

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERIA

SEDE VILLA CORZO

Distribución de biomasa en plántulas de *Coffea arabica* L. por efecto de la nutrición mineral

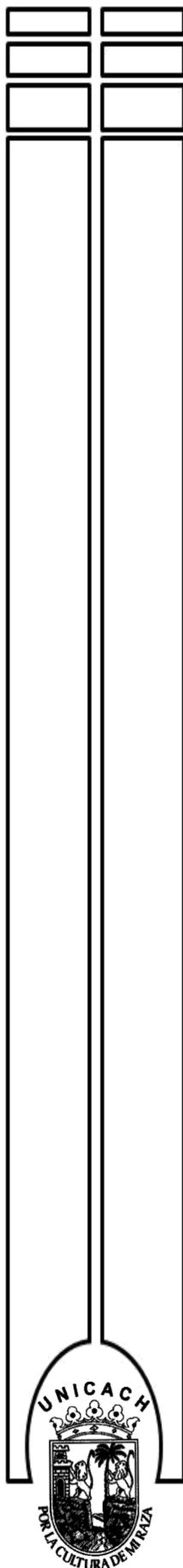
TESIS PROFESIONAL
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGROFORESTAL



PRESENTA

Selena Guadalupe Ramos Cruz

Villa Corzo, Chiapas, Enero 2020



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERIA

SEDE VILLA CORZO

Distribución de biomasa en plántulas de *Coffea arabica* L. por efecto de la nutrición mineral

TESIS PROFESIONAL

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO AGROFORESTAL

PRESENTA

Selena Guadalupe Ramos Cruz

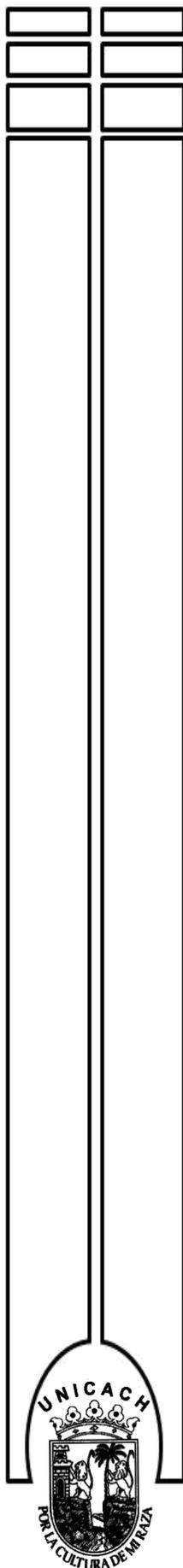
DIRECTOR

Ing. Alder Gordillo Curiel

CODIRECTOR

DR. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi

Villa Corzo, Chiapas, Enero 2020



**DISTRIBUCIÓN DE BIOMASA EN PLÁNTULAS DE *COFFEA*
ARABICA L. POR EFECTO DE LA NUTRICIÓN MINERAL**



Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Dirección de Servicios Escolares
Departamento de Certificación Escolar
Autorización de impresión



Villa Corzo, Chiapas
6 de Enero 2020

C. Selena Guadalupe Ramos Cruz

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería Agroforestal

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:

Distribución de biomasa en plántulas de *Coffea arabica* L. por efecto de la nutrición mineral

En la modalidad Tesis Profesional
de:

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

ATENTAMENTE

Revisores

Dr. Wel Olvein Cruz Macías

Dr. Luis Alfredo Rodríguez Larramendi

Ing. Alder Gordillo Curiel

Firmas:

Ccp. Expediente

Dedicatoria

A Dios, por ser mi fuente de inspiración y guía en este proceso

A mi madre, Ana Rosa mi gran inspiración, por su apoyo incondicional y confiar siempre en mis capacidades.

Agradecimientos

A Dios, por acompañarme en cada momento de mi vida y ser el amigo incondicional.

A mis padres, Jorge Ramos y Ana Rosa Cruz por su cariño y amor incondicional, brindarme lo necesario para lograr mis metas y educarme de la mejor manera.

A mi hermana, Ani por estar apoyándome en cada momento y ser una gran amiga.

A mis hermanitos, Jorge Gabriel y Carlos Alberto, gracias por su apoyo, cariño y por estar en los momentos más importantes de mi vida. Este logro también es de ustedes.

A Erik Daniel Noriega, por su cariño y amor, por confiar en mis capacidades, darme ánimo y apoyarme en cada momento de este proceso.

A mis tíos, Aurelio Cruz y María Dulvia Trujillo, por su apoyo brindarme un hogar haciéndome parte de su familia.

A mi amiga, Elia por ser mi compañera de trabajo apoyándome en lo necesario y brindarme su valiosa amistad.

A mi asesor, M.C Alder Gordillo Curiel, por proporcionarme su apoyo y compartirme sus conocimientos y ser el Maestro del cual he aprendido mucho.

A mi codirector, Dr Luis Alfredo Rodríguez Larramendi por sus conocimientos transmitidos y experiencia para la mejora de esta investigación.

A mi sinodal, Dr. Wel Olvein Cruz Macías por aceptar ser mi revisor y aportarme sus valiosos conocimientos que fueron de gran ayuda a esta investigación.

Índice

I. Introducción.....	1
II. Objetivos	2
2. 1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos	2
2.3 Hipótesis alternativa.....	2
III. Marco teórico.....	3
3.1 Cafeticultura en México.....	3
3.2 Cafeticultura en Chiapas.....	4
3.3 Características botánicas del café	4
3.3.1 La raíz y sus funciones	4
3.3.2 Tallo	6
3.3.3 Las hojas del café	6
3.4 Etapas de crecimiento del café	7
3.4.1 La semilla y su proceso germinativo	7
3.5 La plasticidad fenotípica.....	8
3.6 Nutrición mineral en café	9
3.7 Clorofila total	11
3.8 Tasas de crecimiento	12
3.8.1 Tasas de crecimiento absoluto	12

3.8.2 Tasas de crecimiento relativo	13
IV. Metodología	14
4.1 Sitio de estudio.....	14
4.1.1 Características del sitio de estudio	14
4.2 Siembra.....	15
4.3 Trasplante	15
4.4 Diseño experimental	15
4.5 Tratamiento.....	15
4.6 Variables y fechas de muestreo	16
4.5 Análisis estadístico.....	17
5. Resultados y discusión.....	18
5.1 Crecimiento vegetativo.....	18
5.1.1 Diámetro de tallo.....	18
5.1.2 Longitud de tallo.....	19
5.1.3 Número de hojas.....	20
5.1.4 Longitud y ancho de hoja.....	21
5.1.5 Área foliar unitaria.....	22
5.1.6 Biomasa seca total.....	23
5.1.7 Peso seco de raíz, tallo y hojas	25
5.2 Clorofila total	26

5.3 Tasa absoluta y relativa de crecimiento	27
VI. Conclusiones	29
VII. Bibliografía	30
VIII. Anexos	35

Índice de figura

Figura 1. Sitio experimental.....	14
Figura 2. Diámetro de tallo de plántulas de café por efecto de la nutrición mineral edáfica.....	19
Figura 3. Longitud e tallo de plántulas de café por efecto de la fertilización mineral edáfica.....	20
Figura 4. Efecto de la fertilización mineral edáfica en el número de hojas de plántulas de café	21
Figura 5. Efecto de la fertilización mineral edáfica en longitud y ancho de hojas en plantas de Coffea arabica L. Var. CR 95.....	22
Figura 6. Área foliar unitaria de plántulas de café como resultado de la fertilización mineral edáfica.....	23
Figura 7. Resultados de la fertilización mineral edáfica en la biomasa seca total de plántulas de café	24
Figura 8. Peso seco de raíz, tallo y hojas por efecto de la nutrición mineral en plántulas de café Var. CR 95.....	25
Figura 9. Efecto de la nutrición mineral con N-P-K en la clorofila total de plantas de Coffea arabica L Var. CR 95	27
Figura 10. Tasa absoluta y relativa de crecimiento de plántulas de café por efecto de la nutrición mineral	28

Índice de cuadros

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del sustrato.....	16
Cuadro 2. Variables de crecimiento	17

I. Introducción

La producción cafetalera posee un alto valor económico y social, como también desempeña un papel ambiental importante, ya que su producción se da bajo sistemas que mantienen una cubierta vegetal casi permanente sobre el suelo, favoreciendo la reducción de la erosión (Flores, 2014). El estado Chiapas por su parte, es el principal productor de café, con una superficie sembrada equivalente a 260 129.43 ha, con aproximadamente 180 856 productores cafetaleros (SIAP, 2014). Debido a que el cafeto es una planta perenne, su explotación comercial generalmente alcanza hasta 20 años y comprende un ciclo de producción después de la siembra que aproximadamente seis años, una de las etapas más importantes del cultivo del café es la referente a la semilla, el germinador y el almácigo pues es en la etapa que las plántulas necesitan los nutrientes necesarios (Arcila, 2007). Una de las prácticas que contribuye con un óptimo crecimiento y al logro del máximo potencial productivo en el cultivo del café, es la fertilización (González *et al.*, 2014). Una buena fertilización permite tener plantas sanas, vigorosas, tolerantes a plagas y enfermedades, además de incrementar los rendimientos de producción por hectárea y mejorar la calidad de manera sostenible (Marín-Ciriaco, 2012).

Las recomendaciones actuales de fertilización para cultivos de café enfatizan la etapa reproductiva, que es la fase más estudiada y mejor comprendida. En contraste, la etapa vegetativa ha sido menos estudiada, ya que no está asociada con un impacto económico directo (Salamanca *et al.*, 2016). Este estudio tuvo como objetivo evaluar la distribución de biomasa en el crecimiento inicial de plántulas de café Variedad Costa Rica 95 en etapa de vivero por efecto de nutrición mineral edáfica.

II. Objetivos

2.1 Objetivo general

Evaluar la distribución de biomasa en el crecimiento inicial de plántulas de café Variedad Costa Rica 95 en etapa de vivero por efecto de nutrición mineral edáfica.

2.2 Objetivos específicos

Evaluar el crecimiento vegetativo en plántulas de café, por efecto de la aplicación de dosis de fertilización mineral con N, P y K.

Analizar la distribución de biomasa en plántulas de café, por efecto de la aplicación de dosis de fertilización mineral con N, P y K.

2.3 Hipótesis alternativa

La aplicación de fertilización mineral edáfica promueve un mejor crecimiento y una mayor acumulación de biomasa en hojas y raíces de plántulas de café en etapa de vivero.

III. Marco teórico

3.1 Cafecultura en México

Una de las actividades agrícolas ampliamente extendidas en el mundo y particularmente en México es el cultivo de café. Esta planta fue traída a México del continente africano en el siglo XVIII para ser cultivada en grandes plantaciones de haciendas o fincas, principalmente de Veracruz y Oaxaca, y después de Chiapas, donde fue introducida a través de Guatemala. En la actualidad el café se siembra en doce estados de la República Mexicana (González *et al.*, 2011).

Flores (2014) menciona: “La producción cafetalera posee un alto valor económico y social, además la actividad desempeña un papel ambiental importante, ya que su producción se da bajo sistemas que mantienen una cubierta vegetal casi permanente sobre el suelo, reduciendo así los problemas de erosión”.

En la agricultura la actividad cafetalera es una de las más importantes a nivel nacional, esto puede ser por el número de actores sociales que intervienen, como por su importancia económica producto de los ingresos que se generan de su exportación (Robles, 2011).

Bartra (2006) menciona que el 40% de la superficie con cafetales corresponde a selvas altas y medianas (zona tropical húmeda), el 23% a bosques de pino y encino, el 21% a selvas bajas caducifolias y el 15% a bosque mesófilo de montaña. Esto significa que desde el punto de vista biológico, las regiones cafetaleras son de las más ricas y diversas en flora y fauna

3.2 Cafeticultura en Chiapas

La producción cafetalera en los estados de Chiapas, Veracruz, Puebla y Oaxaca se concentra, representando el 94% del total de la producción, el 85% de la superficie cosechada y el 83% de los productores (SIAP, 2014).

De acuerdo a SIAP, (2014) Chiapas es el principal productor mundial de café orgánico, 18 millones de toneladas anuales son producidas por más de 60 mil productores una tercera parte son mujeres indígenas y campesinas que cultivan los cafetos bajo la sombra de árboles nativos, sin el uso de agroquímicos para no contaminar el suelo.

El municipio de Tapachula es uno de los principales productores de café en Chiapas. En esta jurisdicción la actividad cafetalera data desde 1846 y abarca un rango altitudinal entre los 400 y 1400 metros. Gran parte de la superficie de los cafetales de Tapachula ocupa casi la totalidad de la vegetación original (González *et al.*, 2011).

3.3 Características botánicas del café

El café es un arbusto u árbol cuyo tallo está cubierto de la corteza, es resistente y puede alcanzar una altura entre dos y seis metros, de hoja perenne y comienza a producir flores a partir del primer año (Marín-Ciriaco, 2012).

3.3.1 La raíz y sus funciones

La raíz principal del cafeto es de gran importancia, porque es la que nace de la semilla con numerosas raíces secundarias. La parte más importante son las raicillas, que son las encargadas de absorber el agua y los nutrientes para la planta (Cuba, 2006).

Raven *et al.*, (1999) citado por Arcila *et al.*, (2007). Las raíces desempeñan un papel fundamental en el crecimiento y la producción del cafeto. La raíz es el órgano por medio del cual la planta se ancla al suelo y absorbe y transporta el agua y los minerales esenciales para su crecimiento, además otras funciones menos conocidas como es la síntesis de algunas hormonas reguladoras del crecimiento como las citoquininas y el ácido giberélico, y en ocasiones, la síntesis de metabolitos secundario y en algunas especies la raíz puede servir como órgano de almacenamiento.

Arcila *et al.*, (2007) mencionan que el sistema radical de una planta angiosperma comienza su desarrollo a partir de un meristema localizado en la base del hipocótilo del embrión de la semilla, el cual da origen a la radícula o raíz embrionaria. Cuando ocurre la germinación, la primera estructura que emerge de la semilla es la radícula. A ésta, se le denomina también raíz primaria. En las plantas gimnospermas, magnólidas y eudicotiledóneas, la raíz primaria crece verticalmente hacia abajo transformándose en la raíz pivotante, sobre la cual se producen ramificaciones o raíces laterales conformando lo que se denomina sistema radical pivotante. En las plantas monocotiledóneas, la raíz primaria dura muy poco, se atrofia y es reemplazada por numerosas raíces, de igual tamaño, que se desarrollan a partir del tallo y que se conocen como raíces adventicias. El conjunto de estas raíces adventicias y sus ramificaciones laterales se denomina sistema radical fibroso.

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (2010), menciona que el cafeto tiene una raíz principal que penetra verticalmente en suelos hasta profundidades de 50 cm, de esta raíz salen otras que se extienden horizontalmente y sirven de soporte a las raíces delgadas o absorbentes llamadas también raicillas que son bastante

superficiales y se encargan de tomar el agua y los nutrientes minerales. En los primeros 10 cm de profundidad del suelo se encuentran un poco más de la mitad de estas raicillas y el 86 % en los primeros 30 cm. Las raicillas o raíces absorbentes, en su mayoría (94%) se encuentran en los primeros 30 centímetros de la profundidad del suelo y abarcan un radio de 2 a 2.5 m a partir de la base del tronco (Marín-Ciriaco, 2012).

3.3.2 Tallo

El tallo es recto y crece verticalmente. La corteza es rojiza en principio, y cuando empieza a lignificarse, el tallo adulto es de color gris, los más flexibles son los de la especie arábica, y de él nacen las ramas, que son plagiotrópicas o de crecimiento horizontal (Cuba, 2006).

El arbusto de café está compuesto de un solo tallo o eje central, leñoso, erecto y de diferente longitud dependiendo de la variedad (Ciriaco 2012 citado por Saldíva 2018).

3.3.3 Las hojas del café

Son hojas ovaladas, bordes lisos, lustrosas, verdes, que se mantienen durante tres a cinco años. La colocación de las hojas esta en cada nudo, salen en pares (Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y de Medio Ambiente, BO, 2008). En las hojas se realizan los tres procesos fisiológicos más importantes que soportan el crecimiento y desarrollos vegetativo y reproductivo, éstos son: la fotosíntesis, la respiración y la transpiración.

La transpiración es un determinante primario del balance energético de la hoja y del estado hídrico de la planta. Este proceso comprende la evaporación del agua desde las células superficiales en el interior de los espacios intercelulares y su difusión

fuera del tejido vegetal principalmente a través de los estomas y en menor medida a través de la cutícula y las lenticelas. Junto al intercambio de dióxido de carbono (CO₂), determina la eficiencia de uso del agua de una planta (Squeo y León 2007).

Buitrago (1983), citado por Arcila (2007) quien estudió la tasa de crecimiento de las hojas en plantas de almácigo de variedad Caturra y se encontró que éstas alcanzaban el máximo desarrollo entre 20 y 25 días después de su aparición. En las plántulas el primer par de hojas verdaderas aparece a los 70 días después de la germinación. De otra parte, se ha observado que en las ramas primarias un par de hojas aparece cada 20 días, aproximadamente. El área promedio que alcanza una hoja a plena exposición solar es de 30 a 40 cm².

3.4 Etapas de crecimiento del café

3.4.1 La semilla y su proceso germinativo

Las etapas más importantes del cultivo del café es la referente a la semilla, el germinador y el almácigo, pues aunque esta fase tiene una duración de ocho meses, es la base del éxito de una inversión a largo plazo: hasta 20 años o un poco más, y es donde las plantas requieren el cuidado y nutrientes necesarios.

Todo comienza con definir, cuál variedad de café va a sembrarse y cómo obtener la semilla (Arcila, 2007).

Para la obtención de semillas Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (1979) citado por Arcila (2007), donde se menciona que las variedades tradicionales, como las variedades Caturra, Típica y Borbón, la semilla debe obtenerse de árboles sanos, productivos, de frutos maduros y bien formados.

González (2005) concluye lo siguiente:

Las semillas empiezan a germinar a los 40 a 60 días en forma de “grapa” y a los 90 días en forma de “soldadito” cuando ya se tiene bien formado el tallito y las primeras hojas encerradas en el pergamino. Pasando de la etapa de soldadito, pasa a la etapa de “mariposa” ya con las hojas cotiledóneas abiertas y por último al estado de “pesetilla” con un par de hojas verdaderas, que es aproximadamente a los 6 a 8 meses, que es cuando se recomienda para su trasplante.

3.5 La plasticidad fenotípica

Plasticidad fenotípica es la habilidad que posee un mismo genotipo para producir diferentes fenotipos en respuesta a diferentes condiciones ambientales, es uno de los medios por los cuales las plantas pueden ajustar su morfología y fisiología permitiéndoles enfrentarse a la heterogeneidad ambiental de su ambiente natural (Palacio y Rodríguez 2007). Hernández (2015), menciona que la plasticidad fenotípica permite a las plantas lidiar con ambientes heterogéneos.

La PF puede generar ajustes funcionales a ciertos rasgos estructurales o fisiológicos en respuesta a una condición ambiental particular para permitir a un individuo tolerar condiciones adversas (Sultan y Bazzaz 1993 citado por Antolinez 2008). La diferencia en la magnitud de la plasticidad fenotípica puede estar correlacionada con la diferencia en la distribución ecológica de especies vegetales con respecto a factores edáficos o climáticos.

La PF se puede evaluar a través de las normas de reacción de un genotipo, las cuales muestran la variación fenotípica producida por genotipos expuestos a

diferentes ambientes (Pigliucci y Schlichting 1995 citado por Palacio y Rodríguez 2007).

Uno de los factores ambientales de gran importancia que influye en la distribución de las plantas es la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Entre los nutrientes el nitrógeno es el elemento más importante para el desarrollo y crecimiento de las plantas en términos de acumulación de biomasa (Larcher 1995 citado por Antolínez 2008). La plasticidad fenotípica en respuesta a la disponibilidad de nitrógeno en el suelo conlleva profundos cambios en la fisiología, tasas de crecimiento, patrones de asignación de biomasa a los distintos órganos y expresión fenotípica de la arquitectura del sistema radicular.

3.6 Nutrición mineral en café

La interacción de los factores que determinan el crecimiento de la planta son: la variedad, el clima, el suelo y el manejo. El objetivo principal de la fertilización mineral, cuando el suelo no tiene la cantidad y disponibilidad, es suplir de nutrientes en cantidades adecuadas para que la planta pueda realizar en forma óptima su ciclo vegetativo.

De los elementos minerales en las plantas, el carbono, hidrógeno y oxígeno representan el 96% del peso seco, el 4% del peso están constituidos por nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), boro (B), hierro (Fe), cloro (Cl), cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc, (Zn) y Molibdeno (Mo) (Valencia, 2000; Gast *et al.*, 2013).

En el cultivo de café en Colombia se han reportado por planta del peso seco entre 6 y 8 g los siguientes elementos: N (72 a 157 mg), P (20 a 29 mg), K (137 a 211 mg),

Ca (34 a 35 mg), Mg (15 a 20 mg), Fe (7 a 22 mg), Mn (0.9 a 1.2 mg), Zn (0.24 a 0.32 mg), Cu (0.15 a 0.17 mg) y B (0.13 a 0.16mg) (Sadeghian Khalajabadi, 2012).

Los elementos minerales realizan funciones fisiológicas importantes en las plantas. Carvajal (1984), menciona que el nitrógeno tiene diversas funciones, entre las que se destaca que forma parte de las moléculas de las proteínas, es elemento constitutivo de los ácidos nucleicos responsables de la transferencia de la información genética, en las plantas forma parte esencial de los citocromos y de la clorofila, el peso seco de las plantas tiene del 2 al 4 % de nitrógeno que tiene gran movilidad en las plantas y su deficiencia provoca una pérdida del color verde.

El fósforo forma parte de las moléculas fundamentales que preservan y transfieren energía, de ácidos nucleicos, coenzimas y fosfolípidos. La deficiencia de este elemento es responsable de la pérdida del color verde típico de las hojas y produce necrosis en los tejidos foliares (op. cit.).

El potasio tiene efectos muy variados en los procesos fisiológicos, fotosíntesis, respiración, síntesis de la clorofila y el nivel hídrico de las plantas; el potasio participa en múltiples sistemas enzimáticos, uno de los efectos metabólicos de la deficiencia de este elemento, es la acumulación en los tejidos de carbohidratos solubles y de azúcares reductores. La deficiencia provoca, asimismo, un acumulamiento de aminoácidos y amidas y de nitrógeno orgánico soluble, de lo que se infiere que el elemento es requerido en la catálisis responsable de la incorporación de aminoácidos en proteínas (Carvajal, 1984).

En la planta de café se utiliza regularmente la aplicación de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), las combinaciones más utilizadas en ese orden son, 17-17-17, 12-12-17, 10-30-10, 10-40-10, en las regiones del Salvador y Colombia (Carvajal, 1984),

algunas combinaciones han añadido otros elementos como el magnesio y el azufre en combinaciones como 17-6-18-6-7 (Valencia, 2000).

En la etapa de vivero, entre el trasplante (en la fase de mariposa) y la siembra en campo (pasados de 4 a 6 meses), se han reportado que las dosis mayores de 1 g de nitrógeno por plantas, resultan tóxicas para las plantas y dosis menores tiene poco efecto. Gast *et al.*, (2013) reportaron dosis de 2 gp^{-1} de potasio utilizadas en el crecimiento inicial. Otras investigaciones han reportado dosis óptima de nitrógeno con valores de 0.48, 0.54 y 60 gp^{-1} con efecto positivo en el crecimiento (Sadeghian y González, 2014). En otro estudio realizado para conocer el crecimiento de la raíz de plantas de café en etapa de vivero, se utilizaron dosis de 0.4 gp^{-1} de N, 0.87 gp^{-1} de P_2O_5 y 0.08 gp^{-1} de K_2O (Gil y Díaz, 2016).

3.7 Clorofila total

La clorofila es responsable de la fotosíntesis en que la energía lumínica es transformada en energía química por plantas, algas y algunas bacterias (Vermaas, 1998 citado por Cambrón–Sandoval *et al.*, 2011

La clorofila total es la suma de las clorofilas *a* y *b*. La clorofila *a*, es el pigmento principal, que transforma la energía lumínica en energía química, la cual se utiliza en el crecimiento de las plantas, por lo que se considera un pigmento activo. Por su parte, la clorofila *b* absorbe la luz en longitudes de onda diferentes que la clorofila *a*, la luz se transfiere después a la clorofila *a*, que la transforma en energía, por esto, a la clorofila *b*, se le considera un pigmento accesorio y forma parte de las antenas colectoras (García–Breijo *et al.*, 2006). La disminución en la intensidad de la luz reduce la actividad fotosintética y la concentración de clorofila *b* tiende a ser mayor,

afectando la relación de clorofilas *a-b* dentro de la planta (Shafiqur *et al.*, 2000 citado por Cambrón–Sandoval *et al.*, 2011). Una reducción en el espacio de crecimiento, tendría como efecto una disminución en la cantidad de luz, creando diferencias en el desarrollo de los individuos cuando se modifica la densidad de plantación, el comportamiento de los individuos suele ser distinto cuando crecen junto a individuos de diferente genotipo (competencia interfamiliar), que cuando lo hacen junto a individuos de su propio genotipo (competencia intra–familiar), (Adams *et al.*, 1973 citado por Cambrón–Sandoval *et al.*, 2011).

3.8 Tasas de crecimiento

El crecimiento es un término cuantitativo, relacionado sólo con los cambios de tamaño y masa. Para las células, el crecimiento es simplemente un aumento irreversible de volumen. Para los tejidos y órganos, el crecimiento normalmente refleja un aumento tanto en el número como en el tamaño de las células (G. Hopkins y A. Hüner, 2009). El crecimiento en el contexto de la planta individual significa un cambio irreversible con el tiempo. Dichos cambios son principalmente en tamaño (sin importar cómo se midan), a menudo en forma y ocasionalmente en número (Hunt, 2017).

3.8.1 Tasas de crecimiento absoluto

Estas son tasas simples de cambio que involucran solo una variante y tiempo de planta, por ejemplo, la tasa de aumento de peso seco de toda la planta, o la tasa de aumento en el número de raíces por planta (Hunt, 2016).

3.8.2 Tasas de crecimiento relativo

Estas son tasas de cambio más complejas, pero aún involucran solo una variante y tiempo de planta, un ejemplo es la tasa de aumento de peso seco de toda la planta por unidad de biomasa y tiempo (Villar *et al.*, 2004; Hunt, 2016)

IV. Metodología

4.1 Sitio de estudio

El estudio se realizó en un invernadero rústico en las instalaciones de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, ubicado en las coordenadas geográficas de $16^{\circ} 9'44.02''$ norte y $93^{\circ}16'37.76''$ oeste, en el municipio de Villa Corzo, Chiapas (Figura 1). Entre los meses de enero y julio del 2018.

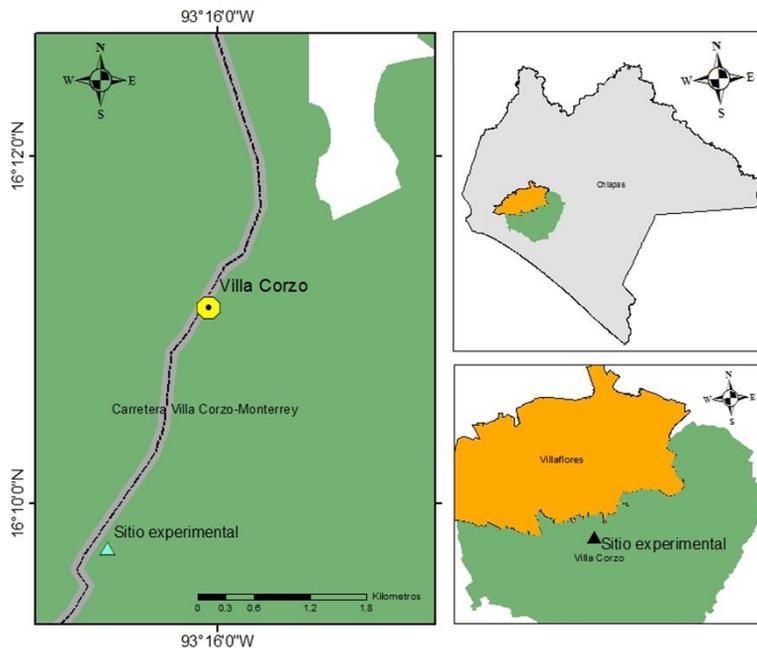


Figura 1. Sitio experimental

4.1.1 Características del sitio de estudio

De forma general, el municipio de Villa Corzo tiene un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, más húmedo (48.26%), cálido subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (27.78%), semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano (13.27%), semicálido subhúmedo con lluvias en verano, más húmedo (7.19%), cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (2.63%), templado húmedo con abundantes lluvias en verano (0.61%) y semicálido subhúmedo con lluvias en verano

de humedad media (0.26%) el rango de temperatura va de 14 a 26°C, con precipitación 1 000 – 3 500 mm (DOF, 2010; INEGI, 2008).

4.2 Siembra

En charolas germinadoras unicel, con un sustrato de arena de río, sin ningún tratamiento, se germinaron 350 semillas de café variedad Costa Rica 95 sin ningún tratamiento.

4.3 Trasplante

A los 90 días después de la siembra (dds), en fase “mariposa”, se realizó el trasplante de 252 plántulas a macetas con un volumen de 900 cm³ y cuando las plántulas presentaron tres pares de hojas en promedio (180 dds), se inició con la aplicación de fertilizante.

4.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental totalmente al azar, con siete tratamientos, seis tratamientos con fertilización y un testigo sin fertilización adicional, cuatro repeticiones por tratamiento y nueve plantas por repetición, teniendo un total de 252 plántulas.

4.5 Tratamiento

Los elementos N, P y K utilizados fueron obtenidos de la urea (46-00-00 de N), fosfato diamónico (18-46-00) y cloruro de potasio (00-00-60), la cantidad de cada elemento se aplicaron en gramos por planta en las siguientes combinaciones de N-P-K: T1=00-00-00, T2=0.60-0.38-0.35 T3=0.60-0.76-0.70, T4=0.60-1.15-1.05, T5=0.90-0.38-0.35, T6=0.90-0.76-0.70 y T7=0.90-1.15-1.05.

Se realizaron dos aplicaciones mensuales de los tratamientos de fertilización (180 dds y 210 dds), cada dosis de fertilización se distribuyó en cuatro aplicaciones semanales, aplicando cada semana las siguientes cantidades T1= 00-00-00, T2= 0.15-0.095-0.0075, T3= 0.015-0.19-0.175, T4 =0.15-0.2875-0.2625, T5=0.225-0.095-0.0875, T6=0.225-0.19-0.175 y T7=0.225-0.2875-0.2625.

Las plántulas fueron regadas con 150 ml cada tercer día procurando la capacidad de campo, hasta finalizar la evaluación.

Se utilizaron macetas de plástico con un volumen de 900 cm³ llenados con un sustrato de suelo de vega, al cual se le determinó las características físicas y químicas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del sustrato.

P	K	Ca	Mg	N total	M.O. %	pH H ₂ O	CIC cmol/Kg	Arena	Arcilla	Limo	Dap g/ml
33.66	120.7	1903.3	322.2	0.25	3.01	5.65	16.01	54.2	15.1	30.7	1.22

El sustrato se considera apto para el desarrollo de las plántulas, con una textura franca, con una buena densidad, características deseables para un buen drenaje, con acidez moderada tolerable para el cultivo, pero bajo en materia orgánica, N y Mg (NOM-021).

4.6 Variables y fechas de muestreo

Se realizaron dos muestreos destructivos (195 dds y 236 dds) para obtener las mediciones de biomasa con 4 plantas por repetición y en total 16 plantas por tratamiento, donde se midieron las variables: Longitud de tallo, diámetro de tallo, longitud de hoja, ancho de hoja, área de hoja, peso seco de raíz, tallo, hojas y

clorofila total. Con los valores del peso seco de la planta y el área foliar se determinó la tasa absoluta de crecimiento (TAC) y tasa relativa de crecimiento (TRC), (Cuadro 2).

Se utilizó un medidor de clorofila MC-100, calibrador vernier para medir el diámetro del tallo y longitud de tallo, un Laser área meter CL-202 para medir longitud y ancho de hojas y área de hoja y una balanza analítica de precisión para pesar raíz, tallo y hojas.

Cuadro 2. Variables de crecimiento

Variables	Fórmula
Tasa absoluta de crecimiento	$TAC=(W_2-W_1)/(T_2-T_1)$
Tasa de relativa de crecimiento	$TRC = (LNW_2 - LNW_1)/(T_2 - T_1)$

Donde W es el peso seco, T es el tiempo, Ln es el logaritmo natural y Af es el área foliar.

4.5 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) procesados con el software Statistica 8.0.

5. Resultados y discusión

5.1 Crecimiento vegetativo

A continuación se presenta los resultados de las variables, diámetro y longitud de tallo, largo y ancho de hoja, área foliar total y peso seco total de la planta, en donde se puede observar el efecto de la fertilizar en plántulas de café (Anexo 1).

5.1.1 Diámetro de tallo

En los resultado obtenidos de la variable diámetro del tallo (Figura 2) se puede observar que no existe diferencia significativa en los tratamientos con fertilización mineral y el testigo. La fertilización mineral no favorece que se obtengan tallos más gruesos, esto tiene relación con los estudios realizados por Lazo (1988) quien menciona que a medida que se aumentó la concentración total de nitrógeno, la altura y el diámetro fue disminuyendo. Otra investigación realizada por Giraldo y Rubiano (1974), quienes hallaron un efecto negativo de N en el crecimiento de café en la etapa de almácigo (Anexo 2).

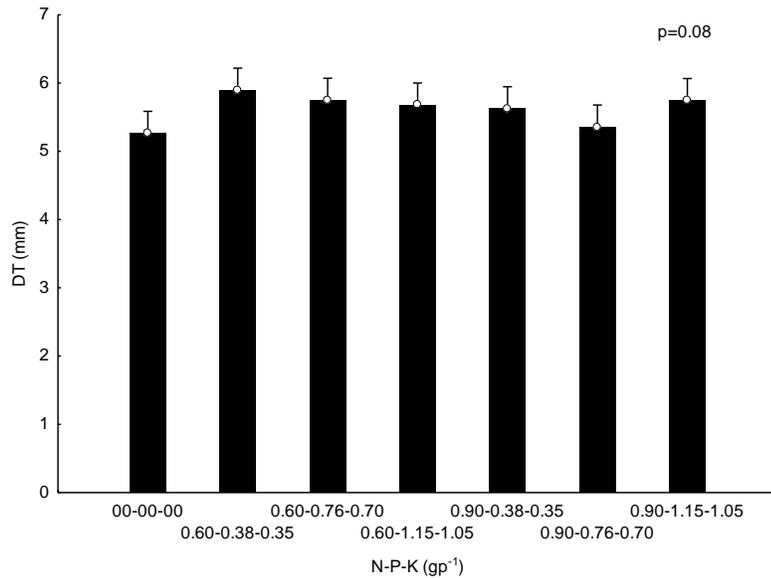


Figura 2. Diámetro de tallo de plántulas de café por efecto de la nutrición mineral edáfica

5.1.2 Longitud de tallo

En la variable longitud de tallo (Figura 3), existe diferencia significativa entre los tratamientos con fertilización mineral y el testigo, sin embargo esto no significa que a mayor dosis aplicada de N-P-K incrementa la longitud de tallo, pues estadísticamente no existe diferencia entre el T2 que tiene menor dosis de N-P-K al T7 que contiene mayor dosis de N-P-K. Estudio realizado por Sadeghian (2014) encontró que en la etapa del almácigo el suministro de N afecta negativamente el crecimiento de las plantas cuando se aplica en forma de urea probablemente en consecuencia de las dosis empleadas (más de 1 g/planta).(Anexo 3)

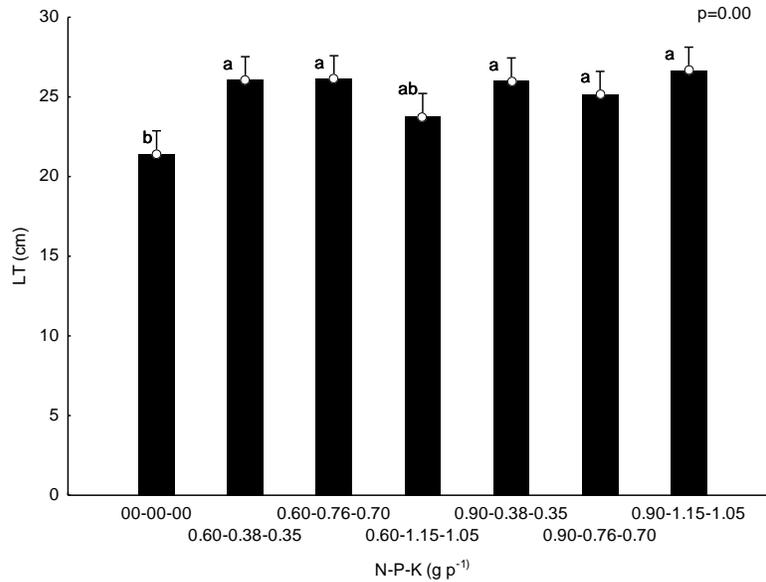


Figura 3. Longitud e tallo de plántulas de café por efecto de la fertilización mineral edáfica

5.1.3 Número de hojas

En la variable número de hojas (Figura 4), se encuentra que existe diferencia significativa entre los tratamientos, no obstante la dosis aplicada a cada tratamiento con fertilización mineral no aumenta el número de hojas, siendo estadísticamente iguales el T2 con menor dosis de fertilización que el T7 con mayor dosis de fertilización, por lo tanto se recomienda el T2 que ya favorecer el costo de producción de plántulas. Este resultado concluye con Salamanca *et al.* (2016) quienes en una investigación mencionan que el contenido de N aumenta el número de hojas. (Anexo 4).

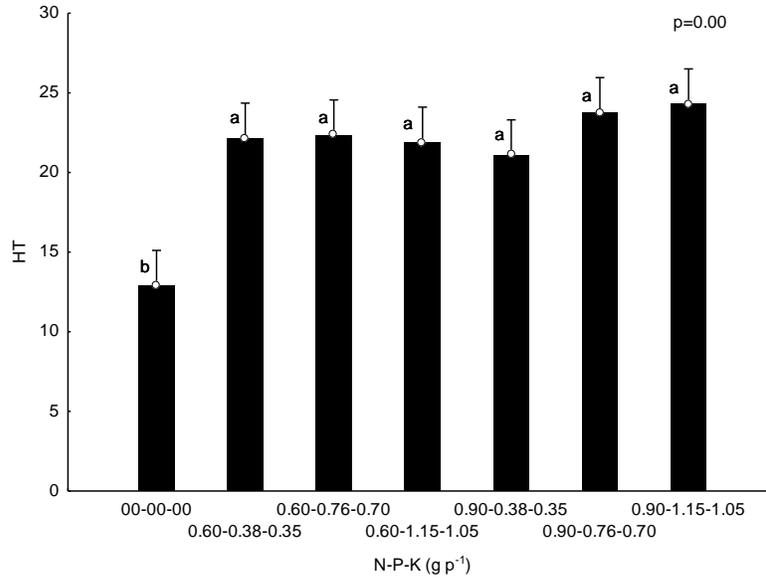


Figura 4. Efecto de la fertilización mineral edáfica en el número de hojas de plántulas de café

5.1.4 Longitud y ancho de hoja

En cuanto a la variable longitud y ancho de hoja (Figura 5), el T7 obtuvo los mayores valores numéricos, sin embargo no presenta diferencia con los tratamientos 3, 4 y 5. El testigo fue estadísticamente diferente e inferior a todos. El área foliar es un indicador útil de la capacidad fotosintética de las plantas (Anexo 5 y 6).

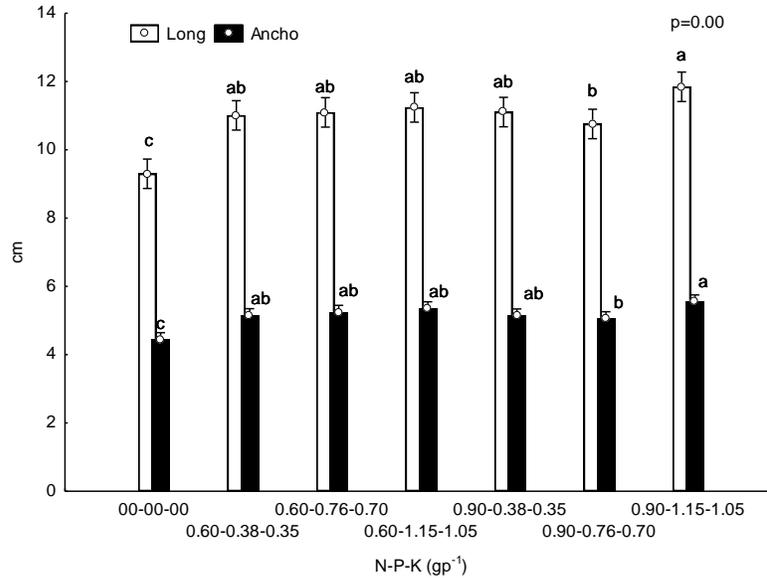


Figura 5. Efecto de la fertilización mineral edáfica en longitud y ancho de hojas en plantas de *Coffea arabica* L. Var. CR 95

5.1.5 Área foliar unitaria

Los resultados del área foliar unitaria (Figura 6), muestran que el tratamiento con fertilización mineral con valor numérico más alto fue el T7 con un aproximado de 0.0047 m², sin embargo con los tratamientos 3 y 4 son estadísticamente iguales, a diferencia de los tratamientos 2, 5 y 6. El tratamiento que presentó menor área foliar unitaria fue el testigo con un aproximado de 0.0030 cm². Es necesario mencionar que el área foliar es fundamental ya que por medio de las hojas se lleva a cabo procesos importantes en las plantas, la fotosíntesis y transpiración (Anexo 7).

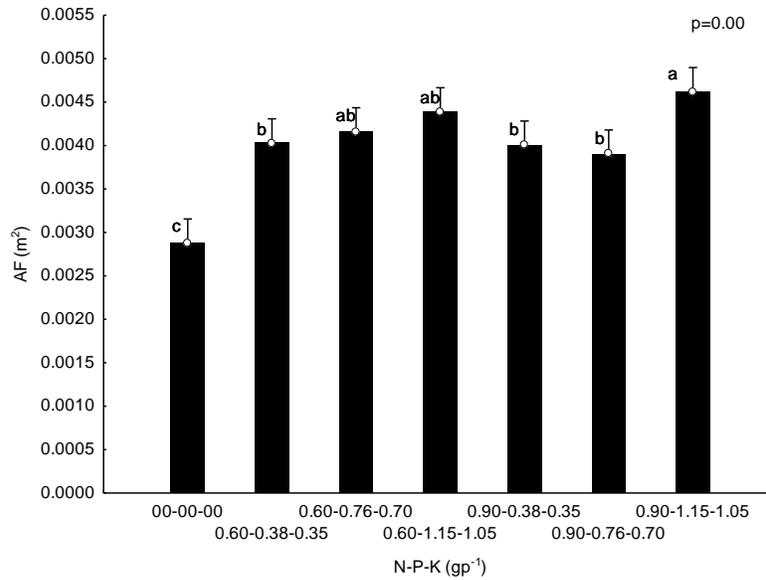


Figura 6. Área foliar unitaria de plántulas de café como resultado de la fertilización mineral edáfica

5.1.6 Biomasa seca total

La dosis de fertilizante mineral (T2 al T7) no favorece el incremento de la biomasa seca (Figura 7), pues no se encontró diferencia significativa en los seis tratamientos, el testigo fue el que menor biomasa seca presentó con un aproximado de 6 gramos a comparación del T2 que presentó 5 gramos más que el testigo. Es importante mencionar que la fertilización es fundamental en las plántulas, aplicando a dosis adecuada, esto tiene relación con conclusiones expuestas por Salamanca y Sadeghian (2012) quienes reportan aumentos entre 180% y 1.500% en el peso seco de las plantas, mediante el empleo de lombrinaza de pulpa de café. (Anexo 8).

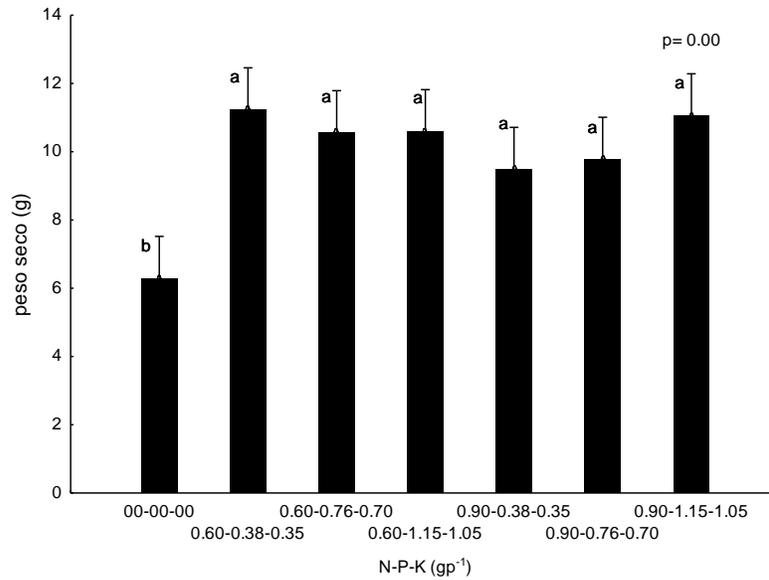


Figura 7. Resultados de la fertilización mineral edáfica en la biomasa seca total de plántulas de café

Lo adecuado por cuestiones económicas es aplicar el T2 pues es el que menor dosis de N-P-K presenta y los resultados son estadísticamente iguales a comparación de los cinco tratamientos restantes. Estudios realizados por Sadeghian y González (2014), señalan que la dosis requerida para alcanzar la biomasa máxima es de 0.54 g de N/planta.

5.1.7 Peso seco de raíz, tallo y hojas

Los resultados obtenidos del peso seco de tallo, raíz y hoja (Figura 8) se observa que no existen diferencias estadísticas significativas en el peso seco de raíz, entre los tratamientos que se les aplicó N-P-K y el testigo (Anexo 9). Cabe mencionar que el peso seco de hojas se encuentra diferencia estadísticas significativas siendo mejores los tratamientos con fertilización N-P-K (T2, T3, T4, T5, T6 y T7) comparado con el testigo (T1). (Anexo 10). Sin embargo el peso seco del tallo del testigo (T1), fue el más bajo numéricamente (Anexo 11). Estudio realizado por Sadeghian y González (2014) quienes señalan que el comportamiento de la respuesta a las dosis suministradas de N señala la que la dosis (0,54 g/planta de N), se requiere para alcanzar la biomasa máxima.

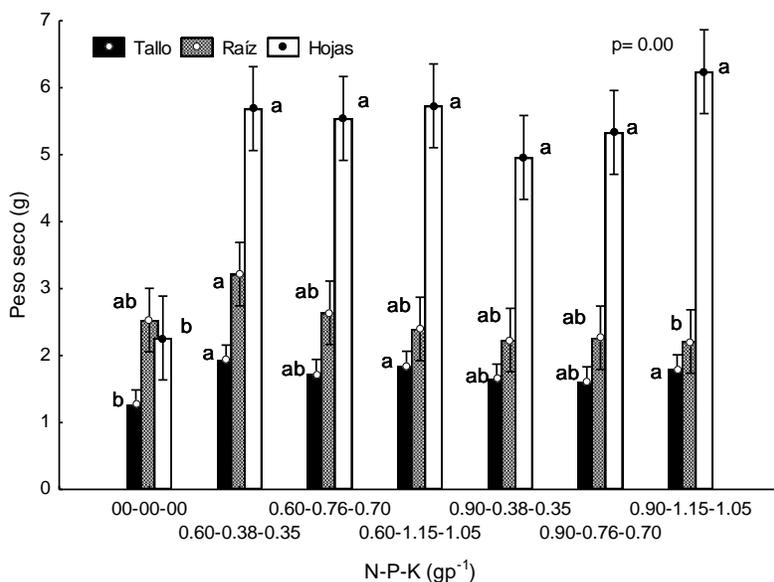


Figura 8. Peso seco de raíz, tallo y hojas por efecto de la nutrición mineral en plántulas de café Var. CR 95

Las plantas expresaron plasticidad en el crecimiento de la raíz, como respuesta a la variación de nutrientes al aplicar diversos tratamientos de fertilización. La planta redistribuyó la biomasa, siendo mayor el peso seco de la raíz a medida que la fertilización fue menor; tal como lo explica la teoría de asignación óptima (TAO), donde las plantas asignan más recursos en el órgano involucrado en la captura del recurso deficiente (Bloom *et al.*, 1985; Dewar, 1993; Villamizar-Cújar *et al.*, 2012).

5.2 Clorofila total

En la Figura 9 del muestreo de 98 ddt, se puede observar que las plantas con nutrición mineral adicional en los 6 tratamientos, fueron iguales estadísticamente, esto significa que la dosis de fertilización no ayuda al aumento del contenido de clorofila, sin embargo el testigo fue el que presentó menor clorofila, esto nos indica que la fertilización mineral es importante pero en menor cantidad. De acuerdo con el reporte de Arizaleta *et al.*, (2008), quienes sugieren aplicar entre 0,48 y 0,60 g/planta de N como dosis adecuada (Anexo 12).

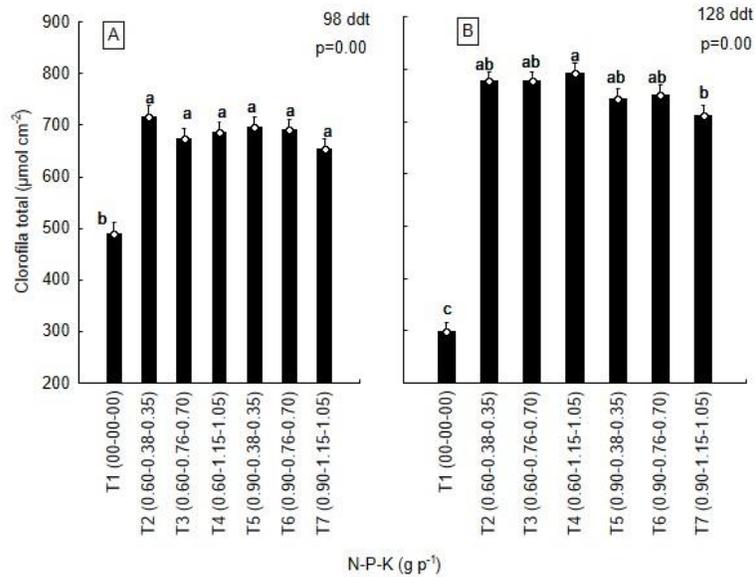


Figura 9. Efecto de la nutrición mineral con N-P-K en la clorofila total de plantas de Coffea arabica L Var. CR 95

En el muestreo de 128 ddt se puede observar que el T2, T3 y T4 son los que presentan mayor clorofila pero son iguales estadísticamente, por economía se recomienda el T2 pues presenta menor dosis de fertilización, el T7 con mayor nutrición mineral es la que presenta menor clorofila, esto significa que el aumento de fertilización no favorece el aumento de clorofila, todo lo contrario disminuye el contenido de clorofila, esto concuerda con Arizaleta *et al.*, (2008) quien menciona que las plantas de cafeto necesitaron dosis bajas de fertilización con N y P para alcanzar buen término previo a su establecimiento en campo (Anexo 13).

5.3 Tasa absoluta y relativa de crecimiento

Los resultados de la tasa absoluta de crecimiento (Figura 10) muestran que no existe diferencia significativa en los tratamientos que les aplico N-P-K, no obstante existe diferencia estadística significativa entre estos tratamientos con fertilización y

el testigo. El T2 obtuvo el doble de biomasa seca por día, en comparación con el testigo (T1). Estudio realizado por Sadeghian y González (2014), menciona que durante la etapa de almácigo es posible lograr incrementos relativamente altos en el crecimiento de las plantas a través de una adecuada nutrición (Anexo 14). En cuanto la tasa de crecimiento relativa, no se obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos.

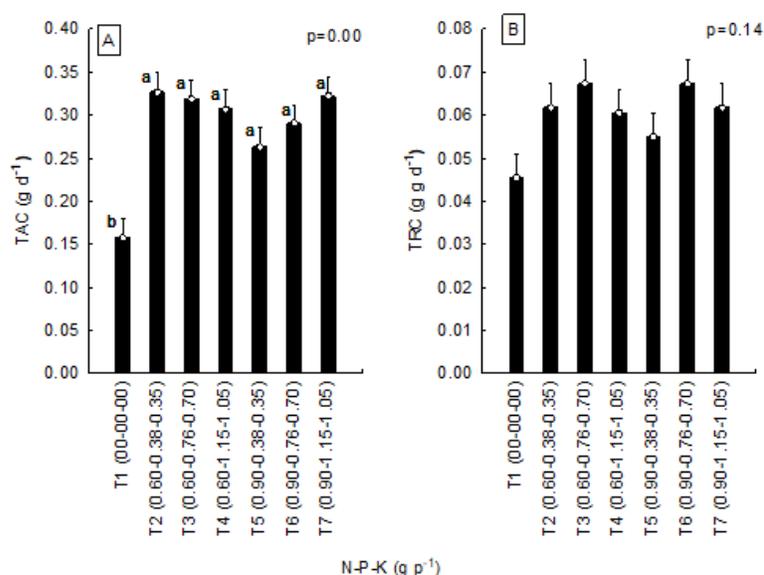


Figura 10. Tasa absoluta y relativa de crecimiento de plántulas de café por efecto de la nutrición mineral

Se han reportado tasas de absoluta de crecimiento en plantas de café en etapa de vivero, a los 50 días después la emisión del primer par de hojas, 0.01 g por día, hasta 0.03 g por día dato obtenido a los 125 días. Estos valores son bajos, probablemente debido a que en esta investigación se utilizó una fertilización orgánica al suelo en una sola ocasión (Córdova y Carreño, 2016), lo cual resalta la importancia de la fertilización mineral en dosis bajas que promuevan un crecimiento óptimo (Anexo 15).

VI. Conclusiones

El crecimiento inicial de plántulas de café con aplicación de fertilización mineral fueron diferentes estadísticamente con el testigo (T1), la dosis que presentó mejores rendimientos fue 0.60-0.76-0.70 de N-P-K del T3, esto se reflejó en las variables evaluadas, mayor altura y follaje.

Las plántulas sin fertilización mineral adicional presenta mayor biomasa en la raíz y menor en hojas, esto se debe a que las plantas presentan plasticidad fenotípica cuando se enfrentan a condiciones ambientales adversas como lo es la falta de nutrientes en el suelo.

La fertilización mineral edáfica en etapa temprana promueve un mejor crecimiento y una mayor acumulación de biomasa seca en hojas y menor biomasa seca en raíz; cuando las plantas no disponen de fertilización mineral es mayor la acumulación de biomasa seca en raíz que en hojas.

VII. Bibliografía

- Antolinez D. Rodríguez L. 2008. Plasticidad fenotípica en *lippia alba* y *lippia organoides* (verbenaceae): respuesta a la disponibilidad de nitrógeno
- Arcila P. 2007. Establecimiento del cafetal. Disponible en: <https://www.cenicafe.org/es/documents/LibroSistemasProduccionCapitulo4.pdf>
- Arcila P., Farfán V., Moreno B., Salazar G. y Hincapié G. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. Disponible en: https://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas_de_produccion.pdf
- Arizaleta M. y Pire R. 2008. Respuesta de plántulas de cafeto al tamaño de la bolsa y fertilización con nitrógeno y fósforo en vivero. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952008000100006
- Bartra, A. (2006). Virtudes económicas, sociales y ambientales del café certificado. El caso de la coordinadora estatal de productores de café de Oaxaca. En B. Canabal, G. Contreras, & A. León, Estrategias Económicas y Procesos Culturales
- Bloom, A. J., Chapin, F. S., y Mooney, H. A. 1985. Resource Limitation in Plants-An Economic Analogy. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16(1), 363–392.
- Cambrón–Sandoval., España–Boquera., Sánchez–Vargas., Sáenz–Romero., Vargas–Hernández y Herrerías–Diego. 2011. Producción de clorofila en *Pinus pseudostrobus* en etapas juveniles bajo diferentes ambientes de desarrollo
- Carvajal, J.A. (1984). Cultivo y fertilización del cafeto. Instituto Internacional de la Potasa, 15.
- Córdova, M. E., y Carreño, F. S. 2016. Crecimiento de posturas de cafeto (*Coffea arabica* L .) con cuatro niveles de sombra en dos condiciones edafoclimáticas de Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 72–78.

- Cuba, N., 2006. Manual para el cultivo del café en Yungas. Editor: Unidades Académicas Campesinas. Universidad Católica Boliviana "San Pablo". La Paz, Bolivia.
- Dedecca, D.M. Anatomía e desenvolvimiento ontogenético de *Coffea arabica* L. Var. *Typica* Cramer. *Bragantia* 16:315-366. 1957.
- Dewar, R. C. 1993. A Root-Shoot Partitioning Model Based on Carbon-Nitrogen-Water Interactions and Munch Phloem Flow. *Functional Ecology*, 7(3), 356.
- DOF. Diario Oficial de la Federación. 2010. Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de las subregiones hidrológicas Alto Grijalva, Medio Grijalva y Bajo Grijalva de la Región Hidrológica No. 30 Grijalva-Usumacinta. Disponible en: <http://bit.ly/2tdWxS4>
- Federación Nacional De Cafeteros De Colombia - FNC. Bogotá. Colombia. Manual del cafetero Colombiano. 4. ed. Bogotá, FNC, 1979.209 p.
- Flores, F. (2014) La producción de café en México: ventana de oportunidad para el sector agrícola de Chiapas. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 4 (7), 174-194. doi: 10.31644/IMASD.7.2015.a07
- FNC (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia), 2010. El árbol y el entorno. Disponible en: <http://www.cafedecolombia.com>.
- G. Hopkins, W., & A. Hüner, N. P. (2009). *Introduction to Plant Physiology* (Fourth). United States of America: Jhon Wiley and Sons Inc.
- García-Breijo F., J.; Roselló, Caselles, J; Santamarina-Siurana, M., P. 2006. Introducción al funcionamiento de las plantas. Editorial: Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 181.
- Gast H, F., Benavides M, P., Sanz U, J. Rodrigo, Herrera P, J. C., Ramírez B, V. H., Cristancho A, M. A., y Marín L, S. M. 2013. *Manual del Cafetero Colombiano. FNC-Cenicafé* (Vol. 1).
- Gil C, A. I., y Díaz M, L. J. 2016. Evaluación de tipos de contenedores sobre el crecimiento radical de café (*Coffea arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 125–136.

- Giraldo V. y Rubiano C., G. Respuesta de plántulas de café *Coffea arabica* L. variedad Caturra, a la fertilización con N-P-K y su relación con la incidencia de Mancha de hierro" *Cercospora coffeicola*. Manizales (Colombia), Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, 1974. 60 p. Tesis: Ingeniero Agrónomo.
- González O., Enríquez R., Rangel S., García E. y Tejeda C. 2011. La ruta del café y la diversidad de las aves. CONABIO. Biodiversitas
- González O., Sadeghian K. y Jaramillo R. 2014. Épocas recomendables para la fertilización de cafetales.
- González Z. 2005. Producción de Café (*Coffea arabica*) Convencional y Orgánica en la Región de Chicontepec en el Estado de Veracruz. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2041/T15133%20%20GONZALEZ%20ZARAGOZA%2C%20ANASTACIO%20%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández V., González S., Parra T., Valdez O., Pacheco O. Y López E. 2015. Plasticidad fenotípica de poblaciones de chile silvestre (*capsicum annum* var. *glabriusculum*) en respuesta a disponibilidad de luz. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/bs/v93n2/v93n2a5.pdf>
- Hunt R. 2017. Growth analysis, individual plants.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2008. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Villa Corzo, Chiapas. Disponible en: <http://bit.ly/2vARlby>
- Lazo A. 1988. Evaluación de tres dosis y tres frecuencias de aplicación de fertilizantes diluidos en viveros de Café (*Coffea arábica* L.)
- Marín-Ciriaco, G. 2012. Producción de cafés especiales. Manual Técnico. Equipo Técnico Fondoempleo, Programa Selva Central. Lima, Perú. 46 pp.
- Mariscal, A. (2011). El café orgánico de Chiapas crece a contracorriente y sin incentivo. CNN México. Disponible en: http://www.ecosur.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=1184:el-cafeorganico-de-chiapas-

crece-a-contracorriente-y-sin-incentiv
o&catid=154:ecomedios&Itemid=1138&lang=tze

MDRAyMA (Ministerio de Desarrollo Rural, Agropecuario y de Medio Ambiente, BO), 2008. Experiencias del cultivo de café en Bolivia. Ed. Unidad de Producción Agropecuaria, Agroforestal y Pesca.

Medina Meléndez J., Ruiz-Nájera E., Gómez Castañeda J., Sánchez Yáñez J., GómezAlfaro G. Y Pinto-Molina O. 2016. Estudio del sistema de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la región Frailesca, Chiapas. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v10n2/2007-7858-cuat-10-02-00033.pdf>

Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

Palacio L. y Rodríguez L. 2007. Plasticidad fenotípica en *Lippia alba* (verbenaceae) en respuesta a la disponibilidad hídrica en dos ambientes lumínicos. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v13n1/v13n1a13.pdf>

Raven, P.H.; Evert, R.F.; Eichhorn, S.E Biology of plants. 6. ed. New York, Freeman Publishers Co., 1999

Robles Berlanga. H. 2011. Los Productores de Café en México: Problemática y Ejercicio del Presupuesto. Disponible en: https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/Hector_Robles_Cafe_Monografia_14.pdf

Sadeghian K. y González H. 2014. Respuestas de almácigos de café a diferentes fuentes y dosis de nitrógeno

Sadeghian Khalajabadi. S. Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (*Coffea arabica* L.) en la etapa de almácigo. Medellín : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias agropecuarias, 2012. 157 p. Tesis Doctor en Ciencias agrarias.

- Salamanca J., A.; Sadeghian K., S. 2016. Almacigos de café con distintas proporciones de lombrinaza en suelos con diferente contenido de materia orgánica.
- Salazar A., J.N. Respuesta de plántulas de café a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio. *Cenicafé (Colombia)* 28(2):61-66. 1977.
- Saldíva I. 2018. El cultivo del café *Coffea arabica* Linn y *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94831/Cultivo+del+Caf%E9+2018.pdf;jsessionid=51CA6368C8C23CC58DEA1E256B7EC7C6?sequence=2>
- SIAP. 2014 Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en <http://w4.siap.gob.mx/sispro/portales/agricolas/cafe/Descripcion.pdf>
- Squeo F. y León M. 2007. Transpiración. Disponible en: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Transpiracion.pdf>
- Villar R., Ruiz R., Quero J., Hendrik P., Valladares F. y Teodoro M. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas.
- Zarco-Tejada, P.; Miller, J.; Harron, J.; Hu, B.; Noland, T.; Goel, N.; Mohammed, G.; Sampson, P. 2004. Needle chlorophyll content estimation through model inversion using hyperspectral data from boreal conifer forest canopies. *Remote Sensing of Environment* 89(2): 189–199.

VIII. Anexos

Anexo 1. Análisis de varianza de las variables, diámetro y longitud de tallo, largo y ancho de hoja, área foliar total y peso seco total de la planta.

Tratamientos	Diám tallo (mm)	Long tallo (cm)	Núm hoja	Long hoja (cm)	Anch hoja (cm)	AF unitaria (cm ²)	PSTP (g)
T1 (00-00-00) EE	5.26* ± 0.16	21.4b ± 0.77	12.90b ± 0.35	9.29c ± 0.21	4.44c ± 0.09	28.78c ± 1.13	6.27b ± 0.38
T2 (0.60-0.38-0.35) EE	5.90* ± 0.14	26.06a ± 0.61	22.15a ± 0.85	11.00ab ± 0.15	5.14ab ± 0.09	40.31b ± 1.14	11.38a ± 0.62
T3 (0.60-0.76-0.70) EE	5.75* ± 0.15	26.11a ± 0.37	22.35a ± 1.42	11.09ab ± 0.19	5.24ab ± 0.10	41.58ab ± 1.55	10.56a ± 0.63
T4 (0.60-1.15-1.05) EE	5.68* ± 0.17	23.75ab ± 1.27	21.90a ± 1.16	11.24ab ± 0.30	5.35ab ± 0.12	43.89ab ± 2.03	10.59a ± 0.71
T5 (0.90-0.38-0.35) EE	5.62* ± 0.20	25.98a ± 0.80	21.10a ± 1.25	11.10ab ± 0.22	5.14ab ± 0.09	40.05 b ± 1.15	9.48a ± 0.74
T6 (0.90-0.76-0.70) EE	5.36* ± 0.19	25.14a ± 0.57	23.75a ± 1.30	10.75b ± 0.20	5.06b ± 0.09	39.02b ± 1.24	9.78a ± 0.68
T7 (0.90-1.15-1.05) EE	5.74* ± 0.12	26.66a ± 0.51	24.30a ± 1.42	11.84a ± 0.17	5.55a ± 0.08	46.21a ± 1.19	11.05a ± 0.59

Letras distintas indica diferencias significativas entre medias, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$); *No existe diferencias significativas entre medias; EE= error estándar.

Anexo 2. Análisis de varianza de la variable del diámetro de tallo

Univariate Tests of Significance for DT (base datos crecimiento 040818.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	4414.513	1	4414.513	8280.061	0.000000
Tratamiento	6.162	6	1.027	1.926	0.081189
Rep	1.711	3	0.570	1.070	0.364323
Error	69.309	130	0.533		

Anexo 3. Análisis de varianza de la variable longitud del tallo

Univariate Tests of Significance for LT (base datos crecimiento 040818.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	87589.02	1	87589.02	7928.766	0.000000
Tratamiento	411.21	6	68.54	6.204	0.000009
Rep	63.64	3	21.21	1.920	0.129484
Error	1436.11	130	11.05		

Anexo 4. Análisis de varianza de la variable número de hojas

Univariate Tests of Significance for HT (base datos crecimiento 040818.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	62964.01	1	62964.01	2527.916	0.000000
Tratamiento	1754.54	6	292.42	11.740	0.000000
Rep	358.48	3	119.49	4.797	0.003340
Error	3237.97	130	24.91		

Anexo 5. Análisis de varianza de la variable Longitud de hoja

Univariate Tests of Significance for Long (base datos crecimiento 040818.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	16656.77	1	16656.77	17542.00	0.000000
Tratamiento	73.69	6	12.28	12.93	0.000000
Rep	1.44	3	0.48	0.50	0.680329
Error	123.44	130	0.95		

Anexo 6. Análisis de varianza de la variable Ancho de hoja

Univariate Tests of Significance for Ancho (base datos crecimiento 040818.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	3692.063	1	3692.063	18423.12	0.000000
Tratamiento	14.228	6	2.371	11.83	0.000000
Rep	0.794	3	0.265	1.32	0.270569
Error	26.052	130	0.200		

Anexo 7. Análisis de varianza de la variable Área Foliar Unitaria

Univariate Tests of Significance for AF (base datos crecimiento 040818.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	223792.3	1	223792.3	5723.339	0.000000
Tratamiento	3664.0	6	610.7	15.617	0.000000
Rep	37.3	3	12.4	0.318	0.812648
Error	5083.2	130	39.1		

Anexo 8 Análisis de varianza de la variable Peso seco total de la planta

Univariate Tests of Significance for BT (base datos crecimiento 040818.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	13647.75	1	13647.75	1765.525	0.000000
Tratamiento	353.08	6	58.85	7.613	0.000001
Rep	60.46	3	20.15	2.607	0.054443
Error	1004.92	130	7.73		

Anexo 9. Análisis de varianza de la variable Peso seco de raíz

Univariate Tests of Significance for Pseco raíz (base datos crecimiento 040818.sta)					
Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	873.7028	1	873.7028	761.1161	0.000000
Tratamiento	15.1036	6	2.5173	2.1929	0.047642
Rep	5.9366	3	1.9789	1.7239	0.165271
Error	149.2300	130	1.1479		

Anexo 10. Análisis de varianza de la variable Peso seco de hojas

Univariate Tests of Significance for Pseco hoj (base datos crecimiento 040818.sta)					
Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	3651.724	1	3651.724	1822.034	0.000000
Tratamiento	207.310	6	34.552	17.240	0.000000
Rep	9.408	3	3.136	1.565	0.201061
Error	260.546	130	2.004		

Anexo 11. Análisis de varianza de la variable Peso seco de tallo

Univariate Tests of Significance for Pseco tallo (base datos crecimiento 040818.sta)					
Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	399.4796	1	399.4796	1621.577	0.000000
Tratamiento	5.6663	6	0.9444	3.833	0.001493
Rep	2.1980	3	0.7327	2.974	0.034138
Error	32.0258	130	0.2464		

Anexo 12. Análisis de varianza de la variable Clorofila 98 ddt

Univariate Tests of Significance for Clorofila (base datos clorofila cuatro muestreos 300119) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Include condition: v1=1					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	72728477	1	72728477	7241.364	0.000000
Trat	845001	6	140833	14.022	0.000000
Rep	21986	3	7329	0.730	0.535720
Error	1586870	158	10043		

Anexo 13. Análisis de varianza de la variable Clorofila 128 ddt

Univariate Tests of Significance for Clorofila (base datos clorofila cuatro muestreos 300119) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Include condition: v1=4					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	134580068	1	134580068	10781.86	0.000000
Trat	7448934	6	1241489	99.46	0.000000
Rep	72871	3	24290	1.95	0.122475
Error	3370162	270	12482		

Anexo 14. Análisis de varianza de la variable tasa absoluta de crecimiento

Univariate Tests of Significance for TAC (g d-1) (Spreadsheet TAC TRC.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	0.584669	1	0.584669	1182.611	0.000000
Trat	0.022091	6	0.003682	7.447	0.000402
Rep	0.001639	3	0.000546	1.105	0.372728
Error	0.008899	18	0.000494		

Anexo 15. Análisis de varianza de la variable tasa relativa de crecimiento

Univariate Tests of Significance for TRC (g g d-1) (Spreadsheet base TAN mg 020719.sta) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Intercept	0.100419	1	0.100419	821.6833	0.000000
Trat	0.001378	6	0.000230	1.8793	0.139908
Rep	0.000471	3	0.000157	1.2854	0.309603
Error	0.002200	18	0.000122		