

**Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Sede San Carlos**

Escuela de Agronomía

Vicerrectoría de Investigación y Extensión

Informe Final de Investigación

**Fertilización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L*) en  
un cantón de la Región Huetar Norte de Costa Rica**

Centro Funcional  
**2151-059**

Investigador Responsable  
**M.Sc. Parménides Furcal Beriguete**

San Carlos, marzo 2018

## Tabla de contenido

1. <b>Introducción</b> .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Justificación.....	2
2. <b>Marco teórico</b> .....	3
3. <b>Materiales y métodos</b> .....	6
3.1 Localización del lugar de estudio.....	6
3.2 Material genético, dosis y frecuencia de aplicación de los tratamientos.....	7
3.3 Variables de medición .....	8
3.3.1 Peso y número de frutos frescos .....	8
3.3.2 Peso y número de semillas.....	8
3.3.3 Análisis químicos de suelo y hojas .....	9
3.3.4 Circunferencia del tallo de los árboles .....	9
3.3.5 Diseño experimental y arreglo de tratamientos.....	9
4. <b>Resultados</b> .....	10
4.1 Resultados de las variables que definen la fertilidad del suelo .....	10
4.2 Contenido de nutrientes a nivel foliar.....	14
4.3 Variables relacionadas con la producción.....	17
4.4 Circunferencia de los troncos de los árboles .....	21
4.5 Otras variables medidas .....	22
4.5.1 Análisis microbiológico del suelo .....	22
4.6.2. Comparación de fotosíntesis y radiación.....	23
5. <b>Discusión</b> .....	23
5.1 Efecto de los tratamientos en la fertilidad de los suelos.....	23
5.1.1 pH, acidez y porcentaje de saturación de acidez .....	23
5.1.2 Materia orgánica.....	25
5.1.3 Sumatoria de bases.....	26
5.1.4 Elementos individuales .....	26
5.2 Efecto en la disponibilidad de nutrientes a nivel foliar .....	28
5.3 Efecto de la fertilización sobre variables de producción del cultivo .....	29
5.4 Circunferencia del tallo de los árboles .....	33
6. <b>Conclusiones</b> .....	34
7. <b>Bibliografía</b> .....	35

## Índice de Cuadros

- Cuadro 1.** Promedio de variables de fertilidad del suelo. Resultados después de haberse completado la aplicación de los tratamientos en el primer año. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017. .... 11
- Cuadro 2.** Promedio de variables de fertilidad del suelo. Resultados después de haberse completado la aplicación de los tratamientos en el segundo año. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017. .... 11
- Cuadro 3.** Promedio de variables de fertilidad del suelo. Resultados después de haberse completado la aplicación de cada tratamiento en el tercer año. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017. .... 13
- Cuadro 4.** Variables de fertilidad del suelo. Resultados promedios de la combinación después de tres años de aplicación de los tratamientos. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017. .... 14
- Cuadro 5.** Resultados promedios de la concentración de nutrimentos en el tejido de plantas de cacao, después de haberse completado la aplicación de los tratamientos en el primer año. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017. .... 15
- Cuadro 6.** Resultados promedios de la concentración de nutrimentos en las hojas de la planta de cacao, después de haberse completado la aplicación de los tratamientos en el segundo año. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017. .... 15
- Cuadro 7.** Resultados promedios de la concentración de nutrimentos en las hojas de la planta de cacao, después de haberse completado la aplicación de los tratamientos en el tercer año. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero 2017. .... 16
- Cuadro 8.** Resultados promedios de la concentración de nutrimentos en el tejido de las hojas de la planta de cacao, resultados combinados de tres años de muestreos. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero 2017. .... 17
- Cuadro 9.** Variables de respuesta de producción en el primer año (2015-2016) de cosecha en árboles de cacao tratado con fertilizantes al suelo. Katira, Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017. .... 18
- Cuadro 10.** Variables de respuesta de producción de cacao en el segundo año de cosecha (2016-2017) en árboles de cacao tratado con fertilizantes al suelo. Katira, Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017. .... 19
- Cuadro 11.** Variables de respuesta de producción de cacao a la aplicación de fertilizantes al suelo, dos años de cosecha en conjunto. Katira, Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017. .... 20
- Cuadro 12.** Porcentaje de frutos dañados durante los dos años de cosechas. Katira, Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017. .... 22
- Cuadro 13.** Población de microorganismos (UFC/g) en suelo húmedo. Katira, Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Marzo, 2016. .... 22

## Índice de Figuras

- Figura 1.** *Circunferencia de los troncos de los árboles de cacao por tratamiento y fechas de mediciones desde el inicio del experimento. Katira, Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Setiembre, 2017..... 21*
- Figura 2.** *Medición de fotosíntesis neta (Pn) y radiación fotosintéticamente activa (PAR) para los diferentes tratamientos, cada valor es una lectura realizada entre las 09:00 am a 2:00 pm. Katira, Guatuso, Costa Rica. Abril de 2016. .... 23*

# Fertilización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L*) en un cantón de la Región Huetaar Norte de Costa Rica

Parménides Furcal-Beriguete\*

\*Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Centro de Investigaciones para el Desarrollo Sostenible del Trópico Húmedo.

## Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la fertilización inorgánica y orgánica sobre el rendimiento en un clon promisorio de cacao y en la fertilidad del suelo, para proveer información en esta área a sectores relacionados con el cultivo de cacao. La producción actual de cacao en el país se enfrenta a retos importantes relacionados, principalmente, a productividad y acceder a mercados a través de granos diferenciados de buena calidad. En la actualidad en Costa Rica existen materiales genéticos tolerantes a moniliasis (*Moniliophthora roreri*), con alta capacidad productiva y de buena calidad organoléptica. Por consiguiente, dentro de la cadena productiva del cultivo, falta mejorar en el manejo general del cultivo para lograr altos rendimientos y competir con calidad en los mercados por precios competitivos para el productor. Este proyecto, conjuntamente con otros desarrollados por el autor, tiene el propósito de incidir sobre la fertilización del cacao como parte del manejo agronómico de este cultivo en el país; puesto que la mayor parte de la información sobre fertilización data de la década de los 60's, por ello es una de las necesidades identificadas entre las estrategias para el mejoramiento del sector productor de cacao de Costa Rica. Dentro de los resultados se encontró que el potasio, a pesar de aplicarse en suelos con contenidos por encima del nivel crítico, aumentó el contenido de este elemento en el suelo y el peso de las semillas húmedas de cacao; mientras que el nitrógeno aumentó el número de semillas por mazorca, pero sin repercutir en el rendimiento respecto a los demás tratamientos y el testigo absoluto, además las fuentes de este elemento aumentaron la acidez del suelo. Por otra parte, el abono orgánico sólido mejoró rendimiento, no así el abono orgánico líquido.

Palabras claves: nitrógeno, potasio, fósforo, abonos orgánicos, abonos inorgánicos, fertilización del cacao

## **Abstract**

The objectives of this study were to evaluate the effect of inorganic and organic fertilization on the yield of cocoa promising clone and soil fertility in order to supply information to farmer related with this crop production. The current Costa Rican cocoa production faces important challenges related to productivity and to access to markets through differentiated good quality grains. In Costa Rica, there are genetic materials resistance to frosty pod rot or moniliasis (*Moniliophthora roreri*) which have high productivity and good organoleptic quality. However, the cocoa production system has to be improved in order to have high yield and to compete with quality in the markets for competitive prices for the farmers. These project and others developed by this researcher have the aim to influence on cocoa fertilization as part of the agronomical management of this crop because most of the information about fertilization is from the 60's, so it is one of the needs identified strategies for the improvement of the sector of cacao in Costa Rica. Even though potassium was applied on soil with contents above the critical level, it increased the content of this element in the soil and the weight of the cocoa wet seeds, while the nitrogen application increased the seed number per cob, without affecting the yield to the other treatments and the absolute control. In addition, the source of this element increased the acidity of the soil. Finally, the solid organic fertilizer improved yield, but not the liquid organic fertilizer.

Key words:

Nitrogen, potassium, phosphorus, organic fertilizer, inorganic fertilizer, cocoa fertilization

# 1. Introducción

## 1.1. Antecedentes

El cacao es uno de los cultivos tradicionales en el país, ha sido cultivado desde la época colonial con oscilaciones en el área sembrada, su producción y ventas, principalmente por motivo de ataques de enfermedades, falta de manejo y efecto de mercados (Chacón, 2006).

En el 2013, el comportamiento de la producción de cacao en Costa Rica fue de 700 t y una superficie sembrada de 4600 ha (SEPSA, 2014), esta estadística se ha mantenido estable, 650 t/año (SEPSA, 2017). Esta área sembrada es muy baja en comparación con la que existía antes de la década de 1980, 12000 ha. La reducción del área se atribuye a factores como la afectación causada por el hongo *Moniliophthora roreri* a partir de década de 1970. Esta enfermedad provocó el abandono, y descuido de muchas plantaciones, entre otros factores (Canacacao, 2008).

La producción de cacao en el país se concentra en pequeños productores, alrededor de 2229 reportaron 4543 ha sembradas, para el 2007; esta superficie se mantiene similar en el 2016 con una producción de 650 t (SEPSA, 2017). Centrándose la producción de cacao fundamentalmente en las regiones Atlántica, especialmente en Talamanca y Limón y en la región Huetar Norte en Upala y Guatuso, en ambas regiones hay grupos organizados de producción de cacao orgánico con buenos alcances, especialmente en Talamanca existen asociaciones certificadas y en procesos de certificación. Del mismo modo, en la región Huetar Norte hay productores individuales con alta productividad, tecnología orgánica y convencional (Canacacao, et al., 2013).

En Costa Rica, una gran cantidad de fincas siguen un manejo tradicional del cultivo de cacao, alcanzando una producción media de 250 kg de granos secos/ha/año. Las causas principales de este bajo rendimiento y vida productiva del árbol, se

considera que son la baja calidad genética de los materiales de siembra y la falta de manejo al cultivo en su momento. Esto conlleva al deterioro progresivo de los ingresos al productor que imposibilita la inversión en el cultivo o la renovación del mismo (Canacacao, 2012).

En la actualidad, los rendimientos han mejorado con la liberación de material genético seleccionado, estos se han incrementado paulatinamente conforme a la madurez fisiológica de estos materiales. Se han reportado rendimientos superiores a 1500 kg de grano seco/ha/año en la zona atlántica del país (MAG, 2011).

Mesoamérica y la parte central de América del Sur, presentan la mayor variabilidad de especies de cacao a nivel mundial, esto ha ocasionado una dificultad para seleccionar las mejores especies productoras (IICA, 2006). El Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE) creó el programa de mejoramiento genético del cacao, el cual tiene como objetivo principal, crear variedades de cacao mejoradas y ponerlas a disposición de los productores de estas zonas. Para el año 2007, se liberaron seis clones que se distribuyeron en Centroamérica los cuales se caracterizan por ser tolerantes a la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y con un comportamiento productivo y de calidad bastante bueno (CATIE, 2015), esos materiales sin dudas ayudarán en rendimiento y calidad del cacao en el país.

## **1.2. Justificación**

Los resultados alcanzados en este proyecto de investigación conjuntamente con el de “Extracción de nutrientes por la producción de mazorcas de cacao” (Furcal-Beriguete, 2017), generaron respuestas de cuantos elementos nutritivos consumen los clones de cacao en producción en el país, generado por el CATIE, y si la fertilización es indispensable en cacao, según las condiciones de suelos y manejo de la plantación. Además, produjeron informaciones que fortalecen la parte académica y al sector profesional nacional, a la vez, son aportes para la solución de uno de los objetivos del eje Producción y Productividad del Plan Estratégico de la Cadena Productiva de Cacao, propuesto por el Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología en Cacao (PITTA-Cacao) en el 2014.

Esta investigación fue dirigida a productores, industriales y a los comerciantes, del sector cacao que están interrelacionados, puesto que parte de los productores de cacao del país, también son procesadores de productos derivados de este cultivo o bien incursionan en el mercado nacional o internacional. Aunque la parcela donde se ubicó el experimento se localiza en la finca de un productor de la Región Huetar Norte, los resultados obtenidos han sido divulgados a los diferentes sectores de la cadena productiva de este cultivo, a través de presentaciones en congresos nacionales (IX de Suelos y Primer Congreso de Cacao y Valor Agregado) y charlas dirigidas a productores de Guatuso y la zona de Guácimo, con apoyo del Programa Nacional de Cacao del Ministerio de Agricultura.

Se dispone de información respecto a la decisión de la fertilización de este cultivo, esta debe ser analizada según las condiciones del medio y manejo agronómico. A pesar que la investigación se hizo en uno de los clones promisorios obtenidos en el país y en una localidad de la Región Norte, la información puede ser usada en otros clones y suelos, con los posibles o necesarios ajustes, que presenten similitud en la extracción de nutrientes por la producción de frutos de cacao. El objetivo general de este estudio fue evaluar el efecto de la fertilización inorgánica y orgánica sobre el rendimiento en un clon promisorio de cacao y en la fertilidad del suelo, para proveer información en esta área a sectores relacionados con el cultivo de cacao; como específicos se incluyeron la evaluación del N, P y K en forma individual, la combinación de estos elementos y el uso de abonos orgánicos sólido y líquido.

## **2. Marco teórico**

La nutrición vegetal estudia los procesos biológicos, químicos y bioquímicos asociados a la dinámica y uso de los nutrientes minerales por las plantas, para realizar sus funciones metabólicas y estructurales (Cueva, 2013).

La nutrición vegetal, se ha reconocido, conjuntamente con el agua bien manejada, entre otros factores como radiación solar, la temperatura, limitante en el desarrollo y productividad real del cultivo de cacao. En Costa Rica, la práctica de fertilización

y nutrición del cultivo de cacao es poco común, no obstante, este cultivo es muy exigente en suelos de buena fertilidad y debe corregirse cualquier deficiencia de nutrimento existente, especialmente cuando se cultiva con poco o sin sombreado (Cueva, 2013), y por ende cualquier desbalance entre nutrientes. La cantidad de sombra que necesita una plantación de cacao está relacionada con las condiciones climáticas del lugar, las propiedades físicas y estado nutricional del suelo (Cueva, 2013). Este autor indica que cuanto el cacao se siembra con sombra se puede llegar a un equilibrio nutricional debido a la recirculación natural de los nutrientes y a la lenta descomposición y mineralización de la materia orgánica, recomendando ciertas leguminosas como árboles de sombra que permiten abundante deposición de componentes de material orgánico, favorecen la presencia de polinizadores y disponen de raíces profundas donde no llegan las de los árboles de cacao, con estas características cumplen *Erythrina* e *Inga*.

La regulación periódica de la sombra para permitir la entrada de ciertos grados de luz a la plantación de cacao estimula la actividad fisiológica y nutricional del árbol de cacao, también evita ambientes demasiados húmedos o secos que favorece la presencia de enfermedades y/o plagas y a la vez la cantidad de reciclaje de nutrientes (Cueva, 2013). Función similar cumple la labor de manejo de poda de los árboles de cacao, además de control de crecimiento y mejorar los rendimientos (Marín, 2008).

El nivel de radiación solar que llega a la plantación de cacao tiene efecto directo en el crecimiento, el rendimiento del cultivo y en la demanda nutricional. En un ambiente de cobertura abundante de sombra, el rendimiento de un cacaotal es bajo (Cueva, 2013). Por el contrario, donde predomina poca o ninguna cobertura de árboles de sombra, la absorción de nutrientes y los rendimientos de cacao son más altos y a su vez hay respuestas a la fertilización, primordialmente a N (Figuroa y Cavero, 2011; Cueva, 2013). Sin embargo, al aumentar la dosis de N, es necesario hacer aplicaciones de K y P, y otros elementos según su contenido en el suelo, para mantener el balance nutricional de estos (INPOFOS, 2000).

El fósforo es el principal elemento limitante de la producción de cacao bajo sombra; además, la respuesta del árbol de cacao es baja a fertilizantes fosfatados, cuando el fósforo disponible es mayor a 5 ppm, desapareciendo a partir de 15 ppm (Cadavid,1980). La capacidad de absorción y utilización de nutrientes está supeditada al material genético vegetal y a los niveles nutricionales disponibles en el suelo (Bertsch, 2005; Puentes-Páramo et al., 2014a) y al manejo de entrada de luz (Uribe et al., 1998; Figueroa y Caveró, 2011; Cueva, 2013).

El éxito en rendimiento y la sostenibilidad de altos rendimientos en el tiempo de un cacaotal está supeditado a variables climáticas, aunado al manejo oportuno del cultivo (PROAMAZONA, 2004; Cueva, 2013); bajo condiciones climáticas particular y manejo necesario para este cultivo se presenta respuesta en crecimiento y rendimiento a la aplicación de fertilizantes (López et al., 2007; Ruales et al., 2011; Cueva, 2013). Ruales et al. (2011) encontraron diferencias entre dosis de tratamientos compuestos con mezclas de las fórmulas de fertilizantes (19-4-19, 15,5-0-0-26(CaO), K-MAG y KCl), estas diferencias se produjeron por cambios de dosis entre los fertilizantes químicos y respecto a la fertilización con dominancia orgánica (300 g/árbol/año de ácido húmico más 100 g de Sulfomag (K 26%, Mg 11%, S 22%), este último produjo los más bajos rendimientos.

Uribe et al. (1998), encontraron alta respuesta a la aplicación de N, P y K; los mejores rendimientos se lograron con la combinación de 100 y 150 kg de N, combinados con 90 kg de  $P_2O_5$  y 200 kg de  $K_2O$ /ha/año. Rendimientos de 1160 y 1048 kg/ha fueron alcanzados cuando se usaron 150 y 100 kg de N respectivamente, junto con las dosis de fósforo y potasio antes indicadas, aplicados dos veces al año con el inicio de las lluvias. Este rendimiento superó en un 51% y 48% al testigo y no se encontró respuesta a 50 kg de N y 50  $K_2O$ /ha/año. Jonathan et al. (2013) sugiere que las plantas jóvenes de cacao deberían fertilizarse cada 21 días con 69 a 118 g por árbol de fórmulas que contengan entre 6 a 10% de N, P ,K y de 4 a 6% de Mg; mientras que árboles con 12 a 18 meses de edad la dosis

debería elevarse entre 475 a 950 g cada mes. Con elementos menores, recomienda fertilizar con Zn y Mn aplicados al suelo con pH menor de 7 y foliarmente en plantas en crecimiento en pH altos, además de aplicar quelato de hierro en forma de "drench". Contrario a lo expuesto anteriormente, Sánchez (2005), encontró respuesta muy limitada a la aplicación de NPK (un año de cuatro años de cosecha) en un suelo ácido, bajo en materia orgánica, en fósforo y potasio y la aplicación (g/árbol) de: 40 y 46, 35 y 39, 40 y 83 de NPK, respectivamente, lo que representa: 44,44 y 51,11; 38,88 y 43,33; 44,44 y 92,21 kg/ha/año de NPK para una densidad de plantación de un árbol/9 m<sup>2</sup> (3m x 3m). Este comportamiento limitado lo atribuye a factores de variabilidad genética de los árboles y de suelos como nivel freático elevado.

Después de nueve años fertilizando con urea, superfosfato triple (SPT) y cloruro de potasio (KCl) (4920 kg, 3615 kg y 7365 kg, respectivamente), no se logró incrementos significativos en rendimiento de cacao, sin embargo, la aplicación de SPT solo al suelo o combinado con los otros productos resultó en la acumulación de cinco veces más fósforo disponible en la capa arable en comparación con el control (Díaz-Romeu y Jiménez, 1966); el uso de urea y KCl, no redujo el nivel básico disponible de fósforo. En el caso de la aplicación en cacao con sombra, tuvo más efecto que la aplicación del fósforo en cacao sin sombra, siendo más pronunciado en la capa superficial que en la de 7,5 a 15 y de 15 a 30 cm, encontrándose que hubo decremento del contenido de fósforo en las hojas cuando el cacao estuvo sembrado bajo sol. Otro efecto de la fertilización encontrado en este estudio es que la urea fue el fertilizante responsable del incremento de la acidez (Díaz-Romeu y Jiménez, 1966).

### **3. Materiales y métodos**

#### **3.1 Localización del lugar de estudio**

La evaluación se realizó en el distrito de Katira, cantón de Guatuso, provincia de Alajuela. La finca se ubica geográficamente, a 10°43'51.87" latitud norte y 84°55'02.43" longitud oeste, a una altura de 177 m.s.n.m. La selección de la finca

se realizó tomando en consideración anuencia del productor, seguridad en la entrega de la producción del lote experimental para sus análisis y disponer de cultivo con más de cinco años de edad.

Este documento, comprende cosechas de cacao entre el segundo semestre del año 2015 y el segundo del 2017, es decir dos años de cosechas a partir de la primera aplicación de los tratamientos. Para el primer año del experimento los valores de precipitación de la zona fueron de 2355 mm, siendo el mes más seco marzo con 8,08 mm y octubre con la mayor precipitación (403,42 mm); para el segundo año de cosecha (agosto 2016 a agosto 2017) la precipitación fue de 3090 mm, los meses más secos fueron febrero y marzo con 48 mm y 44,48 mm; el rango de temperatura registrada fue entre 19,30 °C y 34,20 °C en el primer año, y en el segundo año 22,61 y 28,94, datos registrados a menos de 30 km de la finca experimental.

### **3.2 Material genético, dosis y frecuencia de aplicación de los tratamientos**

La investigación se realizó en árboles de cacao de siete años de edad del clon trinitario CATIE R6. Los fertilizantes se distribuyeron en el suelo dos veces por año, a partir de los 20 cm alrededor de la base del tallo de cada árbol. Los tratamientos fueron ocho, además del testigo absoluto, nitrógeno (N), potasio (K), Roca Fosfórica (RF) como fuente de fósforo, abono orgánico líquido (AOL), abono orgánico sólido (AOS), las combinaciones: N K; N, RF y K; AOS y AOL.

Las dosis (kg/ha/año) de los tratamientos fueron: N = 70, K<sub>2</sub>O= 80, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>= 40, AOS= 2000 kg y AOL= 50 ml/L de agua (400 y 500 ml de la solución por árbol); fraccionadas en dos aplicaciones, 50% en marzo y el otro 50% en agosto. Como fuentes se usaron, nitrato de amonio, urea, cloruro de potasio, roca fosfórica, compost y Biofer húmico® (N-P<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O: 3,15-0,86-0,25 más otros elementos, polisacáridos, aminoácidos, ácidos húmicos y microorganismos benéficos).

### **3.3 Variables de medición**

#### **3.3.1 Peso y número de frutos frescos**

Se realizó un total de 25 cosechas durante el periodo de evaluación del primer año y 26 durante el segundo año, en estas se recolectaron los frutos por cada repetición de los tratamientos. A su vez se contabilizó el total de frutos y el peso del total de ellos, a partir de lo cual se calcularon los indicadores: número de frutos por árbol por año y el peso medio por fruto.

#### **3.3.2 Peso y número de semillas**

Las semillas fueron contadas y pesadas; si el valor del peso fresco de ellas era mayor o igual a dos kilogramos, se colocaban a fermentar durante siete días, en el primer período de cosecha, en cajones de madera de laurel blanco *Cordia sp*, durante este tiempo se realizaron volteos de las semillas cada 24 y 48 horas. Cuando el peso de la masa de semillas era menor que dos kilogramos, no se aplicó la técnica de fermentación, por dificultad para lograrla, por lo que la masa de semillas se colocaba en una bandeja, al sol cuando existía, para ayudar a deshidratar la película de mucílago. Luego los granos se colocaban en un horno a una temperatura de 55°C durante 72 a 96 horas para secarlas, al cumplir el tiempo, se procedía a registrar el peso seco de cada repetición, para calcular con estos datos, el número de granos por fruto, así como el índice de grano que relaciona el peso seco de los granos entre el número total de granos y la cantidad en kilogramos de granos secos por hectárea por año.

En el segundo período de cosecha se procedió de la misma forma, excepto que no se hizo la fermentación por la dificultad experimentada en el primer período. En este período, el número de semillas solo se contaba para un número  $\leq$  de 5 mazorcas, dado que en varias ocasiones en algunos tratamientos se cosechaban muchas mazorcas; el número de semillas de esas mazorcas se correlacionaban con el número total cosechadas de cada tratamiento correspondiente.

### **3.3.3 Análisis químicos de suelo y hojas**

La concentración de nutrientes (CN) en las hojas se midió a los 2,5 meses después de la segunda fertilización en cada año, por unidad experimental. Se tomaron 10 hojas por árbol en la parte media de las ramas emitidas el año anterior al muestreo. El traslado de estas hojas se hizo en bolsas plásticas seguido de la recolección, una vez en el laboratorio se lavó cada una de ellas con agua destilada y se secaron en hornos a 55°C. Los análisis se hicieron por medio de digestión seca y posterior medición por el método de Dumas para el caso del N, mientras que para los elementos Ca, Mg, K, Fe, Mn, Cu y Zn se leyeron en un espectrofotómetro de absorción atómica (*Agilent Technology 240FS AA*); para determinar el P, se utilizó el molibdato de amonio y leído en el espectrofotómetro ultravioleta visible (*PG instrumentes. T60UV-Visible Spectrophotometer*).

Los muestreos del suelo para los análisis químicos se realizaron a 20 cm de profundidad en una franja a partir de los 20 cm del tronco del tallo de cada árbol, franja donde se fertilizó, el muestreo se llevó a cabo después de las dos aplicaciones anuales de los tratamientos. Los elementos Ca, Mg y Acidez se extrajeron con KCl 1M, mientras que el P, K y elementos menores se extrajeron con *Olsen* modificado.

### **3.3.4 Circunferencia del tallo de los árboles**

Al inicio de la aplicación del programa anual de los tratamientos, se procedió a realizar las medidas de la circunferencia del tronco, con una cinta métrica flexible, a una altura de 20 cm del suelo, luego a los dos meses después de las dos aplicaciones de los tratamientos en cada año, es decir se hicieron cuatro mediciones.

### **3.3.5 Diseño experimental y arreglo de tratamientos**

Los tratamientos se aplicaron en un diseño completamente al azar en los meses de marzo y agosto, del 2015, 2016 y 2017, ello a razón de la humedad en el suelo y los períodos de la máxima producción. Cada uno de los ocho tratamientos y el testigo se repitió tres veces y las unidades experimentales constaron de cuatro árboles

cada una, la densidad de plantación presente fue de 1111 plantas por hectárea, con un marco de plantación 3 m x 3 m.

## **4. Resultados**

### **4.1 Resultados de las variables que definen la fertilidad del suelo**

A continuación, se presentan los resultados de las variables de suelos en cada año, después de la aplicación completa de los tratamientos y además el análisis de los resultados de los tres años en conjunto.

Algo sobresaliente es que en cada año y cuando se analizaron en conjunto, el valor del elemento K fue significativamente mayor en su tratamiento (Cuadros 1, 2, 3 y 4). Otros resultados que se mantienen, excepto en el primer año, fue que el tratamiento N-K presentó significativamente más alto los valores de acidez y de porcentaje de saturación de acidez, y menor los valores de pH, suma de bases y Ca (Cuadros 2,3 y 4).

Por otro lado, el tratamiento AoS muestra estadísticamente valor más alto de pH, suma de bases, Ca y Mg, y menor porcentaje de saturación de acidez.

**Cuadro 1.** Promedio de variables de fertilidad del suelo. Resultados después de haberse completado la aplicación de los tratamientos en el primer año. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017.

Tratamiento (2015)	pH	$\Sigma$ bases	K	Ca	Mg	Acid. Interc.	Sat. Acid.	M.O	P
<b>Testigo</b>	5,42 <sup>a</sup>	8,00 <sup>a</sup>	0,46 <sup>ab</sup>	5,75 <sup>a</sup>	1,78 <sup>a</sup>	0,37 <sup>ab</sup>	4,51 <sup>a</sup>	4,62 <sup>a</sup>	6,46 <sup>a</sup>
<b>N</b>	5,46 <sup>a</sup>	9,51 <sup>a</sup>	0,27 <sup>a</sup>	7,16 <sup>a</sup>	2,07 <sup>a</sup>	0,31 <sup>ab</sup>	3,35 <sup>a</sup>	5,48 <sup>a</sup>	3,68 <sup>a</sup>
<b>K</b>	5,70 <sup>a</sup>	9,80 <sup>a</sup>	<b>0,84<sup>b</sup></b>	6,87 <sup>a</sup>	2,09 <sup>a</sup>	0,30 <sup>ab</sup>	3,12 <sup>a</sup>	4,49 <sup>a</sup>	14,28 <sup>a</sup>
<b>RF</b>	5,37 <sup>a</sup>	9,02 <sup>a</sup>	0,36 <sup>a</sup>	6,37 <sup>a</sup>	2,29 <sup>a</sup>	<b>0,28<sup>a</sup></b>	3,01 <sup>a</sup>	4,19 <sup>a</sup>	6,18 <sup>a</sup>
<b>N-K</b>	5,30 <sup>a</sup>	8,35 <sup>a</sup>	0,63 <sup>ab</sup>	5,95 <sup>a</sup>	1,77 <sup>a</sup>	0,37 <sup>ab</sup>	4,22 <sup>a</sup>	4,85 <sup>a</sup>	10,76 <sup>a</sup>
<b>N-RF-K</b>	5,12 <sup>a</sup>	8,23 <sup>a</sup>	0,55 <sup>ab</sup>	6,02 <sup>a</sup>	1,66 <sup>a</sup>	<b>0,47<sup>b</sup></b>	5,38 <sup>a</sup>	4,87 <sup>a</sup>	6,10 <sup>a</sup>
<b>AOL</b>	5,41 <sup>a</sup>	9,13 <sup>a</sup>	0,37 <sup>a</sup>	6,57 <sup>a</sup>	2,19 <sup>a</sup>	0,29 <sup>ab</sup>	3,12 <sup>a</sup>	5,02 <sup>a</sup>	5,55 <sup>a</sup>
<b>AOS</b>	5,66 <sup>a</sup>	10,52 <sup>a</sup>	0,43 <sup>a</sup>	7,84 <sup>a</sup>	2,25 <sup>a</sup>	0,30 <sup>ab</sup>	3,00 <sup>a</sup>	5,13 <sup>a</sup>	9,81 <sup>a</sup>
<b>AOS-L</b>	5,66 <sup>a</sup>	10,04 <sup>a</sup>	0,47 <sup>ab</sup>	7,31 <sup>a</sup>	2,26 <sup>a</sup>	0,28 <sup>ab</sup>	2,75 <sup>a</sup>	4,86 <sup>a</sup>	7,44 <sup>a</sup>
<b>Promedio</b>	5,46	9,18	0,49	6,65	2,04	0,33	3,61	4,83	7,81
<b>CV (%)</b>	3,49	9,48	34,73	10,53	11,87	18,62	24,68	7,69	41,56
<b>Desv.Est.</b>	0,18	0,82	0,16	0,66	0,23	0,06	0,84	0,35	3,06

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (P<0.05).

AoS: Abono orgánico sólido, AoL: Abono orgánico líquido, AoS-L: Abono orgánico sólido y líquido, Inorgánico: nitrógeno (N), Roca Fosfórica (RF) y potasio (K), CV: coeficiente de variación, Desv.Est.: desviación estándar, pH: Potencial de hidrógeno, Sat.Acíd: Saturación de acidez (%), M.O: materia orgánica (%), Acid. Interc.: Acidez intercambiable,  $\Sigma$  bases: sumatoria de bases, Ca: calcio, Mg: magnesio y P: fósforo.

**Cuadro 2.** Promedio de variables de fertilidad del suelo. Resultados después de haberse completado la aplicación de los tratamientos en el segundo año. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017.

Tratamiento (2016)	pH	$\Sigma$ bases	K	Ca	Mg	Acid. Interc.	Sat. Acid.	M.O	P
<b>Testigo</b>	5,84 <sup>ab</sup>	8,35 <sup>ab</sup>	0,65 <sup>a</sup>	5,84 <sup>ab</sup>	1,85 <sup>ab</sup>	0,45 <sup>ab</sup>	5,27 <sup>ab</sup>	4,33 <sup>a</sup>	5,91 <sup>a</sup>
<b>N</b>	5,36 <sup>ab</sup>	7,63 <sup>ab</sup>	0,41 <sup>a</sup>	5,75 <sup>ab</sup>	1,47 <sup>ab</sup>	<b>0,66<sup>ab</sup></b>	<b>8,71<sup>ab</sup></b>	5,15 <sup>a</sup>	6,20 <sup>a</sup>
<b>K</b>	5,85 <sup>ab</sup>	8,48 <sup>ab</sup>	<b>1,36<sup>b</sup></b>	5,44 <sup>ab</sup>	1,68 <sup>ab</sup>	0,50 <sup>ab</sup>	5,81 <sup>ab</sup>	4,31 <sup>a</sup>	5,72 <sup>a</sup>
<b>RF</b>	5,82 <sup>ab</sup>	8,19 <sup>ab</sup>	0,45 <sup>a</sup>	5,74 <sup>ab</sup>	2,00 <sup>ab</sup>	0,42 <sup>ab</sup>	4,90 <sup>a</sup>	4,41 <sup>a</sup>	5,54 <sup>a</sup>
<b>N-K</b>	<b>5,11<sup>a</sup></b>	<b>5,90<sup>a</sup></b>	0,74 <sup>a</sup>	<b>3,93<sup>a</sup></b>	1,24 <sup>ab</sup>	<b>0,88<sup>b</sup></b>	<b>13,71<sup>b</sup></b>	4,67 <sup>a</sup>	5,28 <sup>a</sup>

<b>N-RF-K</b>	5,37ab	<b>6,73a</b>	0,67a	4,95ab	<b>1,11a</b>	<b>0,62ab</b>	<b>8,27ab</b>	5,88a	5,46a
<b>AOL</b>	5,64ab	7,65ab	0,56a	5,34ab	1,76ab	0,54ab	6,56ab	5,45a	5,82a
<b>AOS</b>	<b>6,10b</b>	<b>10,37b</b>	0,74a	<b>7,48b</b>	<b>2,15b</b>	0,39ab	<b>3,64a</b>	5,83a	6,80a
<b>AOS-L</b>	5,78ab	9,35ab	0,64a	<b>6,68b</b>	2,03ab	0,36a	<b>3,75a</b>	4,77a	7,09a
<b>Promedio</b>	5,65	8,07	0,69	5,68	1,70	0,54	6,73	4,98	5,98
<b>CV (%)</b>	4,90	14,98	27,04	16,67	19,60	33,10	44,74	17,98	24,94
<b>Desv.Est.</b>	0,29	1,25	0,26	0,95	0,34	0,15	2,98	0,59	0,58

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (P<0.05)

AoS: Abono orgánico sólido, AoL: Abono orgánico líquido, AoS-L: Abono orgánico sólido y líquido, Inorgánico: nitrógeno (N), Roca Fosfórica (RF) y potasio (K), CV: coeficiente de variación, Desv.Est.: desviación estándar, pH: Potencial de hidrógeno, Sat.Acid: Saturación de acidez (%), M.O: materia orgánica (%), Acid. Interc.: Acidez intercambiable,  $\Sigma$  bases: sumatoria de bases, Ca: calcio, Mg: magnesio y P: fósforo.

**Cuadro 3.** Promedio de variables de fertilidad del suelo. Resultados después de haberse completado la aplicación de cada tratamiento en el tercer año. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017.

Tratamiento (2017)	pH	$\Sigma$ bases	K	Ca	Mg	Acid. Interc.	Sat. Acid.	M.O	P
Testigo	5,40dc	8,76abc	0,74ab	5,90ab	2,12bc	0,22a	2,42a	4,26a	6,93a
<b>N</b>	<b>5,06abc</b>	8,21abc	<b>0,36a</b>	6,02ab	1,83abc	0,32a	4,05ab	5,27a	5,77a
<b>K</b>	5,39dc	8,63abc	<b>1,18b</b>	5,37ab	2,07bc	0,21a	2,42a	4,51a	4,23a
<b>RF</b>	5,23bcd	7,70abc	<b>0,48a</b>	5,22ab	1,99bc	0,27a	3,45ab	4,02a	5,30a
<b>N-K</b>	<b>4,71a</b>	<b>5,98a</b>	0,72ab	<b>3,86a</b>	<b>1,40ab</b>	<b>0,78b</b>	<b>12,98b</b>	4,40a	5,85a
<b>N-RF-K</b>	<b>4,83ab</b>	<b>6,23ab</b>	0,66ab	4,46ab	<b>1,11a</b>	<b>0,57ab</b>	<b>8,44ab</b>	4,60a	5,15a
<b>AOL</b>	5,23bcd	8,39acb	<b>0,53a</b>	5,74ab	2,12bc	0,25a	2,94ab	5,35a	6,08a
<b>AOS</b>	5,64d	9,96c	0,65ab	<b>6,98b</b>	<b>2,33c</b>	0,19a	1,83a	4,66a	5,00a
<b>AOS-L</b>	5,46dc	9,24cb	0,63ab	6,34ab	<b>2,28c</b>	0,22a	2,36a	4,69a	5,77a
<b>Promedio</b>	5,22	8,12	0,66	5,54	1,92	0,34	4,54	4,64	5,56
<b>CV (%)</b>	3,08	13,41	31,62	16,78	14,35	46,4	80,08	19,4	40,44
<b>Desv.Est.</b>	0,29	1,23	0,22	0,90	0,38	0,19	3,52	0,41	0,72

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (P<0.05).

AoS: Abono orgánico sólido, AoL: Abono orgánico líquido, AoS-L: Abono orgánico sólido y líquido, Inorgánico: nitrógeno (N), Roca Fosfórica (RF) y potasio (K), CV: coeficiente de variación, Desv.Est.: desviación estándar, pH: Potencial de hidrógeno, Sat. Acid: Saturación de acidez (%), M.O: materia orgánica (%), Acid. Interc. Acidez intercambiable,  $\Sigma$  bases: sumatoria de bases, Ca: calcio, Mg: magnesio y P: fósforo.

Los resultados de los tres años presentaron que el suelo tiene tendencia a acidificarse con la aplicación de las fuentes inorgánica de N, la aplicación de K tiende a mejorar su contenido en el suelo. De igual manera el uso de AOS mejora las bases en el suelo N, como se muestra en el cuadro 4.

**Cuadro 4.** Variables de fertilidad del suelo. Resultados promedios de la combinación después de tres años de aplicación de los tratamientos. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017.

Tratamiento (2015-2017)	pH	$\Sigma$ bases	K	Ca	Mg	Acid. Interc.	Sat. Acid.	M.O	P
<b>Testigo</b>	5,55cd	8,37ab	0,62ab	5,83abc	1,92bc	0,34ab	4,06ab	4,40a	6,43a
<b>N</b>	<b>5,29abc</b>	8,45abc	<b>0,35a</b>	6,31bcd	1,79abc	0,43ab	5,37ab	5,30a	3,21a
<b>K</b>	5,65cd	8,97bc	<b>1,13c</b>	5,89abcd	1,95bc	0,34ab	3,78ab	4,44a	8,08a
<b>RF</b>	5,48cd	8,30ab	0,43ab	5,78abc	2,06c	0,32a	3,78ab	4,21a	5,67a
<b>N-K</b>	<b>5,04a</b>	<b>6,75a</b>	0,70b	<b>4,58a</b>	1,47ab	<b>0,68c</b>	<b>10,30c</b>	4,64a	7,29a
<b>N-RF-K</b>	<b>5,11ab</b>	<b>7,06a</b>	0,63b	5,14ab	<b>1,29a</b>	<b>0,55bc</b>	<b>7,36bc</b>	5,12a	5,57a
<b>AOL</b>	5,43 bcd	8,39ab	0,49ab	5,88abcd	2,02c	0,36ab	4,20ab	5,27a	5,82a
<b>AOS</b>	5,80d	<b>10,29c</b>	0,61ab	<b>7,43d</b>	<b>2,24c</b>	<b>0,29a</b>	<b>2,82a</b>	5,21a	7,20a
<b>AOS-L</b>	5,63cd	9,54bc	0,58ab	6,78cd	2,19c	<b>0,29a</b>	<b>2,95a</b>	4,77a	6,77a
<b>Promedio</b>	5,44	8,46	0,61	5,96	2,15	0,40	4,96	4,82	6,45
<b>CV (%)</b>	4,46	14,61	29,34	17,26	18,21	35,36	56,26	17,40	60,55
<b>Desv.Est.</b>	0,24	1,04	0,21	1,04	0,09	0,12	2,29	0,39	0,90
<b>AÑO</b>									
<b>2015</b>	5,46b	9,18b	0,49a	6,65b	2,04b	0,33a	3,61a	4,83a	7,81a
<b>2016</b>	<b>5,65c</b>	<b>8,07a</b>	<b>0,69b</b>	<b>5,68a</b>	1,70a	<b>0,53b</b>	<b>6,73b</b>	4,98a	5,98a
<b>2017</b>	5,22a	<b>8,12a</b>	<b>0,66b</b>	<b>5,54a</b>	1,92ab	0,34a	4,54a	4,64a	5,56a
<b>Desv.Est.</b>	0,18	0,51	0,09	0,49	0,14	0,10	1,31	0,14	0,97

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (P<0.05).

AoS: Abono orgánico sólido, AoL: Abono orgánico líquido, AoS-L: Abono orgánico sólido y líquido, Inorgánico: nitrógeno (N), Roca Fosfórica (RF) y potasio (K), CV: coeficiente de variación, Desv.Est.: desviación estándar, pH: Potencial de hidrógeno, SatAcid: Saturación de acidez (%), M.O: materia orgánica (%), Acid. Interc. Acidez intercambiable,  $\Sigma$  bases: sumatoria de bases, Ca: calcio, Mg: magnesio, K: potasio, P: fósforo.

#### 4.2 Contenido de nutrientes a nivel foliar

Los resultados de los análisis foliares no presentaron diferencias significativas en los años de estudios para indicar que un tratamiento fue mejor que los demás en el contenido de nutrientes en las hojas (Cuadros 5, 6, 7), excepto en el Ca que el tratamiento N en el segundo año (Cuadro 6) difiere del testigo y los abonos orgánicos (AOS y AOL), y cuando los análisis se hicieron con los tres años en conjunto (Cuadro 8), donde también el Ca fue significativamente mayor en el tratamiento N-RF-K respecto al tratamiento AOS. En el tercer año del experimento

se muestra algunas diferencias en la concentración de los elementos K, Fe y Mn (Cuadro 7), pero sin ninguna tendencia, con excepción que el testigo presenta menor contenido en dos elementos (K y Fe) respecto a los tratamientos al AOS y AOS-L respectivamente.

**Cuadro 5.** Resultados promedios de la concentración de nutrimentos en el tejido de plantas de cacao, después de haberse completado la aplicación de los tratamientos en el primer año. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017.

Tratamiento (2015)	N	K	Ca	Mg	P	Fe	Cu	Zn	Mn
	%					mg/L			
<b>Testigo</b>	1.83 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>	1.28 <sup>a</sup>	0.42 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	83.0 <sup>a</sup>	14.00 <sup>a</sup>	92.33 <sup>a</sup>	705.67 <sup>a</sup>
<b>N</b>	1.96 <sup>a</sup>	1.31 <sup>a</sup>	1.34 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>	65.0 <sup>a</sup>	13.67 <sup>a</sup>	88.00 <sup>a</sup>	791.33 <sup>a</sup>
<b>K</b>	2.01 <sup>a</sup>	<b>1.74<sup>a</sup></b>	1.09 <sup>a</sup>	0.53 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	72.7 <sup>a</sup>	16.67 <sup>a</sup>	82.00 <sup>a</sup>	846.33 <sup>a</sup>
<b>RF</b>	1.83 <sup>a</sup>	1.54 <sup>a</sup>	1.17 <sup>a</sup>	0.62 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	72.3 <sup>a</sup>	15.67 <sup>a</sup>	89.00 <sup>a</sup>	920.67 <sup>a</sup>
<b>N-K</b>	1.86 <sup>a</sup>	1.58 <sup>a</sup>	1.19 <sup>a</sup>	0.62 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	69.3 <sup>a</sup>	14.67 <sup>a</sup>	94.33 <sup>a</sup>	893.00 <sup>a</sup>
<b>N-RF-K</b>	1.85 <sup>a</sup>	1.41 <sup>a</sup>	1.41 <sup>a</sup>	0.53 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	65.3 <sup>a</sup>	11.67 <sup>a</sup>	97.33 <sup>a</sup>	829.00 <sup>a</sup>
<b>AOL</b>	1.87 <sup>a</sup>	1.55 <sup>a</sup>	1.18 <sup>a</sup>	0.49 <sup>a</sup>	0.05 <sup>a</sup>	84.7 <sup>a</sup>	14.67 <sup>a</sup>	77.67 <sup>a</sup>	741.00 <sup>a</sup>
<b>AOS</b>	1.90 <sup>a</sup>	1.32 <sup>a</sup>	1.26 <sup>a</sup>	0.63 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	62.7 <sup>a</sup>	13.00 <sup>a</sup>	79.67 <sup>a</sup>	907.67 <sup>a</sup>
<b>AOS-L</b>	1.97 <sup>a</sup>	1.52 <sup>a</sup>	1.15 <sup>a</sup>	0.54 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	71.7 <sup>a</sup>	15.33 <sup>a</sup>	76.67 <sup>a</sup>	762.67 <sup>a</sup>
<b>Promedio</b>	1.90	1.49	1.23	0.54	0.05	71.85	14.37	86.33	821.93
<b>CV (%)</b>	3.49	9.01	8.33	14.11	11.32	10.66	10.40	8.81	9.36
<b>Desv.Est.</b>	0,39	0,13	0,10	0,07	0,01	7,22	1,41	7,17	72,50

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (P<0.05).

AoS: Abono orgánico sólido, AoL: Abono orgánico líquido, AoS-L: Abono orgánico sólido y líquido, Inorgánico: nitrógeno (N), Roca Fosfórica (RF) y potasio (K), CV: coeficiente de variación, Desv.Est.: desviación estándar.

**Cuadro 6.** Resultados promedios de la concentración de nutrimentos en las hojas de la planta de cacao, después de haberse completado la aplicación de los tratamientos en el segundo año. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017.

Tratamiento (2016)	N	K	Ca	Mg	P	Fe	Cu	Zn	Mn
	%					mg/L			
<b>Testigo</b>	2,13a	1,79a	<b>0,97bc</b>	0,50a	0,14a	84,67a	7,00a	31,33a	733,00a
<b>N</b>	2,00a	1,27a	<b>1,34a</b>	0,57a	0,12a	80,33a	5,67a	34,67a	803,67a
<b>K</b>	1,99a	1,61a	1,01abc	0,49a	0,15a	88,33a	8,00a	30,67a	699,00a

<b>RF</b>	2,03a	1,56a	1,04abc	0,49a	0,14a	82,00a	7,33a	38,00a	803,33a
<b>N-K</b>	2,04a	1,56a	0,99abc	0,54a	0,15a	82,00a	10,33a	36,33a	815,67a
<b>N-RF-K</b>	1,90a	1,48a	1,31ab	0,45a	0,13a	72,67a	5,00a	44,33a	784,67a
<b>AOL</b>	2,09a	1,67a	<b>0,94c</b>	0,45a	0,19a	91,33a	7,67a	34,00a	670,67a
<b>AOS</b>	1,96a	1,59a	<b>0,82c</b>	0,47a	0,15a	95,33a	7,67a	43,33a	658,00a
<b>AOS-L</b>	2,46a	1,61a	1,12abc	0,52a	0,14a	86,00a	6,67a	32,33a	714,67a
<b>Promedio</b>	2,06	1,57	1,06	0,50	0,15	84,74	7,26	36,11	742,52
<b>CV (%)</b>	13,97	14,72	11,97	19,19	22,67	12,31	43,08	19,85	18,75
<b>Desv.Est.</b>	0,15	0,13	0,16	0,04	0,02	6,24	1,43	4,67	57,38

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (P<0.05).

AoS: Abono orgánico sólido, AoL: Abono orgánico líquido, AoS-L: Abono orgánico sólido y líquido, Inorgánico: nitrógeno (N), Roca Fosfórica (RF) y potasio (K), CV: coeficiente de variación, Desv.Est.: desviación estándar.

**Cuadro 7.** Resultados promedios de la concentración de nutrimentos en las hojas de la planta de cacao, después de haberse completado la aplicación de los tratamientos en el tercer año. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero 2017.

<b>Tratamiento</b> <b>(2017)</b>	<b>N</b> <b>%</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>P</b> <b>mg/L</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>
<b>Testigo</b>	1,77a	<b>0,92a</b>	1,43a	0,70a	0,08a	<b>54,67a</b>	3,00a	38,00a	985,00ab
<b>N</b>	2,11a	1,12ab	1,31a	0,49a	0,09a	66,67ab	4,00ab	36,00a	<b>764,33a</b>
<b>K</b>	1,87a	1,04ab	1,42a	0,66a	0,08a	65,67ab	3,00a	35,67a	917,33ab
<b>RF</b>	2,15a	1,19ab	1,28a	0,50a	0,08a	70,67bc	3,67ab	33,00a	<b>769,33a</b>
<b>N-K</b>	1,77a	1,04ab	1,29a	0,48a	0,08a	70,00bc	3,67ab	32,33a	929,00ab
<b>N-RF-K</b>	2,03a	1,26ab	1,42a	0,53a	0,09a	82,33cd	4,67ab	37,33a	<b>1157,33b</b>
<b>AOL</b>	1,79a	1,23ab	1,45a	0,45a	0,08a	75,33bcd	4,67ab	40,33a	1034,33ab
<b>AOS</b>	2,13a	1,26ab	1,25a	0,50a	0,10a	<b>88,33d</b>	7,00bc	31,33a	914,00ab
<b>AOS-L</b>	1,94a	<b>1,48b</b>	1,17a	0,48a	0,10a	81,67cd	9,00bc	37,67a	<b>821,00a</b>
<b>Promedio</b>	1,95	1,17	1,33	0,53	0,09	72,81	4,74	35,74	916,19
<b>CV (%)</b>	8,75	16,00	11,54	26,11	17,71	6,95	28,89	28,00	11,91
<b>Desv.Est.</b>	0,15	0,15	0,09	0,08	0,01	9,70	1,89	2,81	120,40

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (P<0.05).

AoS: Abono orgánico sólido, AoL: Abono orgánico líquido, AoS-L: Abono orgánico sólido y líquido, Inorgánico: nitrógeno (N), Roca Fosfórica (RF) y potasio (K), CV: coeficiente de variación, Desv.Est.: desviación estándar.

Los tres años no presentaron resultados de concentración de nutrientes en las hojas que indiquen que hubo una tendencia de la disponibilidad de ellos de acuerdo a los tratamientos (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Resultados promedios de la concentración de nutrimentos en el tejido de las hojas de la planta de cacao, resultados en conjunto de tres años de muestreos. Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero 2017.

Tratamiento (2015-2017)	N	K	Ca	Mg	P	Fe	Cu	Zn	Mn
	%					mg/L			
<b>Testigo</b>	1,91a	1,39a	1,23ab	0,54a	0,09a	74,11a	8,00a	53,89a	807,89a
<b>N</b>	2,02a	1,23a	1,33ab	0,50a	0,09a	70,67a	7,78a	52,89a	786,44a
<b>K</b>	1,96a	1,46a	1,17ab	0,56a	0,10a	75,56a	9,22a	49,44a	820,89a
<b>RF</b>	2,01a	1,43a	1,16ab	0,54a	0,09a	75,00a	8,89a	53,33a	831,11a
<b>N-K</b>	1,89a	1,40a	1,15ab	0,55a	0,10a	73,78a	8,89a	54,33a	879,22a
<b>N-RF-K</b>	1,92a	1,38a	<b>1,38a</b>	0,50a	0,09a	73,44a	7,11a	59,67a	923,67a
<b>AOL</b>	1,92a	1,48a	1,19ab	0,46a	0,11a	83,78a	9,00a	50,67a	815,33a
<b>AOS</b>	2,00a	1,39a	<b>1,11b</b>	0,53a	0,11a	82,11a	9,22a	51,44a	826,56a
<b>AOS-L</b>	2,12a	1,54a	1,15ab	0,51a	0,10a	79,78a	10,33a	48,89a	766,11a
<b>Promedio</b>	1,97	1,41	1,21	0,52	0,10	76,47	8,72	52,73	828,58
<b>CV (%)</b>	10,48	21,08	13,50	22,94	23,58	15,58	37,12	23,61	17,19
<b>Desv.Est.</b>	0,07	0,08	0,09	0,03	0,01	4,15	0,90	3,05	44,67
<b>AÑO</b>									
<b>2015</b>	1,9b	1,49a	1,23a	0,54a	0,05c	71,85b	14,37a	86,33a	821,93a
<b>2016</b>	2,06a	1,57a	1,06b	0,50a	0,15a	84,74a	7,26b	36,11b	742,52a
<b>2017</b>	1,95ab	1,17b	1,33a	0,53a	0,09b	72,81b	4,52c	35,74b	921,3a

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (P<0.05).

AoS: Abono orgánico sólido, AoL: Abono orgánico líquido, AoS-L: Abono orgánico sólido y líquido, Inorgánico: nitrógeno (N), Roca Fosfórica (RF) y potasio (K), CV: coeficiente de variación, Desv.Est.: desviación estándar.

#### 4.3 Variables relacionadas con la producción

En cuanto a las variables de rendimiento se presentan algunas tendencias bien definidas, aunque sin diferencias estadísticas. El mayor peso de fruto (PF) y el peso húmedo de granos por fruto (PHG/F) se presentaron en las dos cosechas con el tratamiento K; mientras que el número de granos por fruto (N°G/F) se alcanzó con el tratamiento N en ambos períodos de cosecha (Cuadros 9, 10 y 11). Los

rendimientos más altos de granos secos por hectárea por año (GS/ha/A), se alcanzaron con los tratamientos testigo, K y AOS-L, los mismos que tienen valores más altos en las variables que definen el rendimiento, excepto el N°G/F, al parecer el rendimiento está más definido por las variables de PF, PHG/F y por N°F/A/A que con el N°G/F, esta última fue, a través de los años, más alta en tratamiento con N.

**Cuadro 9.** Variables de respuesta de producción en el primer año (2015-2016) de cosechas en árboles de cacao tratado con fertilizantes al suelo. Katira, Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017.

<b>Variables de rendimiento (2015-2016)</b>						
<b>Tratamiento</b>	<b>N°F/A/A</b>	<b>P/F (g)</b>	<b>PHG/F (g)</b>	<b>N°G/F</b>	<b>IG</b>	<b>GS/ha/A (kg)</b>
<b>Testigo</b>	<b>38,25<sup>a</sup></b>	509,08 <sup>a</sup>	130,33 <sup>a</sup>	35,04 <sup>a</sup>	1,20 <sup>a</sup>	<b>1783,5<sup>a</sup></b>
<b>N</b>	26,25 <sup>a</sup>	489,53 <sup>a</sup>	122,54 <sup>a</sup>	<b>37,28<sup>a</sup></b>	1,17 <sup>a</sup>	1165,8 <sup>a</sup>
<b>K</b>	33,42 <sup>a</sup>	<b>513,66<sup>a</sup></b>	<b>139,11<sup>a</sup></b>	31,18 <sup>a</sup>	1,16 <sup>a</sup>	<b>1470,1<sup>a</sup></b>
<b>RF</b>	30,25 <sup>a</sup>	498,21 <sup>a</sup>	123,52 <sup>a</sup>	34,66 <sup>a</sup>	1,19 <sup>a</sup>	1368,4 <sup>a</sup>
<b>N-K</b>	<b>21,92<sup>a</sup></b>	489,31 <sup>a</sup>	119,32 <sup>a</sup>	<b>28,69<sup>a</sup></b>	1,49 <sup>a</sup>	978,3 <sup>a</sup>
<b>N-RF-K</b>	33,08 <sup>a</sup>	485,60 <sup>a</sup>	<b>117,77<sup>a</sup></b>	33,88 <sup>a</sup>	1,19 <sup>a</sup>	1393,9 <sup>a</sup>
<b>AOL</b>	24,58 <sup>a</sup>	482,77 <sup>a</sup>	118,84 <sup>a</sup>	32,67 <sup>a</sup>	1,25 <sup>a</sup>	<b>972,9<sup>a</sup></b>
<b>AOS</b>	30,75 <sup>a</sup>	480,34 <sup>a</sup>	118,73 <sup>a</sup>	34,35 <sup>a</sup>	1,30 <sup>a</sup>	1311,7 <sup>a</sup>
<b>AOS-L</b>	31,75 <sup>a</sup>	<b>472,01<sup>a</sup></b>	124,42 <sup>a</sup>	32,75 <sup>a</sup>	1,22 <sup>a</sup>	<b>1453,7<sup>a</sup></b>
<b>Promedio</b>	30,03	491,17	123,84	33,39	1,24	1322,03
<b>CV (%)</b>	16,72	2,76	5,61	7,37	8,33	19,36
<b>Desv.Est.</b>	4,70	12,77	6,24	2,36	0,10	241,31

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (P<0.05). N°F/A/A: Numero de frutos por árbol por año, P/F (g): Peso por fruto, PHG/F.: Peso húmedo de granos por fruto, N°G/F: Número de granos por fruto, IG: Índice de Grano, GS/ha/A: Grano seco por hectárea por año (kg).

**Cuadro 10.** Variables de respuesta de producción de cacao en el segundo año de cosechas (2016-2017) en árboles de cacao tratado con fertilizantes al suelo. Katira, Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017.

<b>Variables de rendimiento (2016-2017)</b>					
<b>Tratamiento</b>	<b>NºF/A/A</b>	<b>P/F (g)</b>	<b>PHG/F (g)</b>	<b>NºG/F</b>	<b>GS/ha/año (kg)</b>
<b>Testigo</b>	30,92 <sup>a</sup>	519,82 <sup>a</sup>	128,71 <sup>a</sup>	34,20 <sup>a</sup>	1649,26 <sup>a</sup>
<b>N</b>	25,61 <sup>a</sup>	518,24 <sup>a</sup>	130,12 <sup>a</sup>	<b>35,29<sup>a</sup></b>	1381,07 <sup>a</sup>
<b>K</b>	32,61 <sup>a</sup>	<b>525,90<sup>a</sup></b>	<b>140,81<sup>a</sup></b>	33,65 <sup>a</sup>	<b>2002,88<sup>a</sup></b>
<b>RF</b>	31,00 <sup>a</sup>	498,86 <sup>a</sup>	127,25 <sup>a</sup>	<b>31,79<sup>a</sup></b>	1647,91 <sup>a</sup>
<b>N-K</b>	26,36 <sup>a</sup>	494,72 <sup>a</sup>	131,89 <sup>a</sup>	35,26 <sup>a</sup>	1456,72 <sup>a</sup>
<b>N-RF-K</b>	29,75 <sup>a</sup>	521,39 <sup>a</sup>	132,77 <sup>a</sup>	34,23 <sup>a</sup>	1659,23 <sup>a</sup>
<b>AOL</b>	<b>20,14<sup>a</sup></b>	494,65 <sup>a</sup>	133,08 <sup>a</sup>	32,98 <sup>a</sup>	<b>1116,40<sup>a</sup></b>
<b>AOS</b>	<b>38,22<sup>a</sup></b>	<b>476,60<sup>a</sup></b>	<b>124,80<sup>a</sup></b>	32,20 <sup>a</sup>	1992,91 <sup>a</sup>
<b>AOS-L</b>	<b>38,53<sup>a</sup></b>	502,06 <sup>a</sup>	127,23 <sup>a</sup>	33,65 <sup>a</sup>	<b>2081,45<sup>a</sup></b>
<b>Promedio</b>	30,35	505,81	130,74	33,69	1665,31
<b>CV (%)</b>	39,69	7,92	8,92	8,01	36,45
<b>Desv.Est.</b>	5,55	15,49	4,43	1,15	301,96

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey (P<0.05). NºF/A/A: Numero de frutos por árbol por año, P/F (g): Peso por fruto, PHG/F.: Peso húmedo de granos por fruto, NºG/F: Número de granos por fruto, GS/ha/A: Grano seco por hectárea por año en (kg).

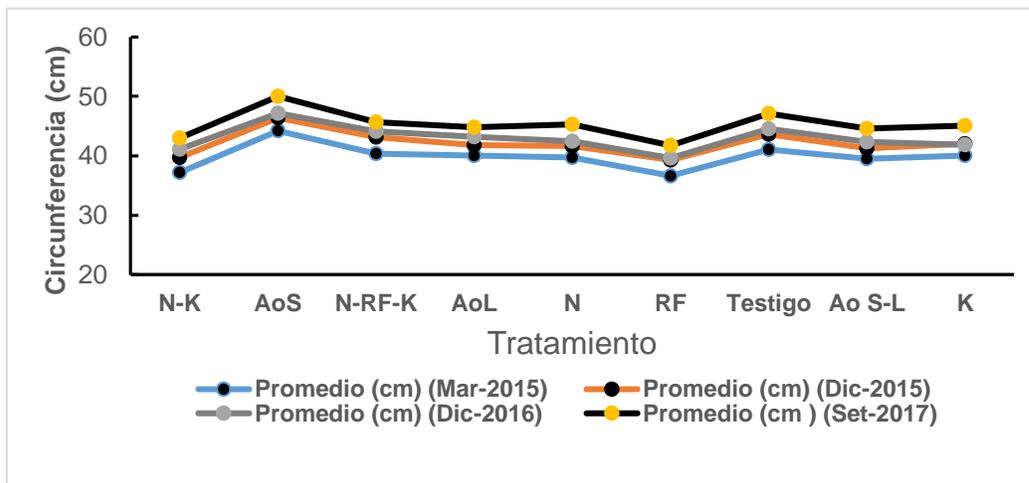
**Cuadro 11.** Variables de respuesta de producción de cacao a la aplicación de fertilizantes al suelo, dos años de cosechas en conjunto. Katira, Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017.

<b>Variables de rendimiento (Combinación dos años de cosechas)</b>							
<b>Tratamiento</b>	<b>NºF/A/A</b>	<b>P/F (g)</b>	<b>PHG/F (g)</b>	<b>NºG/F</b>	<b>IG</b>	<b>GS/ha/año (kg)</b>	<b>ICT (cm)</b>
<b>Testigo</b>	<b>36,47a</b>	509,60a	127,72a	34,43a	1,17a	1716,38a	<b>2,58a</b>
<b>N</b>	25,97a	503,90a	126,33a	<b>36,30a</b>	1,13a	1273,45a	2,29a
<b>K</b>	32,97a	<b>519,78a</b>	<b>139,97a</b>	32,33a	1,17a	<b>1736,48a</b>	<b>2,61a</b>
<b>RF</b>	30,68a	498,53a	125,38a	33,23a	1,2a	1508,18a	2,40a
<b>N-K</b>	24,18a	492,02a	125,62a	<b>31,97a</b>	1,53a	1217,48a	2,38a
<b>N-RF-K</b>	31,38a	503,50a	125,27a	34,12a	1,17a	1526,60a	2,18a
<b>AOL</b>	<b>22,42a</b>	488,72a	125,95a	33,17a	1,27a	<b>1044,65a</b>	<b>1,70a</b>
<b>AOS</b>	34,60a	<b>478,48a</b>	<b>121,77a</b>	33,27a	1,3a	1652,32a	2,54a
<b>AOS-L</b>	35,27a	487,03a	125,85a	33,17a	1,23a	<b>1767,57a</b>	2,04a
<b>Promedio</b>	30,44	497,95	127,10	33,51	1,24	1493,68	2,30
<b>CV (%)</b>	35,09	8,99	9,46	11,50	18,68	32,68	43,12
<b>Desv.Est.</b>	4,81	12,01	4,79	1,23	0,11	244,14	0,28
<b>AÑO</b>							
<b>2015-2016</b>	30,52a	490,09a	123,45b	33,33a	1,24	1322,03b	2,28a
<b>2016-2017</b>	30,36a	505,81a	130,74a	33,69a	sd	1665,32a	2,33a

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ). NºF/A/A: Numero de frutos por árbol por año, P/F (g): Peso por fruto, PHG/F: Peso húmedo de granos por fruto, NºG/F: Número de granos por fruto, IG: Índice de Grano, GS/ha/A: Grano seco por hectárea por año en (kg), ICT: Incremento en la circunferencia del tallo (cm).

#### 4.4 Circunferencia de los troncos de los árboles

El incremento promedio en la circunferencia de los troncos de los árboles de cacao en el primer año fue 2,28 cm; el tratamiento NK presentó mayor incremento con 2,86 cm, mientras que el tratamiento N fue el que presentó un incremento menor de 1,73 cm, los valores no son significativos estadísticamente ( $p$ -valor  $\geq 0,05$ ). Al cabo de 2,5 años de iniciado el experimento, el promedio de incremento fue de 5,41 cm, el tratamiento AOL fue el de menor incremento, lo que coincide con el tratamiento de más bajo rendimiento de cacao seco durante el experimento (Cuadros 9 y 10); los incrementos mayores se presentaron con los tratamientos testigo y K, estos, a su vez fueron de los que produjeron mayores rendimientos (Cuadros 9 y 10). La figura 1 muestra el comportamiento de la circunferencia de los troncos de árboles de cacao.



**Figura 1.** Circunferencia de los troncos de los árboles de cacao por tratamiento y fechas de mediciones desde el inicio del experimento. Katira, Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Setiembre, 2017.

En el cuadro 12 se muestra que el porcentaje de frutos dañados es muy similar en los dos años de cosecha, siendo las plagas (Ardillas y pájaros Carpinteros) más importante respecto a las enfermedades, no se incluyen las mazorcas vanas, por falta de llenado del fruto.

**Cuadro 12.** Porcentaje de frutos dañados durante los dos períodos de cosechas. Katira, Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Febrero, 2017.

Período	2016-2017		2015-2016	
	Nº de frutos totales	%	Nº de frutos totales	%
<b>Total</b>	2969	100	3404	100
<b>Plagados</b>	291	9,80	376	11,04
<b>Enfermos</b>	114	3,84	118	3,47

#### 4.5 Otras variables medidas

##### 4.5.1 Análisis microbiológico del suelo

El cuadro 13 presenta el nivel de pH del suelo y la población de microorganismos presentes en cada tratamiento en el año 2016, el promedio general del pH (5,85) presenta condiciones óptimas para que se puedan desarrollar las bacterias, hongos y actinomicetos (Ramos, 2011).

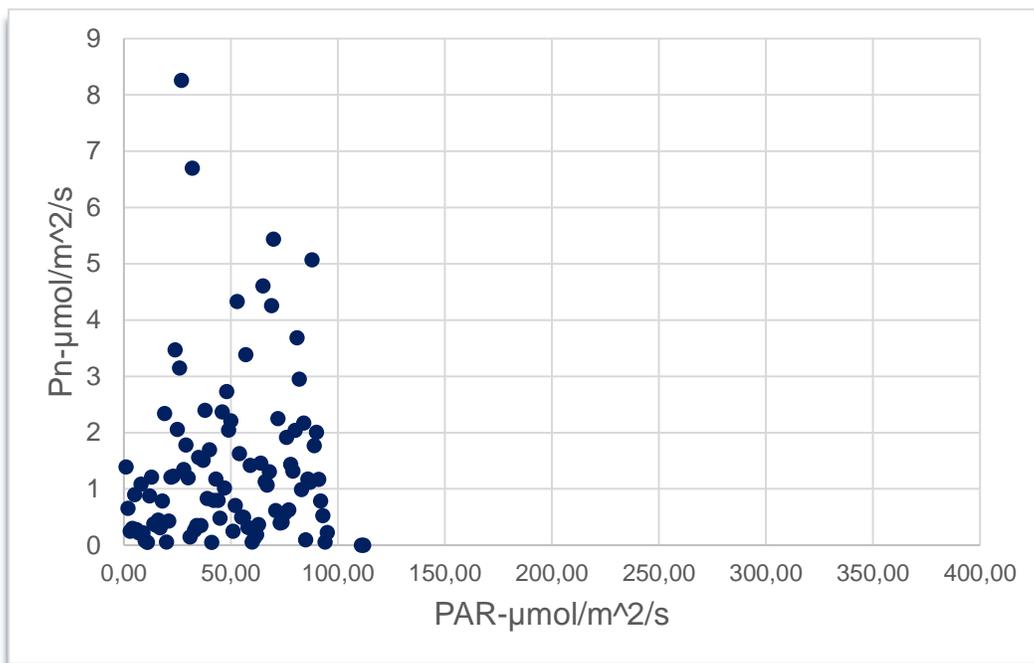
**Cuadro 13.** Población de microorganismos (UFC/g) en suelo húmedo. Katira, Guatuso, Alajuela, Costa Rica. Marzo, 2016.

Tratamiento	pH	Hongos	Bacterias		Actinomycetes	Levaduras
			Aeróbicas	Anaeróbicas		
<b>Testigo</b>	6,10	NSD	$3,33 \times 10^2$	<b><math>4,99 \times 10^3</math></b>	$4,99 \times 10^3$	$1,08 \times 10^5$
<b>N</b>	5,73	$1,66 \times 10^3$ <i>Penicillium</i> sp.	$6,66 \times 10^2$	$1,66 \times 10^3$	<b><math>2,49 \times 10^4</math></b>	$1,08 \times 10^5$
		$1,83 \times 10^3$ <i>Myrothecium</i> sp.				
<b>K</b>	5,90	NSD	$1,65 \times 10^3$	<b><math>4,99 \times 10^3</math></b>	$3,33 \times 10^2$	$8,32 \times 10^3$
<b>RF</b>	5,73	NSD	$1,66 \times 10^2$	$1,66 \times 10^3$	<b><math>2,49 \times 10^4</math></b>	$1,58 \times 10^5$
<b>N-K</b>	6,03	NSD	$8,32 \times 10^3$	$6,6 \times 10^2$	$1,66 \times 10^3$	$4,62 \times 10^4$
<b>N-RF-K</b>	5,55	NSD	$4,99 \times 10^3$	$3,33 \times 10^2$	$1,83 \times 10^4$	$4,16 \times 10^4$
<b>AoL</b>	5,83	$1,66 \times 10^3$ <i>Penicillium</i> sp.	$2,66 \times 10^3$	$3,33 \times 10^2$	$1,66 \times 10^3$	$5,16 \times 10^4$
<b>AoS</b>	5,86	$2,49 \times 10^4$ <i>Penicillium</i> sp.	$9,99 \times 10^3$	$3,33 \times 10^2$	$4,99 \times 10^3$	$1,49 \times 10^4$
		$1,83 \times 10^3$ <i>Penicillium</i> sp.				
<b>AoS-L</b>	5,93	$1,66 \times 10^3$ <i>Penicillium</i> sp. $2,49 \times 10^4$ <i>Aspergillus</i> sp.	<b><math>1,49 \times 10^4</math></b>	$3,33 \times 10^2$	$4,99 \times 10^3$	<b><math>4,57 \times 10^5</math></b>

UFC/g: unidad formadora de colonias en gramos, NSD: No se determinaron. Laboratorio de Biocontroladores, ITCR Sede San Carlos.

#### 4.5.2. Comparación de fotosíntesis y radiación.

Al comparar las mediciones de fotosíntesis ( $P_n$ ) y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) se encontró que la mayoría de datos se concentraron en las radiaciones comprendidas entre los valores de 0 y 100  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  y los valores de la fotosíntesis ( $P_n$ ), oscilaron entre 0.05 a 8,26  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (Figura 2), independientemente del tratamiento. Durante la medición se notó que al incrementar los niveles de radiación (> a 400  $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ ) los valores de fotosíntesis disminuían considerablemente.



**Figura 2.** Medición de fotosíntesis neta ( $P_n$ ) y radiación fotosintéticamente activa (PAR) para los diferentes tratamientos, cada valor es una lectura realizada entre las 09:00 am a 2:00 pm. Katira, Guatuso, Costa Rica. Abril de 2016.

## 5. Discusión

### 5.1 Efecto de los tratamientos en la fertilidad de los suelos

#### 5.1.1 pH, acidez y porcentaje de saturación de acidez

Se considera que el cultivo puede tolerar valores de pH entre 5,0 y 7,5 (Dostert *et al.*, 2011); bajo la misma tendencia, (Méndez y Bertsch, 2012) mencionan que el

ámbito más adecuado para la mayoría de los cultivos se encuentra entre 5,5 y 6,5. En este estudio todos los tratamientos presentaron valores por encima de 5,0; excepto en el año 2017 donde los valores más bajos (Cuadro 3) fueron 4,71; 4,83 y 5,06, en los tratamientos con nitrógeno N-K, N-RF-K y N respectivamente; estos valores bajos se han producido después de tres años de aplicar fuentes nitrogenadas. El cambio de pH puede ocasionar un exceso o insuficiencia de elementos, si estos son esenciales para la nutrición de plantas, o interferir con la función normal de las raíces por efecto de la acidez del AL (Benton, 2012). Este autor menciona que todo tipo de abono que es capaz de bajar el pH con sus aplicaciones, incrementa la acidez del suelo. Carvajal (2018) encontró que los suelos tienen tendencia acidificarse al aplicar programas de fertilización respecto a las áreas sin cultivar.

Los valores de acidez intercambiable en el primer año de análisis están por debajo del nivel crítico (Méndez y Bertsch, 2012). Sin embargo, los tratamientos N-K, N y N-RF-K en el año 2016 (después aplicar los tratamientos en dos años) y los tratamientos N-K y N-RF-K en el año 2017 (después de tres aplicaciones de tratamientos) aumentaron los valores por encima del nivel crítico (Cuadros 2, 3 y 4), estadísticamente mayores que otros tratamientos; quizás por ser los mismos tratamientos donde se aplicó nitrato de amonio y urea como fuente de N. Díaz-Romeu y Jiménez (1966) mencionan que la urea fue responsable de aumentar la acidez en suelos con cacao. En el primer año, el tratamiento con RF presentó el valor más bajo de acidez intercambiable, la RF podría bajar la acidez debido a que además de P, esta fuente contiene Ca y Si, según Quero y Cárdenas (2006) las fuentes con Si tienden a disminuir la acidez del suelo.

El porcentaje de saturación de acidez no fue afectado en forma significativa en el primer año de tratamiento del suelo (Cuadro 1). Sin embargo, en el segundo y tercer año en los tratamientos N-K, N-RF-K y N se registró aumento de saturación de acidez, de estos tratamientos, el primero (N-K) registró valores más altos con 13,71% y 12,98% en el 2016 y 2017 (Cuadros 2 y 3), valores que se encuentran por encima del nivel crítico de 10% que puede afectar algunos cultivos sensibles

(Méndez y Bertsch, 2012). Después de dos años de aplicado el abono orgánico sólido (AoS) presenta valores bajos de saturación de acidez, estadísticamente diferentes que los del tratamiento N-K. A pesar que la materia orgánica al inicio de ser aplicada puede generar acidez, al producir iones hidrógeno en su reacción (Acuña, 2006), en este estudio la aplicación de abonos orgánicos no evidenció ese comportamiento.

### **5.1.2 Materia orgánica**

Los aportes benéficos de los abonos orgánicos en el suelo son reconocidos (Jonathan *et al.*, 2013; Mejía y Palencia, 2002), entre estos beneficios, aumento en el contenido de elementos nutritivos en el suelo y en las hojas, así como materia orgánica en el suelo (Adejobi *et al.*, 2014); sin embargo, en este trabajo no produjeron ese aporte de materia orgánica en el suelo (Cuadros 1, 2, 3 y 4), pese a que se realizaron aplicaciones de 2 t/ha/año de abono orgánico sólido en conjunto de abono orgánico líquido, algo similar obtuvieron Orozco y Thienhaus (1997) al hacer aplicaciones de gallinaza seca.

Benton (2012) sostiene que en suelos cultivados es difícil el incremento de la materia orgánica (M.O.), no obstante, con el aporte continuo de materiales orgánicos en un suelo mineral se puede estabilizar., pero depende de la temperatura, la humedad del suelo y el sistema de cultivo; además con el cuidado que según la fuente de M.O se puede afectar adversamente el estado nutricional del suelo, el crecimiento y la calidad del cultivo. Con la aplicación de biocarbón y gallinaza los cambios en suelos pueden ser observados en un año; sin embargo, la producción de un cultivo perenne puede tardar más tiempo en presentar respuestas (Da Silva, 2013). En cuanto a los valores medios en los tratamientos en este estudio, los mínimos registrados fueron 4,19% y 4,02% en el 2015 y 2016, respectivamente, podemos considerarlos altos respecto al valor mínimo de 3% en suelos para la producción de cacao (Pinargote, 2015), en cambio, Núñez (1981), indica que se consideran valores altos de materia orgánica aquellos que supera el 4.25%.

### 5.1.3 Sumatoria de bases

A pesar que los valores de sumatoria de bases en todos los tratamientos están por encima del nivel crítico (Méndez y Bertsch, 2012), los tratamientos con abono orgánico sólido (AOS) y la combinación de los abono orgánicos sólidos y líquidos (AOS-L), presentaron las medias mayores; los valores del tratamiento AOS fueron estadísticamente diferentes en el segundo y tercer año después de aplicado los tratamientos (2016 y 2017, Cuadros 2 y 3) respecto a los valores de 5,90 y 6,73  $\text{cmol}(+)/\text{L}$  de los tratamientos N-K y N-RF-K en el 2016 y de los valores 5,98 y 6,23  $\text{cmol}(+)/\text{L}$  de esos mismos tratamientos en 2017. Según Fuster (2014), la materia orgánica al mezclarse con la arcilla, forma agregados llamados “complejo arcillo-húmico”, éste complejo tiene la capacidad de retener cationes como el potasio, calcio y el magnesio, evitando que estos se pierdan por lixiviación, lo que puede aumentar las bases del suelo.

### 5.1.4 Elementos individuales

El potasio (K) es el tratamiento que presenta una media mayor en el contenido de este elemento en el suelo (0,84  $\text{cmol}(+)/\text{L}$ ), se diferencia de los tratamientos con nitrógeno (N), roca fosfórica (RF), abono orgánico sólido (AoS) y abono orgánico líquido (AOL) en el primer año (Cuadro 1), en el segundo año este tratamiento con valor de 1,36  $\text{cmol}(+)/\text{L}$  de K difiere de todos los tratamientos (Cuadro 2), mientras que en el tercer año del experimento con 1,18  $\text{cmol}(+)/\text{L}$ , difiere de los tratamientos N, RF y AoL (Cuadro 3); se considera que esta situación pudo darse por la fertilización propia con el elemento con 80 kg de  $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}/\text{año}$ , en un suelo testigo que se encontraba en un nivel medio de potasio de 0,46  $\text{cmol}(+)/\text{L}$  (Cuadro 1), (Méndez y Bertsch 2012).

Los resultados obtenidos en los análisis del elemento calcio, presentaron valores muy similares entre tratamientos en el primer año (2015); sin embargo los tratamientos AOS y AOS-L, tanto en el segundo como en el tercer año, mostraron los valores más altos (7,48; 6,68  $\text{cmol}(+)/\text{L}$  en el 2016, y valores de 6,98 y 6,34  $\text{cmol}(+)/\text{L}$  en el 2017), ambos con diferencias significativas respecto al tratamiento

N-K en el 2016 cuyo valor fue de 3,93 cmol(+)/L, y del tratamiento AOS respecto al N-K (3,86 cmol(+)/L) en el 2017. Algunos de los valores se encuentran por debajo de 4,00 cmol(+)/L que es el nivel crítico (Méndez y Bertsch, 2012). Se podría esperar que el tratamiento con roca fosfórica aumentaría el contenido de calcio debido a que esta contiene 40% de CaO, sin embargo, es muy similar a los demás tratamientos, para lo cual no hay una explicación clara.

En cuanto a los valores de elemento magnesio, en el año 2015 todos muestran valores similares, a partir de este primer año los tratamientos AOS y AOS-L muestran los valores más altos de Mg, el primero difiere con el tratamiento N-RF-K en el 2016 y ambos tratamientos (AoS y AoS-L), con valores de 2,33 y 2,28 cmol(+)/L respectivamente, difieren estadísticamente de los tratamientos nitrógeno más potasio (N-K) y nitrógeno, roca fosfórica más potasio (N-RF-K), los cuales presentan valores de 1,40 y 1,11 cmol(+)/L respectivamente, aunque no por debajo del nivel crítico de 1 cmol(+)/L presentado por (Méndez y Bertsch, 2012). Estos resultados podrían ser debido que el abono orgánico sólido al unirse con las arcillas tiene la capacidad de aumentar la retención de cationes (Fuster, 2014), de igual forma el abono orgánico mejora indicadores químicos como pH (Adejobi et al., 2014, Da Silva, 2013), y elementos nutritivos esenciales para las plantas (Adejobi et al., 2014; Da Silva 2013; Mejía y Palencia, 2002), además de la actividad biológica y estabilidad estructural (Mejía y Palencia, 2002).

A pesar de lo anterior, Thompson y Troeth (1988), mencionan que existe un antagonismo fuerte entre los elementos calcio y potasio y en menor medida para el magnesio y el potasio, pero siempre existe una competencia entre cationes debida a sus cargas positivas; Ruales et al (2011) encontraron mejores efectos con la aplicación de fertilizantes químicos respecto a tratamientos con dominancia orgánica (300 g/árbol/año de ácido húmico).

Por otro lado, los resultados para el elemento fósforo, no presentaron diferencias significativas en los tratamientos aplicados durante el periodo de tres años. El elemento P presentó cierta variabilidad al parecer propia del terreno, ya que, al

repetirse nuevamente los análisis a los seis meses en el primer año, los resultados fueron similares, la mayoría por debajo del nivel crítico de 10 mg/L (Méndez y Bertsch, 2012), aún con aplicaciones de este elemento como tratamiento, no hubo respuesta al mismo.

## **5.2 Efecto en la disponibilidad de nutrientes a nivel foliar**

Los valores de N no presentaron diferencias significativas, los más bajos se encuentran en el testigo en los años 2015, 2017 y en el análisis de las hojas de cada tratamiento en conjunto en los años de estudio (2015, 2016 y 2017), con valores de 1,83; 1,77 y 1,91%, respectivamente; el valor más alto se registró en el año 2016 con 2,46 en el tratamiento AOS-L. Estos resultados son de mayor concentración que los encontrados por López *et al.* (2007), ellos reportan un promedio de 1,30% para este elemento; según Laínez (1982), el rango considerado como normal de N en las hojas de cacao va desde 2,00% a 2,15%, similar a los valores reportados por Guerrero (2012) entre 2,00% a 2,50% de N, valores por encima de los alcanzados en este estudio, principalmente en el primer año.

A pesar que el tratamiento K en el suelo mostró los valores más alto con diferencias significativas en K; a nivel de las hojas solo en el año 2015 fue mayor que en los demás tratamientos con 1,74% (Cuadro 5), pero sin diferencias significativas. Los resultados obtenidos para este elemento se encuentran dentro del rango óptimo (Guerrero, 2012), lo que posiblemente le permitió ser uno de los dos tratamientos con mayor rendimiento en las dos cosechas en conjunto.

El contenido de calcio y magnesio en los resultados de los análisis de las hojas de los años de estudio en conjunto (Cuadro 8) se encuentran por encima del valor reportado por Guerrero (2012). El calcio muestra diferencias entre los tratamientos N-RF-K y AOS con valores de 1,38 y 1,11 en su orden, caso contrario a lo encontrado en el suelo en los años 2016 y 2017, donde los tratamientos AOS y AOS-L presentaron los valores más altos, quizás debido a la mayor solubilidad de los abonos inorgánicos. En estos dos elementos (Ca y Mg) existe selectividad catiónica en los suelos, que le permite cierta disponibilidad entre uno u otro para las

plantas; Sadeghian (2012) reportó selectividades en diferentes suelos cafetaleros en Colombia, donde la mayoría de suelos evaluados presentaron mayor afinidad en los sitios de intercambio catiónico por el calcio, seguido del magnesio y el potasio.

El nivel de P fue muy bajo en las hojas en el primer año y tercer año del experimento y similar en todos los tratamientos, incluyendo los que tenían la roca fosfórica como fuente de este elemento, tratamiento con el que se esperaba aumento de P; quizás por la baja eficiencia de este elemento en el suelo. Este bajo contenido en la mayoría de los resultados en la planta se puede atribuir a la alta deficiencia que presentan los suelos del trópico a este elemento, además de la gran cantidad de reacciones que sufre este, cuando es aplicado al suelo, pues dependiendo de la fuente y el pH, el fósforo podrá retenerse (Méndez y Bertsch, 2012); reportan que la solubilidad máxima del nutriente se encuentra en un ámbito de pH entre 5,5 y 6,5; por lo que si se comparan los resultados con este rango, se nota que la mayoría de los valores se encuentran muy cercano o por debajo del valor de 5,5. Pese a estos niveles bajos, no se observó síntomas de deficiencia de este elemento en la plantación, podría atribuirse a la baja demanda de fósforo por parte de los frutos de cacao (Espinosa *et al.* 2006; Salvador *et al.* 2012; Puentes-Páramo *et al.*, 2014a; López *et al.* 2015; Furcal-Beriguete, 2017). En el segundo año (2016) este elemento alcanzó valores dentro de lo normal, con rango entre 0,12% y 0,19%, lo cual no tiene una explicación clara; los valores normales se encuentran entre 0.13 y 0.25% (Guerrero, 2012).

### **5.3 Efecto de la fertilización sobre variables de producción del cultivo**

Ninguna de las variables evaluadas relacionadas con la producción en los dos períodos de cosechas produjo diferencias significativas entre tratamientos ( $p$ -valor  $\geq 0,05$ ). No obstante, se presentaron tendencias de la influencia de algunos tratamientos respecto a una u otra variable relacionada con el rendimiento, como el K en el peso de frutos y de las semillas, y el N en el número de éstas.

El número de frutos cosechados por árbol por año (N°F/A/A) varió entre 22 y 38, con un promedio general de 30,03 en el primer año de cosecha; para el segundo año el rango fue de 20,14 y 38,53 con un promedio de 30,35, los tratamientos con mayor F/A/A fueron el testigo en el primer año y el AOS-L en el segundo año, en ambos años el menor valor lo obtuvo el tratamiento AOL. Según el MAG (2011), el número de frutos para considerar un árbol como buen productor se encuentra en el rango de 30 a 40 frutos; estos resultados están por encima de los obtenidos por Bonilla *et al* (2014) para el mismo clon, quienes reportaron un máximo de 7,55 F/A/A y un pico máximo al tercer año de evaluación de 17 F/A/A, sin diferencias con el testigo, con una distancia de siembra 3 \* 2 m. Contrario a los resultados obtenidos por Pinargote (2015) en el clon CCN51, él reportó un promedio de 64 F/A/A, con una fertilización de 150 gramos por árbol con formula completa 12-7-23 y una densidad de 1111 árboles por hectárea.

El tratamiento con K presentó el mayor de los pesos promedios en los frutos (P/F) con 513,66 g y 525,9 g en el primer y segundo año de cosechas, respectivamente, Phillips *et al* (2013), reportan un peso de fruto (P/F) de 566,1 g en el mismo clon CATIE-R6. El promedio del peso de los granos húmedos contenidos en un fruto (PHG/F) fue de 123,84 g; de igual manera, el tratamiento K presentó el valor más alto en esta variable en los dos períodos de cosechas y en el promedio de las cosechas (Cuadros 9, 10 y 11), con valores de 139,11 g; 140,81 g y 139,97 g, respectivamente; mientras que los valores más bajos se alcanzaron con los tratamientos N-RF-K y AOS (117,77 g; 124,8 g) en las dos cosechas, respectivamente; en el promedio de todos los tratamientos hubo similitud con el peso de 127,2 g reportado por Phillips *et al* (2013) para el mismo clon CATIE-R6. El tratamiento con K, a su vez mostró diferencia significativa en el contenido de K en el suelo (Cuadros 1, 2 y 3) y mayor concentración de este elemento en las hojas en el 2015 (Cuadro 5). Bajo esa misma tendencia, es el elemento que más extrae el fruto del árbol de cacao seguido del nitrógeno, calcio y el magnesio (Espinosa *et al*. 2006; Salvador *et al*. 2012; López *et al*. 2015; Furcal-Beriguete, 2017); mientras que Puentes-Páramo *et al*. 2014b) reporta mayor extracción de N que de K

El número promedio de granos por fruto (N°G/F) fue de 33,39 y 33,69 en los dos períodos de cosechas (Cuadros 9 y 10), el tratamiento con N fue el de mayor cantidad con 37,28 y 35,29 granos por fruto (períodos 2015-2016, 2016-2017), respectivamente, sin mostrar diferencias estadísticas significativas con los demás tratamientos, cuyos valores más bajos fueron 28,69 y 31,79 granos por fruto, en los dos períodos. Estos valores son muy parecidos al obtenido por Phillips *et al* (2013), 31 semillas para el mismo clon CATIE-R6.

El índice de grano requerido por la industria nacional es de un (1) gramo por semilla fermentada y seca (Phillips *et al*, 2013). Para Arciniegas (2005) y Sánchez *et al* (2014) los genotipos de cacao que presenten índices de grano superior a uno son considerados de interés filogenético e industrial. Los valores de todos los tratamientos superan este índice en el período anual de cosecha 2015-2016, los más altos se reportaron para los tratamientos NK y el AOS con índices de 1,49 y 1,30, respectivamente. Estos valores fueron más altos que los reportados por Bonilla *et al* (2014) para el mismo material en Chiapas, México, ellos obtuvieron valores entre 1,18 y 1,29; quizás debido a que, en nuestro estudio en varias cosechas por poca cantidad se secaron sin fermentar. Este índice no se contabilizó en el período anual de cosechas 2016-2017, debido a que los granos de cacao en ninguna cosecha fueron fermentados.

El rendimiento promedio de granos secos por hectárea por año (GS/ha/año) que se obtuvo en el primer período (2015-2016) de cosechas fue de 1322,03 kg y en el segundo período (2016-2017) fue de 1665,32 kg (Cuadros 9 y 10). Ambos rendimientos se consideran medios, si consideramos que el promedio nacional es de 400 kg/ha/año de granos secos, mientras que para el mismo clon Phillips *et al*. (2013) alcanzaron 1485 kg/ha/año en promedio de 11 años de producción. El rendimiento más alto en el primer período anual de cosechas fue 1783,5 kg/ha con el testigo seguido con 1470,1 kg/ha con el tratamiento K (Cuadro 9); mientras que en el segundo período el valor más alto fue de 2081,45 kg/ha obtenido con el tratamiento AOS-L seguido con el tratamiento K con 2002,88 kg/ha (Cuadro 10).

Al parecer, el número de frutos por árbol por año (N°F/A/A) tiene influencia en el rendimiento (GS/ha/año), pues el testigo en el primer período (2015-2016) y el tratamiento AOS-L en el segundo período de cosechas (2016-2017) alcanzaron el mayor N°F/A/A y el mayor rendimiento. No obstante, Sánchez *et al* (2014) mencionan que el número de frutos sanos por planta no es el mejor indicador productivo para seleccionar árboles, pues a pesar de que es un componente importante, el peso de los granos es el que interesa más al productor, alcanzado con el tratamiento que contenía el elemento K en los dos períodos de cosechas y al mismo tiempo fue el tratamiento que ocupó el segundo lugar en rendimiento (GS/ha/año) en los dos períodos anual de cosechas. Bonilla *et al* (2014) obtuvieron rendimientos que oscilan entre 825,6 y 1167,53 kg/ha, el material usado comparte el mismo origen genealógico (UF 273 \* PA 169) que el clon evaluado en el presente trabajo, al compararlos se observa un mayor rendimiento en este experimento que la obtenida por ese autor. Sánchez (2005), igual que en este experimento, no encontró respuesta evidente a NPK, en cambio Uribe *et al*. (1998) encontraron buena respuesta al tratamiento NPK, quizás la respuesta se debió a las dosis altas en estos elementos (150, 90 y 200 kg/ha de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) o bien a la combinación con P, pues no hubo respuesta cuando aplicaron dosis de 50 Kg en el tratamiento NK.

El cacao es exigente en la disponibilidad de nutrientes para sus funciones metabólicas, mayormente en condiciones de bajo porcentaje de sombreado y en plantaciones expuestas directamente a los rayos solares, debido a que aumenta la tasa fotosintética (Cueva, 2013). Este cultivo responde a la fertilización cuando está expuesto a poca o ninguna sombra (Figuerola y Cavero, 2011; Cueva, 2013). Cuando el cultivo se desarrolla bajo sombra, se puede llegar a un equilibrio por la mineralización de la materia orgánica que aporta elementos nutricionales y a la lenta descomposición de ésta, además de la baja tasa fotosintética que influye en menor rendimiento que aquellos árboles expuestos al sol (Cueva, 2013), estas son las posibles razones de la poca respuesta a la fertilización en las variables

relacionadas con la producción en este ensayo instalado en un ambiente con sombreado, aunado a un contenido de materia orgánica al inicio del experimento de 4,62% y un rango entre 4,02 y 5,35% después de tres años de aplicación de tratamientos y a la fertilidad media-alta de los suelos, de acuerdo al pH, la suma de bases y la acidez intercambiable. Da Silva (2013) indica que con la aplicación de biocarbón y gallinaza los cambios significativos en suelos pueden ser observados en un año, sin embargo, la producción de un cultivo perenne puede tardar varios años en presentar respuestas.

#### **5.4 Circunferencia del tallo de los árboles**

Los valores de esta variable no son significativos estadísticamente. Aun así, cabe señalar que al cabo de 2,5 años de iniciado el experimento, el tratamiento AOL fue el de menor incremento, lo que coincide con el tratamiento de más bajo rendimiento durante el experimento (Cuadros 9 y 10). Los incrementos mayores se presentaron con el tratamiento K y el testigo; igualmente, el tratamiento con K, el AOS y el testigo son los de promedio mayor en la circunferencia del tronco de sus árboles (Figura 1) y por ende de su diámetro, a su vez fueron de los que arrojaron mejores rendimientos (Cuadros 9 y 10). Según (Phillips *et al*, 2013), existe una correlación positiva entre el diámetro del tronco de los árboles y la producción de varios años, con el índice de eficiencia de rendimiento, siendo mejor aquel valor que sea más alto. En nuestro caso hubo un coeficiente de correlación de 0,5893 entre el incremento promedio de circunferencia en la base del tronco por año y el rendimiento promedio de granos secos por hectárea por año.

## 6. Conclusiones

El abono orgánico sólido incrementó la sumatoria de bases y el contenido de calcio y magnesio como elementos individuales en el suelo, no así el nivel de estos elementos en las hojas. Mientras que el abono orgánico líquido no produjo efectos positivos en ninguna de las variables relacionadas con la fertilidad de suelo ni en las de rendimiento de granos de cacao.

Los abonos nitrogenados (urea y nitrato de amonio) después de aplicados tres años consecutivos, disminuyeron el pH y la suma de bases e incrementaron la acidez extractable del suelo.

El tratamiento con potasio incrementó el contenido de este elemento en el suelo. Además, incrementó el peso del fruto y el peso de los granos húmedos de cacao, en cambio el nitrógeno incrementó el número de granos por fruto.

Las variables número de frutos, peso de frutos y peso de granos o semillas húmedas evidenciaron efectos positivos en el rendimiento de granos secos de cacao; caso contrario sucedió con el número de semillas por fruto.

No se encontró diferencias entre los tratamientos ni se evidenció tendencias de estos sobre el nivel nutricional de las hojas de los árboles de cacao.

Los tratamientos con mayor rendimiento fueron el de elemento potasio y el de abono orgánico sólido, aunque no hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos (fertilizantes orgánicos e inorgánicos) con el testigo. Estos dos tratamientos fueron los de mayor circunferencia en la base del tallo del árbol de cacao y que al final de la investigación experimentaron mayor incremento en esta variable.

## 7. Bibliografía

- Acuña A., F. 2006. Química Orgánica. 1era Edición. EUED. San José, C.R. 372 p.
- Adejobi, K. B., O. S. Akanbi, O. Ugioro , S. A. Adeosun, I. Mohammed, B. A. Nduka, and D. O. Adeniyi. 2014. Comparative effects of NPK fertilizer, cowpea pod husk and some tree crops wastes on soil, leaf chemical properties and growth performance of cocoa (*Theobroma cacao* L.). *African Journal of Plant Science*. Vol.8 (2) pp.103-107.
- Arciniegas, A. 2005. Caracterización de árboles superiores de cacao (*Theobroma cacao*, L) seleccionados por el programa de mejoramiento genético del CATIE. Tesis Magister Scientiae. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (en línea). Consultado el 28 de octubre de 2016. Disponible en [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4571/Caracterizacion\\_de\\_arboles\\_superiores\\_de\\_cacao.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4571/Caracterizacion_de_arboles_superiores_de_cacao.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Bertsch, F. 2005. Estudios de absorción de nutrimentos como apoyo a las recomendaciones de fertilización. *Informaciones Agronómicas*. Abril 2005. N° 57. Instituto de la potasa y el fósforo-INPOFOS. A.S. Inf+Agro+57. International Plant Nutrition Institute.
- Benton J., J . Jr. 2012. *Plant Nutrition and Soil Fertility Manual*. Second Edition. CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton, FL. 282 p.
- Bonilla, J., A. Zamarripa, A. Pecina, V. Garrido, E. Hernandez, E. 2014. Evaluación agronómica de híbridos de cacao (*Theobroma cacao* L) para selección de alto rendimiento y resistencia en campo a la moniliasis. (en línea). Mexico. Consultado del 23 de octubre de 2016. Disponible en: [http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2771&catid=245:vol-6-no-1](http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=2771&catid=245:vol-6-no-1)
- Cadavid, V. S. 1980. Suelos y fertilización del cacao en el departamento de Antioquia. *Rev. El cacaotero Colombiano*. p. 7-17. Medellín (Col).
- Canacacao (Asociación Cámara Nacional de Cacao fino de Costa Rica). 2008. *Cacao de Costa Rica*. (en línea). Costa Rica. Consultado el. 19 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.canacacao.org/estadisticas/nacionales/>
- Canacacao (Asociación Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica). 2012. *Estadísticas Nacionales. Cacao de Costa Rica*. Disponible en: <http://www.canacacao.org/estadisticas/analisis>. Consultado el 27 de enero de 2013.
- Canacacao, MAG, IICA y CATIE. 2013. *Estrategia Sector Cacao de Costa Rica*. MAG, San José, Costa Rica. p.14

- Carvajal, C. 2018. Establecimiento de un programa de fertilización para seis ecotipos de Ipecacuana (*Psychotria ipecacuana* (Brot) Stokes (*Rubiaceae*)) en Coopevega de Cutris, San Carlos, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, TEC, Escuela de Agronomía, Sede San Carlos. 88p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2015. Programa de Mejoramiento Genético de Cacao. (en línea). Costa Rica. Consultado el 19 de julio de 2015. Disponible en: [http://catie.ac.cr/es/consultoria-y-servicios-de-alto-nivel/mejoramiento-genetico/programa-mejoramiento-genetico-del-cacao/142\\_productos-y-servicios/mejoramiento-genetico-del-cacao](http://catie.ac.cr/es/consultoria-y-servicios-de-alto-nivel/mejoramiento-genetico/programa-mejoramiento-genetico-del-cacao/142_productos-y-servicios/mejoramiento-genetico-del-cacao).
- Chacón, H. M. 2006. Cacao y moneda en Costa Rica (en línea). S.J. Costa Rica: Fundación Museos del Banco Central. Disponible en: <http://museosdelbancocentral.org/contenido/articulos/18/1/Cacao-y-moneda-en-Costa-Rica---/Paacuteginas1.html>. (Consultado el 6 de enero de 2011).
- Cueva, A. 2013. Cacao. Sombreamiento – Agroforestería – Nutrición – Fertilización - Fisiología. Texto universitario N° 03. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, PER.
- Da Silva, J.H. 2013. Impacto del uso de biocarbón sobre la calidad de suelos y producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en sistemas agroforestales, Reserva Indígena Bribri, Talamanca, Costa Rica: Tesis. Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. CATIE, Turrialba, CR.
- Díaz-Romeu R. and E. Jiménez S. 1966. The residual effect of fertilizers on Soil chemical properties (La Lola experiment N° 2). INTER-AMERICAN CACAO CENTER. Annual Report. July-September, 1966. INTER-AMERICAN INSTITUTE OF AGRICULTURA. Biblioteca Orton IICA/CATIE. Turrialba, Costa Rica. Vol. XI, N°3.9-12.
- Dostert, N. Roque, J. Cano, A. La Torre, M. Weigend, M. 2011. Hoja botánica: Cacao. (en línea). Perú. Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C. Consultado el 19 de Julio de 2015. Disponible en [http://www.botconsult.de/downloads/Hoja\\_Botanica\\_Cacao\\_2012.pdf](http://www.botconsult.de/downloads/Hoja_Botanica_Cacao_2012.pdf)
- Espinosa, J., F. Mite, S. Cedeño, S. Barriga, y J. Andino. 2006. Manejo por sitio específico de cacao basado en sistemas de información geográfica. Informaciones Agronómicas. Enero 2006. N°60. Instituto de la potasa y el fósforo-INPOFOS. A.S. Inf-Agro 60- International PlantNutritionInstitute.
- Figueroa, O.L., y J. Caverro R. 2011 Guía técnica Curso-Taller fertilización y post cosecha-Taller de cacao. Universidad Nacional Agraria la Molina. Tarapoto, PER.

- Furcal-Beriguete, P. 2017. Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. *Agron. Mesoam.* 28(1):113-129. 2017 ISSN 2215-3608 doi:10.15517/am. v28i1.23236
- Fuster, M. 2014. Producción de plantas y tepes en vivero. Bubok. Consultado el 09/10/2016. Disponible en <https://books.google.co.cr>
- Guerrero, J. 2012. Análisis de suelo y fertilización del cacao. Guía Técnica. Universidad Nacional La Molina (UNALM). Perú. 36p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2006. Protocolo de estandarizado de oferta tecnológica para el cultivo del cacao en el Perú. Perú. IICA. Consultado el 19 de Julio de 2015. Disponible en [https://books.google.co.cr/books?id=04vdcOOwJA8C&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=04vdcOOwJA8C&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- INPOFOS (Instituto de la Potasa y el Fósforo). 2000. La interacción del fósforo y otros nutrientes. Lazcano-Ferrat. Editor. Informaciones Agronómicas. Vol.4. Núm 1. p.2. [www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/.../ia+com+4-1.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/.../ia+com+4-1.pdf) (Consultado 9 nov. 2016).
- Jonathan H., C., C. F. Balerdi, and Gene Joyner. 2013. Cocoa (Chocolate Bean) Growing in the Florida Home Landscape. This document is HS1057, one of a series of the Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Original publication date November 2005. Revised July 2013. p.6. Consultado en 15 de marzo de 2014, en: EDIS website at <http://edis.ifas.ufl.edu>
- Laínez, J. 1982. Aplicación del diagnóstico foliar en la evaluación de la condición nutricional de las plantaciones comerciales de café y cacao en el litoral ecuatoriano. INIAP. (en línea). Consultado el 16 de Octubre de 2016. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1574/1/Bolet%C3%ADn%20%C3%A9cnico%20N%C2%BA%2049.pdf>
- López, M., I. López, M. España, A. Izquierdo, y L. Herrera. 2007. Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de *Theobroma cacao*. *Agronomía Trop.* 57(1): 31-43.
- López, O., S.I. Ramírez, S. Espinosa, J.L. Moreno, C. Ruiz, J.M. Villarreal, y L. Ruiz. 2015. Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao. Universidad Autónoma de Chiapas. MEX.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR). 2011. Desarrollo cacaotero y diversificación productiva en Talamanca. (en línea). Consultado el 07 de noviembre de 2015. Disponible en

[http://www.mag.go.cr/acerca\\_del\\_mag/programas/sixaola-proy02-CR-Cacao.pdf](http://www.mag.go.cr/acerca_del_mag/programas/sixaola-proy02-CR-Cacao.pdf)

- Marín, J. 2008. Importancia de las podas para el mantenimiento técnico del cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) en las haciendas el "Edén " y "Mata de cacao" en la zona de Milagro, Provincia del Guayas. Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil. Ed. Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Agrarias. 51 p. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/2921>
- Mejía, L.A. y G.E., Palencia. 2002. Abono orgánico, manejo y su uso en el cultivo de cacao. CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). PRONATA (Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria). Regional Siete Bucaramanga, Co. 25 p.
- Méndez, J. y F. Bertsch. 2012. Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. ACCS. 118 p.
- Orozco M. y S. Thienhaus. 1997. Efecto de la gallinaza en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao L.*) en desarrollo. Nicaragua. Agronomía Mesoamericana 8 (1): 81-92.
- Phillips-Mora, W., A. Arciniegas-Leal, A. Mata-Quirós, J.C. Motamayor-Arias. 2013. Catalogue of cacao clones. Selected by CATIE for commercial plantings. Tropical Agricultural Research and Higher Education Center, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 67 p.
- Pinargote, M. 2015. Comportamiento productivo de cacao CCN51 antes diferentes formulaciones de fertilización. Ecuador. UTEQ.
- PROAMAZONA (Programa para el desarrollo de la Amazona). 2004. "Manual del cultivo de cacao". Ministerio de Agricultura, Perú. P 11, 46.
- Puentes-Páramo, Y.J.; J.C.Menjivar-Flores, y F. Aranzazu-Hernández. 2014a. Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao L.*). Bioagro 26: 99-106.
- Puentes-Páramo, Y.J., J.C. Menjivar-Flores, A. Gómez-Carabali, y F. Aranzazu-Hernández. 2014b. Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. Acta Agronómica, Vol. 63, Núm. 2 (2014). doi: [10.15446/acag.v63n2.40041](https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.40041)
- Quero, E. y C. Cárdenas. 2006. Nueva tecnología para optimizar la producción agrícola tecnificada y tradicional y mejorar la calidad agrícola de los suelos. Instituto Tecnológico Superior de Uruapan. La Basilia, Uruapan, Michoacán México. 16 p.
- Ramos, J. 2011. Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales (6 Los microorganismos del suelo). México. Centro de Investigaciones de

Geografía Ambiental. UNAM. (en línea), Consultado el 30 de octubre de 2016. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/429/organismos.pdf>

- Ruales, J.L., H. Burbano, y W. Ballesteros. 2011. Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.). Rev. Cienc. Agríc. 28(2) 81-94.
- Sadeghian, S. 2012. Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio, y potasio, intercambiables, en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición en café (*Coffea arabica* L.) en la etapa de almacigo.
- Salvador, N., E. Espinosa, y J. C. Rojas. 2012. Manual del cultivo de cacao blanco de Piura. Mesa Técnica Regional de Cacao de Piura. Dirección Regional Agraria Piura.PER.<http://www.swisscontact.org.pe/biblioteca-virtual>.(Consultado 10 Ene 2016).
- Sánchez, L.E., D. Parra, E. Gamboa, y J. Rincón. 2005. Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado Táchira, Venezuela. *Bioagro* 17: 119-122. 2005.
- Sánchez M., F. Zambrano, J. Vera, J. Ramos, R. Garcés, F. Vásconez, G. 2014. Productividad de Clones de cacao tipo nacional en una zona del bosque húmedo tropical de la provincia de Los Ríos. Ecuador. *Revista Ciencia y Tecnología*. Vol.7,Nº1.33-41.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2017. Boletín Estadístico Agropecuario N° 27. Serie cronológica 2013-2016. Ministerio de Agricultura. San José, CRC.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2014. Boletín Estadístico Agropecuario N° 24. Serie cronológica 2010-2013. Ministerio de Agricultura. San José, CRC.
- Thompson, L. Troeth, F. 1988. Los suelos y su fertilidad. España. Editorial Reverté. (en línea). Consultado 12 de octubre de 2016. Disponible en <https://books.google.co.cr/books>.
- Uribe, A., H. Méndez, y J. Mantilla. 1998. Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en la producción de cacao en el Departamento de Santander, Colombia. *Rev. Suelos Ecuatoriales*. 28:31-36.