

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

SEDE SAN CARLOS

**CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE REBROTOS DE CAFÉ
(*Coffea arábica* L) MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
TRICHODERMA HARZIANUM, FOLIARES A BASE DE
REGULADORES DE CRECIMIENTO Y BORO-ZINC EN LA ZONA
DE PALMICHAL, ACOSTA**

Trabajo Final de Graduación presentado a la Escuela de Agronomía como
requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en
Agronomía

PAÚL CASCANTE UREÑA

2017



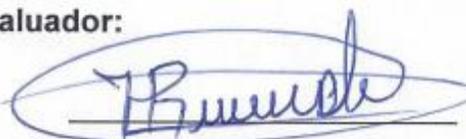
Carrera de Ingeniería en Agronomía
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sede Regional San Carlos
2005 - 2018

**CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE REBROTOS DE CAFÉ
(*Coffea arabica* L) MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
TRICHODERMA HARZIANUM, FOLIARES A BASE DE
REGULADORES DE CRECIMIENTO Y BORO-ZINC EN LA ZONA
DE PALMICHAL, ACOSTA.**

PAÚL CASCANTE UREÑA

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

Ing. Agr. Parménides Furcal Beriguete, M. Sc.



Asesor Principal

Ing. Agr. Sergio Torres Portuguez, M. Sc.



Jurado

Ing. Agr. Carlos Muñoz Ruiz, PhD.



Jurado

Ing. Agr. Zulay Castro Jiménez, MGA.



Coordinadora
Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Luis Alberto Camero Rey, M. Sc.



Director
Escuela de Agronomía

2017

ÍNDICE DE CONTENIDO

Título	Página
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Justificación	3
1.2. Objetivo general.....	4
1.3. Objetivos específicos.....	4
1.4. Hipótesis Técnica	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Cultivo de café	6
2.1.1. Descripción botánica.....	6
2.1.2. Fenología del cultivo	7
2.1.3. Requerimientos climáticos y edáficos	8
2.1.4. Condiciones edáficas	8
2.2. Reguladores de crecimiento	9
2.2.1. Auxinas	9
2.2.2. Citoquininas	10
2.2.3. Giberelinas	10
2.3. <i>Trichoderma harzianum</i>	11
2.4. Elementos boro y zinc	12
3. MATERIALES Y METODOS	14
3.1. Universo de estudio.....	14
3.2. Descripción de tratamientos	15
3.2.1. Tratamiento Testigo	16

3.2.2.	Tratamiento <i>Trichoderma harzianum</i>	16
3.2.3.	Tratamiento boro y zinc.....	16
3.2.4.	Tratamiento NutriPower®®	17
3.2.5.	Tratamiento con reguladores de crecimiento	18
3.2.6.	Tratamiento a base de Ácido Giberélico	19
3.3.	Variables de respuesta	19
3.4.	Diseño experimental y de arreglo de tratamientos.....	19
3.5.	Descripción de unidad experimental y área experimental	20
3.6.	Número de repeticiones y grados de libertad del error	21
3.7.	Croquis o especificación de diseño de tratamientos.....	21
3.8.	Plan de análisis exploratorio y pruebas de supuestos	22
3.9.	Identificación de unidades experimentales	22
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1.	Efecto de los tratamientos evaluados	24
4.1.1.	Grosor de tallo:.....	25
4.1.2.	Altura de tallo:	28
4.1.3.	Longitud de bandola.....	31
4.1.4.	Número de entrenudos	34
4.1.5.	Número de flores.....	37
5.	CONCLUSIONES	48
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Ubicación y características climáticas de Palmichal de Acosta. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.	14
2	Fechas de aplicaciones y mediciones de los tratamientos. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.	15
3	Identificación de los diferentes tratamientos a evaluar en rebrotes de café. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.	16
4	Composición química del producto NutriPower®®. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.	17
5	Composición química del producto comercial Hormovit hortaliza® utilizado como fuente de fitohormonas. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.	18
6	Grados de libertad presentes en el diseño experimental durante la evaluación de los rebrotes de café. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.	21
7	Distribución aleatoria de los tratamientos en el área experimental. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.	22
8	Resultados de cada variable durante la primera medición base y la última medición. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.	25

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Conformación unidad experimental para la evaluación de los rebrotes de café. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.	20
2	Conformación área experimental para la evaluación de los rebrotes de café. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.	21
3	Grosor de tallo en respuesta a los diferentes tratamientos durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	26
4	Efecto acumulado de los tratamientos sobre el grosor de tallo durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	27
5	Altura de tallo en respuesta a los diferentes tratamientos durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	29
6	Efecto acumulado de los tratamientos sobre la altura de tallo durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	30
7	Longitud de bandola en respuesta a los diferentes tratamientos durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	32
8	Efecto acumulado de los tratamientos sobre la longitud de la bandola durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	33
9	Número de entrenudos en respuesta a los diferentes tratamientos durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	35

10	Efecto acumulado de los tratamientos sobre el número de entrenudos durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	36
11	Rango de datos respecto a la cantidad de flores en respuesta a los tratamientos. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	37
12	Valores atípicos u “Outliers” encontrados en diferentes tratamientos. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	38
13	Efecto de los tratamientos en respuesta a la variable de número de flores en la cuarta medición. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	39
14	Comportamiento anual de precipitación en los años 2016, 2017 y promedio de 2013-2016 en la región. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	41
15	Comportamiento anual de temperatura en los años 2016, 2017 y promedio de 2013-2016 en la región. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	42
16	Comportamiento anual de humedad relativa en los años 2016, 2017 y promedio de 2013-2016 en la región. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.	43

DEDICATORIA

Mi trabajo final de graduación, así como mi formación integral se los dedico a las dos personas más incondicionales en mi vida, mi orgullo y mejor ejemplo: mis padres: Zaida Ureña y Rodrigo Cascante. Porque han sido grandes pilares en mi vida y me han dado su respaldo, confianza y apoyo, por su sacrificio y esfuerzo incansable para permitirme tener éxito. Gracias infinitas por enseñarme a no rendirme y asumir mis responsabilidades, por mostrarme lo que es valioso en verdad e inculcarme que todo se lo debemos a nuestro Dios todopoderoso.

Ha sido un largo camino hasta ahora y quiero reconocer a las personas que han hecho todo en la vida para que yo pueda lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano para seguir adelante.

A ellos les agradezco y dedico esto, ejemplos dignos de superación y entrega. Gracias por creer en mí y haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente al Señor Dios todopoderoso, quien me ha dado fortaleza para continuar y me ha permitido llegar a este momento tan especial en mi vida. Gracias por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorar cada día más; por escuchar mis oraciones y las de mi madre. El honor y la gloria a ti.

A mi madre por ser quien me ha acompañado incondicionalmente durante toda mi vida, por apoyar mis decisiones y respaldarme. A mi padre por su esfuerzo y motivación, quien con sus consejos ha sabido guiarme en mi formación. A toda mi familia y amigos, a quienes amo con el alma.

Especialmente agradezco a mis compañeros y generación, estos años no hubieran sido lo mismo sin ustedes, los llevo en el corazón y les agradezco por la mejor experiencia universitaria.

En general quisiera agradecer a todos y cada una de las personas que han estado a mi lado y me han brindado su apoyo, amor y amistad.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el crecimiento de los rebrotes de café en respuesta a la aplicación de cinco tratamientos como el boro más zinc, *Trichoderma harzianum*, NutriPower®, Ácido Giberélico, el conjunto de Auxinas, Citoquininas y Ácido Giberélico más el Testigo, se evaluaron diferentes variables en el desarrollo de los rebrotes de café como el grosor de tallo, altura de tallo, longitud de bandola, número de entrenudos y número de flores. Este trabajo se inició en el año 2016 en la finca Paraje de Bendición ubicada en la zona de San Pablo, Palmichal de Acosta, San José, Costa Rica; a una altura promedio de 1.475 msnm. Se utilizaron un total de 2.880 plantas de la variedad Catuaí sometidas a poda en el mes de enero previo a la aplicación de los tratamientos en los últimos tres meses del mismo año. Cada tratamiento contó con un total de seis unidades experimentales conformadas por cuatro hileras de 20 plantas, cada una en un total de seis bloques. La distribución de las unidades experimentales en cada bloque se realizó de manera aleatoria. El tratamiento que mostró diferencias significativas en el total de variables respecto a los demás fue el correspondiente al boro más zinc (B-Zn), seguido del Ácido Giberélico (A.G), los demás tratamientos no mostraron diferencias significativas respecto al Testigo.

Palabras Clave: Catuaí, Rebotes, Reguladores de crecimiento.

ABSTRACT

In order to evaluate the growth of coffee sprouts in response to the application of five treatments such as boron plus zinc, *Trichoderma harzianum*, NutriPower®®, Gibberellic Acid, the set of Auxins, Cytokinins and Gibberellic Acid plus the Control, were evaluated different variables in the development of regrowth such as stem thickness, stem height, bandola length, number of internodes and number of flowers. This work began in 2016 at the Paraje de Bendición farm located in the San Pablo area, Palmichal de Acosta, San José, Costa Rica; at an average height of 1,475 meters above sea level. A total of 2,880 plants of the Catuaí variety subjected to pruning were used in the month of January prior to the application of the treatments in the last three months of the same year. Each treatment had a total of six experimental units consisting of four rows of 20 plants, each in a total of six blocks. The distribution of the experimental units in each block was randomized. The treatment that showed significant differences in the total of variables with respect to the others was that corresponding to boron plus zinc (B-Zn), followed by Gibberellic Acid (A.G), the other treatments did not show significant differences with respect to the Control.

.Keywords: Catuaí, Regrowth, Growth regulators.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

El café es un cultivo de suma importancia tanto en Costa Rica como a nivel mundial, ya que es el segundo producto que más se comercializa debido a su gran variedad de subproductos, solamente por detrás del petróleo, siendo así el medio de subsistencia de más de 25 millones de personas (Amaya 2009). En nuestro país existe una gran debilidad en el campo de la investigación de este cultivo a pesar de ser altamente reconocido a través de largo tiempo por su calidad de taza (Sánchez 2017).

La escasez de información en las diferentes etapas de manejo del cultivo a influenciado en gran manera a la pérdida de muchas de las unidades de producción trayendo consigo una disminución del rendimiento promedio de las áreas productivas establecidas, afectando directamente a pequeños productores de subsistencia, sumado a esto se debe agregar a la gran expansión urbana que existe en el valle central lo cual reduce aún más las áreas productivas ejerciendo presión en lograr una mayor productividad en la misma o en menos área por parte de los involucrados con dicho cultivo. Si bien es cierto que los costos de producción cada día son más altos, sobre todo cuando se trata de hacer un tipo de explotación más intensiva, no se debe dejar de lado un mejor manejo en todas las etapas de desarrollo para poder lograr los objetivos esperados. Dentro de las actividades que se realizan de manejo en el cultivo, la actividad de poda es de suma importancia en un adecuado mantenimiento de un cafetal productivo y económicamente viable, por tal razón la época y forma de realización es un factor muy importante a tomar en cuenta para poder lograr los objetivos planteados a futuro. Un adecuado manejo de los nuevos brotes emergentes de la poda se traducirán en plantas mucho más vigoras, sanas y productivas en un menor tiempo, por lo cual es de suma importancia la disposición de información de un adecuado plan de manejo en dicha etapa (MAG 2007).

Al identificarse y existir la necesidad de obtener información por parte del ICAFE así como de los productores tanto grandes como pequeños fue un buen estímulo para la realización de dichas pruebas en las cuales no existe ningún respaldo de investigación en dicho campo y sobre todo en esta fase fenológica tan importante y significativa en la producción de nuestro país (Cascante 2017)¹.

Al obtener respuestas a los planteamientos por medio de este trabajo, la información generaría un cambio en la adición o redistribución de los elementos boro (B), zinc (Zn) en los planes de aplicación de los mismos en las diferentes etapas fisiológicas debido a que anteriormente solamente se recomiendan principalmente en la etapa de prefloración, además de verificar la eficiencia del uso de los diferentes reguladores de crecimiento como de la implementación del hongo *Trichoderma harzianum* en un sistema productivo como el cafetalero.

1.2. Objetivo general

Evaluar el crecimiento y desarrollo de los rebrotes de café en respuesta a la aplicación de diversos tratamientos para el mejoramiento de caracteres reproductivos y vegetativos en este cultivo.

1.3. Objetivos específicos

Determinar la respuesta en crecimiento y desarrollo de rebrotes de café mediante la utilización del hongo *Trichoderma harzianum*.

Determinar la respuesta en crecimiento y desarrollo de rebrotes de café mediante la utilización de productos a base de reguladores de crecimiento.

Determinar la respuesta en crecimiento y desarrollo de rebrotes de café mediante la utilización de un foliar a base de los nutrimentos boro y zinc.

Determinar la aparición de órganos reproductivos en los nuevos rebrotes de café

¹ Cascante, P. 10 ago 2016. Estado de la investigación cafetalera actual en C.R (personal). San José, Costa Rica, Syngenta.

1.4. Hipótesis Técnica

Los rebrotes de café tratados con cualquiera de los siguientes tratamientos; boro más zinc, reguladores de crecimiento, *Trichoderma harzianum*, Ácido Giberélico y NutriPower®® obtienen un mayor desarrollo en cuanto a su grosor y altura de tallo, longitud de bandola, número de entrenudos y número de flores respecto al Testigo absoluto.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cultivo de café

2.1.1. Descripción botánica

El cultivo del café pertenece a la familia Rubiaceae del género *Coffea*, el mismo cuenta con un estimado de aproximadamente 100 especies. No obstante, solamente tres de éstas son cultivadas comercialmente en la actualidad, destacándose su importancia por el siguiente orden: *Coffea arábica* L., *C. Canephora* Pierre exFroehner y *C. liberica* Bull exHiern (Mora 2008).

Este cultivo, como cualquier otro, en sus fases iniciales cuenta con raíces de tipo fasciculada en mayor cantidad, sin embargo, las plantas ya establecidas cuentan con una raíz pivotante central muy fuerte, a menudo múltiple que disminuye su diámetro abruptamente y que rara vez se extiende como una unidad reconocible más allá de 45 cm de profundidad de tipo pivotante. Cuenta con cuatro a ocho raíces axiales que penetran verticalmente hasta 2 m o 3 m de profundidad. Estas raíces se originan lateralmente o en la bifurcación de la raíz pivotante y se ramifican en todas las direcciones a diferentes profundidades (Arcila 2006).

En el caso del tallo de café este se caracteriza por ser leñoso, erecto y de longitud variable, de acuerdo al clima y tipo de suelo, puede variar entre 2 m y 5 m de altura. En una planta adulta la parte basal es cilíndrica, mientras que la parte apical es más cuadrangular y verde, este presenta la particularidad que produce tres tipos de yemas las cuales originan diferentes partes de la planta: tallo, ramas y hojas (Zapata 2013). En relación a lo mencionado por Arcila (2006) el crecimiento se realiza a partir de las células meristemáticas ubicadas en el ápice del tallo y de las ramas (yemas apicales) y en las axilas de las hojas (yemas laterales, yemas axilares y yemas seriadas).

De acuerdo al estudio realizado por Zapata (2013) la conformación de la flor está dada por el cáliz el cual es poco desarrollado y este se encuentra asentado en la base de la flor, la corola que es un tubo largo de forma cilíndrica que tiene una medida de 6mm a 12mm, en ella se encuentran los pétalos y los estambres. Las flores poseen un ovario súpero con dos óvulos, formando el gineceo.

Salazar *et al.* (1994) cita refiriéndose al fruto de café, donde lo clasifica como una drupa en la cual los tejidos externos en la madurez se separan por una capa mucilaginoso del endocarpio delgado duro y coriáceo llamado pergamino.

La descripción botánica del café lo clasifica como perteneciente al Reino: Plantae, su Filo es el Angiospermophyta, Clase: Magnoliopsida, Orden: Gentianales, Familia: Rubiaceae, Género: Coffea, Especie: *Coffea arabica* L (Zapata 2013).

2.1.2. Fenología del cultivo

El cultivo de café cuenta con varias fases en su ciclo reproductivo, en el cual se caracterizan y diferencian distintos aspectos fundamentales para la lograr la productividad, la primera de ellas es la fase de desarrollo vegetativo en donde en esta etapa, al considerarse el café como un cultivo perenne, se denomina desarrollo vegetativo al crecimiento de raíces, ramas, nudos y hojas, comprendiendo en si las etapas de germinación a trasplante (2 meses), almácigo (5-6 meses) y siembra definitiva a primera floración (11 meses). La siguiente fase es la de desarrollo reproductivo del cafeto la cual comienza con la aparición de las primeras flores. El período de iniciación de esta fase puede estar influenciado por la duración del día (fotoperiodo), la época de siembra, la temperatura y la disponibilidad hídrica. La fase reproductiva continúa luego con el desarrollo del fruto y la maduración. La última fase es la relacionada con la senescencia del cafeto, en donde el café alcanza su desarrollo y productividad máxima entre los seis y los ocho años de edad, a partir de los cuales la planta se deteriora paulatinamente y su productividad disminuye. Los órganos de la planta completan su ciclo de vida en épocas y edades diferentes

en donde la hoja tiene una duración promedio de 350 días, una rama primaria dura varios años y una flor abierta dura tres días (Arcila 2006).

2.1.3. Requerimientos climáticos y edáficos

Aportes realizados por distintos autores como el descrito por Chaves (1999) donde plantea que el café es un cultivo que puede desarrollarse en distintas zonas y en diversos climas nos ayudan a entender la gran capacidad de adaptación del cultivo, sin embargo, agronómicamente se pueden considerar zonas más óptimas para su desarrollo en donde la temperatura, altura sobre nivel del mar y precipitación cuentan con características y distribuciones que permitan periodos bien definidos para lograr mejores floraciones y cosechas.

El rango de temperatura media anual señalado como óptimos para lograr un mejor desarrollo para este cultivo está entre 17 y los 23 grados centígrados, en cuanto a la precipitación que es un factor con gran importancia ya que tiene un alto impacto en la floración, en Costa Rica se ha determinado niveles óptimos anuales entre 1600 mm y 1800 mm. La humedad relativa se encuentra en el rango de 70% a 95% para *Coffea arábica*, sin embargo, se ha verificado que no es un factor determinante en el cultivo de café. En cuanto a la luz Solar en Costa Rica, experimentos efectuados en 1984 por técnicos del Convenio ICAFE-MAG, han demostrado que el cafeto produce más materia seca y fotosíntesis por unidad de área foliar cuando el manejo del cultivo se hace en condiciones de solana, produciendo inclusive un 10% más que en sombra (Mora 2008).

2.1.4. Condiciones edáficas

En Costa Rica los suelos predominantes en donde se ubican las plantaciones cafetaleras corresponden según la taxonomía del USDA (United States Department of Agriculture) a los órdenes de los Andisoles, Ultisoles, Inceptisoles y Alfisoles (Chaves 1999). Para la producción de café el suelo debe de contar con ciertas características como la del relieve en donde los suelos planos o ligeramente ondulados son los más aptos para el cultivo del café esto debido a su mayor profundidad, capacidad de retención de agua y nutrimentos aunque la planta por

sus características se adapta a suelos de topografías desfavorables, en cuanto a la profundidad es un aspecto en donde lo recomendable es contar con suelo no menor a un metro (Mora 2008).

2.2. Reguladores de crecimiento

Existen moléculas orgánicas que se producen en regiones específicas de la planta las cual se encargan de iniciar, terminar, acelerar o desacelerar algún proceso vital. Las hormonas además se caracterizan por tener efecto en cantidades extremadamente pequeñas comparadas con la cantidad requerida de nutrientes cómo azúcares (Salisbury 1988).

Según Zapata (2013) es posible sintetizar gran cantidad de compuestos que al aplicarse a las plantas tienen los mismos efectos que las hormonas vegetales producidas naturalmente, aun cuando químicamente son sustancias diferentes, los cuales han recibido el nombre de reguladores de crecimiento. De esta forma las hormonas de crecimiento pueden considerarse reguladores de crecimiento pues intervienen en todos los sistemas de la planta pero los reguladores de crecimiento no pueden considerarse hormonas (Salisbury 1988). Se define entonces cómo reguladores de crecimiento aquellas sustancias que en pequeñas cantidades y siendo sintéticas cumplen con funciones como modificar, inhibir o acelerar los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas (Zapata 2013).

2.2.1. Auxinas

Son hormonas que tienen la función de estimular el crecimiento de las plantas, especialmente en el tallo e inhiben el desarrollo lateral de las ramas. Se presenta de mayor manera en la forma del Ácido Indolacético el cual normalmente se dice que proviene del triptófano, debido a que su estructura tiene gran parecido a éste (Saavedra 2008). Zapata (2013) menciona que la aplicación de esta hormona no sería recomendable para aumentar la producción de frutos en Rubiáceas, debido a que inhibe el crecimiento lateral que es donde se originan las flores y posteriormente, los frutos.

2.2.2. Citoquininas

La biosíntesis de esta hormona se encuentra asociada a regiones de la planta con alta actividad meristemática, especialmente en tejidos en crecimiento sobre todo de dominancia apical (Zapata, 2013). Las Citoquininas han sido consideradas estructuralmente como derivadas de adeninas o purinas, esto debido a su variación estructural. Estas son sintetizadas en todas las partes de la planta, encontrándose en mayor cantidad en las raíces de la planta. A nivel celular cuentan con las funciones de Control del ciclo celular, control de la diferenciación celular y con el control del desarrollo de los cloroplastos, además a un nivel más macro cuenta con funciones muy importantes como lo son el control de la dominancia apical, retraso de la senescencia foliar, expansión de los cotiledones, inmunidad vegetal además de desarrollar cierta tolerancia y defensa ante herbívoros (regulación de cafeoil, putrescina e inhibidores de tripsina) (Sakakibara 2006).

2.2.3. Giberelinas

En el caso de las giberelinas podemos encontrar su síntesis en cualquier parte de la planta, sin embargo, se encuentran en mayor cantidad en hojas jóvenes. Estas tienen un alta movilidad y viajan rápidamente en todas direcciones por medio de los haces vasculares (Zapata 2013). Las giberelinas son un grupo de diterpenoides que se definen más por su estructura que por su actividad biológica, contrario a lo que ocurre con las Auxinas y las Citoquininas (Santner 2009).

Las giberelinas actúan como reguladores esenciales del desarrollo de las plantas y están presentes en la totalidad de las etapas fenológicas de la planta, encontrándose desde el proceso de germinación hasta procesos de reproducción como la floración (Aguilar *et al.* 2010).

Según Figueroa (1959) además de los 4 tipos de Ácidos Giberélicos designados en Inglaterra como lo son: A₁, A₂, etc.; se han encontrado ahora varios derivados, los cuales pueden tener diferentes efectos en las plantas, se cuenta a su vez, con varias giberelinas de origen soviético, dos de las cuales han sido extraídas de

actinomicetos, y nombrados igualmente A₁ y A₂ mientras otros han sido obtenidos de una levadura y de un hongo, denominándolos D y G, respectivamente.

2.3. *Trichoderma harzianum*

Trichoderma harzianum es un hongo aerobio facultativo, que se encuentra de manera natural en diferentes suelos agrícolas y en otras condiciones, especialmente en aquellas que contienen materia orgánica o desechos vegetales en descomposición (Castro y Rivillas 2014).

El hongo *Trichoderma harzianum* cuenta con tres de los mecanismos principales los cuales puede utilizar para poder combatir a los patógenos que este puede atacar. Dentro de estos se encuentra el Micoparasitismo el cual es un mecanismo en donde el hongo entra en contacto con la hifa del hongo patógeno e inicia un crecimiento alrededor de la hifa y por acción enzimática comienza la degradación de la hifa del patógeno; posteriormente, ocurre penetración causando degradación celular, rompimiento hifal y destrucción total de la hifa del patógeno. Otro mecanismo es la Antibiosis en donde *Trichoderma harzianum* tiene la capacidad de producir compuestos orgánicos volátiles los cuales juegan un papel importante inhibiendo el crecimiento y desarrollo de microorganismos patógenos. El último de los mecanismos hace referencia a la competencia en donde el hongo tiene un rápido desarrollo lo que lo hace un fuerte competidor por espacio y nutrientes a la hora de colonizar espacios o sustratos teniendo este una capacidad superior de moverse siendo muy versátil (Castro y Rivillas 2014).

De igual manera y reforzado por lo que cita Tovar (2008) cuenta con otros mecanismos secundarios o de menor impacto pero de igual importancia como lo es ser promotor del desarrollo vegetativo, estimulador de los mecanismos de defensa de la planta, facilitador de la solubilización y absorción de nutrientes, además de ser biorremediador de suelos, efectos los cuales se buscan mostrar.

2.4. Elementos boro y zinc

El cultivo del café en relación a lo citado por Guerra (2006) requiere de 16 elementos nutritivos, llamados elementos esenciales, tres de ellos: el carbono, hidrógeno y oxígeno la planta los toma del aire y del agua, los 13 restantes los toma del suelo por medio del sistema radicular, también pueden ser absorbidos en forma foliar si le son aplicados correctamente.

El conocimiento de la función de cada uno de los nutrientes en la nutrición del café nos permite reconocer la importancia de mantener, ya sea en el suelo y/o a través del tejido foliar, niveles adecuados de estos, para contribuir a la obtención de buenas cosechas y de alta calidad de las mismas (Bornemisza 1992).

El zinc es uno de los elementos que cumple funciones importantes, Guerra (2006) menciona que favorece el crecimiento de los frutos y de las plantas, es responsable de la síntesis de Auxinas (hormonas del crecimiento), actúa en la absorción del fósforo. Este mismo autor cita que la disminución o aumento de la auxina regulada por el zinc, se manifiesta en una respuesta negativa o positiva en los puntos de crecimiento de los cafetos. Una característica de este elemento es que presenta una escasa movilidad.

Los síntomas más evidentes que produce la falta de zinc en las plantas de café es la formación de hojas con poca área foliar, de apariencia lanceolada (alargada), coloración verde pálido y textura áspera al tacto (cariácea). Es también característico el desarrollo de bandolas con entrenudos de poca elongación y el arrollamiento de algunas hojas que al doblarse sus bordes hacia arriba, forman una especie de cartucho. En hojas poco afectadas el tamaño es normal, no obstante, resalta la coloración verde de las nervaduras que forman un retículo sobre el fondo amarillento de la lámina foliar (Pérez 1967; Zamora 1998).

En cuanto al boro, Bornemisza (1992) menciona que este desempeña funciones fisiológicas asociadas con las relaciones hídricas, metabolismo del nitrógeno, acumulación de azúcares y formación de meta xilema en los ápices de la planta, además el boro está involucrado en el metabolismo de la auxina y en el crecimiento

de la raíces. Una de las funciones con mayor importancia es que interviene en la reproducción de las plantas y germinación del polen lo cual genera un mayor número de fruto y contribuye a mantener el calcio en forma soluble, dentro de la planta, además de que actúa como regulador de la relación potasio y calcio (Guerra 2006).

Según Mendoza (1998) el boro se encuentra en la solución del suelo principalmente como ácido bórico no disociado, de donde es absorbido por las plantas mayoritariamente en forma pasiva; ya establecido dentro de los tejidos vegetales el boro presenta poca movilidad, por lo que su carencia afecta principalmente los tejidos más jóvenes.

Los síntomas más característicos de la deficiencia de boro en el café se encuentran el desarrollo anormal de las hojas, las cuales en general son más pequeñas, con bordes irregulares, asimétricos, un tono opaco y textura coriácea. También es frecuente la formación de bandolas con entrenudos cortos y la muerte de los puntos de crecimiento, lo que estimula el desarrollo de yemas laterales en las bandolas, con la consiguiente formación de “palmilla” (Carvalho 1998; Valencia 1998).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Universo de estudio

El trabajo se realizó en la Finca Paraje de Bendición ubicada en la zona de San Pablo, Palmichal de Acosta a una altura promedio de 1475 msnm. En la misma se dedicó alrededor de una hectárea para la realización de las pruebas. Dicho lugar se caracteriza por tener un clima fresco y se encuentra ubicada en las zonas cafetaleras de altura, en el Cuadro 1 se muestran algunas de las características del lugar.

Cuadro 1. Ubicación y características climáticas de Palmichal de Acosta. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.

Palmichal de Acosta			
Coordenadas	 09°44'N,84°14'O	Altitud	
Cantón	Acosta 	Máxima	1.600 msnm
Provincia	San José 	Mínima	950 msnm
País	Costa Rica 	Media	1275 msnm
Clima	Región Montañosa	Bosque primario	Nuboso lluvioso

Fuente: (Elaboración propia, 2014).

El estudio se realizó en rebrotes de café de la variedad Catuaí, las plantas fueron sometidas al sistema de poda baja en el mes de enero anterior a la realización del presente trabajo, debido al manejo habitual que se realiza en la finca en cuanto a renovación se refiere, en donde, habitualmente en esta etapa del proceso no se le brinda ningún manejo a la planta en cuanto a aplicaciones de fertilizantes foliares y otros productos químicos como reguladores de crecimiento para mejorar su rendimiento, vigor y precocidad; a las plantas podadas se les aplicó dos fertilizaciones durante el período de medición y acorde a la época del año y manejo de cultivo. La primera fue realizada en el mes de octubre con una fórmula completa y la segunda a finales de diciembre con una fórmula nitrogenada. Debido a lo

anteriormente mencionado se buscó una respuesta satisfactoria en cuanto a los tratamientos planteados y realizados en dicho trabajo.

Durante el trabajo se realizó la medición y evaluación de variables como lo fueron el grosor de tallo, altura de tallo, longitud de bandola, número de entrenudos y cantidad de flores presentes en la bandola medida, se realizaron un total de cuatro mediciones durante el trabajo con tres aplicaciones de los tratamientos correspondientes.

Cuadro 2. Fechas de aplicaciones y mediciones de los tratamientos. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.

Medición	Fecha de Aplicación	Fecha de Evaluación
1		29/08/2016
2	02/10/2016	05/10/2016
3	07/11/2016	11/11/2016
4	13/12/2016	17/01/2017

El Catuaí es una variedad de porte bajo, sin embargo, un poco más alta que el Caturra del cual se deriva con cruzamiento artificial junto con el Mundo Novo en Brasil. Presenta características de que en edad adulta tienen una forma redondeada y sus hojas son brillantes, las ramas laterales forman un ángulo cerrado con el tallo principal, entre nudos cortos, entre otras. Una de las características más deseables con las que cuenta es que el fruto no se desprende fácilmente de la bandola en zonas donde el periodo de maduración y cosecha se ve afectado por lluvias (Guerra, 2006).

3.2. Descripción de tratamientos

El estudio contó con un total de seis tratamientos incluyendo el Testigo los cuales se identificaron según el Cuadro 3.

Cuadro 3. Identificación de los diferentes tratamientos a evaluar en rebrotes de café. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.

Tratamiento	Identificación
Testigo	T
<i>Trichoderma harzianum</i>	Trch
Boro y zinc	B - Zn
NutriPower®®	N.P
Reguladores de crecimiento	R.C
Ácido Giberélico	A.G

3.2.1. Tratamiento Testigo

El tratamiento Testigo hace referencia a los rebrotes de café sin algún tipo de trato especial o aplicación foliar de algún tipo que difiera del plan normal que se lleva en la finca donde se realizó el trabajo, en este caso solo se realizan las aplicaciones con fungicidas sistémicos para control de enfermedades.

3.2.2. Tratamiento *Trichoderma harzianum*

En el caso de este tratamiento se utilizaron cepas del hongo *Trichoderma harzianum* en concentración de 10^{-6} el cual se aplicó en el modo de aplicación estilo drench solamente con agua utilizando dosis de 34,65 ml por litro de agua para poder obtener concentraciones de 10^{-9} con un volumen por hectárea de 200 l. En este caso en particular es el único tratamiento que se realizó bajo la metodología drench.

3.2.3. Tratamiento boro y zinc

En el caso de este tratamiento existen productos los cuales tienen concentraciones altas de ambos elementos (8,5%). El producto que se utilizó fue el Foliveex® que está formulado a base de estos elementos, lo cual los hace factible su utilización. La dosis recomendada por el fabricante oscila entre los 0,5 Kg a 1,5

Kg en 200 l de agua, por lo cual la dosis que se utilizó en este tratamiento fue de 3,75 g por litro de agua, con un volumen por hectárea de 200 l.

3.2.4. Tratamiento NutriPower®

Este tratamiento cuenta con la característica de contar con el conjunto de los reguladores de crecimiento, Ácidos húmicos y fúlvicos además de micro elementos como lo muestra el Cuadro 4. La dosis recomendada oscila entre los 0,5 l a 1 l en 200 l de agua, por lo cual la dosis que se utilizó en este tratamiento fue de 3,89 ml por litro de agua, con un volumen por hectárea de 200 l.

Cuadro 4. Composición química del producto NutriPower®. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.

Formulación	Concentración
Nitrógeno Total	7,00%
Fósforo (P₂O₅)	7,00%
Potasio (K₂O)	7,00%
Magnesio (MgO)	0,036%
Boro (B)	0,0024%
Zinc (Zn) EDTA	0,0009%
Cobre (Cu)	0,0013%
Hierro (Fe) EDTA	0,05%
Manganeso (Mn) EDTA	0,018%
Molibdeno (Mo)	0,0003%
Ácido Húmico	3,76%
Citoquinina	90 ppm
Giberelina	40 ppm
Auxina	40 ppm
Colina	750 ppb
Tiamina	150 ppb
Niacina	90 ppb

Ácido pantoténico	12 ppb
Ácido fólico	1 ppb
Nicotanimida	2 ppb
Riboflavina	1,5 ppb
Ingredientes inertes	75,1311%
TOTAL	100,00%

Fuente: (ExcelAg 2013).

3.2.5. Tratamiento con reguladores de crecimiento

En este tratamiento se incorporó los tres principales reguladores de crecimiento, el Ácido Giberélico, la Auxinas y las Citoquininas, la dosis utilizada fue de 625 ml del producto Hormovit hortaliza® en 200 l de agua lo que corresponde a la dosis de 2,55 ml por litro de agua, con un volumen por hectárea de 200 l. La concentración del producto comercial se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Composición química del producto comercial Hormovit hortaliza® utilizado como fuente de fitohormonas. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.

FORMULACIÓN	%
Extractos de origen vegetal	80.00
Citocininas 1600 ppm	
Giberelinas 1000 ppm	
Auxinas 200 ppm	
Compensadores (2000 ppm)	0.20
Glutámico, Pantoténico, Niacina, Tiamina y Vitaminas.	
Acondicionadores orgánicos	19.80
Total	100.00

Fuente: (Quimia 2016).

3.2.6. Tratamiento a base de Ácido Giberélico

En este tratamiento solo se trabajó específicamente con las giberelinas o Ácido Giberélico, en donde se utilizó la dosis de 200 ml del producto GIBGRO® 10% SP en 200 l de agua lo que resulta en la dosis de 1 ml por litro de agua, con un volumen por hectárea de 200 litros (Nufarm 2011).

3.3. Variables de respuesta

Las variables que se evaluaron en este trabajo se clasificaron en aspectos de desarrollo vegetativo y caracteres reproductivos, en las cuales principalmente se evaluó el efecto de los tratamientos en cuanto a las variables continuas como lo fueron: grosor del tallo del rebrote la cual se midió con un vernier electrónico y su ganancia en milímetros, altura del tallo del rebrote, longitud de la bandola las cuales se midieron con la ayuda de una cinta métrica y otras variables discretas como lo fueron: número de entre nudos y número de flores (si se presentaban en el tiempo establecido de la toma de datos en campo del trabajo), para cuantificar estas dos últimas variables se realizaron mediante el conteo manual de las estructuras en las respectivas bandolas de evaluación. Para cumplir con esto se utilizó un equipo básico de medición como lo fue un calibrador vernier electrónico, una cinta métrica, una regla mayor a 30 cm, además de las hojas correspondientes a la captura de datos de campo.

3.4. Diseño experimental y de arreglo de tratamientos

El diseño experimental que más se adecuó para la realización del proyecto y por ende se utilizó, fue el de Bloques Completos al Azar en donde el factor bloque en general del área experimental estuvo determinada por la pendiente del terreno y en donde los tratamientos determinaron el efecto en el desarrollo de las características anteriormente descritas.

Modelo estadístico correspondiente

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + T_j + M_k + \epsilon_{ijk}$$

En donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta.

μ = Media general.

B_i = Efecto del i-ésimo bloque, determinado por la pendiente del terreno.

T_j = Efecto del j-ésimo tratamiento en el desarrollo de características.

M_k = Efecto del k-ésimo fecha de medición

E_{ijk} = Error experimental

3.5. Descripción de unidad experimental y área experimental

La unidad experimental con que se trabajó estuvo diseñada de microparcels las cuales están conformadas por cuatro hileras o calles de veinte plantas cada una de ellas. El área correspondiente a cada unidad varió en algunos casos debido a las pendientes existentes en los terrenos utilizados para este cultivo. A continuación, se presenta el esquema de la conformación del área experimental así como de la unidad experimental.

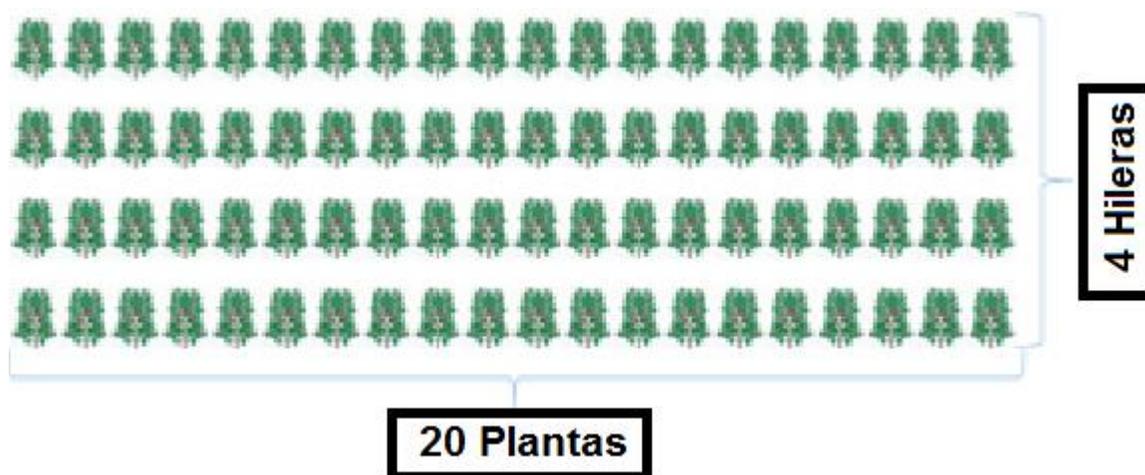


Figura 1. Conformación unidad experimental para la evaluación de los rebrotes de café. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.

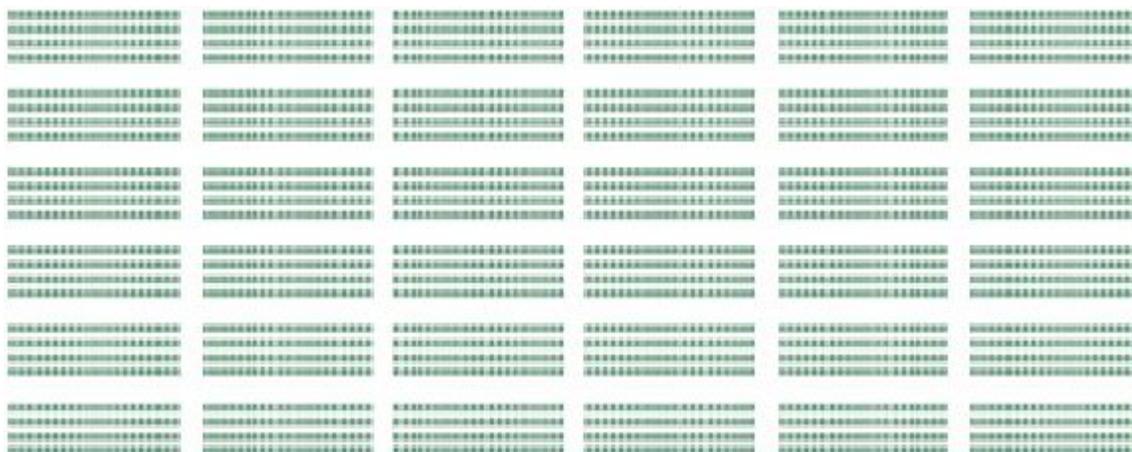


Figura 2. Conformación área experimental para la evaluación de los rebrotes de café. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.

3.6. Número de repeticiones y grados de libertad del error

El trabajo, como se mencionó anteriormente contó con seis tratamientos, los cuales a su vez contaron con seis repeticiones cada uno, lo que al final obtuvo como resultado un total de treinta y seis unidades experimentales.

Cuadro 6. Grados de libertad presentes en el diseño experimental durante la evaluación de los rebrotes de café. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.

Fuentes de Variación (F.V)	Grados de Libertad (G.L)
Tratamientos	$6-1 = 5$
Bloques	$6-1 = 5$
Error	$5*5 = 25$
Total	$6*6-1 = 35$

3.7. Croquis o especificación de diseño de tratamientos

El área experimental estuvo ubicada dentro de un mismo lote, por lo cual no existieron factores de división de caminos u otras separaciones que pudieran afectar

o interactuar en los tratamientos, cabe destacar que los tratamientos contaron con un subíndice el cual hizo referencia al bloque en el cual se encontró ubicado. La aleatorización de los tratamientos se realizó mediante una tabla de inserción de datos aleatorios, en donde se estableció el ordenamiento según el Cuadro 7.

Cuadro 7. Distribución aleatoria de los tratamientos en el área experimental. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.

Bloque 1	N.P₁	R.C₁	T₁	A.G₁	B-Zn₁	TrCh₁
Bloque 2	TrCh₂	B-Zn₂	AG₂	T₂	R.C₂	N.P₂
Bloque 3	R.C₃	TrCh₃	N.P₃	A.G₃	B-Zn₃	T₃
Bloque 4	A.G₄	N.P₄	B-Zn₄	TrCh₄	T₄	R.C₄
Bloque 5	T₅	TrCh₅	R.C₅	N.P₅	A.G₅	B-Zn₅
Bloque 6	B-Zn₆	T₆	A.G₆	R.C₆	N.P₆	TrCh₆

3.8. Plan de análisis exploratorio y pruebas de supuestos

Se comprobaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad para las variables fisiológicas, mediante la Prueba Shapiro-Wilks y la Prueba F de igualdad de varianzas.

Se compararon los tratamientos por medio de la técnica de Modelos Lineales Mixtos Generalizados (MLMG) y la Prueba de Comparación Múltiple de Bonferroni, con un nivel de significancia de 0,05.

Los análisis se realizaron usando por medio del paquete estadístico InfoStat/P (DiRienzo *et al.* 2013).

3.9. Identificación de unidades experimentales

La identificación de cada unidad experimental se llevó a cabo por medio de la rotulación de cada una de ellas con el tratamiento respectivo, los rótulos fueron de material plástico específicamente diseñados para este fin, la rotulación se cubrió

con un plástico adhesivo para evitar que las inclemencias del clima u otras causas borren la misma, además se contaba con el croquis el cual podía servir de guía o referencia por algún inconveniente.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La respuesta normal del crecimiento de las rebrotes de café, en especial enfocados en su parte aérea, se produce a partir de las células meristemáticas ubicadas en diferentes partes de la planta, las mismas las podemos encontrar en el ápice del tallo, ápice de las ramas (yemas apicales) y en las yemas laterales, además en las yemas axilares y yemas seriadas.

Una vez lograda la estimulación de estas yemas en el rebrote del café se da la formación del hijo el cuál en el futuro será el tallo principal, el ápice de este nuevo tallo es el responsable de la formación de nudos, hojas y del crecimiento en altura de la planta, este tipo de crecimiento se reconoce como crecimiento ortotrópico. En el ápice de las ramas ocurre la formación de nudos, hojas y la expansión lateral de la planta el cuál es llamado crecimiento plagiotrópico (Arcila 2006).

Es vital entender lo anteriormente mencionado ya que contribuye a tener una base más amplia con respecto a las variables medidas y evaluadas durante el trabajo de campo, ya que éste es el origen de las mismas y su formación está dada muy estrechamente por el proceso de diferenciación de las células meristemáticas que a la postre servirán como base para la evolución y mejora del sistema productivo como tal.

4.1. Efecto de los tratamientos evaluados

Los resultados se obtuvieron en respuesta al efecto de los tratamientos boro más zinc, *Trichoderma harzianum*, NutriPower®, Ácido Giberélico, reguladores de crecimiento y el Testigo, los cuáles están determinados por cada observación realizada durante el proceso, cada una de estas mediciones se realizó en un lapso de tiempo entre sí de un mes y quince días, pudiendo extenderse hasta una semana más por cuestión de condiciones climáticas las cuales impidieron la medición en el día asignado. En cada tratamiento se contó con las cinco variables medidas, sin embargo, se analizó cada una por separado para tener un mejor análisis y

comprensión. En el Cuadro 8 se presentan los datos obtenidos en cada variable en forma resumida y en su forma individual.

Cuadro 8. Resultados de cada variable durante la primera medición base y la última medición. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2016.

Tratamiento	Variables									
	Grosor de Tallo (mm)		Altura de Tallo (cm)		Longitud de Bandola (cm)		Número de entrenudos		Número de Flores	
	Agosto 2016	Diciembre 2016	Agosto 2016	Diciembre 2016	Agosto 2016	Diciembre 2016	Agosto 2016	Diciembre 2016	Agosto 2016	Diciembre 2016
B-Zn	9,62	21,46	25,93	64,57	14,78	38,20	4,20	11,55	0,00	27,75
R.C	8,88	15,05	24,57	46,51	12,73	25,89	3,03	7,78	0,00	13,23
TrCh	9,03	15,93	29,12	49,64	15,19	27,78	3,66	7,98	0,00	14,60
A.G	9,08	16,93	28,33	53,35	15,21	31,54	3,47	10,44	0,00	19,68
T	8,38	15,96	25,97	49,41	14,30	28,60	3,22	8,36	0,00	18,64
N.P	9,01	16,28	27,77	49,20	15,13	28,48	3,51	8,42	0,00	15,64

4.1.1. Grosor de tallo:

La variable de grosor de tallo hace referencia a la ganancia que se obtuvo en el rebrote en cuanto a su diámetro, esto tiene importancia ya que entre mayor sea el grosor el rebrote será más fuerte, con un mayor anclaje y una mayor superficie de cicatrización mostrando un mejor vigor.

En esta variable se encontraron diferencias significativas en donde el nivel de significancia fue menor a 0,05; $p=(p<0,0001)$ en cuanto a su interacción tratamiento/medición.

Los datos obtenidos a través del tiempo en las diferentes mediciones muestran un comportamiento diferenciado en relación a las diferentes aplicaciones, en donde se pueden observar las respuestas positivas conforme aumentan las mismas. En la Figura 3 se observa el comportamiento en respuesta a cada observación por tratamiento.

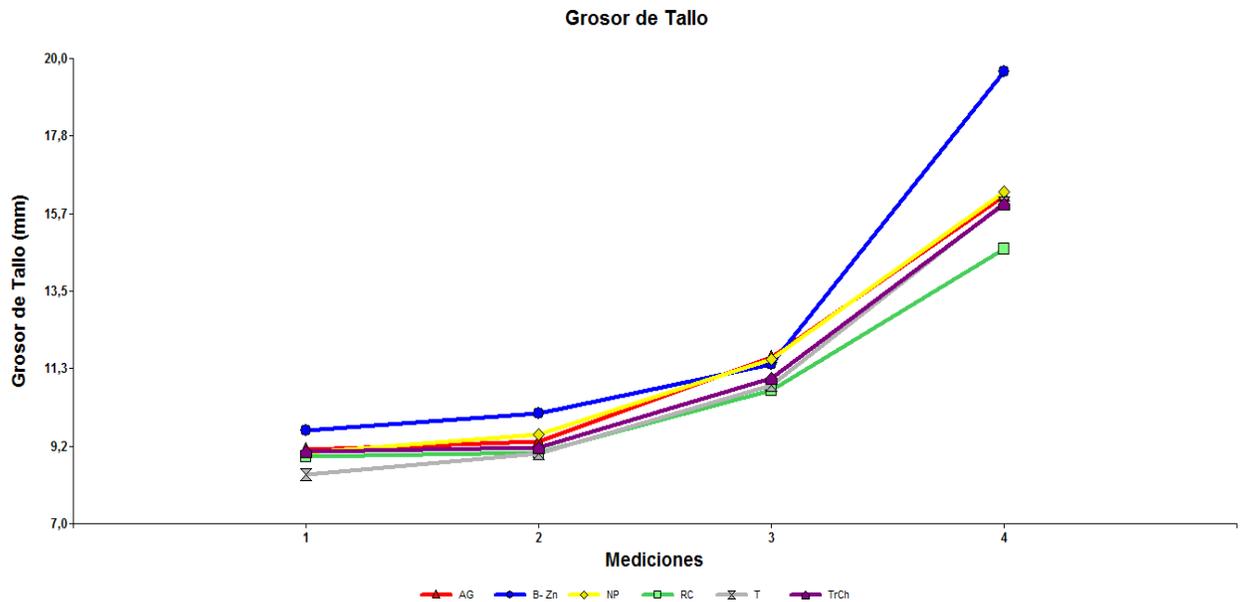


Figura 3. Grosor de tallo en respuesta a los diferentes tratamientos durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

En la Figura 3 se observa la tendencia del desarrollo de los rebrotes en respuesta a la aplicación de los diferentes tratamientos, en donde se muestra un mayor efecto después de la segunda aplicación y medición, mucho más marcado después de la tercera, en donde el tratamiento que obtuvo una mejor respuesta al final fue el de boro más zinc mostrando diferencias significativas respecto a los demás tratamientos. Esto conlleva a tener un dato claro que de acuerdo a la forma en que se realizó el estudio, al llevarlo a la parte práctica y productiva, los productores deberán de realizar varias aplicaciones de estos elementos para así lograr una respuesta más notable y satisfactoria.

Posterior a las cuatro mediciones realizadas se tomaron los datos acumulados de la respuesta de cada variable a los diferentes tratamientos, en donde específicamente para la variable de grosor de tallo se obtuvieron los resultados que se muestran en la Figura 4.

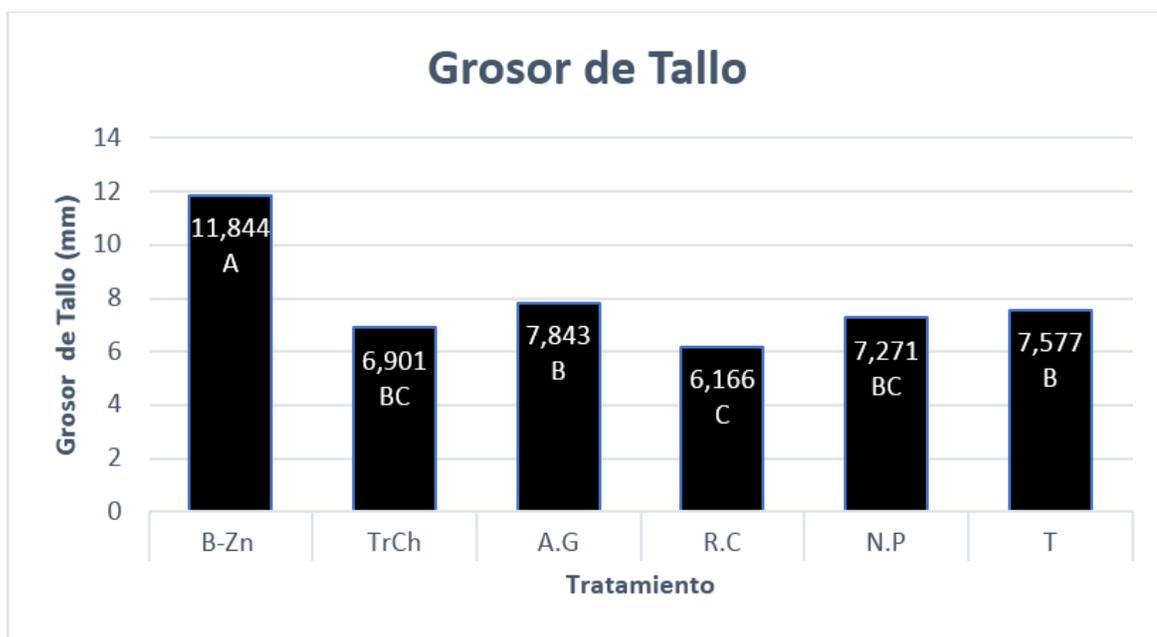


Figura 4. Efecto acumulado de los tratamientos sobre el grosor de tallo durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

Con base en los resultados obtenidos se puede observar (Figura 4) que el tratamiento con el cual se obtuvo una mejor respuesta fue el correspondiente al de boro más zinc (B-Zn), como también se muestra en la Figura 3. Esta respuesta se sustenta en que el boro actúa como un activador natural de reguladores del crecimiento e interviene en la absorción de nitratos, este elemento también está asociado con el metabolismo de los carbohidratos, facilita el movimiento de los azúcares e interviene en el proceso de división celular (Mora 2008); lo cual fundamenta por qué se obtuvo un mejor desarrollo en cuanto a grosor de los rebrotes, además el zinc que regula la síntesis de Auxinas las cuales pueden manifestar una respuesta tanto negativa o positiva en los puntos de crecimiento del café (Guerra 2006), este resultado coincide con la recomendación del ICAFE en donde se enfatiza en la aplicación foliar de estos dos elementos principalmente para la región de Los Santos. Respecto a los demás tratamientos a pesar de que existen pocas diferencias con el Testigo, existen algunas pequeñas diferencias no tan marcadas como el caso del tratamiento de Ácido Giberélico (A.G) que a pesar de no tener una gran diferencia respecto a los otros tratamientos si muestra un valor mayor, lo cual es una característica deseada en cualquier decisión que se tome

respecto a mejorar las características de los cultivos, la respuesta a este tratamiento en específico se relaciona con los pocos trabajos realizados por distintos autores, como lo menciona Carvajal (1958), en donde el diámetro del tallo mostró diferencias significativas favorables mediante el uso de Ácido Giberélico; otros autores como Stowe & Yamaki (1959), mencionan que en sus trabajos experimentales encontraron tanto un aumento en la división celular como un alargamiento de las mismas mediante el uso de diferentes concentraciones de Ácido Giberélico, por lo cual esta respuesta que se obtuvo es algo dentro de lo que se podía esperar normal.

La singular reacción en respuesta al tratamiento correspondiente a reguladores de crecimiento (R.C) tiene que ver mucho en la época de aplicación, condiciones climáticas, estado de la planta y muchos otros factores los cuales pudieran afectar tanto positiva como negativamente el efecto de este tratamiento, sumado a lo anterior un descontrol del ciclo normal de la planta al aplicarle diferentes concentraciones de reguladores de crecimiento pudo provocar ese estancamiento de las variables a medir, algunos autores coinciden en que la utilización de las diferentes fitohormonas y sus concentraciones no siempre tienen un efecto positivo, autores como Oyebade (1975) y Valencia (1982), mencionan que la aplicación de reguladores del crecimiento como Auxinas y Citoquininas han mostrado insignificantes efectos sobre el incremento del crecimiento vegetativo de plantas de café.

4.1.2. Altura de tallo:

La altura de tallo hace referencia a la ganancia en cuanto a la elongación de los rebrotes en evaluación, crecimiento el cual se conoce como ortotrópico. En esta variable se encontraron diferencias significativas en donde el nivel de significancia fue menor a 0,05; $p=(p<0,0001)$ en cuanto a su interacción tratamiento/medición.

Respecto a los datos obtenidos para la variable de altura de tallo se obtuvieron resultados con un comportamiento similar a la variable anterior, sin embargo, se pueden rescatar elementos muy importantes, en la Figura 5 se muestran los datos

obtenidos para cada tratamiento en evaluación en cada una de las mediciones y su comportamiento a través del tiempo.

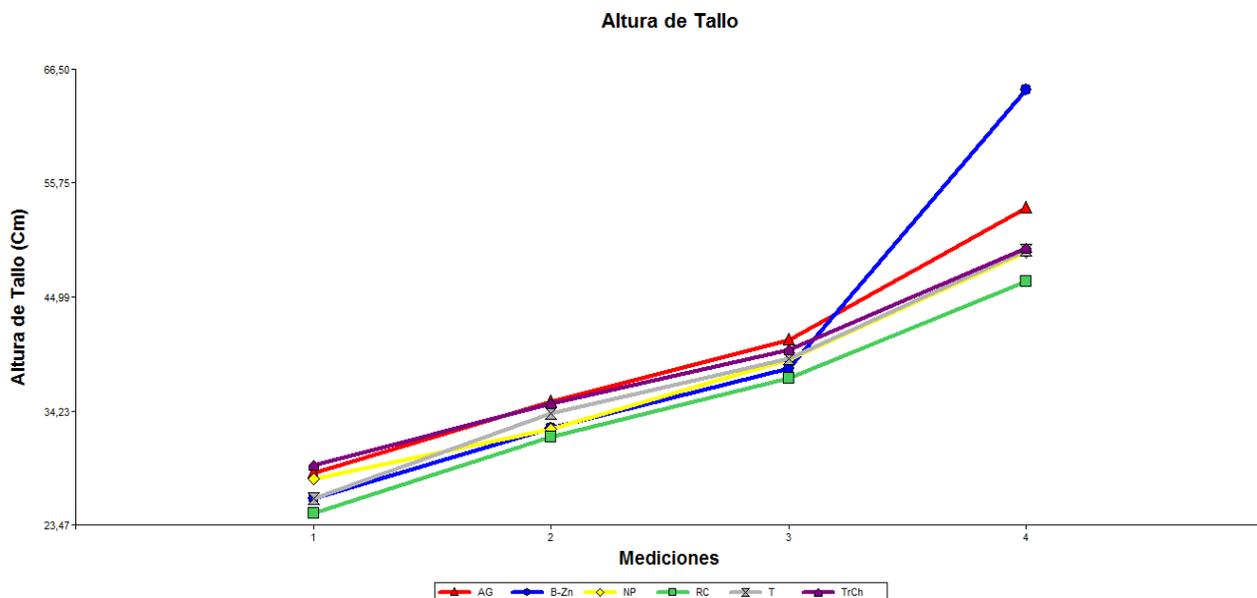


Figura 5. Altura de tallo en respuesta a los diferentes tratamientos durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

Con relación a lo que muestra la Figura 5, se puede observar que los diferentes tratamientos presentan un comportamiento bastante similar en las diferentes mediciones; cabe resaltar, que en el momento de realizar la primera medición base existe una mayor diferencia entre los datos de las diferentes parcelas asignadas, notándose claramente que se lograron asimilar un poco más en la segunda medición después de la aplicación de los tratamientos y así siendo consecuente en la tercera. Caso distinto ocurrió en la cuarta medición posterior a las tres aplicaciones en donde se observó claramente un despunte bastante significativo en todos los tratamientos, siendo el más relevante el tratamiento del boro más zinc (B-Zn), seguido del Ácido Giberélico (A.G), pudiéndose observar en un segundo plano que los demás tratamientos tiene valores muy parecidos al Testigo.

Un aspecto a resaltar de la respuesta de la variable de altura de tallo a este tratamiento (B-Zn) fue que desde el inicio de la toma de datos base siempre obtuvo

promedios más bajos que los demás, siendo este despunte al final de las mediciones mucho más significativo.

La respuesta acumulada a lo largo del trabajo de la variable de altura de tallo se presenta en la Figura 6 para una mejor comprensión del efecto de cada tratamiento.

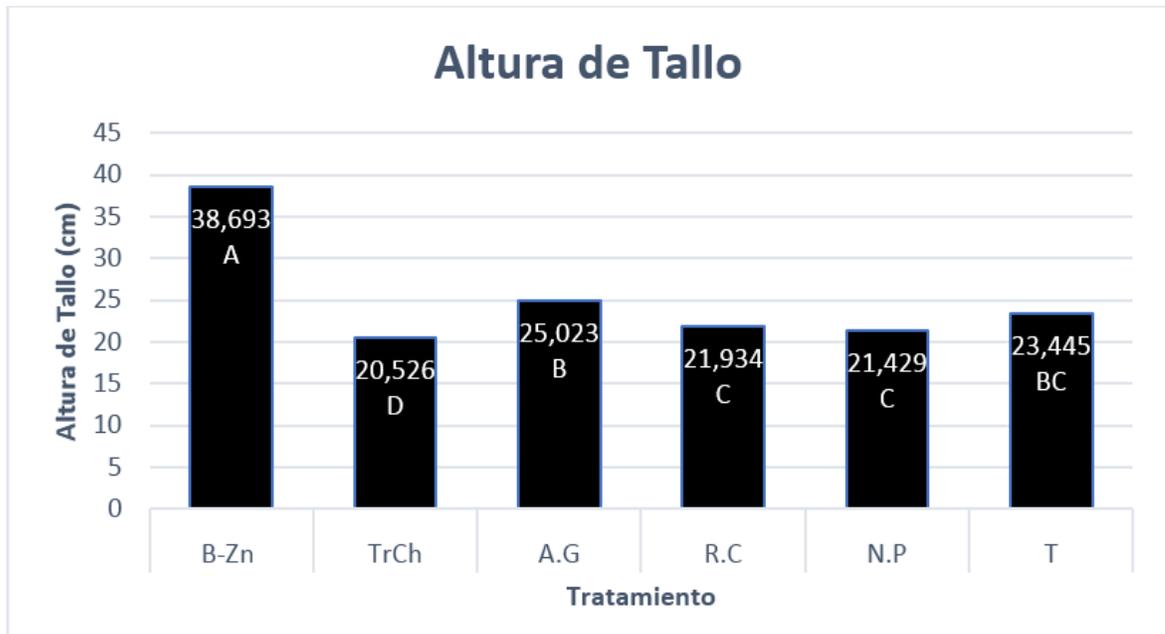


Figura 6. Efecto acumulado de los tratamientos sobre la altura de tallo durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

La Figura 6 muestra el valor acumulado desde el inicio del trabajo hasta el final, esto corresponde a la diferencia entre la última medición y la primera medición base realizada, lo cual indica el efecto acumulado en promedio de la totalidad de las parcelas asignadas a los diferentes tratamientos. Lo anterior contribuye a comprender de una mejor manera como el comportamiento en esta Figura (6) es muy similar a la Figura 5 en donde la única diferencia encontrada es que los tratamientos NutriPower® y *Trichoderma harzianum* obtuvieron una muy leve diferencia por debajo del tratamiento de reguladores de crecimiento a pesar que en la Figura 5 se nota que cuenta con valor inferior a estos tratamientos, lo cual se debe a que posterior a la tercera aplicación existió un mayor crecimiento por parte del tejido evaluado.

Respecto a la variable de altura de tallo en específico el tratamiento B-Zn superó significativamente a los demás tratamientos y al Testigo; donde estos últimos presentan valores en altura de tallo similares estadísticamente.

Lo anterior se puede deber a que tanto los elementos como el boro y el zinc actúan en las plantas de manera que promueven un mayor desarrollo, en relación al estímulo que realizan estos elementos en la planta Mora (2008), menciona que para comprender de una mejor manera esta respuesta se debe de conocer a fondo las funciones de los elementos y como en diferentes concentraciones pueden actuar como reguladores del crecimiento, además que dentro del metabolismo de la planta promueve que esta mejore la absorción y aprovechamiento de los nitratos, intervienen en funciones de tipo orgánico y participan en la formación de la clorofila, actuando como catalizadores.

4.1.3. Longitud de bandola

La longitud de bandola hace referencia a la ganancia en unidad de longitud de forma lateral u horizontal de las bandolas en los rebrotes en evaluación, crecimiento que se conoce como plagiotrópico. En esta variable se encontraron diferencias significativas en donde el nivel de significancia fue menor a 0,05; $p=(p<0,0001)$ en cuanto a su interacción tratamiento/medición.

Para la variable longitud de bandola se puede observar un comportamiento bastante similar en cuanto a la respuesta con los diferentes tratamientos respecto a anteriores variables, los resultados obtenidos se muestran en la Figura 7:

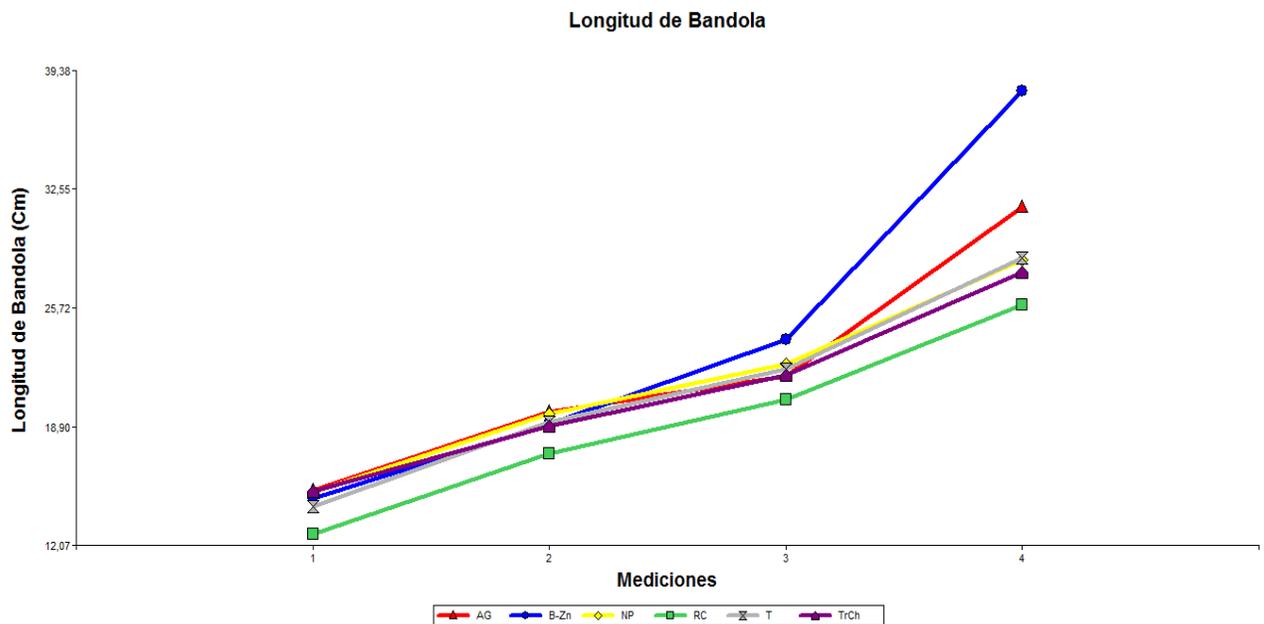


Figura 7. Longitud de bandola en respuesta a los diferentes tratamientos durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

La Figura 7 muestra un comportamiento ascendente en todos los tratamientos y el Testigo, producto en gran medida al crecimiento normal por edad de la bandola; sin embargo, entre la tercera y cuarta medición la pendiente de las curvas son más pronunciadas, especialmente las de los tratamientos AG y B-Zn. Esto es un indicativo que las aplicaciones de estos dos tratamientos tiene mayor efecto conforme aumente el número de tres o más aplicaciones. Además se observa que los otros tratamientos no cuentan con diferencias significativas respecto al Testigo teniendo un comportamiento muy similar en todas las mediciones en las cuales no tienen una diferencia en cuanto a valores de respuesta. El tratamiento correspondiente a reguladores de crecimiento fue el que presentó valores mucho más bajos desde el inicio de las pruebas.

La respuesta acumulada a lo largo del trabajo de la variable de longitud de bandola presenta un comportamiento bastante similar, excepto el tratamiento de B-Zn respecto a los demás, como se observa en la Figura 8.

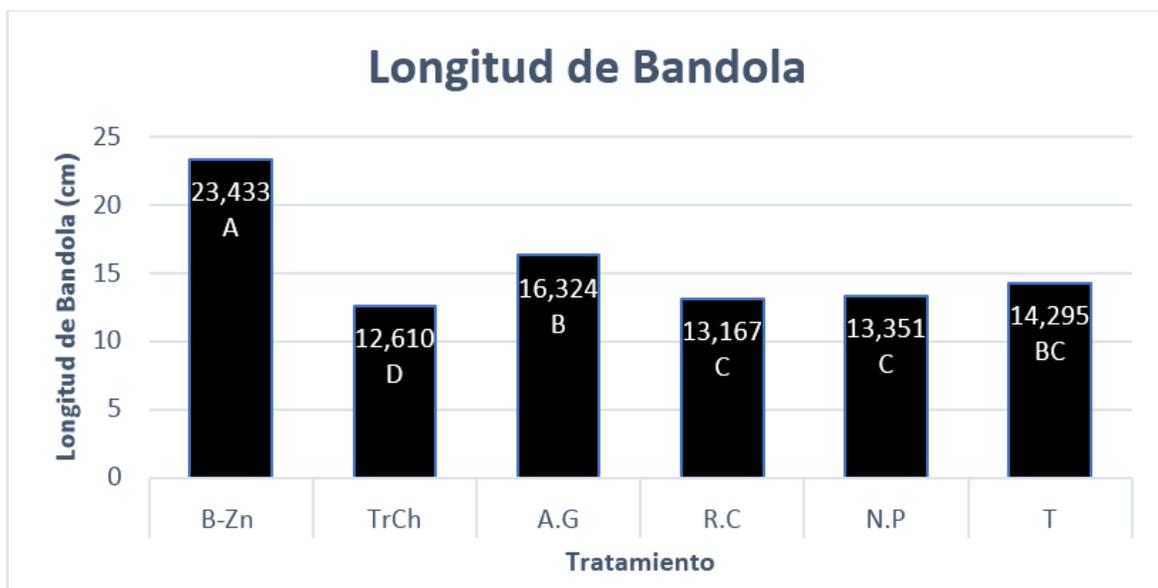


Figura 8. Efecto acumulado de los tratamientos sobre la longitud de la bandola durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

Como resultado del análisis del efecto acumulado se puede observar como los tratamientos de boro más zinc y Ácido Giberélico, son los predominantes siguiendo la tendencia de las demás variables evaluadas.

En esta variable la medición acumulada de los diferentes tratamientos muestra diferencias a rescatar, lo anterior se puede notar en donde la Figura 7 indica como todos los tratamientos tienen un diferencia marcada en la cuarta medición con respecto al tratamiento de reguladores de crecimiento, sin embargo, observando la Figura 8 del efecto acumulado se puede notar como esa brecha se disminuye considerablemente y a la vez sobrepasa al tratamiento de *Trichoderma harzianum*, obteniendo así un mejor resultado al momento de comparar estos dos tratamientos para esta variable.

Un aspecto importante a tomar en cuenta es que a pesar de que no existan diferencias significativas entre los tratamientos y el Testigo en esta variable, excepto en el tratamiento boro más zinc, la diferencia que hubo con este tratamiento permite tomar de referencia una diferencia de 9,14 cm por bandola entre los tratamientos de B-Zn y T en un tiempo definido, sumado a que en la primera cosecha significativa

después de la poda cada eje puede contar con un aproximado de 90 bandolas y tomando en cuenta que es un cultivo perenne, esta diferencia va a representar en 32 904 metros de más tejido productivo por hectárea, en donde se podrán encontrar mayor cantidad de hojas, entrenudos, flores, etc, lo cual a un futuro se podrá traducir en un mayor rendimiento y productividad.

4.1.4. Número de entrenudos

La variable número de entrenudos hace referencia a la ganancia en cuanto a cantidad de entrenudos que se encuentran en las bandolas de los rebrotes en medición. En esta variable se encontraron diferencias significativas en donde el nivel de significancia fue menor a 0,05; $p=(p<0,0001)$ en cuanto a su interacción tratamiento/medición.

El número de entrenudos tiene una importancia relevante debido a que en ellos es donde se originan los brotes florales, por tal motivo un mayor número de estos podría presentar una mayor cantidad de frutos al final de la cosecha (ICAFE 2011) siempre teniendo en cuenta un adecuado manejo. La tendencia de esta variable a partir de cada aplicación se muestra en las mediciones representadas en la Figura 9.

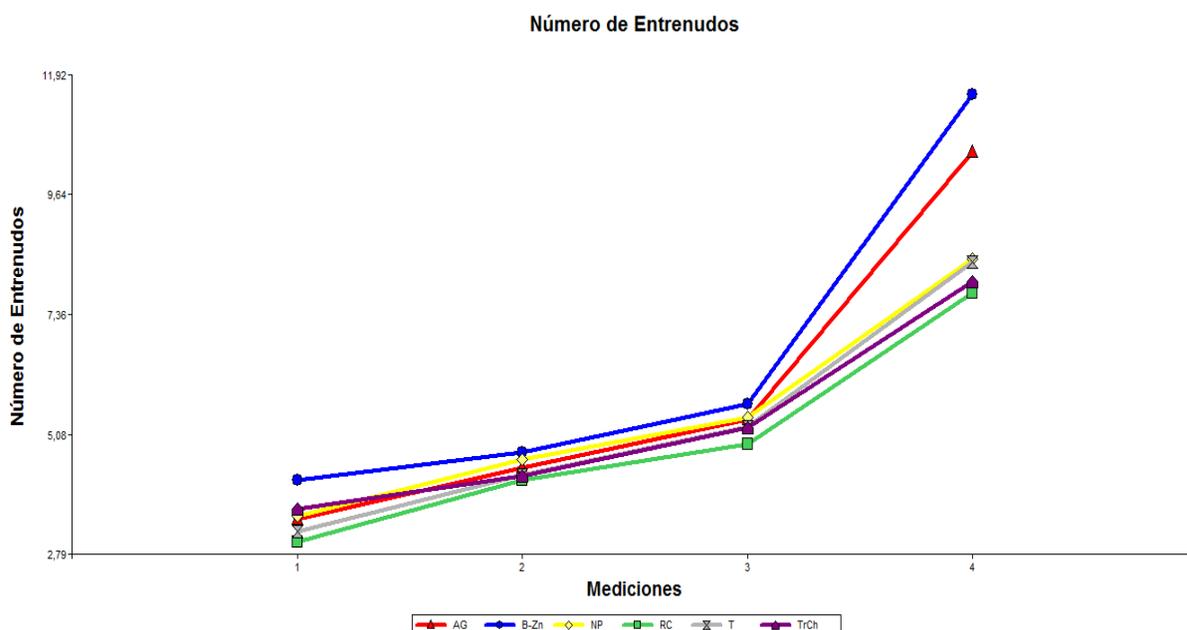


Figura 9. Número de entrenudos en respuesta a los diferentes tratamientos durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

En relación a esta variable se puede observar el comportamiento natural de aumento en número de entrenudos en los rebrotes de las bandolas en evaluación a través del tiempo en cada medición. Sin embargo, a partir de la tercera medición, fecha en la cual ya se habían acumulado las tres aplicaciones, los tratamientos A.G y B-Zn aumentaron significativamente respecto a los demás. Este aumento de la respuesta en desarrollo a partir de la tercera aplicación en todos los tratamientos, es posible que sea un indicativo que en la práctica se deberían hacer al menos tres aplicaciones para alcanzar los beneficios esperados.

La respuesta acumulada a lo largo del trabajo del número de entrenudos se presenta en la Figura 10 para una mejor comprensión del efecto de cada tratamiento.

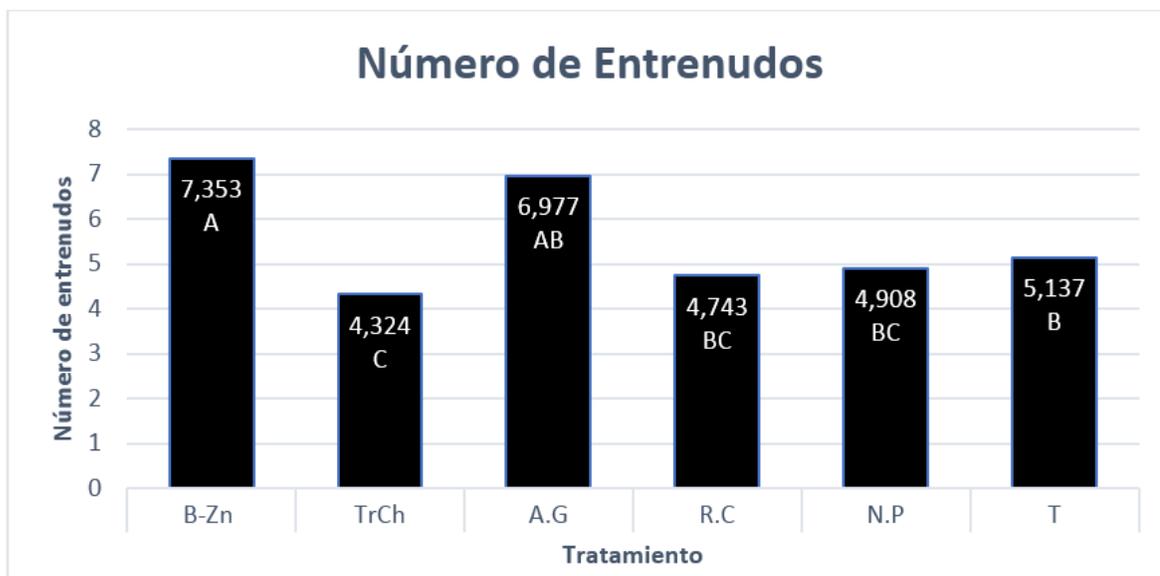


Figura 10. Efecto acumulado de los tratamientos sobre el número de entrenudos durante las cuatro mediciones. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

Con base a los resultados obtenidos a lo largo de las mediciones, las respuestas acumuladas muestran un comportamiento similar a las demás variables, cabe destacar que esta variable está relacionada a la longitud de la bandola, sin embargo, no es determinante. Lo anterior debido a que una bandola sin la acción de algún producto tiene la tendencia que entre más larga sea podrá tener un mayor número de entrenudos, pero, al aplicar alguna sustancia sobre todo si se trata de reguladores de crecimiento se puede obtener una bandola más larga pero no necesariamente un mayor número de entrenudos, ya que lo que se puede elongar es el espacio entre cada uno, característica que no es deseada en la producción de un cultivo como el café.

Un aspecto determinante que cabe resaltar es que existen diferentes condiciones tanto climáticas como fitosanitarias que pueden llegar a afectar o alterar el comportamiento esperado cuando se utilizan diferentes sustancias, Cannell (1985); Moens (1968), comparten el criterio que la cantidad de nudos y hojas formadas en café dependen en alto grado de la oferta ambiental (agua, energía y minerales) y que a su vez, son determinantes de la cantidad de la cosecha.

La Figura 10 muestra el orden de los tratamientos con mejor respuesta en cuanto al número de entrenudos, donde el tratamiento boro más zinc (B-Zn) produjo diferencias significativas ($p\text{-valor}<0,0001$) respecto a los demás tratamientos, excepto con el A.G, a pesar que este estadísticamente comparte características con los demás tratamientos incluyendo el Testigo, pero, siendo mayor al tratamiento TrCh.

4.1.5. Número de flores

La variable de número de flores hace referencia a la ganancia en cuanto a cantidad de flores que se encuentran en los entrenudos de las bandolas en los rebrotes. En esta variable se encontraron diferencias significativas con un nivel de significancia menor a 0,05; $p=(p<0,0001)$ entre los distintos tratamientos.

Estas diferencias se manifiestan entre el tratamiento B-Zn respecto a los demás tratamientos, tal y como lo muestra la Figura 11 y de manera más representativa en la Figura 13, los resultados obtenidos fueron:

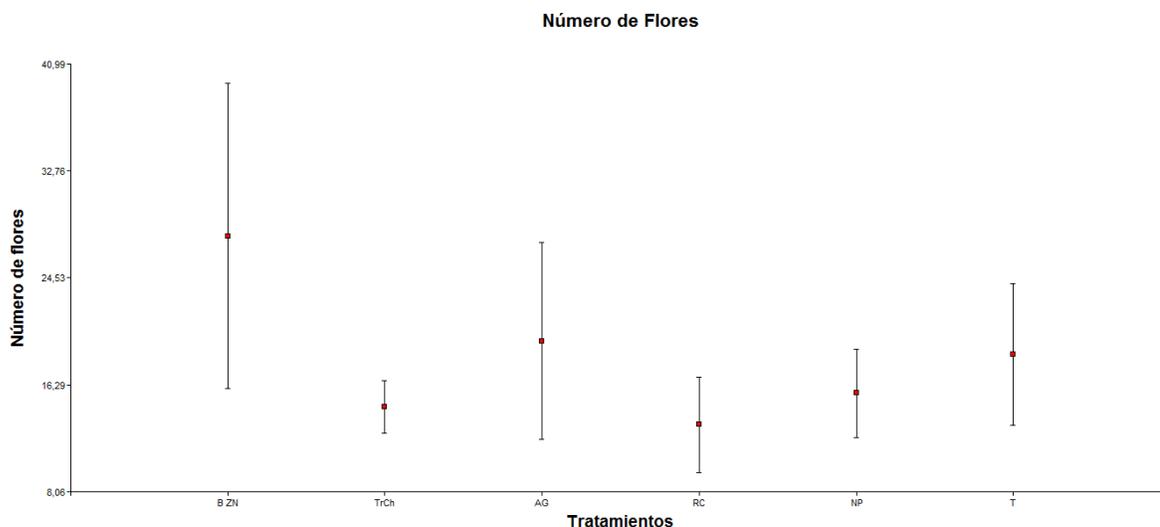


Figura 11. Rango de datos respecto a la cantidad de flores en respuesta a los tratamientos. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

En la Figura 11 se observa como en respuesta al tratamiento de B-Zn fue donde se obtuvo una mayor cantidad de brotes florales lo que podría repercutir en un aumento del número de frutos y un posterior rendimiento en cosecha (Ramírez *et*

al. 2011). El tratamiento que obtuvo un menor número de brotes florales fue el correspondiente a R.C, los demás tratamientos se encuentran entre el rango de valores que fluctúan entre estos dos tratamientos anteriormente mencionados.

Existen valores los cuales hacen que los promedios suban o bajen de una manera más significativa o bien que se salen del promedio normal con que se está trabajando, estos son llamados Outliers o bien valores atípicos y en la Figura 12 podemos observar cómo se dieron en algunos de los tratamientos.

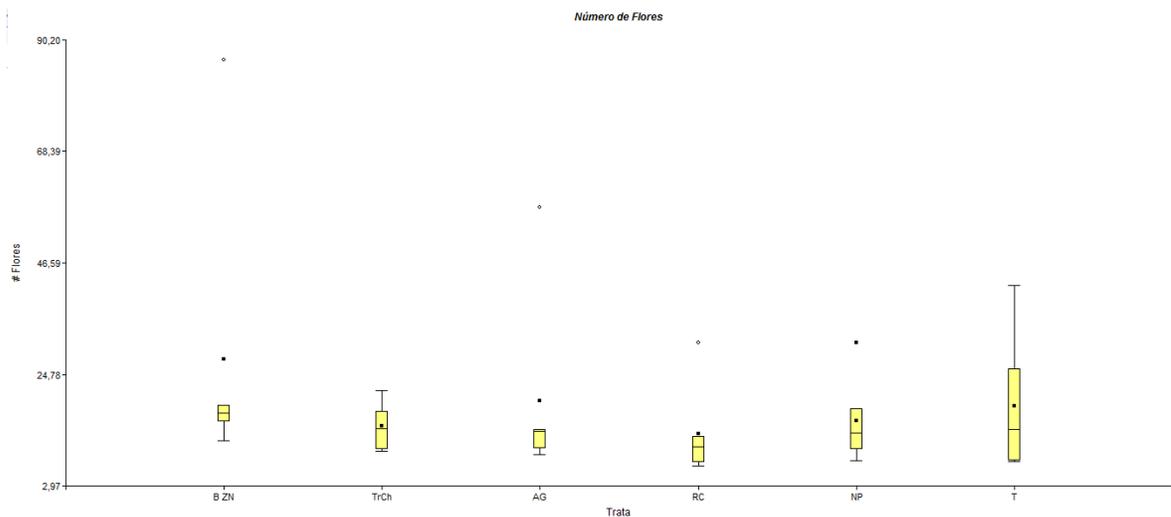


Figura 12. Valores atípicos u “Outliers” encontrados en diferentes tratamientos. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

La Figura 12 muestra como en los tratamientos B-Zn, A.G y R.C se pueden encontrar de estos valores llamados outliers los cuales permiten identificar cómo se salen totalmente de los valores promedios normales de cada tratamiento que se han recolectado y hace que el rango entre valores sea mucho más grande, pudiendo así por interpretación generar un información la cual no siempre será adecuada y/o estadísticamente viable.

En cuanto a la variable de número de flores se puede observar cómo se mantiene una respuesta similar en relación a las demás variables medidas, hay que tener en cuenta que esta es una de las variables que tienen una mayor correlación con el largo de la bandola y número de entrenudos, ya que al existir bandolas con

mayor longitud, sumado a un mayor número de entrenudos, el número de flores es posible que se traduzca en una mayor cantidad, aunque esto no sea siempre exacto. En la Figura 13 se muestra el comportamiento de la respuesta de esta variable al final de las mediciones respecto a los tratamientos.

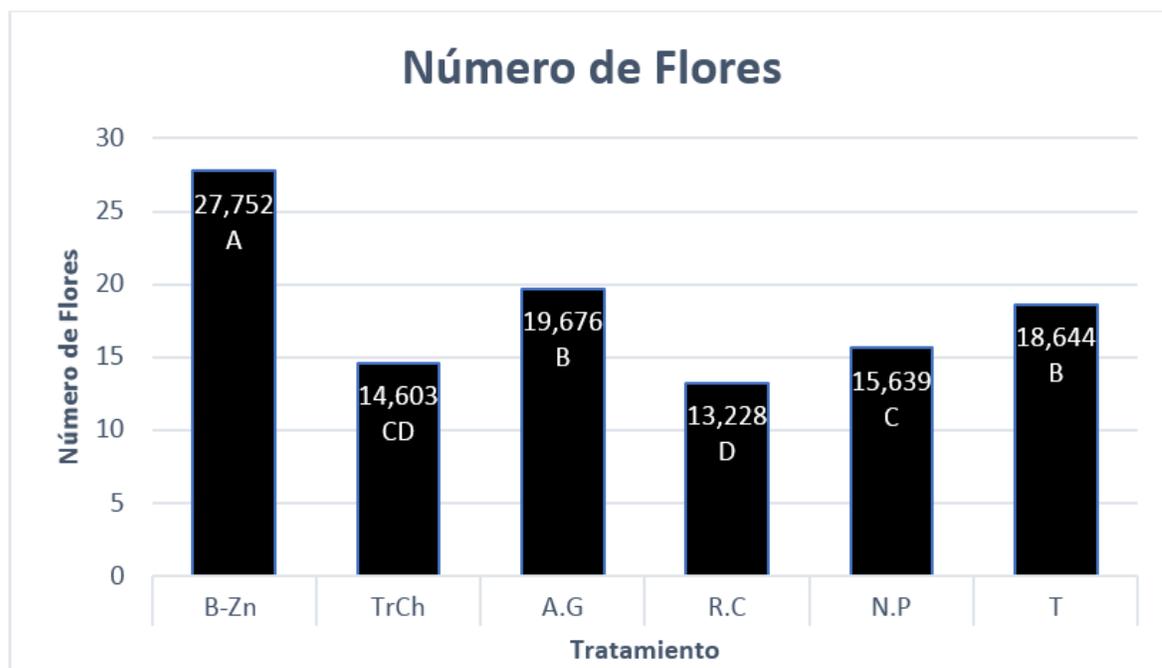


Figura 13. Efecto de los tratamientos en respuesta a la variable de número de flores en la cuarta medición. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

El número de flores es uno de los aspectos importantes a la hora de realizar estimaciones de cosecha, la cuál será la que brinde posteriormente la rentabilidad de este tipo de explotación agrícola. Es importante como aspecto fundamental tener la mayor cantidad de tejido productivo para un mayor número de flores; sin embargo, es importante que la mayor cantidad de esas flores produzcan un fruto para concretar en beneficio al esfuerzo realizado.

En relación a lo anterior Camayo (1996) y Arcila, *et al.* (1996), comparten el criterio de que la floración del café es un evento asociado estrechamente con las condiciones climáticas de cada región y generalmente se registra como el momento de la antesis, es decir, cuando se abren las flores, sin embargo, debe considerarse que la floración es un proceso de desarrollo complejo que inicia cuatro a cinco

meses antes de la apertura floral, factor por el cual es fundamental tener un adecuado manejo para propiciar mejor y mayor crecimiento vegetativo nuevo para lograr una mayor cantidad de posible floración (Camayo *et al.* 2003).

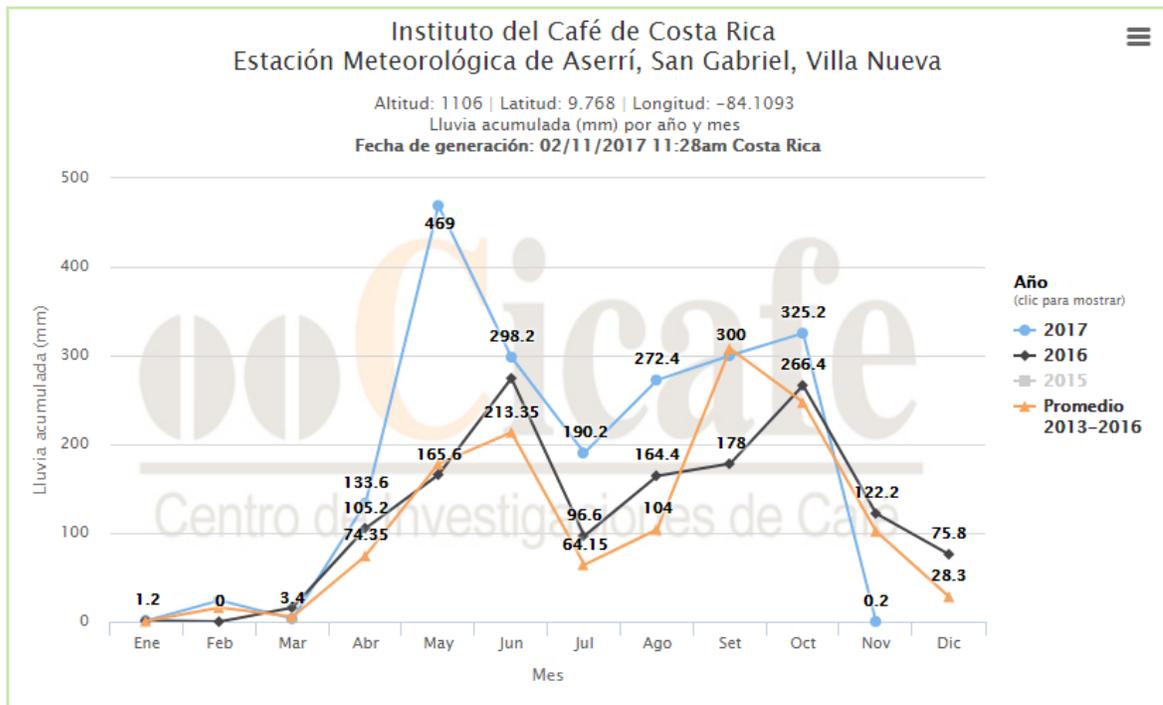
Los resultados obtenidos determinaron que se obtuvo un mayor número de flores en respuesta al tratamiento B-Zn en comparación con los demás tratamientos, los cuales no mostraron mayores diferencias, en su orden de respuesta se presentaron de la siguiente manera: A.G, T, N.P, TrCh y R.C.

Como ocurre en la mayoría de sistemas productivos agrícolas la capacidad de producción de las plantas está directamente relacionada al potencial genético de cada variedad y cómo ésta la pueda llegar a su máxima expresión, por lo tanto, características altamente deseadas como la cantidad y la calidad de la cosecha dependen directamente y están influenciadas por las condiciones ambientales y sobre todo con el tipo de manejo que se lleva a cabo (renovación de tejidos o podas, fertilización y control fitosanitario). Esta expresión de potencial de producción de la planta puede variar debido a diversos factores a pesar del tiempo y está determinado por la cantidad de bandolas formadas sobre el tallo o eje principal, la cantidad de nudos formados en las bandolas y además de la cantidad de granos formados en los nudos a partir del número de flores que alcancen a llegar a la maduración.

Cuando se hace referencia a la planta de café se dice que es una planta de producción distal, lo cual quiere decir que las cosechas se ubican en los nuevos nudos de los brotes formados durante los periodos de crecimiento. En cada uno de los ciclos de crecimiento los nuevos nudos productivos se localizan hacia el extremo de las bandolas, contando siempre sucesivamente hacia atrás con área de tejido improductivo de años anteriores. Buscando mayor cantidad de este tejido nuevo productivo es que se realiza la labor de la poda del café, la cual es una práctica agronómica determinante para el manejo económico del cultivo, principalmente cuando se aplica el concepto de eficiencia productiva, basado en el uso cada vez mayor con variedades de alta producción ya establecidas. Esta práctica además de permitir renovación del tejido con un alto grado de agotamiento ayuda a tener un

mejor control fitosanitario, a regular el uso de fertilizantes, a bajar considerablemente el uso de insumos y a llegar a mejores estimaciones de cosecha con menor bianualidad en la producción, motivo por el cual es de suma importancia.

Sumado a lo anterior es de importancia retomar el punto de vista climático, ya que este a su vez está totalmente relacionado a los programas de manejo de la nutrición que se deben considerar. La disponibilidad de los nutrimentos en el suelo y por ende el crecimiento de tejido nuevo se ve afectado por la distribución de lluvias (Arcila & Jaramillo 2003). La suma de diversos factores hace que la respuesta de crecimiento fluctúe de acuerdo a las condiciones climáticas presentes en los diferentes ciclos. En la Figura 14 se muestra la distribución de la lluvia durante la toma de datos en campo, esto para tener un respaldo del porque la respuesta obtenida en base a los resultados de los tratamientos.

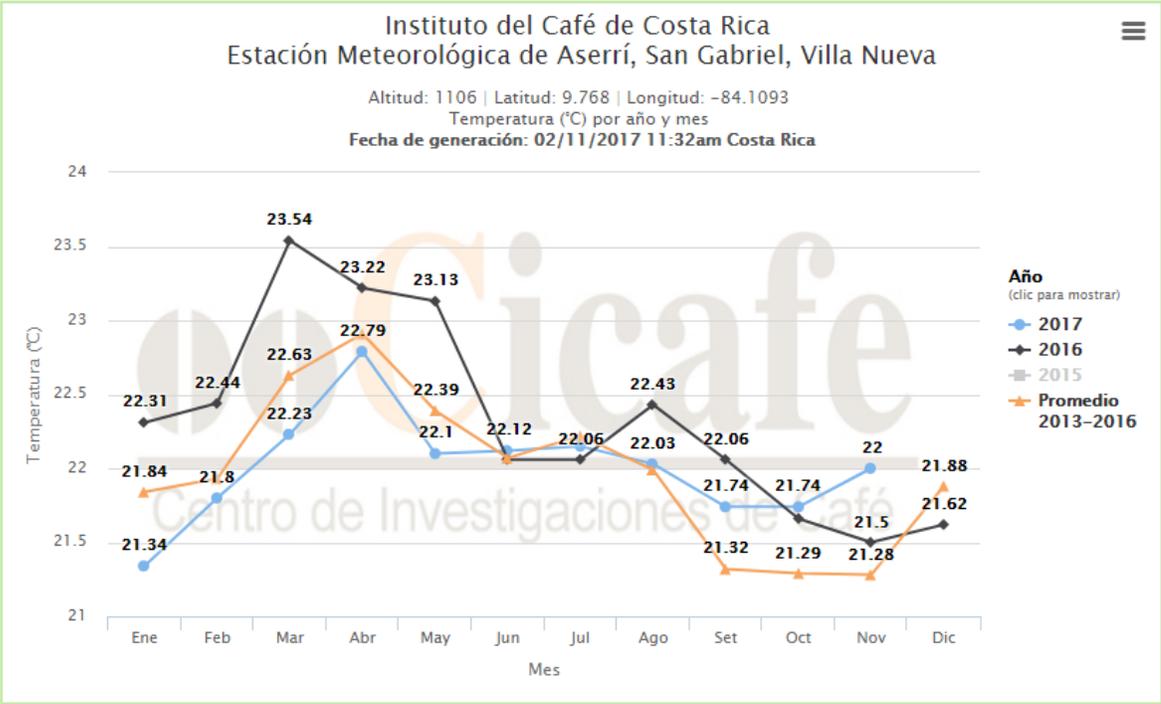


Fuente: (ICAFE 2017).

Figura 14. Comportamiento anual de precipitación en los años 2016, 2017 y promedio de 2013-2016 en la región. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

En la Figura 14 se muestra el comportamiento de las precipitaciones en promedios mensuales, la toma de datos abarco desde el final de mes de agosto 2016 hasta inicios de enero 2017, en este lapso de tiempo se nota que después del mes de octubre 2016 las precipitaciones bajaron de una manera considerable, teniendo esto relación a lo citado por ICAFE (2017) en donde posterior a estas fechas se presentan mayores crecimientos de las plantas, respuesta la cual se vio respaldada por los resultados obtenidos en la toma de datos.

Además de las precipitaciones también es importante la condición de la temperatura, ya que esta puede afectar directamente el desarrollo de las plantaciones así como su productividad. El comportamiento de la temperatura se muestra a continuación.



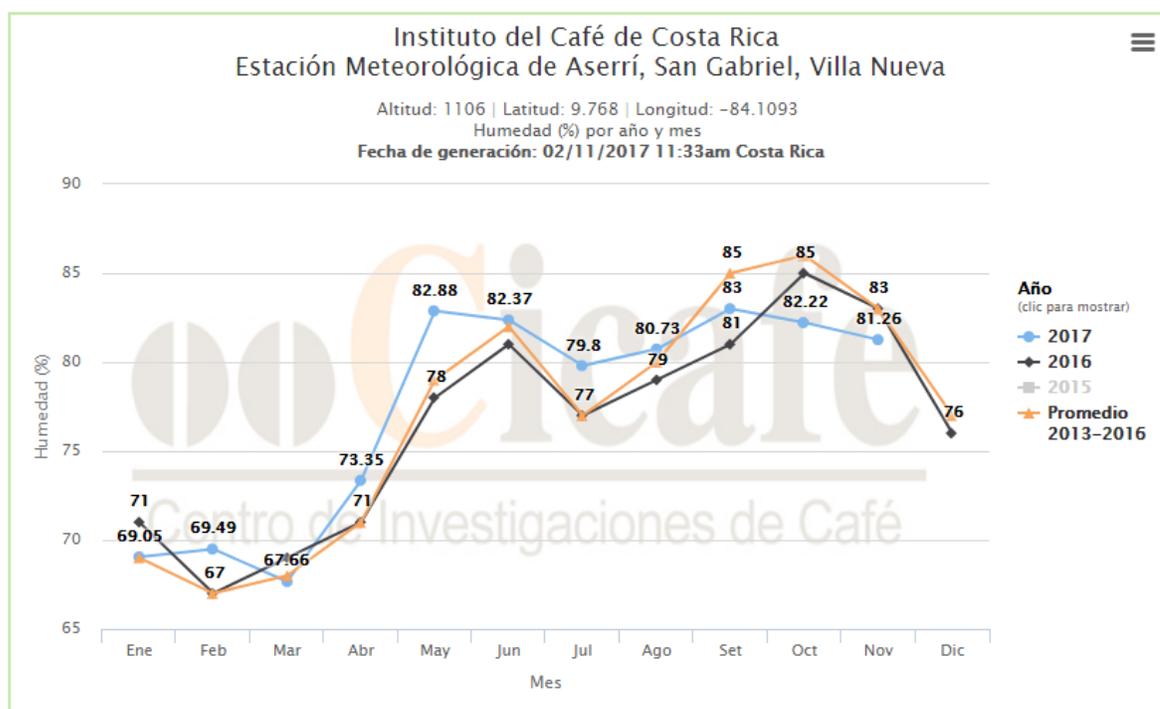
Fuente: (ICAFE 2017).

Figura 15. Comportamiento anual de temperatura en los años 2016, 2017 y promedio de 2013-2016 en la región. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

La Figura 15 muestra como el comportamiento de la temperatura en el año 2016 fue un poco más elevada en comparación con el promedios 2013-2016, al presentar

este año (2016) una mayor temperatura promedio que los años anteriores (Figura 15) permitió un mayor estímulo en el ciclo de crecimiento de las podas (plagiotropico y ortotropico) y el cultivo de café en general a partir de agosto cuando se iniciaron las labores de mediciones, esto aunado a humedad suficiente a pesar de bajar las precipitaciones en ese período (Figuras 14 y Figura 16).

Otro de los factores a tomar en cuenta es la humedad relativa presente, esta afecta la regulación del proceso fisiológico de la planta, donde puede provocar o bien evitar algún estrés hídrico. Durante el período de medición se presentaron las condiciones representadas en la Figura 16.



Fuente: (ICAFE 2017).

Figura 16. Comportamiento anual de humedad relativa en los años 2016, 2017 y promedio de 2013-2016 en la región. Palmichal, Acosta, Costa Rica, 2017.

La Figura 16 muestra la variación en cuanto al porcentaje de humedad relativa presente durante el periodo de evaluación y un promedio de años anteriores. Se puede observar como la misma disminuye conforme avanza el mes de octubre, siguiendo la tendencia de las precipitaciones y contrario al aumento de la

temperatura. Cuando se presentan estas condiciones brindan a las plantas de café condiciones adecuadas para que las mismas puedan aumentar su desarrollo en el ciclo vegetativo y posteriormente en el aspecto reproductivo, lo cual a su vez asociado a un buen manejo y productos foliares complementarios como los tratamientos utilizados se podrían elevar los rendimientos y así obtener la mayor expresión del potencial productivo posible.

Es de conocimiento que el clima y sus variantes son uno de los principales factores limitantes en la producción debido a su actual inestabilidad y gran daño que pueden causar en los diferentes estados fenológicos del cultivo, además sumado a estas condiciones adversas pueden tener una repercusión negativa en la eficiencia de los productos que se apliquen con el objetivo de mejorar un aspecto en específico. Cannell (1976), indica que en la mayoría de los países cafetaleros las tasas de crecimiento de la parte vegetativa y reproductiva del café varían estacionalmente, de acuerdo con los cambios en la precipitación, temperatura y longitud del día. López *et al.* (1972), observaron en Colombia que el alargamiento del vástago es muy sensible a pequeños cambios en la temperatura.

Lo anterior, además de lo mencionado por Castro & Rivillas (2014), referente al hongo *Trichoderma harzianum*, donde se menciona que la eficacia de este hongo depende sensiblemente de los factores ambientales y de su nicho ecológico además de los factores físicos del suelo, tales como humedad, temperatura y otras como el pH, influyen en la actividad biorreguladora del hongo así como también los reguladores de crecimiento, pudieron ser motivos por los cuales estos tratamientos no mostraron los resultados esperados en las diferentes mediciones.

En el caso específico del *Trichoderma harzianum* se sabe de los múltiples beneficios que tiene su uso en los cultivos, además del efecto biocontrolador de patógenos, se ha comprobado que la inoculación de *Trichoderma harzianum* aporta otros beneficios a las plantas a través de la descomposición de materia orgánica y de su capacidad de liberar nutrientes en formas disponibles para la planta (Godes 2007) por lo cual se utiliza frecuentemente como un organismo biofertilizante en diferentes productos comerciales (Moreno *et al.* 2007), promueve el crecimiento y

desarrollo de los cultivos produciendo metabolitos que estimulan los procesos de desarrollo vegetal (Sutton y Peng, 1993), además de que tiene la capacidad de multiplicarse en el suelo y colonizar las raíces de las plantas liberando factores de crecimiento (Auxinas, giberelinas y Citoquininas) que estimulan la germinación y el desarrollo de las plantas (Altomare *et al.* 1999). *Trichoderma harzianum* ha sido reportado como promotor del crecimiento vegetal en varios cultivos dentro de ellos el café (Börkman *et al.* 1998). Sin embargo, a pesar de tener la capacidad de realizar o promover todo lo anterior mencionado en el presente trabajo no se pudo demostrar una diferencia significativa respecto al Testigo, las causas pueden ser variadas, como las climáticas mencionadas anteriormente, pudieron no ser favorables para el desarrollo del hongo, el método de aplicación o dosificación pudo no ser la correcta debido a que no sé cuenta actualmente con alguna base o guía de aplicación de este hongo en podas de café bajo la técnica drench, lo que pudo causar que no se pudiera establecer el inóculo en el terreno de manera correcta, otra de las causas pudo haber sido que el periodo de medición fue relativamente corto tomando en cuenta que el cultivo de café es un cultivo perenne y sus pruebas se realizan generalmente durante al menos tres ciclos productivos por lo cual el tiempo pudo no ser suficiente para poder obtener la respuesta del hongo esperada. En cultivos de ciclos cortos y bajo condiciones favorables la respuesta a este tratamiento se ha visto con una mayor eficiencia ya que Galeano *et al.* (S.F), han demostrado como en cultivos como tomate, pepino y pimiento la altura de la planta se vio aumentada en un 36%, 6% y 17% respectivamente cuando se utilizó este hongo desde sus etapas tempranas de desarrollo ya que ayudó a promover un mejor sistema radicular y por ende aéreo, mayor vigor y tolerancia a factores externos.

Respecto a la eficacia por parte de los reguladores de crecimiento no está totalmente alejada de lo sucedido con el hongo *Trichoderma harzianum* ya que estos también se pudieron ver afectados por factores ambientales además de lo descrito por Buckovac & Wittwer (1956), en donde señalan otros varios factores que pueden interferir en la acción del Ácido Giberélico y las giberelinas en general dentro de las plantas como lo son: especie de planta, variedad, nutrición mineral, luz,

temperatura, edad de las plantas, tipo de tratamiento, dosis y lugar de aplicación del producto. A pesar de que en los pocos estudios realizados en café con Ácido Giberélico se encontraron resultados satisfactorios en la parte de elongación de tallo hasta de un 55% (Castillo & Calle 1958), respuesta que no se presentó en este trabajo, estos mismos autores también encontraron respuestas negativas en: menor peso seco (-34%), menor peso de las hojas (-26%) y pérdida del área foliar en un 30%, igualmente en mediciones realizadas de longitud de bandola, en donde se inhibió el crecimiento de las mismas, lo cual se ve relacionado es este trabajo con esta variable evaluada, donde no se obtuvo una diferencia significativa con el Testigo.

Existen aspectos a resaltar al momento de analizar la eficiencia de algún producto, sobre todo en cultivos perennes, como lo puede ser la dosificación ya que cuando se utilizan ciertas fitohormonas estas generalmente se encuentran en concentraciones relativamente bajas, sumado a lo anterior es fundamental la cantidad de aplicaciones realizadas en un lapso de tiempo preestablecido, trabajos como el realizado por Carvajal (1958), verifican que conforme se aumente el número de aplicaciones (frecuencia) en el mismo tiempo de evaluación o bien se aumenten las dosis por aplicación se obtuvieron mejores ganancias en las mediciones realizadas, aunque no siempre con las características deseadas en cuanto a conformación, en relación a lo anterior esto pudo ser un factor del por qué no se obtuvieron datos satisfactorios en la aplicaciones de Ácido Giberélico o reguladores de crecimiento en específico, motivo por lo cual la dosis pudo ser muy baja y a su vez el lapso entre cada aplicación o frecuencia pudo ser muy distante para poder ver un resultado más satisfactorio.

El uso de reguladores de crecimiento en la actualidad tiene como factor limitante la escasa o prácticamente nula investigación fidedigna en cuanto a los efectos por dosificación ya que dependiendo de esta se pueden tener diferentes resultados en donde no siempre todos son deseables en una explotación como la cafetalera, como base a esto se pueden citar trabajos como el realizado por Jiménez (1959), donde en variedades de Typica y Bourbón utilizó diversos tipos de reguladores de

crecimiento, logrando con la utilización de dosis bajas (8ppm y 40ppm) aumentar el diámetro de las plantas, así como igualar la altura de tallo y ancho de hojas en comparación a las dosis más elevadas (200 ppm y 100 ppm), sin embargo, también se encontró que la variación en dosis también afecta el largo del espacio internodal, teniendo un mayor valor en las dosis bajas, característica la cual no es deseada en la actualidad ya que se busca una bandola más larga pero que a su vez tenga mayor cantidad de nudos que es donde se encuentran latentes las yemas productivas.

Otros estudios como el realizado por Cruz *et al.* (1997), en café variedad Gárnica muestra como con el uso de diferentes reguladores de crecimiento específicamente de Ácido Giberélico (AG₃) y la citocinina ((CPPU (N1)(2-cloro-4-piridil)-N3-fenilurea)) valores significativamente superiores en el diámetro del tallo y el peso fresco y seco de las hojas al compararlo con el Testigo; sin embargo, cuando se utilizaron en la variedad Typica, se encontró que estos parámetros, además de longitud de bandola y raíces no tuvieron gran variación respecto a los del Testigo, confirmando así la implicación genética que se tiene en café con el uso de este tipo de fitohormonas, motivo que pudo influir en que en este trabajo no se presentaron diferencias respecto al Testigo en la variedad Catuaí cuando se utilizaron los diferentes reguladores de crecimiento en conjunto.

En un sistema de producción intensiva de café, cuando en el campo se plantan individuos vigorosos, estos tienden a ser precoces y en los primeros años se obtienen mayores producciones de fruta (Chandier *et al.* 1983). Se desconoce si las plantas de café tratadas con CPPU ((N1)(2-cloro-4-piridil)-N3-fenilurea) presentando un mayor vigor en el vivero, manifestarán ventajas de precocidad y producción de fruto en la finca ya que el efecto del CPPU sobre el crecimiento vegetativo de las plantas de café fue evaluado tanto en plantas a pleno sol como en sombra y en ambas situaciones la aplicación de CPPU fue eficiente en incrementar aspectos importantes del crecimiento vegetativo de las plantas (Cruz *et al.* 1997). La aplicación de otros reguladores del crecimiento como el ethrel (Oyebade 1957) y de algunas Auxinas y Citoquininas (Valencia 1982) no han mostrado efectos sobre el incremento del crecimiento vegetativo de cafetos en vivero.

5. CONCLUSIONES

Tomando en cuenta los resultados obtenidos bajo las condiciones en que se realizó el presente trabajo se concluye que:

- Los rebrotes de café tratados con boro más zinc (B-Zn) la respuesta respecto a grosor de tallo, altura de tallo, longitud de bandola, número de entrenudos y número de flores estadísticamente fueron superiores que los tratados con Ácido Giberélico (A.G), reguladores de crecimiento (R.C), NutriPower® (N.P), *Trichoderma harzianum* (TrCh) y el Testigo (T).
- La incorporación de boro y zinc en las aplicaciones y fumigaciones foliares es una práctica factible en la etapa de desarrollo de rebrotes de podas de café por su bajo costo y las respuestas positivas obtenidas en este estudio.
- Las condiciones climáticas se encuentran dentro de las limitantes en relación a las prácticas de aplicación de productos como las fitohormonas teniendo la capacidad de disminuir el efecto de las mismas en la planta.
- La utilización de los reguladores de crecimiento en conjunto manejados en sus presentaciones comerciales no demostraron la eficiencia en la etapa de crecimiento y desarrollo de rebrote en podas del cultivo de café.
- El hongo *Trichoderma harzianum* no mostró los efectos esperados, pudiendo ser afectado por diferentes factores como los climáticos, dosificación y posiblemente fue necesario un mayor tiempo de inoculación y/o frecuencia de aplicación en el cultivo de café.

- La aplicación de productos foliares en distintas fases de desarrollo puede determinar una mayor respuesta por parte del cultivo, ya que dependiendo de esta, se estimula de manera satisfactoria el crecimiento vegetativo o bien la aparición del tejido reproductivo deseado en el cultivo de café.
- El número de aplicaciones y/o frecuencia de aplicación de los diferentes tratamientos es un factor importante para determinar mejor una respuesta en cuanto a grosor de tallo, altura de tallo, longitud de bandola, número de entrenudos y número de flores por parte de la planta, ya que presenta mayor eficiencia cuando se han realizado al menos tres aplicaciones durante esta etapa, momento en el cual se lograron los mejores resultados en el presente trabajo.
- La falta de investigación e información actualizada en el uso de reguladores de crecimiento, así como la innovación en la implementación de hongos en el cultivo de café impide la incorporación más eficaz de estos productos a los programas de trabajo en dicho cultivo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M; Melgarejo, M; Romero, C. 2010. Fitohormonas. Experimentos en fisiología y bioquímica vegetal. Bogotá. Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de biología. 24 p.
- Altomare, C; W, Norvell; T, Björkman; G, Harman. 1999. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. Appl. Environ. Microb. 65(7). 2926-2933 p.
- Amaya, K. 2009. Importancia del Café. (en línea). San Salvador, El Salvador. CCSA. Consultado 16 marzo 2016. Disponible en: <http://ecocafesal.blogspot.com/2009/10/importancia-del-cafe.html>
- Arcila, J. 2006. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. Colombia. 3-18 p.
- Arcila, J; Buhr, L; Bleiholder, H; Hack, H; Wicke, H. 1996. Aplicación de la escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de la planta de café *Coffea sp.* Boletín Técnico. Cenicafé No. 23. 1-31 p.
- Arcila, J; Jaramillo, A. 2003. La humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del cafeto. Avances Técnicos. Cenicafé No. 311. 1-8 p.
- Bornemisza, E. 1992. Fisiología de la nutrición del cafeto. In Seminario de nutrición y fertilización del café. (1992. Guatemala). Memorias. Guatemala, ANACAFE / USAID / INPOFOS. 32 p.
- Börkman, T; Blanchard, L; Harman, G. 1998. Growth enhancement of shrunken-2 sweet corn by *Trichoderma harzianum*: effect of environmental stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 23(1), 295-322 p.
- Bukovac, M. Witter, S. Comparative biological activities of gibberellins A₁, A₂, A₃ y A₄, Plant Physiology. (33). (Supplement). 37-39 p.
- Castro, A; Rivillas, C. 2014. *Trichoderma harzianum*, Modos de acción, eficacia y usos en el cultivo de café. Caldas. Colombia. CENICAFE. 11-19 p.
- Camayo, G. 1996. Estudio anatómico y morfológico de la diferenciación y desarrollo de las flores del cafeto *Coffea arabica* L. variedad Colombia. Cenicafé. 47(3). 121-139 p.
- Camayo, G; Chaves, B; Arcila, J; Jaramillo, A. 2003. Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná - Caldas. Cenicafé 54 (1): 35-49 p.

- Cannell, M. 1976. Crop physiological aspects of coffee bean yield; a review. *Kenya Coffee*. (41). 245-253 p.
- Cannell, M. 1985. Physiology of the coffee crop. In: Clifford, M.N.; Wilson, K.C. (Eds.). *Coffee, botany, biochemistry and production of beans and beverage*. Westport, Avi Publishing Co. 108-134 p.
- Carvajal, J. 1958. Estudio preliminar sobre la respuesta del cafeto al Ácido Giberélico. *Revista de Biología Tropical*. 6 (2). 273-278 p.
- Carvalho, A. 1998. Principles and practices of coffee plant breeding for productivity and quality factors; *Coffea arabica*. In *Coffea agronomy*. London, Elsevier Applied Science. (4). 130-165 p.
- Castillo, Z; Calle, J. 1958. Observación del efecto de la Giberelina en plántulas de café. *Cenicafé*. Chinchidá. Colombia. 9 (3-4). 56-72 p.
- Chandier, J; Abruña, F; Silva, S. 1983. Experimentación y su aplicación al cultivo intensivo de café en Puerto Rico. Estación Experimental del Colegio de Ciencias Agrícolas. Universidad de Puerto Rico. Mayagüez. Puerto Rico. 75 p.
- Congreso Nacional Agronómico. Conferencia 76, 1999, San José. 1999. Manejo de la Fertilización del Café. Ed Chaves, V. San José, Costa Rica. 11 p.
- Cruz, J; Román, E; De Los Santo, A; Torres, P. 1997. Aplicaciones de CPPU (Citocinina) incrementan el crecimiento del cafeto en vivero. Universidad Autónoma de Chapingo. Villa Quietud. México. 2-3 p.
- Di Rienzo J.A.; Casanoves F.; Balzarini M.G.; Gonzalez L.; Tablada M.; Robledo C.W. InfoStat versión 2013. (en línea). Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado el 18 nov. 2015. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- Figuroa, R. 1959. Efecto de Aspersiones con el Ácido Giberélico y Azúcar en el Desarrollo de Plantas de Café (*Coffea arabica* L). Tesis. M.Sc. Turrialba. Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 14-26 p.
- Galeano, M; Mendez, F; Urbaneja, A. (s.f). Efecto de *Trichoderma harzianum* Rifai (Cepa T-22) sobre cultivos hortícolas. Koppert Biological Systems. Murcia. España. 2-9 p.
- Godes, A. 2007. Perspectivas de los inoculantes fúngicos en Argentina. Biofertilizantes en Iberoamérica: una visión técnica, científica y empresarial. Izaguirre, M; Labandera, S. Montevideo. Uruguay. Imprenta Denad Internacional. 11-14 p.

- Guerra, M. 2006. Sistematización de las Experiencias Obtenidas en las Aplicaciones Foliaras de Boro (B), Zinc (Zn), Potasio (K) y sus Mezclas, en el Cultivo de Café *Coffea arabica*. Tesis Lic. San Carlos, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. 14-24 p.
- ICAFFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2011. Guía Técnica para el Cultivo de Café. Barquero, M; Chaves, V; Echeverría, F; Rojas, M. Barva. Heredia. CICAFFE. 21-32 p.
- Jiménez, E. Estudios preliminares del efecto del Ácido Giberélico sobre el crecimiento del cafeto. Comunicaciones de Turrialba. N. 64. 33 p.
- López, F; Naranjo, M; Villegas, A; Valenzia, G. 1972. Influencia de la altitud en el desarrollo de plantas de café en almacigo. Cenicafe. Bogotá. Colombia. (23). 87-97 p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2007. Plan Estratégico de la Cadena Productiva del Café. San José, Costa Rica. 103 p.
- Mendoza, L. 1998. Respuesta del cafeto (*Coffea arabica*), a niveles y formas de aplicación de boro en Guatemala: memoria técnica de las investigaciones, en café 1986 – 1989. Guatemala, ANACAFE. 188 p.
- Moes, P. 1968. Investigaciones morfológicas, ecológicas y fisiológicas sobre cafetos. Turrialba. Costa Rica. 18. 209-233 p.
- Mora, N. 2008. Agrocadena de Café. San José, CR, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 18-49 p.
- Moreno, N; Moreno, L; Uribe, D. 2007. Biofertilizantes para la agricultura en Colombia. Biofertilizantes en Iberoamérica: una visión técnica, científica y empresarial. Izaguirre, M; Labandera, S. Montevideo. Uruguay. Imprenta Denad Internacional. 38-45 p.
- Oyebade, I. 1975. Growth of *Coffea canephora* (Pierre ex Froehner) seedlings as influenced by gibberellic acid and ethrel (2chloroetane phosphonic acid). Turrialba. Costa Rica 49-53 p. 25.
- Pérez, V. 1967. Algunas deficiencias minerales del cafeto en Costa Rica. San José. Costa Rica. Servicio Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola. 26 p.
- Quimia. 2016. Hormovit Hortaliza. Ficha Técnica. (en línea). Sinaloa. México. Consultado el 16 agosto de 2016. Disponible en: <http://www.quimia.com.mx/descargas/fichasquimia/hormovithortaliza.pdf>
- Ramírez, V; Arcila, J; Jaramillo, A; Rendón, R; Cuesta, G; Menza, D; Mejía, G; Montoya, F; Mejía, W; Torres, C; Sánchez, M; Baute, E; Peña, J. 2011.

- Floración del café en Colombia y su relación con la disponibilidad hídrica, término y de brillo solar. Cenicafé. Bogotá. Colombia. 61 (2):132-158 p.
- Saavedra, G. 2008. Estructuras De Hormonas Vegetales. (en línea). Ciencia ahora. N. 21. Facultad de Agronomía; Universidad de Concepción. Consultado el 17 de abril, 2016. Disponible en: <http://cmapspublic3.ihmc.us/rid=1GPVXCQT9-46VYGP-GMV/07EstructurasHormonasVegetales%20PDF.pdf>
- Salazar, M. Chaves, R. Riaño, N. Arcila, J. Jaramillo, A. 1994. Crecimiento del fruto de café *Coffea arábica* var. Colombia. Bogotá. Cenicafé. 41-50 p.
- Salisbury, F. J. 1988. Botánica. México. D. F. México. McGraw-Hill. 48 p.
- Sánchez, E. 2017. Café costarricense se distingue entre los mejores del mundo. El Grano de Oro ha sido base fundamental para el desarrollo económico del país. La Republica. Nacionales. 2 p.
- Santner A., E. 2009. Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth. *Nature Chemical Biology*, n. 41, 303 p. Consultado el 14 de abril, 2016. Disponible en: <http://www.scielo.br/cgi-bin/wxis.exe/iah/?IsisScript=iah/iah.xis&base=article%5>
- Sakakibara, H. 2006. Cytokinins, activity, Biosynthesis y traslocation. *Annual Review of plants Biology*. London. England. 431-449 p.
- Stowe, B; Yamaki, T. 1959. Gibberellins stimulants of plant growth; thirty years work in Japan has initiated world wide research with a level group of plant hormones. *Science*. 129 (3352). 807-815 p.
- Sutton, J; Peng, G. 1993. Biocontrol of *Botrytis cinerea* in strawberry leaves. *Phytopathol*. 83. 615-621 p.
- Tovar, J. 2008. Evaluación de la Capacidad Antagonista "in vivo" de aislamientos de *Trichoderma harzianum* Frente al Hongo Fitopatógeno *Rhizoctonia Solani*. Tesis Lic. Bogotá. Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. 81 p.
- Valencia, A. 1982. Influencia de la altitud en el desarrollo de plántulas de café. Cenicafé. Bogotá. Colombia. Avances Técnicos. (24). 4 p.
- Valencia, G. 1998. Manual de nutrición y fertilización del café. Quito. Ecuador. INPOFOS. 61 p.
- Zamora, L. 1998. Manual de recomendaciones para el cultivo del café. Costa Rica, Instituto del Café de Costa Rica. 195 p.

Zapata, L. 2013. Evaluación de la Incidencia de la aplicación Foliar de Ácido Giberélico en la Floración de Árboles de *Coffea arabica* L. y su Impacto Frente al Cambio Climático. Tesis M.Sc. Manizales, Colombia. Universidad de Manizales. 37-79 p.