 días del mes de septiembre del dos mil veinte, firma el autor:

**DATOS DEL AUTOR**

Firma  Firmado electrónicamente por:  
**ADRIANA  
ELIZABETH  
ROMERO MAZA**

Autor: Adriana Elizabeth Romero Maza

Cédula: 1105631012

Dirección: Dr. Eduardo Mora Moreno y  
Valparaíso.

Correo electrónico: aeromerom@unl.edu.ec

Celular: 0992398705

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

Director de tesis: Ing. Johnny Fernando

Granja Travez Mg. Sc.

Tribunal de grado:

PhD. Mirian Capa                      PRESIDENTE

PhD. Marina Mazón                    VOCAL

PhD. Santiago Vásquez              VOCAL

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a mi tutor el Ing. Johnny Granja, quien con sus conocimientos y apoyo me guió a través de cada una de las etapas de este trabajo, de igual manera a las personas que han participado en el proyecto Efecto del PAR sobre *Theobroma cacao* L. en el sur del Ecuador y sus implicaciones agronómicas por contribuir para alcanzar los resultados que buscaba. Al señor Augusto Carrión por la apertura brindada para realizar el estudio.

También quiero agradecer a la Universidad Nacional de Loja por brindarme todos los recursos y escenarios que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación, a la Ing. Beatriz Guerrero, técnica del laboratorio de Bromatología de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, no hubiese podido arribar a estos resultados de no haber sido por su incondicional ayuda.

De la misma manera me gustaría agradecer a los docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica, quienes han contribuido en mi formación, en especial a la Ing. Paulina Fernández por sus consejos, su enseñanza y más que todo por su amistad.

Le doy gracias a mi familia por confiar en mí, por apoyarme en cada paso a lo largo no solo del trabajo sino de la vida, en especial a mis abuelos Luis y Delia, a mi tía Mery y a mi padre José.

Por último, quiero agradecer a todos mis amigos, por apoyarme cuando mis ánimos decaían. En especial, quiero hacer mención a Jhon, Joel y Arianna, que siempre estuvieron ahí, tras cada trabajo a lo largo de estos 5 años, por su amistad, apoyo, paciencia y por confiar en mí aun cuando yo no lo hacía.

## **DEDICATORIA**

A mi madre Suzana, quien fue un ejemplo de bondad, fuerza y valentía, luchó a diario por cuidar de los demás, me enseñó la importancia del esfuerzo, el significado de la perseverancia, la nobleza del servicio y sobretodo el valor de la vida, fue mi compañera por muchos años y será la fuente de mi fortaleza toda la vida.

A mis hermanos Luis y Angie que han sido mi motivación, a mis abuelos Luis y Delia por darle sentido a mi vida, por fortalecer mis alas y dejarme volar sola, a mi tía Mery que ha sido como una madre y ha cuidado de mí siempre, a mis tíos Carlos y Daniel, quienes han sido mis amigos, mi apoyo y ejemplo.

A Franklin, por ser el bastón, el abrazo o la risa que a veces me falta. Finalmente, a todos mis amigos, quienes me han acompañado y me han dado lo mejor de sí, contribuyendo para ser la persona que soy hoy en día.

## TABLA DE CONTENIDO

TÍTULO .....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Objetivo General .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>14</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. Características del cacao CCN51.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2. Descripción botánica .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3. Ciclo de flushing.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4. Fenología reproductiva y productividad.....</b>	<b>16</b>
<b>2.5. Factores influyentes en el rendimiento.....</b>	<b>17</b>
<b>2.6. Nutrición .....</b>	<b>17</b>
<b>2.7. Nitrógeno.....</b>	<b>18</b>
<b>2.8. Fuentes Nitrogenadas.....</b>	<b>19</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1. Ubicación.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2. Diseño experimental.....</b>	<b>21</b>
<b>3.3. Antecedentes y aplicación de tratamientos .....</b>	<b>22</b>
<b>3.4. Variables vegetativas.....</b>	<b>23</b>
<b>3.5. Variables productivas .....</b>	<b>24</b>
<b>3.6. Análisis estadísticos .....</b>	<b>25</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1. Variables vegetativas.....</b>	<b>26</b>
<b>4.1.1. Longitud de brote.....</b>	<b>26</b>

4.1.2.	Características del brote.....	27
4.1.3.	Contenidos nutricionales en tejido foliar.....	27
4.2.	VARIABLES PRODUCTIVAS.....	29
4.2.1.	Características de las mazorcas.....	29
4.2.2.	Características bromatológicas de las almendras.....	29
4.2.3.	Rendimiento y producción.....	30
4.3.	ESTADO DEL SUELO.....	31
4.3.1.	pH.....	31
4.3.2.	Contenido de macronutrientes en el suelo.....	31
4.4.	CORRELACIONES.....	33
5.	DISCUSIÓN.....	35
6.	CONCLUSIONES.....	43
7.	RECOMENDACIONES.....	44
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	45
9.	ANEXOS.....	52
9.1.	Cálculos de fertilización.....	52
9.2.	Escala de fenología productiva.....	52
9.3.	Análisis foliares de cacao.....	54
9.4.	Análisis de suelos.....	56

**“APLICACIÓN DE DIFERENTES FUENTES NITROGENADAS Y SU  
INFLUENCIA EN LA MORFOLOGÍA, FISIOLOGÍA Y PRODUCTIVIDAD  
DE CACAO *Theobroma cacao* L. CCN51”**

## RESUMEN

El cacao es un cultivo de interés mundial, pese a la información generada en torno a él aún existe un vacío en aspectos de nutrición relacionados con la fisiología de la planta. El nitrógeno constituye un macronutriente esencial y es absorbido por las plantas como iones amonio o nitrato; la diferencia en su aplicación cambia la concentración y proporción de cationes en el suelo. Por tal motivo se evaluó el efecto de distintas fuentes nitrogenadas sobre cacao CCN51 de 5 años de edad en la provincia de Zamora Chinchipe. Se establecieron 4 tratamientos con una misma dosis de N la cual varió únicamente en la fuente más un control: T1= testigo sin aplicación de N, T2= urea, T3= nitrato de calcio (NC) y T4= sulfato de amonio (SA). Las aplicaciones se realizaron cada 30 días. Se evaluó el crecimiento de brotes y frutos seleccionados, macronutrientes en hojas y suelo, pH del suelo, características bromatológicas del grano, rendimiento y eficiencia agronómica de las fuentes usadas, todas estas variables fueron correlacionadas y se realizó un ANOVA a cada una de forma independiente. No se encontraron diferencias significativas en variables vegetativas, ni en las características físicas de la almendra, sin embargo, se produjeron diferentes efectos en el contenido de nutrientes y pH del suelo. El SA y la urea acidificaron en mayor proporción y a la vez permitieron un mayor contenido de N en el suelo, además, el uso de SA elevó el contenido de grasa en la almendra en comparación a la urea, contando también con un mayor número de frutos por planta y por ende mejor rendimiento. En cuanto a la eficiencia agronómica, el SA fue dos veces más eficiente que el NC y cuatro veces más que la urea. En conclusión, el desarrollo vegetativo de la planta no se ve afectado por la fuente nitrogenada usada; en cuanto al rendimiento, el SA genera una mayor producción pero su efecto acidificante sobre el pH del suelo debe ser un factor a considerar y analizar en el caso de aplicaciones continuas.

Palabras clave: Sulfato de amonio, nitrato de calcio, urea, rendimiento.

## ABSTRACT

Cocoa is a crop of global interest, despite the information generated about it there is still a gap in aspects of nutrition related to the physiology of the plant. Nitrogen is an essential macronutrient and is absorbed by plants as ammonium or nitrate ions; the difference in its application changes the concentration and proportion of cations in the soil. For this reason, the effect of different nitrogenous sources on 5-year-old CCN51 cocoa was evaluated in the province of Zamora Chinchipe. Four treatments were established with the same dose of N, which varied only in the source plus a control: T1= control without application of N, T2= urea, T3= calcium nitrate and T4= ammonium sulfate. The applications were made, every 30 days. The growth of selected sprouts and fruits, macronutrients in leaves and soil, soil pH, bromatological characteristics of the grain, yield and agronomic efficiency of the used sources were evaluated, all these variables were correlated and an ANOVA was made to each one independently. There were not found significant differences in vegetative variables, neither in the physical characteristics of the kernel, however, there were produced different effects in the content of nutrients and pH of the soil, this way. The SA and the urea acidified in a bigger proportion and at the same time they allowed a bigger content of N in the soil, besides, the use of SA increased the content of fat in the kernel in comparison to the urea, counting also with a bigger number of fruits by plant and therefore better yield. In terms of agronomic efficiency, SA was twice as efficient as NC and four times as efficient as urea. In conclusion, the vegetative development of the plant is not affected by the nitrogen source used; as for the yield, the ES generates a higher production but its acidifying effect on the soil pH must be a factor to consider and analyze in the case of continuous applications.

Key words: Ammonium sulphate, calcium nitrate, urea, yield

## 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao constituye un rubro importante en la economía mundial, representa el modo de vida de más de 150 000 agricultores y genera alrededor de 1 500 000 empleos directos en las etapas de producción, procesamiento y comercialización (Arvelo *et al.*, 2017). Jerez (2017) señala que la demanda de cacao se incrementa a un ritmo del 2,5 % anual, previendo un déficit de 150 000 t de cacao para el año 2020, razón por la cual, resulta importante optimizar los recursos y técnicas para incrementar la productividad del cultivo.

En la producción de cacao intervienen un sinnúmero de factores y condiciones. Un aspecto importante a considerar es la interacción de los factores ambientales. Sin embargo, el impacto que estos tengan sobre el crecimiento y productividad del cultivo depende de la genética, misma que determina sus características morfológicas y fisiológicas (Müller, 2008). La variedad CCN-51 registra mayor productividad, inicio más temprano de producción y mayor resistencia a ciertas enfermedades, en comparación al cacao fino de aroma; además, las almendras tienen un contenido de 54 % de grasa, uno de los rendimientos más altos para la industria de la mantequilla de cacao (Amores *et al.*, 2011).

La nutrición es un factor determinante en el desarrollo del cultivo, se debe considerar el estado del suelo, las características físico-químicas y los nutrientes que este disponga. La provincia de Zamora se caracteriza por poseer suelos ácidos, presenta deficiencia de fósforo, potasio, calcio y boro, así como niveles altos de N debido a la cantidad de materia orgánica que se encuentra en los suelos, 4 %, (Romero, 2019).

El nitrógeno constituye uno de los macronutrientes más importantes para el desarrollo de las plantas, estas absorben N del suelo como iones amonio y nitrato, mismos que se encuentran en el suelo en diferentes proporciones por procesos físicos y biológicos (Van Vliet *et al.*, 2015).

Es por esto que las concentraciones y proporciones de los cationes sobre una base individual cambian cuando se aplica nitrato o amonio (Hansen, 1972). El cambio en la aplicación de  $\text{NO}_3^-$  a

$\text{NH}_4^+$  a nivel de raíz en *Lolium perenne* al cabo de 3 h ocasionó un incremento triple en la concentración de  $\text{NH}_4^+$  apoplástico en la hoja, trayendo consigo una disminución de 0,4 en el pH del apoplasto. La disminución del pH indica que el consumo de  $\text{NH}_4^+$  vía apoplasto-simplasto está asociado a la liberación de  $\text{H}^+$  (Hoffmann *et al.*, 1992).

Al referirnos al cultivo de cacao, la información en cuanto a nutrición o eficiencia de distintas fuentes de fertilizantes es ambigua y contradictoria, muchas investigaciones datan desde hace más de 40 años. No se tiene claro la cantidad de nutrientes que se añade con los fertilizantes, formas de aplicación o criterios básicos sobre estado inicial del suelo, además, 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). Al momento no se conoce la fuente mineral más efectiva para elevar la producción y los efectos que produce en el desarrollo fisiológico de la planta y calidad del grano.

Por estos antecedentes se genera la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los efectos fisiológicos y productivos de distintas fuentes nitrogenadas sobre *Theobroma cacao* CCN51? Y las preguntas específicas: ¿Qué efecto producen las diferentes fuentes de nitrógeno en las estructuras morfológicas y productivas del grano de cacao? ¿Cuál es la fuente de nitrógeno más eficiente para incrementar el rendimiento del cultivo?

### **1.1. Objetivo General**

Evaluar los efectos fisiológicos y productivos de la aplicación de distintas fuentes nitrogenadas sobre *Theobroma cacao* L. CCN51.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de las diferentes fuentes de nitrógeno sobre las variables vegetativas y productivas.
- Identificar la fuente nitrogenada más eficiente para incrementar el rendimiento de cacao.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Características del cacao CCN51

Las dos variedades de cacao que se producen en Ecuador son Nacional (fino) y CCN-51. La variedad CCN51 registra mayor productividad, inicio más temprano de producción y mayor resistencia a ciertas enfermedades (Acebo, 2016), además de ser precoz, y tener almendras con un contenido de 54 % de manteca, uno de los rendimientos más altos para la industria de la mantequilla de cacao (Amores *et al.*, 2011).

En cuanto a producción, CCN51 posee el mayor peso promedio de grano, porcentaje de grasa y relación Teobromina/Cafeína; sin embargo, tiene características menos deseables, como un pH bajo para testa y cotiledón, una cantidad moderada a baja de sabor de cacao y altos niveles de amargor y astringencia (Amores *et al.*, 2011; Boza *et al.*, 2014).

### 2.2. Descripción botánica

*Theobroma cacao* es un árbol o arbusto semicaducifolio de hasta 12 m de altura, en cultivo llega a 4-8 m (Dostert *et al.*, 2011; Mejía *et al.*, 2012). El clon CCN51 cuenta con una raíz principal pivotante y tiene muchas secundarias, la mayoría de las cuales se encuentran en los primeros 30 cm de suelo (ANECACAO, 2017).

Las hojas son simples, enteras y con pecíolo corto. Presentan un color café claro o rojizo en hojas jóvenes y de color verde a medida que se desarrollan y de pecíolo corto (Almeida y Valle, 2007). Las flores se producen en racimos pequeños sobre el tejido maduro mayor de un año del tronco y de las ramas, alrededor de los sitios donde antes hubo hojas. Producen aproximadamente 20 mazorcas de color rojizo, las mazorcas poseen de 20 a 40 semillas de color morado y sabor amargo con la pulpa de sabor ácido a dulce (Hernández *et al.*, 2009; ANECACAO, 2017).

### **2.3. Ciclo de flushing**

El ciclo de flush es el periodo de formación de una rama, se caracteriza por etapas alternas de crecimiento y latencia. La emisión foliar se produce de forma rítmica relativamente independiente del clima, lo que indica que el ritmo de crecimiento está bajo control endógeno (Vogel, 1975).

El tallo principal alcanza la madurez fisiológica después de uno o dos años de la siembra. Cuando el meristemo apical deja de crecer, comienza a desarrollarse una horqueta de ramas plagiotrópicas (3-5), que a su vez se ramifican. Al mismo tiempo aparece un segundo tallo vertical en el tallo principal. Con el paso del tiempo, se desarrolla un segundo verticilo de ramas de abanico. Este proceso puede repetirse varias veces, de manera que el dosel aumente de altura (Carr y Lockwood, 2011).

Se estima un tiempo de vida promedio de 450 días en plantas bajo sombra y 250 días a plena exposición solar (Müller *et al.*, 1992). El desarrollo simultáneo de varias hojas exige un consumo de carbohidratos grande durante un período de 10 a 15 días que excede el fotosintato disponible (Machado y Hardwick, 1988). Por lo tanto, las hojas desarrolladas al final de un flush normal tienden a ser pequeñas (Machado y Hardwick, 1987) y las hojas subsecuentes al flush normal crecen bajo el déficit de carbohidratos, deteniendo su potencial de crecimiento a tamaño completo. En las hojas maduras los niveles totales de N disminuyen durante el desarrollo de un nuevo brote (Santana e Igue, 1979), por movilizarse a la expansión de las hojas.

### **2.4. Fenología reproductiva y productividad**

La producción de vainas es pequeña durante los primeros años, aumentando a medida que el árbol envejece (Almeida y Valle, 2008) Los frutos de cacao maduran entre 5 y 6 meses después de la polinización (Pérez, 2009). Según Báez (2008), 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.

CCN 51 representa 80 000 ha del área total sembrada en Ecuador y produce un promedio de 1 t ha<sup>-1</sup> que puede incrementarse a más de 3 t ha<sup>-1</sup> (Amores *et al.*, 2011), por ejemplo en Bocas del Toro (Panamá) tuvo una productividad de 2 a 2,5 t ha<sup>-1</sup>, semillas de 1,4 a 1,5 g (Santiago, 2016).

## 2.5. Factores influyentes en el rendimiento

En el cacao, la intensidad de luz no debe sobrepasar los 1 000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mayor intensidad puede traer consigo efectos fotoinhibitorios, menor duración de las hojas, menores potenciales hídricos, cierres estomáticos y en consecuencia menores tasas de asimilación de CO<sub>2</sub>. Un incremento en la intensidad lumínica implica mayor fertilización, especialmente de K y altas dosis de N para disminuir la fotoinhibición (Mohotti y Lawlor, 2002).

Altas temperatura promueven un crecimiento más rápido del fruto y un periodo más corto para la maduración, entre 140 y 175 días; en cambio, en periodos fríos la maduración se prolonga entre 167 y 205 días. La floración a 25 °C es normal y abundante (Hardy, 1960; Alvim, 1977; Cope, 1979; Enríquez, 1985; León, 1987), con temperaturas menores de 15 °C la actividad de las raíces disminuye, y temperaturas altas afectan las raíces superficiales de la planta del cacao limitando su capacidad de absorción.

Por otra parte, las altas temperaturas afectan las funciones de la planta, entre ellas la floración y desarrollo foliar que se restringen con temperaturas superiores a 30 °C (Hardy, 1960). La pérdida de la dominancia apical es otro síntoma del exceso térmico (Braudeau, 1991; Enríquez, 1985). Las bajas temperaturas afectan la calidad de la manteca de cacao, porque son responsables de un aumento en la proporción de grasas no saturadas. Como resultado la manteca exhibe un bajo punto de fusión (Enríquez, 1985).

## 2.6. Nutrición

Puentes-Páramo *et al.*, (2016) indican que el clon CCN 51 presentó un mayor rendimiento cuando se aplicó el 25 % de NPK requerido según Aranzazu (2011), teniendo 49 kg ha<sup>-1</sup> de N, 23,5 kg ha<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 146,5 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Según Ogunlade *et al.* (2009), se requiere por cada 1 000 kg de grano seco cerca de 20 kg N, 4 kg P y 10 kg K, nutrientes que se toman del suelo con cada cosecha.

García (1993) menciona que 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 las cantidades de los nutrientes absorbidos por la planta durante el ciclo del cultivo, se puede observar cuándo ocurren los momentos de máxima absorción y así determinar las épocas oportunas para la entrega de nutrientes. El nitrógeno al ser un elemento dinámico en el suelo, se requiere fraccionar sus aplicaciones para evitar pérdidas (Bertsch, 2005).

## 2.7. Nitrógeno

La eficiencia de uso del nitrógeno (NUE) está determinada por la eficiencia de la captación, la eficiencia de la incorporación y la eficiencia de la utilización basada en la removilización, es decir, parámetros de toda la planta: raíz y brote (Haque, 2015). Debido a los diversos factores que intervienen en la NUE, como la actividad microbiana del suelo, la movilidad de las diferentes formas de N y la pérdida de N gaseoso en el transporte desde la raíz al dosel, es difícil cuantificar la cantidad real de fertilizante disponible o realmente adquirido por las plantas (Xu *et al.*, 2012).

Según Puentes-Páramo *et al* (2016) la mayor eficiencia fisiológica de uso del nitrógeno (EFN) se presentó para el clon CCN-51, cuando se aplicó 61 kg ha<sup>-1</sup> obteniéndose 45,3 kg<sup>-1</sup>, lo cual significa que por cada kilogramo de nitrógeno absorbido se producen 45,3 kg de grano seco de cacao. También, presentó la menor EFN cuando se aplicó 98 kg ha<sup>-1</sup> obteniéndose 14,59 kg<sup>-1</sup>.

Antes que el N se encuentre disponible para las plantas debe sufrir un proceso de mineralización, las mediciones del N total del suelo son un predictor deficiente de la respuesta a los fertilizantes de N (Van Vliet *et al.*, 2015). El N 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; en cambio, los árboles maduros sólo pueden responder a N cuando son podados y raleados (Wessel, 1971; Jadin y Snoeck 1985).

Las plantas absorben N del suelo como iones amonio y nitrato, mismo que están en el suelo por procesos como: equilibrio dinámico de la mineralización e inmovilización de N de la hojarasca y la materia orgánica del suelo, la absorción de las plantas y las pérdidas por lixiviación, volatilización y desnitrificación. 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).

Según Wessel (1971), los efectos de las aplicaciones anuales de N y P generalmente comienzan a aparecer sólo después de dos o tres años, ya que primero hay que mejorar el estado nutricional general y el crecimiento vegetativo de los árboles antes de que se puedan producir más vainas. La deficiencia de N se manifiesta en la reducción de la velocidad de crecimiento de las plantas, ya que el N está relacionado con la intensidad de la luz bajo la cual crecen las plantas: al aumentar la luminosidad aumenta la intensidad del síntoma (López *et al.*, 2015). Además, la falta de N en las plantas induce cambios en la síntesis de carbohidratos debido a la acumulación de almidón y una disminución en el área foliar específica (Bot *et al.*, 1998).

## **2.8. Fuentes Nitrogenadas**

La aplicación de N mineral a cultivos de interés económico es una estrategia para incrementar los niveles de rendimiento de la planta y satisfacer así la demanda alimenticia a nivel mundial. Al hablar de fertilizantes nitrogenados empleados en la nutrición se encuentran 5 grupos importantes: nítricos ( $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  y  $\text{KNO}_3$ ), amónicos ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), amónicos y nítricos ( $\text{Ca}(\text{NH}_4)_2$ ,  $(\text{NH}_4)\text{NO}_3$  y  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) y amidas (urea y cianamida de calcio), estas fuentes aportan con 11-16, 21, 20-34 y 46 % de N respectivamente (Pacheco, 2003).

En el año 2000 el consumo de fertilizantes nitrogenados ubicó a la urea como la fuente más consumida con 41 042 t en comparación al sulfato de amonio que registró un valor de 2 738 t, mientras que el nitrato de calcio junto con otras bases nitrogenadas representaron un total de 7 907 t (Baker y Pilbeam, 2007).

Considerando los valores anteriores la urea es el recurso más común entre los agricultores, principalmente por el contenido de N que aporta y bajo costo que representa en las cadenas productivas, sin embargo, el mayor problema que presenta esta fuente es la controversia que genera su eficiencia agronómica; resultados experimentales demuestran que se pierde alrededor de 25 % de N por volatilización, sin tomar en cuenta que otras partes del elemento se pierden por inmovilización y lixiviación (González, 2007); a pesar de este problema, estudios han demostrado que la fertilización con N incrementó tanto el rendimiento como el contenido de proteína en *Pennisetum purpureum*, obteniéndose casi 3 kg de proteína por cada kg de N añadido en forma de urea (Márquez *et al.*, 2007).

El sulfato de amonio (SA) se comercializa como un material cristalino seco, se recomienda su uso en suelos alcalinos que requieran una reducción de pH debido a que la nitrificación del amonio es un proceso acidificante (Baker y Pilbeam, 2007). La respuesta de *Triticum aestivum* L. cuando se aplicó SA, seguido por nitrato de calcio (NA) y urea fue un incremento en su producción. En promedio, el rendimiento con SA fue casi 1 t más respecto a la urea, pero debido a su menor precio por unidad de N, los productores locales prefieren urea (Grageda-Cabrera *et al.*, 2004).

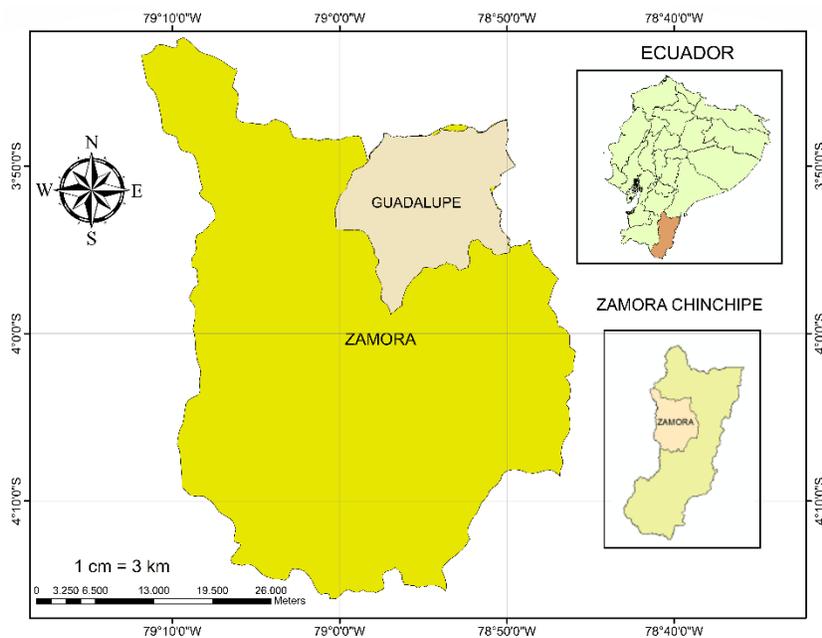
Chien *et al.* (2008) observaron una respuesta significativa de N en el rendimiento de grano de trigo, en este caso el SA presentó 63,3 g/maceta en contraste con la urea y testigo con 57,2 y 43,3 g/maceta respectivamente, de igual manera los rendimientos totales de materia seca en maíz fueron 55,3 para el testigo, 138,1 y 137,7 g/maceta para el SA y urea respectivamente.

Pierre (1928) realizó estudios donde se demostró que la nitrificación del N de los fertilizantes nitrogenados que contienen amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) genera acidez en el suelo. Adams (1984) menciona que cada mol proveniente del SA produce 4 moles de  $\text{H}^+$ , mientras que cada mol de N proveniente de la urea genera 2 moles de  $\text{H}^+$ , sugiriendo que la acidez generada por el SA es dos veces mayor que la de la urea.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación

La presente investigación se llevó a cabo en el barrio Piuntza, parroquia Guadalupe, cantón Zamora de la provincia de Zamora Chinchipe, a una latitud de 9 571 441,32 m, una longitud de 734 782,85 m y una altitud de 849 msnm (Figura 1). Se caracteriza por una temperatura que oscila de 18 a 22 °C, una precipitación anual de 2 300 mm una humedad relativa del 80 % (GAD Zamora, 2015). La plantación cuenta con aproximadamente 1,5 ha, donde están sembradas 1 100 plantas de cacao clon CCN 51 a un marco de siembra de 3,5x3,5 m y con una edad de 5 años.

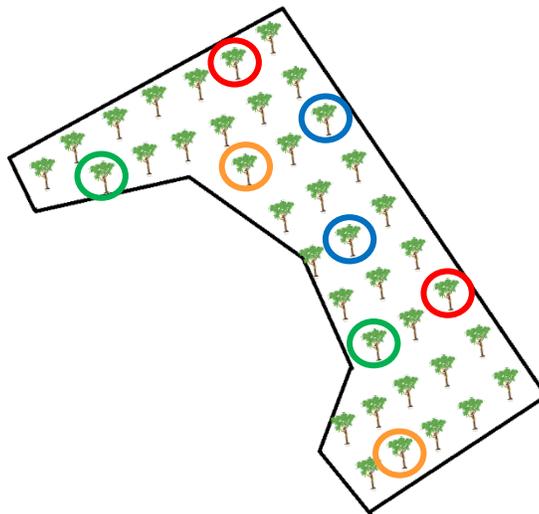


**Figura 1.** Ubicación del experimento, provincia de Zamora Chinchipe.

#### 3.2. Diseño experimental

Los individuos seleccionados para la investigación se eligieron según su homogeneidad en: edad, altura, número de ramas principales, estado fenológico y área foliar. Se contó con una muestra de 40 árboles, cada uno corresponde a una unidad experimental organizadas en un diseño completamente al azar (Figura 2), las cuales se sometieron a 4 tratamientos: T1 testigo sin nitrógeno, T2 fertilización con 34 g de urea como fuente de nitrógeno, T3 fertilización con 101 g

de nitrato de calcio como fuente de nitrógeno y T4 fertilización con 74,4 g de sulfato de amonio como fuente de nitrógeno, correspondiente a 76,5 unidades de N/Ha.



**Figura 2.** Diseño completamente aleatorizado instalado en campo.

### 3.3. Antecedentes y aplicación de tratamientos

La presente investigación se ejecutó a partir de un trabajo de titulación realizado con anterioridad, en el cual se evaluó el efecto de las fuentes nitrogenadas en las etapas vegetativas del cultivo (Romero, 2019). Además, se realizó un análisis de suelo completo, a partir del cual se determinó una corrección de pH y una fertilización base para cubrir los requerimientos del cultivo, conjuntamente se calculó la dosis de mantenimiento, misma que fue fraccionada para las aplicaciones mensuales de fertilizante químico que representaron los distintos tratamientos.

En este trabajo se calcularon también ecuaciones alométricas que permitieron determinar el área foliar de brote y peso de fruto a partir del ancho de hoja y longitud del futo respectivamente, estas ecuaciones se tomaron para el cálculo de las variables antes mencionadas.

En cada unidad experimental se seleccionaron 4 brotes de aproximadamente 10 cm de largo, ubicados en la parte media del dosel orientados en los puntos cardinales y en la etapa de fructificación se seleccionaron 3 frutos con alrededor de 15 cm de largo. En estas estructuras se

evaluaron las variables vegetativas y productivas, mismas que fueron valoradas cada 30 días, en todas las repeticiones simultáneamente con la aplicación de tratamientos.

Los tratamientos fueron aplicados mensualmente por unidad experimental en 4 zonas ubicadas en los puntos cardinales a la altura de las raíces superficiales, a la par se tomó 30 g de suelo proveniente de las zonas de fertilización por unidad experimental, considerando 5 repeticiones por tratamiento, estas fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja para determinar pH mediante un potenciómetro. El estudio en campo se llevó a cabo por 7 meses.

### **3.4. Variables vegetativas**

**Largo de brote.** Se midió en centímetros con una cinta y se expresó en tasa de crecimiento absoluta y tasa de crecimiento relativa.

**Tasa de crecimiento absoluta.** Permite evaluar el incremento de longitud del órgano por unidad de tiempo, se usó la siguiente fórmula:  $TCA = \text{incremento de longitud} / \text{días evaluados}$ .

**Tasa de crecimiento relativa.** Corresponde al incremento de longitud por unidad de tamaño y por unidad de tiempo: 1 mes, se usó la siguiente fórmula:  $TCR = 1 / \text{longitud inicial} * TCA$

**Longitud de metámeros.** División entre el largo de brote y número de metámeros.

**Número de metámeros.** Se contabilizó la cantidad de metámeros presentes en cada uno de los brotes de las unidades experimentales.

**Área foliar del brote.** Se calculó el área foliar mediante la ecuación:  $y = 1,9944x - 2,0698$ , donde la x representa el largo de la hoja.

El largo de brote se evaluó mensualmente, las demás variables se tomaron al finalizar la aplicación de tratamientos.

Para describir la movilización de nutrientes se realizaron análisis químicos de tejidos vegetales cada 45 días durante un periodo de 4 meses, para lo cual se tomaron 3 repeticiones por tratamiento. En cada muestreo se recolectaron 30 hojas de brotes de la temporada, del tercio medio del dosel, y fueron enviadas al laboratorio de suelos del INIAP Santa Catalina en fundas de papel con la identificación correspondiente. Se analizaron los siguientes minerales: N por el método Kjeldahl, P por colorimetría, K, Ca y Mg por absorción atómica.

Al finalizar el experimento, un mes después de la última aplicación de los tratamientos, se tomó 1 kg de suelo en 3 repeticiones por tratamiento y se envió al laboratorio de suelos y agua de INIAP estación Santa Catalina para analizar N, P, K, Ca y Mg.

### **3.5. Variables productivas**

**Longitud de mazorca.** Se midió en centímetros con una cinta y expresó el crecimiento de la mazorca.

**Número de mazorcas por árbol.** Para esta variable se registraron al final de la cosecha en todas las repeticiones las mazorcas que se encontraran en los estadios 71 (10% del tamaño final del fruto), 75 (50% del tamaño final del fruto) y 81 (cosecha).

**Peso fresco de la mazorca.** Al momento de la cosecha se pesó con una balanza analítica una mazorca por repetición.

**Peso fresco del exocarpo.** Se extrajo el exocarpo de cada mazorca y se pesó en una balanza analítica.

**Peso y número de almendras frescas por mazorca.** Luego de la extracción del exocarpo, se pesaron las almendras de cada repetición en conjunto y se registró el número de almendras.

**Tamaño de almendras secas.** Se colocaron las almendras pesadas en fundas de papel y se introdujeron a la estufa a 65°C por dos días. Posterior a esto con un calibrador se registró el largo de 30 almendras por tratamiento, homogenizando las repeticiones.

**Índice de mazorca.** Es el número de mazorcas que se requiere para obtener un kilogramo de granos secos, para lo cual se pesaron los granos secos por mazorca, la muestra fue de 1 mazorca por unidad experimental.

**Análisis bromatológicos.** Para estos análisis químicos se tomaron 3 repeticiones por tratamiento para las pruebas en el exocarpo y 4 repeticiones por tratamiento para análisis de almendra. Se determinó el contenido de humedad y materia seca a 105°C en una estufa, ceniza por medio de una mufla, N total mediante Kjeldahl y grasas totales.

**Producción.** Se multiplicó el peso fresco de la mazorca por el número de mazorcas por planta.

**Rendimiento.** Esta variable se calculó mediante el producto del peso del grano seco, el número de granos por fruto y el número de mazorcas por planta, a su vez, esta cantidad se multiplicó por la densidad de plantas.

La eficiencia agronómica de los frutos indica la cantidad granos secos producidos por cada kg de fertilizante utilizado, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$EAgr = \frac{R(x) - R(t)}{CN}$$

Dónde:

R (f) = rendimiento de grano del tratamiento; R (T) = rendimiento promedio de grano de las plantas sin tratamiento; CN = cantidad de nutriente aplicado con el fertilizante. Fórmula de Ghulam *et al.* (1996) modificado por Fernández *et al.* (2016).

### 3.6. Análisis estadísticos

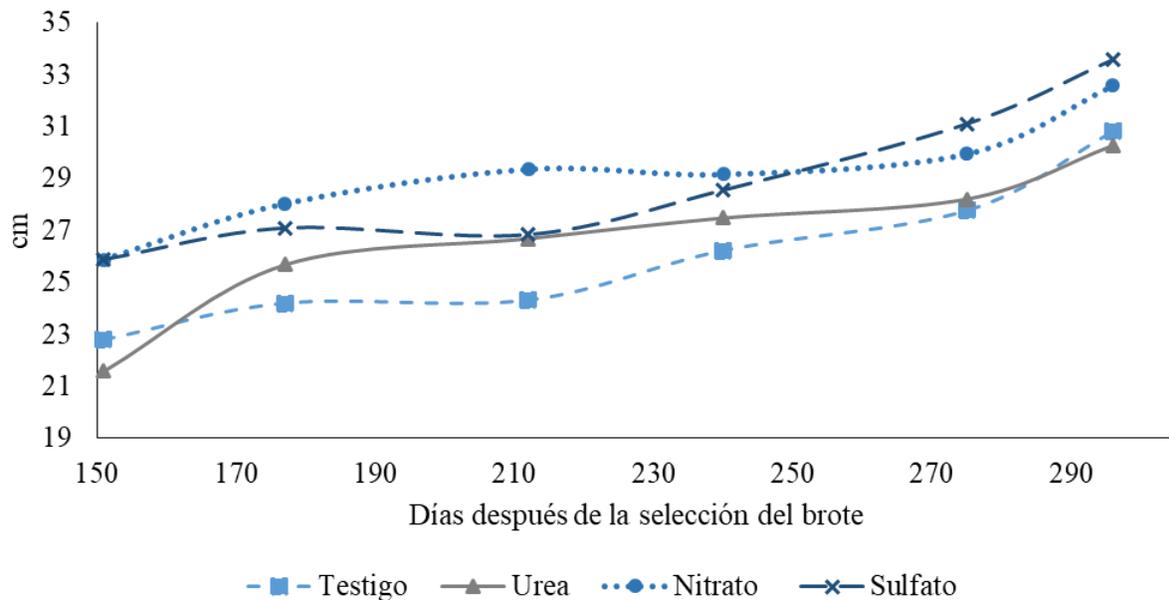
Las variables fueron introducidas al programa INFOSTAT, en el cual se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables, se realizaron correlaciones entre todas las variables, considerando 3 repeticiones por tratamiento y por último se llevó a cabo una prueba de comparación múltiple de Tukey con el 95 % de confianza con la que se determinó diferencias significativas entre cada tratamiento.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Variables vegetativas

#### 4.1.1. Longitud de brote

La elongación del brote durante el tiempo de evaluación se mantuvo en constante incremento, sin embargo, no presentó diferencia significativa ( $p>0,05$ ) entre la aplicación de nitrógeno y el testigo (Figura 3).



**Figura 3.** Crecimiento de brotes desde los 151 a 296 días de aplicación de tratamientos y evaluación, no se encuentran diferencias significativas ( $p>0,05$ )

Se puede observar en la tabla 1 que no existe efecto de los tratamientos sobre la tasa de crecimiento absoluta y relativa ( $p>0,05$ ) cuando el cultivo se encuentra en una fase productiva, en esta etapa las plantas presentaron una tasa de crecimiento de 0,5 a 0,8 cm diarios.

**Tabla 1.** Tasas de crecimiento absolutas y relativas por cada tratamiento a los 145 días de evaluación

Tratamiento	TCA (cm/día)	TCR
Testigo	0,06	0,00028
Urea	0,06	0,00032
Nitrato	0,05	0,00021
Sulfato	0,08	0,0003

#### 4.1.2. Características del brote

En la tabla 2 se encuentran datos correspondientes a las características de los brotes, mismos que presentaron un rango de 10 a 12 metámeros con una longitud cercana a 2,5 cm, la aplicación de nitrógeno no se diferencia del testigo en características de brote. En cuanto al área foliar, no se encuentra diferencia significativa entre la aplicación de N y el testigo ( $p>0,05$ ) (Tabla 2).

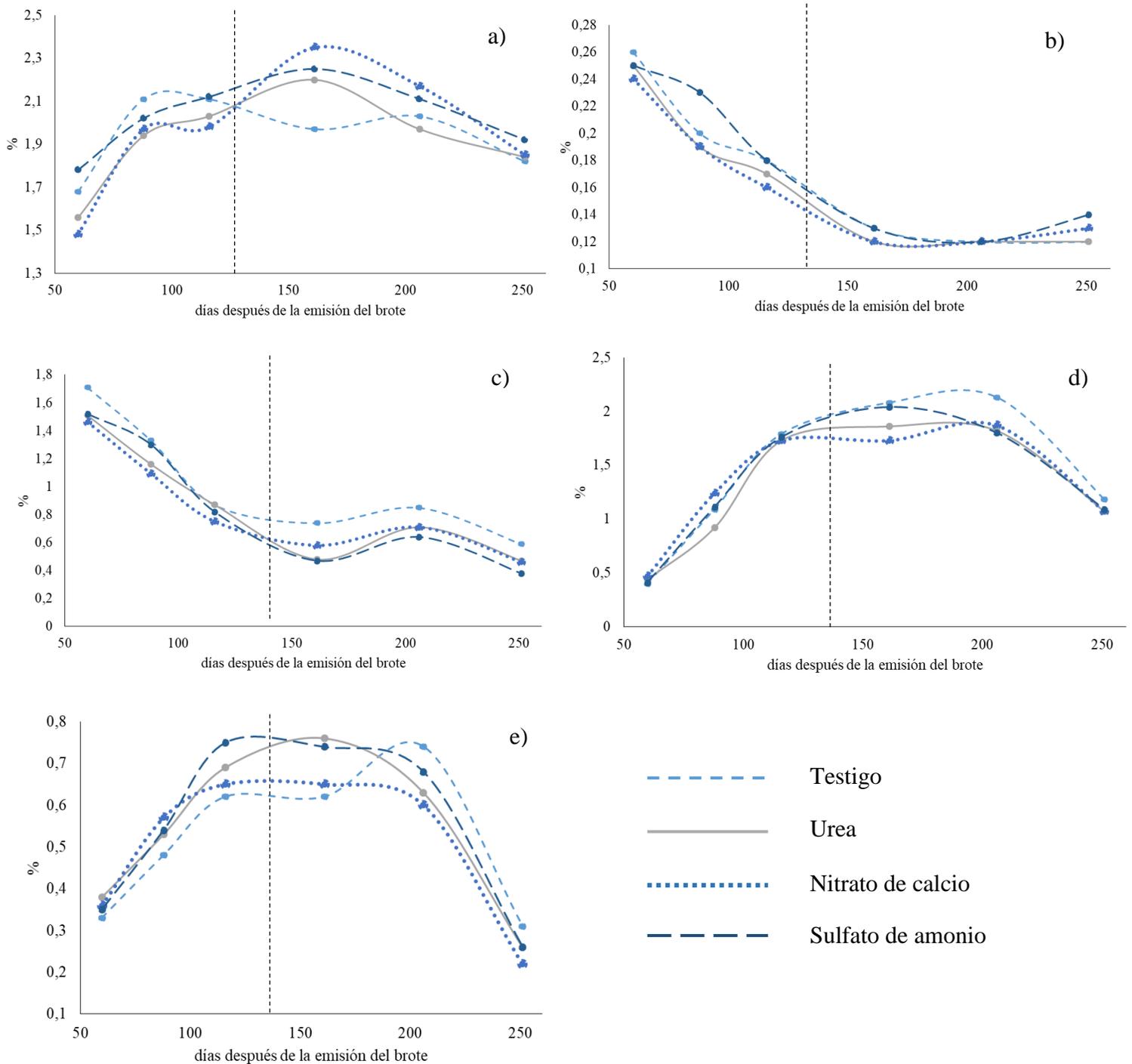
Tabla 2. Número y longitud de metámeros por tratamiento al finalizar la evaluación

Tratamiento	Número de metámeros	Longitud de metámeros (cm)	AF (cm <sup>2</sup> )
Testigo	10,63	2,63	1134,25
Urea	9,99	2,74	901,38
Nitrato de calcio	12,57	2,27	1313,64
Sulfato de amonio	11,42	2,34	1111,16

#### 4.1.3. Contenidos nutricionales en tejido foliar

Los contenidos nutricionales en el tejido foliar en la etapa productiva según la escala BBCH modificada (Bridgemohan *et al.*, 2016) no presentan diferencias significativas entre la aplicación de nitrógeno y el testigo. La figura 4 presenta la dinámica nutricional conforme se desarrolla fenológicamente la hoja: el N mantiene un incremento constante hasta los 161 días de emisión de las hojas, a partir de esta fecha el nutriente empieza a disminuir hasta los 251 días. Al hablar de fósforo y potasio se observa en las curvas que estos elementos disminuyen en la hoja conforme avanza el tiempo hasta los 161 días de evaluación, fecha en la cual el fósforo tiende a incrementar en proporciones bajas, mientras que el potasio incrementa a los 206 días y disminuye a los 251. En cuanto a elementos como calcio y magnesio se puede observar que presentan un incremento hasta los 116 días, los siguientes 90 días se mantienen en cantidades constantes en la hoja, para disminuir considerablemente los últimos 45 días de evaluación.

Se observa también un incremento en el contenido de nitrógeno, calcio y magnesio y una disminución de fósforo y potasio en las hojas cuando el cultivo se encuentra en la fase vegetativa con un crecimiento activo de brotes, por el contrario, cuando la planta atraviesa la fase productiva en la cual se desarrollan las mazorcas, el nitrógeno, calcio y magnesio tienden a disminuir y elementos como fósforo y potasio aumentan en una baja proporción.



**Figura 4.** Dinámica nutricional en la zona foliar conforme avanza su desarrollo fenológico, a) nitrógeno, b) fósforo, c) potasio, d) calcio, e) magnesio. Los datos ubicados a la izquierda de la línea vertical entrecortada corresponden a la etapa vegetativa del cultivo, los cuales fueron tomados de Romero (2019). No presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

## 4.2. Variables productivas

### 4.2.1. Características de las mazorcas

En la tabla 3 se puede observar que no existe diferencia entre la aplicación de nitrógeno y el testigo ( $p>0,05$ ), en cuanto a la mazorca presentan de 22 a 24 cm de longitud, con un peso entre 539 y 576 g, contando con un máximo de 34 almendras por mazorca, lo que representa un peso promedio mínimo de 49 g de almendra seca por mazorca de cacao. El SA pese a no existir diferencia significativa cuenta con el menor índice de mazorca de 17,54, en comparación con los demás tratamientos que requieren de 19 a 24 mazorcas para completar 1 kg de almendra seca.

**Tabla 3.** Características de las mazorcas de CCN51 en madurez fisiológica en función de cada tratamiento.

<b>Tratamiento</b>	<b>Longitud mazorca (cm)</b>	<b>Peso de mazorca (g)</b>	<b>Peso de almendras / mazorca (g)</b>	<b>Número de almendras /mazorca</b>	<b>Índice de Mazorca</b>
<b>Testigo</b>	24,05	575,51	58,77	33,9	19,43
<b>Urea</b>	22,5	565,28	49,01	31,38	22,35
<b>Nitrato de calcio</b>	23,21	539,48	49,5	30,71	24,23
<b>Sulfato de amonio</b>	23,31	574,51	55,81	32,75	17,54

Por otra parte, en la tabla 4 se expresa las características físicas de las almendras evaluadas, presentaron un rango de 22 a 23 mm de longitud y de 13 a 14 mm de ancho, contando con un peso de 1,80 a 1,97 g; no hay diferencia significativa de estas variables con el tratamiento ( $p>0,05$ ).

**Tabla 4.** Características de las almendras secas de CCN51

<b>Tratamiento</b>	<b>Largo de almendra (mm)</b>	<b>Ancho de almendra (mm)</b>	<b>Peso de almendra (g)</b>
<b>Testigo</b>	22,28	13,33	1,83
<b>Urea</b>	22,92	13,71	1,88
<b>Nitrato de calcio</b>	23,14	14,1	1,97
<b>Sulfato de amonio</b>	22,93	13,27	1,83

### 4.2.2. Características bromatológicas de las almendras

El porcentaje de ceniza y nitrógeno no son significativos frente a la aplicación de nitrógeno ( $p>0,05$ ), sin embargo, existe un efecto del N sobre el contenido de grasa en la almendra (Tabla 5), el sulfato de amonio (SA) presenta mayor contenido de grasa (54,1 %) que la urea (50,36 %), por el contrario, el nitrato de calcio (NC) no se diferencia del testigo ni de la urea, produciendo el mismo efecto en esta variable.

**Tabla 5.** Porcentaje de ceniza, N y grasa en almendras secas de cacao CCN51

<b>Tratamiento</b>	<b>Ceniza</b>	<b>N</b>	<b>Grasa</b>
<b>Testigo</b>	3,18 ns	2,44 ns	53,00 ab
<b>Urea</b>	3,24 ns	2,41 ns	50,36 b
<b>Nitrato de calcio</b>	3,2 ns	2,33 ns	51,78 ab
<b>Sulfato de amonio</b>	3,03 ns	2,22 ns	54,10 a

\*ns: no significativo

\*letras diferentes verticalmente representan diferencias estadísticas significativas Tukey ( $p<0,05$ )

#### 4.2.3. Rendimiento y producción

La aplicación de SA permite tener un promedio de 16 frutos por cosecha, en comparación a los demás tratamientos que forman un rango de 10 a 13 frutos. El SA permite una mayor producción de mazorcas ( $9,698 \text{ kg planta}^{-1}$ ) en comparación a los demás tratamientos. En cuanto a la urea y el NC, no se distinguen entre sí, pero existen diferencias entre estas bases y el testigo que presentó una producción de  $6,020 \text{ kg planta}^{-1}$ , siendo la más baja. En cuanto al rendimiento de almendras secas por planta no se diferencia el testigo (sin N) de la urea y el NC; por el contrario, el SA presentó el mayor rendimiento por planta ( $979,78 \text{ g}$ ), generando así un estimado de  $799,50 \text{ Kg ha}^{-1}$  (Tabla 6). Existe un efecto ( $p<0,05$ ) del N en la eficiencia agronómica, sin embargo no existe diferencia significativa ( $p>0,05$ ) entre la urea, NC y SA, con 0,82, 1,45 y 3,40 respectivamente (Tabla 6).

**Tabla 6.** Proyección del rendimiento de *Theobroma cacao* L. CCN51 por cosecha.

<b>Tratamiento</b>	<b>Número de frutos</b>	<b>Producción (kg planta<sup>-1</sup>)</b>	<b>Producción (tha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Rendimiento (gplanta<sup>-1</sup>)</b>	<b>Rendimiento estimado (Kgha<sup>-1</sup>)</b>
<b>Testigo</b>	10,67 B	6,020 c	4,913 c	660,82 b	539,23 b
<b>Urea</b>	12,33 B	6,966 b	5,684 b	738,23 b	602,39 b
<b>Nitrato de calcio</b>	13,33 B	7,180 b	5,859 b	796,95 b	650,31 b
<b>Sulfato de amonio</b>	16,67 A	9,698 a	7,913 a	979,78 a	799,50 a

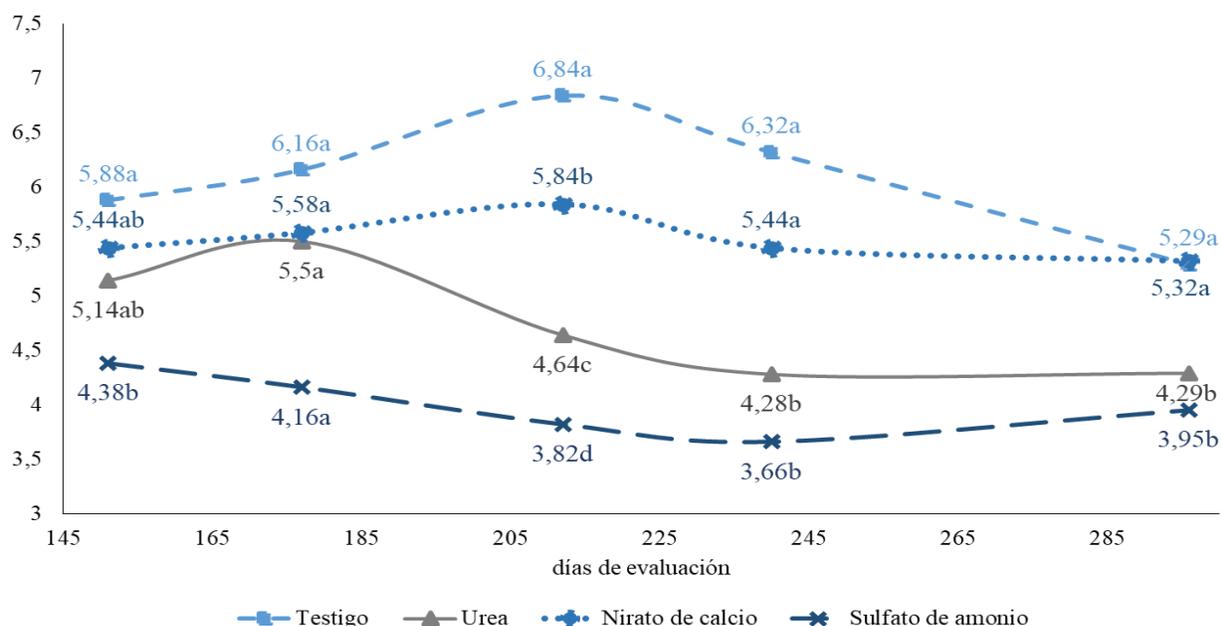
\*letras mayúsculas diferentes verticalmente representan diferencias estadísticas significativas Tukey ( $p<0,05$ )

\*letras minúsculas diferentes verticalmente representan diferencias estadísticas significativas DGC ( $p<0,05$ )

### 4.3. Estado del suelo

#### 4.3.1. pH

Los niveles de pH varían acorde al tiempo transcurrido después de la fertilización: a los 151 y 177 días de aplicación de los tratamientos el SA causa mayores efectos sobre el pH del suelo con 4,38 y 4,16 puntos respectivamente, disminuyendo de manera constante hasta llegar a un nivel de 3,95 puntos, siendo el tratamiento que acidifica en mayor proporción el suelo conjuntamente con la urea que cuenta con 4,69 puntos al finalizar el experimento (Figura 5). El NC presentó un pH ácido durante los 145 días del experimento, se observó que causa un efecto similar al testigo en esta variable, manteniendo valores constantes entre 5 y 6 puntos, y para la culminación del experimento presentó un pH de 5,32 mientras que el testigo registró un pH de 5,29, niveles significativamente más elevados que los tratamientos amoniacales.



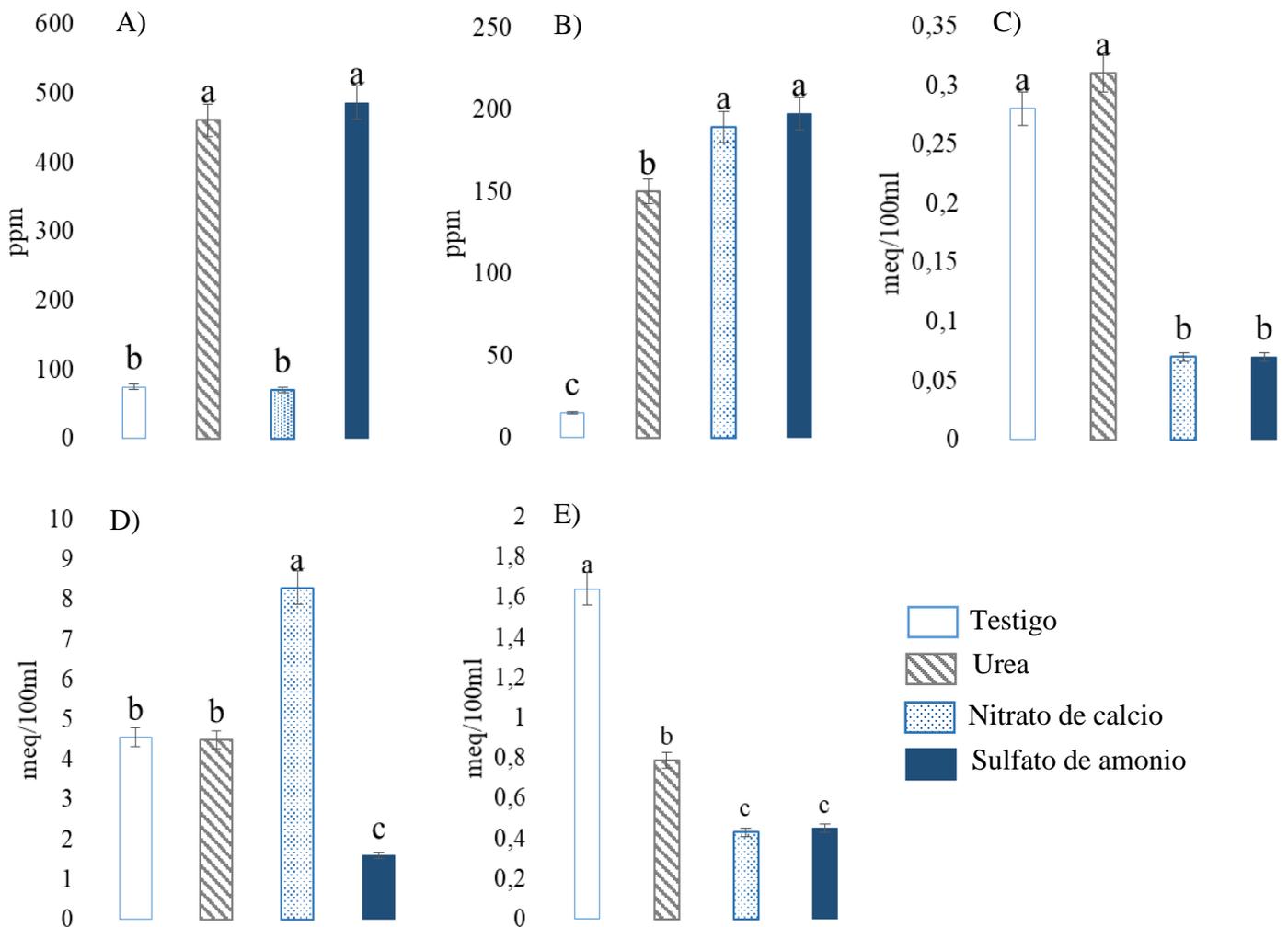
**Figura 5.** Curva de niveles de pH en el suelo desde los 151 a los 296 días de aplicación de fuentes nitrogenadas. \*Letras diferentes verticalmente indican diferencia significativa, Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.3.2. Contenido de macronutrientes en el suelo

El contenido de nutrientes en el suelo varía acorde a cada elemento (Figura 6). El testigo y el nitrato de calcio provocan menores cantidades de N en el suelo en comparación a la urea y el sulfato de amonio que presentan 461 y 486,67 ppm respectivamente. En cuanto al contenido de fósforo, este disminuye con la aplicación de urea, sin embargo, el testigo contiene las cantidades

más bajas de ese elemento, caso contrario ocurre con el nitrato de calcio y sulfato de amonio que elevan el contenido de fósforo en el suelo de 15,33 del testigo a 189,67 y 197,67 ppm respectivamente. La cantidad de potasio en el suelo se incrementa tanto con la aplicación de urea como con el uso del testigo en comparación a los demás tratamientos que no favorecen el contenido de este elemento.

El nitrato de calcio al poseer un porcentaje de Ca eleva el contenido de este elemento en el suelo en comparación con los demás tratamientos, siendo el sulfato de amonio el que registró los valores más bajos, 1,59 meq/100ml. La aplicación de N trae consigo una disminución de Mg en el suelo, esto se puede evidenciar ya que el testigo registró valores de 1,64 meq/100ml en comparación a los tratamientos que presentaron valores de 0,43 a 0,79 meq/100ml.



**Figura 6.** Contenido de macronutrientes en el suelo al finalizar aplicación de fuentes nitrogenadas; A) nitrógeno, B) fósforo, C) potasio, D) calcio, E) magnesio.

\*Letras diferentes en cada gráfica representan diferencias significativas, Tukey (p<0,05).

#### 4.4. Correlaciones

Al analizar las variables evaluadas se encontró una correlación lineal positiva alta ( $p < 0,05$ ) entre el rendimiento por planta y la longitud de metámeros, seguido por la relación entre el contenido de Mg en el suelo y el contenido de K en el tejido foliar, con un coeficiente de Pearson de 0,87 y 0,84, siendo los valores más altos entre las asociaciones positivas.

En cuanto a las correlaciones negativas, se observó una asociación alta entre el contenido de Mg y P en el suelo con un coeficiente de Pearson de -0,94 y altamente significativo ( $p < 0,0001$ ), seguido por la relación entre el número de frutos y el contenido de K en el tejido foliar con un valor de r de -0,88. Las demás correlaciones negativas mantienen un coeficiente que se mantiene en un rango ente -0,50 y -0,70 (Tabla 7).

**Tabla 7.** Correlaciones significativas entre las variables evaluadas en el experimento, tomando en cuenta 3 repeticiones por tratamiento para cada una de ellas.

Correlación		Pearson	p-valor
N foliar	P foliar	0,72	0,0077
P foliar	Largo de brote	0,79	0,0024
Longitud de mazorca	P foliar	-0,59	0,0415
	Longitud de almendra	-0,59	0,0429
	Ancho de almendra	-0,66	0,0185
	Peso de almendra	-0,82	0,0011
	Peso de almendras/mazorca	0,71	0,0095
	Índice de mazorca	-0,67	0,0166
N en suelo	K foliar	-0,58	0,0477
	Ca suelo	-0,71	0,0095
P suelo	K foliar	-0,72	0,0084
	Mg foliar	-0,78	0,003
K suelo	Mg foliar	0,62	0,033
	Número de almendras	0,79	0,0024
	P suelo	-0,67	0,0175
Mg suelo	K foliar	0,84	0,0007
	Ca foliar	0,6	0,0388
	Mg foliar	0,71	0,0093
	P suelo	-0,94	<0,0001

	K suelo	0,71	0,0102
N orgánico en almendra	Ceniza en el exocarpo	-0,78	0,0029
	N foliar	-0,6	0,0408
Grasa en almendras	Ancho de almendra	-0,6	0,0395
Materia seca en el exocarpo	Mg foliar	0,59	0,0425
	Ca suelo	-0,58	0,0487
Humedad en el exocarpo	Ca foliar	0,58	0,0487
Ceniza en la almendra	Ancho de la almendra	0,65	0,0209
Materia seca en la almendra	K foliar	-0,7	0,0108
Humedad en la almendra	K foliar	0,7	0,0108
Número de metámeros	P foliar	0,75	0,0046
	K foliar	-0,88	0,0002
	P suelo	0,68	0,0146
	K suelo	-0,67	0,018
	Mg suelo	-0,72	0,0078
	pH suelo	-0,59	0,044
	N orgánico en almendras	-0,65	0,0232
	Materia seca en almendras	0,58	0,047
	Humedad en almendras	-0,58	0,047
Rendimiento/planta	K foliar	-0,66	0,0207
	Longitud de metámeros	0,87	0,0002

## 5. DISCUSIÓN

En el presente estudio, la aplicación de N no provocó efectos sobre variables vegetativas como longitud de brote, tasas de crecimiento absoluta y relativa del brote y características del brote como número y longitud de metámeros. Este resultado pudo deberse a la fase de fructificación por la que atravesaba el cultivo, ya que, durante la fase productiva, la planta utiliza mayor cantidad de recursos en la formación de frutos y semillas, generando así una disminución paulatina del crecimiento vegetativo de la planta (Leiva, 2012).

Respecto al contenido de N foliar se evidencia que el nutriente mantiene un incremento constante sin verse afectado por los tratamientos, alcanzando un pico máximo a los 161 días con excepción del testigo, para esta fecha los frutos se encuentran en fase 72 a 75 según la escala de la BBCH modificada (Bridgemohan *et al.*, 2016). A partir de esta fecha y a medida que el fruto incrementa su tamaño el contenido de N tiende a decrecer en baja proporción en comparación a los estados iniciales de la hoja. En las hojas maduras los niveles totales de N disminuyen durante el desarrollo de un nuevo brote (Santana e Igue, 1979). En el experimento se encontró que la cantidad de N en general tiende a decrecer a medida que la hoja se acerca a la senescencia. Schjoerring *et al.* (2002) señalan que la translocación de N de la raíz a las hojas depende de la absorción de  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$ , en las hojas el  $\text{NO}_3^-$  es reducido a  $\text{NO}_2^-$  por la nitrato reductasa en el citosol y el  $\text{NO}_2^-$  es reducido a  $\text{NH}_4^+$  mediante la nitrito reductasa en el cloroplasto, donde se produce la asimilación del amonio en glutamato vía GS/GOGAT (Heldt, 1997).

La Manna *et al.* (2007) afirman que el N amoniacal no se acumula en el tejido vegetal, sino que se incorpora directamente a compuestos como glutamina, procedentes del ciclo de Krebs, los cuales representan un medio importante de almacenamiento de N en la planta (Kimball *et al.*, 2002), mientras que Schjoerring *et al.* (2002) indican que las hojas jóvenes tienen mayor concentración de amonio que las hojas senescentes. Sin embargo, en el experimento la dinámica nutricional de N en el tejido foliar es similar para todos los tratamientos, sin diferenciar entre las distintas formas de N y la ausencia de este posiblemente es debido a la etapa fenológica mencionada anteriormente en la cual se encontraba el cultivo.

Leiva (2012) indica que los nutrientes asociados con el metabolismo se encuentran en mayor concentración en los estados iniciales de la formación de una hoja, a partir de esta fase se presenta una disminución en el contenido de nutrientes, debido a que la planta emplea estos elementos para el desarrollo de la pared celular durante la expansión de la hoja. El contenido de P y K dentro de la hoja es alto cuando la hoja se encuentra joven, sin embargo, a medida que esta se desarrolla los nutrientes disminuyen, encontrando sus niveles más bajos a partir de los 161 días: en el caso del K su contenido se incrementa a los 206 días y disminuye nuevamente a los 251, mientras que el P se mantiene constante. En ambos casos la disminución de los nutrientes coincide con el periodo de formación del fruto, esto se explica porque son elemento móviles, el P cumple con la función de transferir energía dentro de la planta y el K acelera el flujo y translocación de los productos asimilados, tales como azúcares y almidones que son formados durante la fotosíntesis y luego transportados desde las hojas hasta los órganos de reserva, en muchos frutales es el elemento de mayor absorción, es por esto que estos dos elementos son esenciales en la formación de frutas, granos y semillas (Molina, 2002).

El Ca es un elemento prácticamente inmóvil en el floema, su transporte desde la raíz se da principalmente vía xilema, junto con el movimiento de agua causado por la transpiración, las hojas tienen mayor tasa de transpiración que los frutos, lo cual explica que el Ca sea depositado en mayor grado en las hojas. El contenido de Ca incrementa a medida que la hoja se desarrolla, presentando altos niveles cuando el fruto se encuentra en crecimiento; al ser un elemento inmóvil dentro de la planta una vez que se acumula en las hojas no puede ser transportado a otros órganos (Molina, 2002), sugiriendo entonces que el contenido de Ca en las hojas no es un buen indicador del contenido de Ca en los frutos.

Las hojas jóvenes presentan un incremento continuo en el contenido de Mg, sin embargo, en las primeras etapas de la formación del fruto el elemento permanece constante hasta finalmente disminuir conforme se desarrolla la mazorca. La etapa productiva es un período de gran demanda nutricional (Molina, 2002), y por su movilidad, el Mg se transporta fácilmente desde las hojas hasta el fruto para favorecer su llenado, trayendo consigo una disminución del elemento en el tejido foliar.

Los contenidos de nutrientes en el tejido foliar varían conforme se desarrolla la hoja, es decir, la demanda de nutrimentos por parte de las hojas cambia durante el ciclo de vida. En especies perennes la absorción, partición, almacenamiento y movilización están muy relacionados con los diferentes estados fenológicos de la planta (Salas, 2002). Hosseini, *et al.* (2017) reportaron rangos de 1,43–1,73 % de Ca, 0,37-0,57 % de Mg y 1,53-1,96 % de K en hojas de cacao con diferentes árboles de sombra; los niveles de Ca y K se corresponden con los contenidos nutricionales a los 60 días en CCN51, mientras que el contenido de Mg está por debajo de lo registrado en dicha investigación; sin embargo, en la investigación no se especifica la etapa ni época a la que corresponden los contenidos nutricionales. La aplicación de nutrientes en función de la demanda (consecuencia del ciclo fenológico) constituye la base de la fertilización científica de los cultivos (Gutiérrez, 2002).

No hay diferencia significativa entre la aplicación de N y el testigo en cuanto a características físicas de la mazorca; los niveles altos de MO presentes en el suelo, aportan N a la planta mediante nitrificación, razón por la cual el testigo pudo haber asimilado el N necesario para su desarrollo. Las mazorcas presentaron una longitud promedio de 22,5 a 24,05 cm, valores mayores a los registrados por Graziani (2002) con longitudes de 15,93 a 18,21 cm en CCN51 en tres zonas distintas de Venezuela. En cuanto al número de almendras por mazorca, se obtuvieron promedios desde 30,71 a 33,9, valores menores a los que registra esta variedad en un promedio de 34,92 a 38,66 (Graziani, 2002). Sin embargo, Vera (2014) obtuvo un número de almendras de 45 para este clon, recalcando que en verano este valor desciende por lo que se mantiene un promedio general de 40,4.

El menor índice de mazorca obtenido en el estudio se atribuye a la aplicación de SA con 17,54 y el más alto a la aplicación de NC con 24,23, estos resultados no presentan diferencia significativa. Este es un carácter importante en la industria y en la selección de material para mejoramiento genético, siendo preferible seleccionar materiales con un índice menor a 20 mazorcas, como indicador de productividad (Vera, 2014). Por lo tanto, el tratamiento con SA es favorable para el índice de mazorca.

Dentro de las características físicas de las almendras en el presente estudio se encuentra el largo, con un promedio general de 22,82 mm, un ancho de 13,60 mm y un peso de 1,88 g, datos que concuerdan con lo reportado por Almeida *et al.* (2019), donde el material CCN51 mostró valores de largo 22,45 mm, ancho 12,79 mm e índice de grano 1,50 g. Las almendras secas mostraron un contenido promedio de ceniza de 3,16 %, valor cercano a los registrados para CCN51: 2,73 % en Ecuador, 2,22 % en Perú y 22,96 % en Venezuela (Lares *et al.*, 2012; Almeida *et al.*, 2019). El contenido de N orgánico presente en los granos secos es de 2,35 % como promedio general, correspondiente a 14,29 % de proteína cruda, aunque, la variedad estudiada presenta contenidos variables dependiendo de la zona en la que se encuentre. En Ecuador se han encontrado valores de 8,08, sin embargo, la misma variedad registra valores de 14% y 14,4 % en Colombia y Perú respectivamente (Perea, 2011; Almeida *et al.*, 2019).

Los granos de cacao son ricos en ácidos grasos, principalmente el esteárico, oleico, palmítico y linoleico; la unión de estos ácidos da lugar a los triacilgliceroles (TAG) (Asep *et al.*, 2008; Yazapanta, 2014). Se ha registrado la influencia del N en la composición lipídica de las hojas de té; tanto en brotes nuevos como en hojas maduras varios lípidos de clase TAG se modificaron significativamente por la aplicación de dos niveles de N, en hojas maduras el contenido de este grupo de lípidos disminuyó por efecto de N, mientras que en brotes nuevos el contenido se elevó, demostrando que la composición lipídica varía según el órgano estudiado y el nivel de N al que se encuentra expuesto (Liu *et al.*, 2017). La aplicación de SA incrementó el contenido de grasa en la almendra en comparación a la urea, la naturaleza de este último fertilizante ocasiona pérdidas de N, disminuyendo la cantidad de nutriente disponible para la planta, de esta manera el contenido del nutriente podría favorecer la formación de grasas en la almendra mediante la modificación de lípidos TAG.

Desde otro punto de vista, el SA se diferencia de los demás tratamientos generando mayor porcentaje de grasa, la absorción de amonio representa un ahorro energético en la planta frente al nitrato; esto permite al SA ser más eficiente mediante un mejor aprovechamiento del N. Además, la composición de ácidos grasos de la manteca de cacao está influenciada por el genotipo, las condiciones climáticas y época de cosecha (Spangenberg y Diosini, 2001). Así, la variedad pudo

haberse adaptado a las condiciones del ambiente, reaccionando de mejor manera a pH ácidos como el que provee el SA.

Uno de los factores importantes para seleccionar un genotipo, además del rendimiento, es el contenido de grasa en los granos secos, de esta manera el porcentaje varía dependiendo de la variedad usada. Jahurul *et al.*, (2012) indica que la especie en general mantiene un rango de 50 a 57 %, valores cercanos registran Perea (2011) y Almeida-Andrade *et al.* (2019) con 51,4 a 57,7 % en varios materiales de cacao, especificando al clon CCN51 con un porcentaje de 53,9 y 51,02 %, sin embargo la variedad también puede mostrar contenidos bajos como 41,44 %. El estudio concuerda con los datos obtenidos en estas investigaciones, los niveles de grasa se encuentran en un rango de 50 a 54 %. El SA se diferencia de los demás tratamientos dando como resultado un mayor porcentaje de grasa, sin embargo, el testigo, urea y NC no se diferencian entre sí. FEDECACAO clasifica como normal a niveles de 52 a 55 %, indicando también que las fábricas procesadoras les dan importancia a los contenidos altos de grasa, superiores al 55 % (FEDECACAO, 2004). Para la industria chocolatera es fundamental adquirir granos de cacao con elevado contenido de manteca, ya que esta no solo contribuye al sabor sino también al transporte de la masa de chocolate a través de las tuberías, bombas y máquinas en su procesamiento (Almeida-Andrade *et al.*, 2019).

La utilización de distintas fuentes nitrogenadas no solo afecta la estructura de la mazorca, sino características físicas del suelo como el pH. Adams (1984) menciona que cada mol proveniente del SA produce 4 moles de  $H^+$ , mientras que cada mol de N proveniente de la urea genera 2 moles de  $H^+$ , sugiriendo que la acidez generada por el SA es dos veces mayor que la de la urea. En investigaciones realizadas por Chien *et al.*, (2008) en cultivos de maíz, trigo y fréjol con aplicaciones de SA y urea en suelos con contenidos de 17, 33, 64 % de arcilla y 1,83, 1,40 y 2,60 % de MO respectivamente, se observaron diferencias significativas en la acidez generada por el SA en comparación con la urea en los tres tipos de suelo evaluado; sin embargo, con la aplicación de los tratamientos se observó que a los 145 días la urea y el SA acidifican el suelo en igual proporción. Estos niveles bajos de pH inhiben la nitrificación del N, ocasionando la acumulación de  $NH_4^+$  en la rizósfera (Britto & Kronzucker, 2002), esta afirmación concuerda con los resultados

obtenidos ya que mediante el uso de estos fertilizantes el contenido de N se elevó significativamente en comparación al NC y el testigo.

Mediante la aplicación de SA y urea, el pH alcanzó un valor de 3,95, trayendo consigo una cantidad significativamente baja de Ca en comparación a los demás tratamientos empleados y se observa que al igual que la urea y el NC presenta niveles bajos de Mg en comparación al testigo. En suelos ácidos minerales con pH inferior a 5,5 se genera un efecto de competencia del  $\text{Al}^{3+}$  con cationes como  $\text{Ca}^{+2}$  y  $\text{Mg}^{+2}$  en los sitios de intercambio de las arcillas, de esta manera los cationes son reemplazados ocasionando un incremento de aluminio, elemento que en grandes cantidades ocasiona toxicidad en las plantas y un decrecimiento en su producción (Casierra-Posada, 2001; Zapata 2004). El menor nivel de Ca en el suelo ocurre con la adición de SA, este fertilizante produce una acción descalcificante al formar  $\text{CaSO}_4$ , de naturaleza hiposoluble, el cual es arrastrado en profundidad por la lluvia o el riego (Ginés y Marical-Sancho, 2002).

Por otra parte el pH del suelo no se vio afectado por la aplicación de NC, presentando un pH de 5,32, sin diferenciarse del testigo. Esto se debe a que las sales de nitrato como  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  provienen de ácidos y bases fuertes que no se hidrolizan e incorporan cantidades de Ca al suelo (Zapata, 2004). El Ca es el catión es el más abundante en el suelo, evita la dispersión de coloides y de esta manera retrasa la acidificación (Ginés y Marical-Sancho, 2002). Como se observó en los resultados la reserva de Ca en el suelo es significativamente superior a los demás tratamientos, además, se encontró una correlación positiva y altamente significativa entre el elemento y el pH.

La aplicación de N en cualquiera de sus formas disminuye el contenido de Mg en el suelo, sin embargo, Hansen (1972) señala que la disponibilidad de Mg aumenta cuando se aplica N en forma de  $\text{NH}_4^+$ , debido a que se desplaza el Mg en los sitios de intercambio de la solución del suelo hacia donde las plantas pueden llevarlo. El contenido de Mg en el suelo está asociado negativamente con el número de frutos por planta, dando como resultado que el testigo, a pesar de presentar mayores niveles de Mg en suelo, presente una cantidad de frutos significativamente menor que las plantas en las que se aplicó SA. El número de frutos fue mayor al aplicar SA en comparación al NC, urea y testigo, sin embargo, al referirnos a la producción por planta, el testigo presentó valores más bajos que la urea y NC, quienes a su vez arrojaron valores inferiores que el SA, esta

diferenciación puede ser ocasionada por las pérdidas energéticas en el metabolismo de absorción, asimilación y transporte de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^+$ .

En la etapa productiva, las plantas destinan la mayor parte de sus recursos a la formación de frutos y semillas, la deficiencia de nutrientes o la baja eficiencia de los fertilizantes puede afectar el rendimiento de la planta, de esta manera, el N suministrado en forma de  $\text{NH}_4^+$  permite una optimización de energía frente al  $\text{NO}_3^+$ . La reducción de nitrato a amonio trae consigo un gasto energético de la planta, así, se consumen 32 moles de fotones por mol de  $\text{NO}_3^+$  asimilado y transportado. Por el contrario, el costo por absorción, transporte, reducción y asimilación de amonio es alrededor de 9,45 moles de fotones por mol de  $\text{NH}_4^+$ , entonces, el amonio suministrado a las plantas ahorraría fotoenergía en comparación al nitrato, cerca de 10 ATP por mol de N (Raven, 1985; Salsac *et al.*, 1987; Gou *et al.*, 2006;), energía que puede destinarse a la formación del fruto. En el estudio, se observó que el SA generó mayor número de frutos y por ende mayor producción en fresco por planta en comparación al NC, el fertilizante amónico presentó una eficiencia agronómica dos veces mayor al fertilizante nítrico, sin embargo, también existe una diferenciación entre el SA y la urea, a pesar de aportar N en forma de  $\text{NH}_4^+$ , la urea resulta 4 veces menos eficiente que el SA, dando como resultado una producción y rendimiento inferiores en comparación al SA.

Las pérdidas de N reducen la eficiencia de recuperación o de absorción del N aplicado, el rendimiento, y, por consiguiente, la eficiencia de uso o agronómica del N (Fageria & Baligar, 2005). El pH de saturación de la urea indica que al reaccionar con el suelo genera una reacción alcalina mayor a 9 puntos de pH, generando pérdidas por volatilización, alrededor del 28 % al cabo de 30 días, con humedad superior al 50% y cuando la temperatura se eleva en un rango de 10 grados se acelera su hidrólisis (Bonelli *et al.*, 2012). La reacción residual del fertilizante en el suelo luego de haberse producido toda la reacción produce una disminución considerable en el pH de la rizósfera, al igual que el SA, la diferencia es que en el caso de este fertilizante el pH de saturación se encuentra en 5,4 al contacto con el suelo, lo que da como resultado pérdidas inferiores por volatilización, cerca de 1,74 % al transcurrir el mismo tiempo (Guerrero, 2004, González y Sadeghian, 2012). El SA ha mostrado ser muy eficiente en función de que el N amoniacal resiste más las pérdidas por volatilización, lavado y desnitrificación (Barrios *et al.*, 2012), sin embargo, en el cultivo de arroz a un pH inicial de 6,52, el NC fue significativamente más eficiente que el

SA y la urea, las cuales no se diferenciaron (Quintero *et al.*, 2011), esto sugiere que la eficiencia depende también de la afinidad de la especie para tomar  $\text{NO}_3^+$  o  $\text{NH}_4^+$ .

Mediante la aplicación de SA se obtuvo un aproximado de 16 mazorcas con una producción de  $7,91 \text{ Tha}^{-1}$  y un rendimiento de grano seco de  $799,50 \text{ kgha}^{-1}$ , a pesar de ser mayor que los demás tratamientos, resulta un valor bajo en comparación a valores registrados para la variedad CCN51, Sánchez-Mora *et al.* (2015) registraron un número de 22 mazorcas y un rendimiento en seco de  $1\,047,7 \text{ kgha}^{-1}$ , con la aplicación de NPK se obtuvieron valores desde 995 a  $2\,388 \text{ kgha}^{-1}$ , usando urea como fuente de N, en cuanto a los testigos (sin NPK) se encontraron valores de 820 y  $1\,004 \text{ kgha}^{-1}$  para este clon (Puentes-Páramo *et al.*, 2016; Cuenca-Cuenca *et al.*, 2019). En ambos casos el marco de siembra fue de  $3 \times 3 \text{ m}$ , correspondiente a 1 111 plantas por hectárea, en comparación a la densidad del presente estudio, 816 plantas por hectárea, variable que puede influir en el rendimiento total. Además, en estos estudios la eficiencia agronómica para el N fue de 16 a 24 kg/kg, mientras que el SA pese a ser más eficiente que el NC y la urea, presentó una eficiencia sumamente baja ( $3,40 \text{ kg/kg}$ ), es decir que por cada kg de SA aplicado existe un incremento en el rendimiento de  $3,40 \text{ kg}$  de almendra, lo que trae consigo valores bajos en cuanto al rendimiento.

## 6. CONCLUSIONES

Las características morfológicas del cacao CCN51 no se vieron afectadas por las fuentes nitrogenadas; tanto la estructura vegetativa de la planta, así como, las características físicas de las mazorcas y granos fueron similares en el testigo y en los tratamientos en los que se añadió N mineral.

Los contenidos de macronutrientes en el tejido foliar varían a medida que avanza su desarrollo fenológico y edad de la hoja. Así, elementos como P, K y Mg son movilizados considerablemente en las etapas de formación del fruto, siendo indispensable un suministro adecuado de estos minerales en el suelo para garantizar una buena producción y un incremento en el rendimiento.

La aplicación de SA permite obtener un mayor rendimiento en comparación a los demás tratamientos, además, presenta una mayor concentración de grasa en la almendra, característica de gran importancia para la industria chocolatera. Sin embargo, se debe considerar su efecto en el pH del suelo, su capacidad acidificante requerirá correcciones de pH y demás estrategias de nutrición estables en el largo plazo que deben ser consideradas.

## **7. RECOMENDACIONES**

Realizar investigaciones considerando el uso de nitrato de amonio para observar el comportamiento de una base nitrogenada mixta frente a las amidas, nítricas y amónicas, considerando las pérdidas generadas por cada fuente.

Evaluar un cultivo desde su establecimiento y al menos tres ciclos productivos continuos para determinar posibles efectos en el largo plazo, además de usar variedades de cacao fino de aroma para observar el efecto de las fuentes sobre las características organolépticas y bromatológicas de los granos.

Tomar en cuenta las curvas de nutrientes foliares para la elaboración de los planes de fertilización y el muestreo de material para análisis de tejidos ya que son herramientas que permiten identificar con mayor claridad la demanda del cultivo y de esta manera optimizar el uso de fertilizantes

Realizar análisis a nivel molecular para determinar la forma de asimilación y la afinidad del cacao en la absorción de amonio o nitrato y su efecto en la absorción de metales pesados.

Determinar el contenido de macronutrientes y metales pesados en los granos de cacao secos, para poder conocer la eficiencia de absorción de las diferentes fuentes nitrogenadas.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, F. (1984). Crop response to lime in the southern United States. In Soil Acidity and Liming. F. Adams (ed.). ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI, pp. 211–265.
- Almeida-Andrade, J.; Rivera-García, J.; Chire-Fajardo GC. Y Ureña-Peralta, MO. (2019). Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L.) de Ecuador y Perú. Enfoque UTE. 10 (4): 1-12.
- Almeida, A. y Valle, R. (2007). Ecophysiology of the cacao tree. Braz. J. Plant Physiol., 19(4):425-448.
- Alvim PT (1977) Cacao. In: Alvim PT, Kozłowski TT (eds), Ecophysiology of Tropical Crops, pp.279-313, Academic Press, London.
- Amores, F.; Vasco, S.; Eskes, A.; Suarez, C.; Quiroz, J.; Loor, R.; Jiménez, J.; Zambrano, J.; Bolaños, M.; Reynel, V.; Terán, M. y Quijano, G. (2011). Selección en campo y en la estación de nuevas variedades de cacao en Ecuador, p. 59-72. En: Eskes, AB (ed.). Enfoques colaborativos y participativos para la mejora de la variedad de cacao. Informe final del proyecto CFC / ICCO / Bioversity International sobre la productividad del cacao y la mejora de la calidad: un enfoque participativo (2004-2010). Fondo Común para los Productos Básicos (CFC), Amsterdam, Países Bajos; Intl. Cacao Organization (ICCO), Londres, Reino Unido; Bioversity Intl., Roma, Italia.
- ANECACAO. (2017). *Sabor Arriba*. Revista Especializada en CACAO, vol. 12, no. 1, pp. 26 – 43.
- Aranzazu, F. (2011). El manejo oportuno y apropiado del cultivo del cacao, la clave del éxito para obtener excelentes cosechas. En: Seminario-taller “Desarrollo tecnológico del cultivo de cacao en la Orinoquia”. 17 nov. Auditorio Unillanos. Sede San Antonio Barzal. Universidad de los Llanos, Meta, COL. Presentación 9.
- 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. 165 p.
- Asep, E.K., Jinap, S., Tan, T.J., Russly, A.R., Harcharan, S., Nazimah, S.A.H., (2008). The effects of particle size, fermentation and roasting of cocoa nibs on supercritical fluid extraction of cocoa butter. Journal of Food Engineering 85, 450–458.
- Báez, N. (2008). Manejo de la arquitectura aérea del árbol de cacao “Poda de cono natural”. FEDECACAO. San Vicente, Santander, Colombia. 56 p.
- Barrios, M.; García, J.; y Basso, C. (2012). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrato y amonio en el suelo y la planta de maíz. Bioagro. 24(3): 213-220.

- Bertsch, F. (2005). Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. *Informaciones agronómicas*, 57 (1), pp 1-11.
- Bonelli, Lucas Emmanuel, Sainz Rozas, Hernán René, Echeverría, Hernán Eduardo, & Barbieri, Pablo Andres. (2018). Fuente y momento de aplicación de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en Balcarce. *Ciencia del suelo*, 36(1), 88-98. Recuperado en 24 de agosto de 2020, de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672018000100009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672018000100009&lng=es&tlng=es).
- Bot, J. Le., S. Adamowicz and P. Robin. (1998). Modelling plant nutrition of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae*. 74:47–82.
- Boza, E.; Motamayor, J.; Amores, F.; Cedeño-Amador, S.; Tondo, C.; Livingstone, D.; Schnell, R. y Gutiérrez, O. (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*. 139 (2): 219-229.
- Braudeau J. (1991). *Le cacaoyer*. G.-P Maisonneuve & Larose, Paris, France. 304p.
- Britto DT, Kronzucker HJ (2002) NH<sub>4</sub><sup>+</sup> toxicity in higher plants: A critical review. *J Plant Physiol* 159: 567-584.
- Casierra-Posada F. y Aguilar-Avenidaño O. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una revisión. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*. 1: 246-257.
- Carr, M. & Lockwood, G. (2011) The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma Cacao* L.): A review. *Experimental Agriculture*, 47, 653-676.
- Chien, S.; Gearhart M. y Collamer D. (2008). The effect of the different ammoniacal nitrogen sources on soil acidification. *Soil Science*. 173: 544-551.
- Cuenca-Cuenca, E.; Puentes-Páramo, J.; y Menjivar-Flores, J. (2019). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 72(3): 8963-8970.
- Cope, F. W. 1979. Cacao *Theobroma cacao* L. In: SIMMONS, N. W. ed. 1979. *Evolution of crop plants*. Longman New York, USA. pp: 282-289.
- Dostert, N.; Roque, J.; Cano, A.; La Torre, M. y Weigend, M. (2011). *Hoja botánica: Cacao*. Proyecto Perúbiodiverso, botconsult GmbH, Museo de Historia Natural-Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. 20 p.
- Enríquez, G. A. 1985. *Curso sobre el cultivo del cacao*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie materiales de enseñanza No. 22. 240p.

- Fageria, NK y VC Baligar. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Adv. in Agron. 88: 97-185.
- FEDECACAO. (2004) El beneficio y características físico químicas del cacao (*Theobroma cacao* L.). Programa de comercialización. 1, 33.
- Fernández, J., Bohórquez, W. y Rodríguez, A. (2016). Dinámica nutricional de cacao bajo diferentes tratamientos de fertilización con N, P y K en vivero. Revista colombiana de ciencias hortícolas 10 (2): 367-360.
- García, Álvaro. (1993). Sintomatología de las deficiencias nutricionales en cacao. Bogotá: ICA.
- Ginés, I.; y Mariscal-Sancho, I. (2002). Incidencia de los fertilizantes sobre el pH del suelo. Fertiheria.
- González, O., H.; Sadeghian K., S. (2012). Volatilización del nitrógeno a partir de diferentes fuentes fertilizantes en la etapa de crecimiento vegetativo del café. Revista Cenicafé 63: 132-143.
- Guerrero R., R. (2004). Propiedades generales de los fertilizantes sólidos: Manual Técnico. 4 ed. Bogotá: Monómeros Colombo Venezolanos. 46 p.
- Guerrón, V. (2009). Elaboración de pasta a partir de mezclas de cacao Nacional (*Theobroma cacao* L.) y CCN-51 producidos en Quevedo. Tesis Ing. Agroindustrial. Universidad Técnica Estatal de Quevedo-Ecuador. p 38-40.
- Gutiérrez, M. (2002). Mecanismos de absorción de nutrimentos por el follaje. En: Memoria Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones. Editores: Meléndez G., Molina E. Costa Rica. 152p.
- Grageda-Cabrera, O.; Medina-Cázares T.; Aguilar-Acuña J.; Hernández-Martínez M.; Solís-Moya E.; Aguado-Santacruz G., *et al.* (2004). Pérdidas de nitrógeno por emisión de N<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O en diferentes sistemas de manejo y con tres fuentes nitrogenadas. Agrocencia. 30: 625-633.
- Graziani de Fariñas, Lucía, Ortiz de Bertorelli, Ligia, Angulo, Johanna, & Parra, Pablo. (2002). Características físicas del fruto de cacaos tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de cumboto, venezuela. Agronomía Tropical, 52(3), 343-362. Recuperado en 01 de agosto de 2020, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2002000300006&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000300006&lng=es&tlng=es).
- Hansen, E.M. (1972). Studies on the chemical composition of isolated soil solution and the cation absorption by plants I. Relationship between form and amount of added nitrogen and absorption of N, K, Na, Ca and Mg by barley. Plant Soil, 37, 589-607.
- Hardy, F. (ed). (1960). Cacao manual. Turrialba, Costa Rica. InterAmerican Institute of Agricultural Science. 395 p.

- Heldt, H. W. (1997) Plant Biochemistry and Molecular Biology. Oxford: Oxford University Press.
- Hernández, MD, M. Chailloux., V. Moreno., A. Ojeda., J. Salgado y O. Bruzón. 2009. Relaciones nitrógeno - potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate en suelo Ferralítico Rojo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.44, n.5, p.429-436.
- Hoffmann B, Planker R, Mengel K. (1992). Measurement of pH in the apoplast of sunflower leaves by means of fluorescence. *Physiologia Plantarum* 84, 146–153.
- Hosseini Bai S., Trueman S., Nevenimo T., Hannel G., Bapiwa P., Poienou M., et al. (2017). Effects of shade-tree species and spacing on soil and leaf nutrient concentrations in cocoa plantations at 8 years after establishment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 246(1): 134–143.
- Jadin, P. & Snoeck, J. (1985) La méthode du diagnostic sol pour calculer les besoins en engrais des cacaoyers. *Café Cacao Thé*, 29, 255-266.
- Jahurul, M., Zaidul, M., Norulaini, N., Sahena, F., Jinap, S., Azmir, J., Sharif, K.M., Mohd, A.K. (2013). Cocoa butter fats and possibilities of substitution in food products concerning cocoa varieties, alternative sources, extraction methods, composition, and characteristics. *Journal of Food Engineering* 117: 467-476.
- Jerez, A. (2017). El mundo quiere cacao. *Divulgación científica*, N°1. Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia. pp. 83-85.
- Kimball, B.A., K. Kobayashi y M. Bindi. (2002). Responses of agricultural crops to free air CO<sub>2</sub> enrichment. *Advances in Agronomy* 77: 293-368.
- La Manna, L., C. Buduba, V. Alonso, M. Davel, C. Puentes y J. Irisarri. (2007). Comparación de métodos para la determinación de materia orgánica en suelos de la región Andino – Patagónica: efectos de la vegetación y el tipo de suelo. *Ciencia del Suelo* 25(2): 179-188.
- Lares, M.; Gutiérrez, R.; Pérez, E., y Álvarez, C. (2012). Efecto del tostado sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, composición proximal y perfil de ácidos grasos de la manteca de granos de cacao del estado Miranda, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(2), 439-446.
- Leiva, E. (2012). Aspectos para la nutrición del cacao *Theobroma cacao* L. Facultad Ciencias Agrarias.
- Liu, M.; Burgos, A.; Ma, L.; Zhang, Q.; Tang, D.; y Ruan, J. (2017). Lipidomics analysis unravels the effect of the nitrogen fertilization on lipid metabolism in the tea plant (*Camellia sinensis* L.). *BMC Plant Biology*. 17:165.
- León, J. (1987). *Botánica de los cultivos tropicales*. IICA. San José, Costa Rica. 445p.

- López, O.; Ramírez, S.; Espinosa, S.; Moreno, J.; Ruiz, C.; Villareal, J. y Ruiz, J. (2015). Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao. Universidad Autónoma de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; México. 128 p.
- Machado R. y Hardwick K (1987) Dynamics and histology of individual leaf and whole flush development yield clues on the control of the cocoa flush cycle. In: Proc. 10th Int. Cocoa Res. Conf., Santo Domingo, Dominican Republic, pp.143-149.
- Machado R. y Hardwick K (1988). Does carbohydrate availability control flush growth in cocoa. In: Proc. 10th Int. Cocoa Res. Conf., Santo Domingo, Dominican Republic, pp.151-157.
- Márquez F.; Sánchez J.; Urbano D. y Dávila C. (2007). Evaluación de la frecuencia de corte y tipos de fertilización sobre tres genotipos de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). L. Rendimiento y contenido de proteína. *Zootecnia Trop.* 25: 253-259.
- Mejía, D.; De La Cruz, J.; Vargas, M. y Del Ángel, O. (2012). Cacao: operaciones poscosecha. INPhO, FAO. 78 p.
- Mohotti, A. y Lawlor, D. (2002). Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during growth in the field. *Journal of Experimental Botany*, Volume 53, Issue 367, 1 February 2002, Pages 313–322, <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.367.313>.
- Molina E. (2002). Fertilización Foliar de cultivos Frutícolas. En: Memoria Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones. Editores: Meléndez G., Molina E. Costa Rica. 152p.
- Müller MW, Serrano-Minar P, Biehl B (1992) Photosynthetic characteristics during development of leaves from *Theobroma cacao* L. *Physiol. Plant.* 85(3): A 105, 599.
- Ogunlade M.O., Oluyole K.A. and Aikpokpodion P.O. (2009). An Evaluation of the level of fertilizer utilization for cocoa production in Nigeria. *Journal of Human Ecology.* 25(3): 175-178.
- Pacheco J., Cabrera A. (2003). Fuentes principales de nitrógeno de nitratos en aguas subterráneas. *Revista Académica Ingeniería*, 7 (2): 47-54.
- Perea, J., Ramírez, O., Villamizar, A. (2010). Caracterización fisicoquímica de materiales regionales de cacao colombiano (en línea). UNICAUCA. Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial. 9(1): 35-42.
- Pérez, J. (2009). Evaluación y caracterización de selecciones clonales de cacao (*Theobroma cacao* L.) del Programa de Mejoramiento del CATIE. Tesis: *Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica. CATIE, Escuela de Posgrado. Turrialba, Costa Rica. 164 p.
- Pierre, W. H. (1928). Nitrogen fertilizers and soil acidity: I. Effect of various nitrogenous fertilizers on soil reaction. *J. Am. Soc. Agron.* 20:254–269.

- Puentes-Páramo, Y.; Menjivar-Flores, 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*, 7(1): 17-24.
- Quintero, C.; Prats, F.; Zamero, M.; Arévalo, E.; Spinelli, N.; y Boschetti G. (2011). Absorción de nitrógeno y rendimiento de arroz con diferentes formas de nitrógeno aplicado previo al riego. *Ciencia del suelo*. 29 (2): 233-239.
- Raven, J. A. (1985) Regulation of pH and generation of osmolarity in vascular plants: a cost-benefit analysis in relation to efficiency of use of energy, nitrogen and water. *New Phytologist* 101, 25–77.
- Riaño, HNM.; Chica, M.MJ.; Echeverri, G.LF.; Aguirre, M.JL.; Ortiz, A.; Pineda, SR.; *et al.*(2016). Contenido de grasa total, perfil de ácidos grasos y triglicéridos proveniente de cacao finos de aroma: Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. *Vitae*. 23:226-230.
- Rodríguez, F. (2010). Manual de Nutrición Vegetal. U.T.A. F.I.A. Ambato. 162p.
- 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. 152p.
- Salsac, L., Chaillou, S., Morot-Gaudry, J. F., Lesaint, C., and Jolivet, E. (1987) Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 25, 805–812.
- Sánchez-Mora, F.; Medina-Jara, S.; Díaz-Coronel, G.; Ramos-Remache, R.; Vera-Chang, J.; Vásquez-Morán, V.; *et al.* (2015). Potencial sanitario y productivo de 12 clones de cacao en Ecuador. *Rev. Fitotec.* 38(3): 265-274.
- Santana M. y Igue K (1979). Composição química das folhas do cacaeiro em função da idade e da época do ano. *Rev. Theobroma* 9:63-76.
- Santiago, K. (2016). CCN 51, clon de cacao más productivo. IDIAP. <http://www.idiap.gob.pa/2016/03/08/ccn-51-clon-de-cacao-mas-productivo/>
- Schjoerring JK, Husted S, Mäck G, Mattsson M (2002) The regulation of ammonium translocation in plants. *J Exp Bot* (in press).
- Spangenberg, J. and Dionisi, F. (2001). Characterization of Cocoa Butter and Cocoa Butter Equivalents by Bulk and Molecular Carbon Isotope Analyses: Implications for Vegetable Fat Quantification in Chocolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49 (1): 4271-4277
- Van Vliet, Jiska A., Slingerland, Maja and Giller, Ken E. (2015) Mineral Nutrition of Cocoa. A Review. 57 pp. Wageningen University and Research Centre, Wageningen.

- Vera, J.; Vallejo, C.; Párraga, D.; Morales, W.; Macías, J. y Ramos, R. (2014). Atributos físicos-químicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (*Theobroma cacao* L.) en el Ecuador. *Ciencia y Tecnología*. 7: 21-34.
- Vogel M (1975) Recherche du déterminisme du rythme de croissance du cacoayer. *Café, Cacao, Thé* 19:265- 290.
- Wessel, M. (1971) Fertilizer requirements of cacao (*Theobroma cacao* L.) in South-Western Nigeria. *Communication 61*, pp. 104. Koninklijk Instituut voor de Tropen, Amsterdam.
- Guohua Xu, Xiaorong Fan y Anthony J. Miller. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.* 2012. 63:153–82.
- Yanzapanta, A. (2014). Estudio de la variación de los contenidos de polifenoles totales, alcaloides y grasa en almendras de cacao fino de aroma en tres diferentes zonas de producción de la amazonía ecuatoriana. Tesis Ing. en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato-Ecuador. p 40-42.
- Zapata H. R.D. (2004). La química de la acidez del suelo. Disponible en: <http://www.unalmed.edu.co/%7Erdzapata/AcidezdelSuelo.zip>; consulta:30 de julio del 2020.

## 9. ANEXOS

### 9.1. Cálculos de fertilización

#### Dosis de mantenimiento de N

$$\begin{array}{l} 76,57 \text{ kg N} \\ X \end{array} \quad \begin{array}{l} 816 \text{ plantas de cacao} \\ 1 \text{ planta de cacao} \end{array} \quad x = \frac{76,57}{816} \times 1000 = 93,84 \text{ gr N/planta}$$

#### Dosis de las diferentes fuentes de nitrógeno

Urea	46%	Nitrato	15,5 %	Amonio	21%
93,84 gr N	X	93,84 gr N	X	93,84 gr N	X
46 gr N	100 gr Urea	15,5 gr N	100 gr NO4	21 gr N	100 gr NH4
$X = \frac{93,84 \times 100}{46}$		$X = \frac{93,84 \times 100}{15,5}$		$X = \frac{93,84 \times 100}{21}$	
$x = 204 \frac{\text{gr Urea}}{\text{planta}}$		$x = 605,42 \frac{\text{gr NO4}}{\text{planta}}$		$x = 446,86 \frac{\text{gr NH4}}{\text{planta}}$	
204/ 6 meses		605,42/ 6 meses		446,86/ 6 meses	
34 gr/mes/planta		101 gr/mes/planta		74,4 gr/mes/planta	

### 9.2. Escala de fenología productiva

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

Estadio	(Días)	Código	Descripción
Estadio 5. Emergencia de la inflorescencia	0-30	52	Yemas florales expandidas, emergencia del primordio sepal (yema < 1 mm Long)
		55	Yemas florales expandidas, sépalos encierran la yema (yema 1-2 mm Long)
		56	Yemas florales expandidas, emergencia del pedúnculo (yema 2-3 mm Long)
		58	Yema floral expandida, yema que cambia de verde a blanco (yema 2-4 mm de largo)
		59	Crecimiento completo de yema floral (yemas 6 mm de largo y 3 mm de ancho; pedículo 14 mm), yemas cerradas
Estadio 6 Floración	30-31	61	Inicio de la floración
		62	10% de flores abiertas
		65	50% de flores abiertas
		69	90% de flores abiertas

Estadio 7 Desarrollo del fruto	del 32-75	71	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).
		72	División del cigoto y desarrollo preliminar del embrión; los frutos se hinchan; los frutos han alcanzado el 20% del tamaño final
		75	Fin de la fase de marchitez del cernelo; diámetro/longitud 0,35; frutos del 50% del tamaño final
		76	Comienzo de la fase no marchita; óvulo lleno de gelatina como el endospermo; los frutos han alcanzado el 60% del tamaño final.
		77	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.
		79	Embriones completamente desarrollados, con restos de endospermo alrededor de los cotiledones carnosos; aumento de los cotiledones externos.
Estadio 8 Maduración del fruto y semillas	del 75-225	81	Cambio del color de la fruta de verde a amarillo o naranja
		85	Aumento de la intensidad del color de la fruta
		89	La fruta está completamente madura, adherida al tallo principal o a las ramas y puede cosecharse con cuchillo o alfanje.

### 9.3. Análisis foliares de cacao

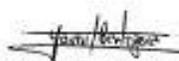
 <p><b>INIAP</b> INSTITUTO NACIONAL ALTERNATIVO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS</p>	<p><b>ESTACION EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"</b> LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS Km. 14 1/2 Panamericana Sur, Apdo. 17-01-340 Quito- Ecuador Telf.: 690-691/92/93 Fax: 690-693</p>	
---	--	---

#### REPORTE DE ANALISIS FOLIARES

<p style="text-align: center;"><b>DATOS DEL PROPIETARIO</b></p> <p>Nombre : Adriana Romero Dirección : Zamora Chinchipe Ciudad : Teléfono : Fax :</p>	<p style="text-align: center;"><b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b></p> <p>Nombre : Quinta Experimental "El Padmi" Provincia : Zamora Chinchipe Cantón : Zamora Parroquia : Piuntza Ubicación :</p>	<p style="text-align: center;"><b>PARA USO DEL LABORATORIO</b></p> <p>Cultivo : CACAO Fecha de Muestreo : 21/04/2019 Fecha de Ingreso : 24/04/2019 Fecha de Salida : 07/05/2019</p>
---	---	---

N° Muestr. Laborat.	Identificación del Lote	(%)								(ppm)					
		N	P	K	Ca	Mg	S	M.O.	B	Zn	Cu	Fe	Mn	Mo	Na
30865	M1 T1 R1	2,22 S	0,14 B	0,96 B	1,85 A	0,57 S									
30866	M1 T1 R2	1,98 S	0,13 B	0,67 B	2,45 A	0,63 S									
30867	M1 T1 R3	2,14 S	0,13 B	0,58 B	1,94 A	0,66 S									
30868	M4 T2 R1	2,24 S	0,12 B	0,48 B	1,76 A	0,75 A									
30869	M5 T2 R2	1,96 S	0,12 B	0,57 B	2,13 A	0,66 S									
30870	M6 T2 R3	1,89 B	0,13 B	0,40 B	1,70 A	0,88 A									
30871	M7 T3 R1	1,88 B	0,12 B	0,56 B	1,59 A	0,60 S									
30872	M8 T3 R2	1,99 S	0,12 B	0,66 B	1,86 A	0,64 S									
30873	M9 T3 R3	2,07 S	0,13 B	0,53 B	1,74 A	0,70 S									
30874	M10 T4 R1	2,00 S	0,13 B	0,51 B	2,13 A	0,78 A									
30875	M11 T4 R2	1,96 S	0,14 B	0,49 B	2,05 A	0,72 A									
30876	M12 T4 R3	2,41 A	0,13 B	0,41 B	1,95 A	0,71 A									

**INTERPRETACION**  
 B = Bajo  
 S = Suficiente  
 A = Alto

  
 \_\_\_\_\_  
**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 FOLIARES

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		PARA USO DEL LABORATORIO	
Nombre :	Adriana Romero	Nombre :		Cultivo :	CACAO
Dirección :	Zamora	Provincia :	Zamora Chinchipe	Fecha de Muestreo :	01/06/2019
Ciudad :		Cantón :	Zamora	Fecha de Ingreso :	13/06/2019
Teléfono :		Parroquia :	Piuntza	Fecha de Salida :	24/06/2019
Fax :		Ubicación :			

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	(%)							(ppm)						
		N	P	K	Ca	Mg	S	M.O.	B	Zn	Cu	Fe	Mn	Mo	Na
30901	M1 T1 R1	2,15 S	0,12 B	0,95 B	2,13 A	0,79 A									
30902	M2 T1 R2	1,93 S	0,11 B	0,72 B	2,33 A	0,63 S									
30903	M3 T1 R3	2,00 S	0,13 B	0,88 B	1,92 A	0,80 A									
30904	M4 T2 R1	1,97 S	0,13 B	0,67 B	1,79 A	0,55 S									
30905	M5 T2 R2	2,08 S	0,12 B	0,84 B	1,84 A	0,62 S									
30906	M6 T2 R3	1,87 B	0,11 B	0,63 B	1,84 A	0,71 A									
30907	M7 T3 R1	2,12 S	0,11 B	0,65 B	1,80 A	0,58 S									
30908	M8 T3 R2	2,08 S	0,11 B	0,72 B	1,96 A	0,60 S									
30909	M9 T3 R3	2,30 S	0,14 B	0,75 B	1,84 A	0,61 S									
30910	M10 T4 R1	2,14 S	0,13 B	0,72 B	1,88 A	0,65 S									
30911	M11 T4 R2	1,99 S	0,12 B	0,63 B	1,70 A	0,71 A									
30912	M12 T4 R3	2,20 S	0,11 B	0,56 B	1,83 A	0,68 S									

INTERPRETACION  
B = Bajo  
S = Suficiente  
A = Alto

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

J



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 FOLIARES

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		PARA USO DEL LABORATORIO	
Nombre :	Adriana Romero	Nombre :	S/N	Cultivo :	CACAO
Dirección :	Zamora	Provincia :	Zamora Chinchipe	Fecha de Muestreo :	16/08/2019
Ciudad :		Cantón :	Zamora	Fecha de Ingreso :	20/08/2019
Teléfono :	0992398705	Parroquia :	Piuntza	Fecha de Salida :	02/09/2019
Fax :		Ubicación :			

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	(%)							(ppm)						
		N	P	K	Ca	Mg	S	M.O.	B	Zn	Cu	Fe	Mn	Mo	Na
31116	M1- T1-R1	1,84 B	0,12 B	0,61 B	1,17 S	0,31 B									
31117	M2- T1-R2	1,86 B	0,12 B	0,55 B	1,17 S	0,30 B									
31118	M3- T1-R3	1,75 B	0,13 B	0,60 B	1,20 S	0,32 B									
31119	M4- T2-R1	1,88 B	0,13 B	0,56 B	1,02 S	0,22 B									
31120	M5- T2-R2	1,83 B	0,11 B	0,45 B	1,03 S	0,29 B									
31121	M6- T2-R3	1,82 B	0,12 B	0,41 B	1,15 S	0,28 B									
31122	M7- T3-R1	1,79 B	0,12 B	0,42 B	0,99 S	0,23 B									
31123	M8- T3-R2	1,71 B	0,12 B	0,50 B	1,18 S	0,19 B									
31124	M9- T3-R3	2,05 S	0,15 S	0,47 B	1,05 S	0,25 B									
31125	M10- T4-R1	2,02 S	0,15 S	0,42 B	1,10 S	0,27 B									
31126	M11- T4-R2	1,86 B	0,14 B	0,40 B	1,13 S	0,26 B									
31127	M12- T4-R3	1,89 B	0,12 B	0,33 B	1,05 S	0,26 B									

INTERPRETACION  
B = Bajo  
S = Suficiente  
A = Alto

RESPONSABLE LABORATORIO

LABORATORISTA

## 9.4. Análisis de suelos

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

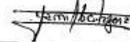
### REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

<b>DATOS DEL PROPIETARIO</b> Nombre : Adriana Romero Dirección : Zamora Ciudad : Teléfono : 0992398705 Fax :	<b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b> Nombre : S/N Provincia : Zamora Chimchipe Cantón : Zamora Parroquia : Piuntza Ubicación :	<b>PARA USO DEL LABORATORIO</b> Cultivo Actual : Cacao Fecha de Muestreo : 06/09/2019 Fecha de Ingreso : 18/10/2019 Fecha de Salida : 30/10/2019
---	---	--

N° Muest. Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm			meq/100ml			ppm					
			NH4	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B	
111971	MIT1R1	5,50LAc RC	83,00 A	17,00 M		0,32 M	4,25 M	1,89 M						
111972	M2T1R2	5,21 Ac RC	64,00 A	14,00 M		0,23 M	4,77 M	1,40 M						
111973	M3T1R3	5,17 Ac RC	78,00 A	15,00 M		0,28 M	4,67 M	1,63 M						
111974	M4T2R1	4,18 Ac RC	468,00 A	168,00 A		0,26 M	3,84 B	0,83 B						
111975	M5T2R2	4,55 Ac RC	453,00 A	152,00 A		0,36 M	4,90 M	0,79 B						
111976	M6T2R3	4,15 Ac RC	462,00 A	130,00 A		0,31 M	4,76 M	0,75 B						
111977	M7T3R1	5,39 Ac RC	63,00 A	181,00 A		0,07 B	7,07 M	0,34 B						
111978	M8T3R2	5,18 Ac RC	81,00 A	216,00 A		0,05 B	8,32 A	0,52 B						
111979	M9T3R3	5,40 Ac RC	67,00 A	172,00 A		0,08 B	9,47 A	0,44 B						
111980	M10T4R1	3,73 Ac RC	499,00 A	220,00 A		0,06 B	2,02 B	0,53 B						
111981	M11T4R2	3,97 Ac RC	456,00 A	185,00 A		0,06 B	1,29 B	0,43 B						
111982	M12T4R3	4,16 Ac RC	505,00 A	188,00 A		0,08 B	1,47 B	0,39 B						

INTERPRETACION		
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	= Fosforo de Calcio	Cu Fe Mn Zn = Olsen Modificado
		B = Curcumina

  
 RESPONSABLE LABORATORIO

  
 LABORATORISTA