

Nutrición de portainjertos de cacao (*Theobroma Cacao* L.), utilizando diferentes dosis de nitrógeno, fósforo y potasio y su influencia en el prendimiento de cuatro tipos de injerto.

Meza-Calderón, M A¹; Moya-Menjivar, XM¹; Parada-Berrios, FA².

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la influencia de la nutrición del cacao con diferentes dosis de fórmula 15-15-15, en el desarrollo de portainjertos de cacao y el éxito en el prendimiento del injerto se ejecutó una investigación en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. La investigación se ejecutó en dos etapas, en la primera etapa se definieron cinco dosis de la fórmula 15-15-15: 5 g, 10 g, 15 g, 20 g, 30 g y un testigo al cual no se aplicó ningún fertilizante. El análisis estadístico se realizó utilizando un diseño completamente al azar con tres repeticiones y 40 plantas como unidad experimental totalizando 600 plantas. En la segunda etapa se realizó un arreglo factorial, donde se combinaron las dosis de NPK y el tipo de injerto (enchapado lateral, cuña terminal, yema y parche), generando 20 tratamientos (cuatro tratamientos por dosis), en un diseño completamente al azar con tres repeticiones y 10 plantas por unidad experimental, además para conocer la influencia entre las variables se utilizó la correlación de Pearson. Las variables evaluadas fueron: altura, diámetro, número de hojas, área foliar, peso específico de hoja (PEH), contenido de clorofila, peso fresco y seco de hoja, tallo y raíz de los portainjertos en la primera etapa. Además las variables éxito del prendimiento del injerto, grados días de desarrollo (GDD), altura, diámetro y número de hojas del injerto en la segunda etapa. Como resultados, solo hubo diferencias estadísticas significativas en el diámetro de planta, área foliar y PEH, demostrando que las diferentes dosis de la fórmula mejoraron el desarrollo de los portainjertos con respecto al testigo. En la segunda etapa a nivel global del experimento se obtuvo un 72% de prendimiento del injerto, siendo el éxito segregado por tipo de injerto: de yema 19.83%, cuña terminal 18.33%, parche 17.33% y enchapado lateral 16.51%. Por otra parte se reporta el hallazgo de requerimientos de GDD para los injertos de enchapado lateral y cuña terminal con un intervalo de 245-398 GDD (20-30 días), para la brotación y los injertos donde se usa yema se requiere 403-522 GDD (más de dos meses). Se concluye que el efecto del fertilizante fue más categórico en la fase de injerto, encontrando diferencias altamente significativas en las variables de crecimiento y una estrecha asociación de éstas con las variables fisiológicas de la etapa de portainjerto demostrado por la alta correlación positiva encontrada entre ellas e influenciadas todas con las dosis de la fórmula 15-15-15; considerando que la asimilación y acumulación de reservas por los portainjertos y su translocación a los injertos y sus variables de crecimiento fue efectiva.

Palabras claves: Injerto de parche, injerto de yema, grados días de desarrollo, fertilizante, nutrición de plantas.

1. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Estudiante tesista.
marvin.meza@yahoo.com
1. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Estudiante tesista.
xiomaramoya23@gmail.com
2. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Fidel Ángel Parada Berrios
fidel.parada@ues.edu.sv

ABSTRACT

With the aim of evaluating the influence of cocoa nutrition with different doses of formula 15-15-15, in the development of cocoa rootstocks and the success in the taking of the graft, a study was carried out in the nursery of the Agricultural Science Faculty a University of El Salvador. The research was carried out in two stages, the first stage of wich defined five doses of the 15-15-15 formula: 5 g, 10 g, 15 g, 20 g, 30 g and a control where no fertilizer was applied. The analysis was performed using a completely randomized design with three replications and 40 plants as the carried out unit totaling 600 plants. In the second stage, a factorial arrangement was made, where the doses of NPK and the type of grafting (lateral plating, terminal wedge, bud and patch) were combined, generating 20 treatments (four treatments per dose), in a completely random design. with three repetitions and 10 plants per experimental unit, in addition to knowing the influence between the variables, the Pearson correlation was used. The variables evaluated were: height, diameter, number of leaves, leaf area, specific leaf weight (PEH), chlorophyll content, fresh and dry weight of leaf, stem and root of the rootstocks in the first stage. In addition, the success variables of the graft taking, degree days of development (GDD), height, diameter and number of leaves of the graft in the second stage. As results, there were only statistically significant differences in plant diameter, leaf area and PEH, showing that the different doses of the formula improved the development of the rootstocks compared to the control. In the second stage at the global level of the experiment, a 72% graft take was obtained, with success segregated by type of graft: bud 19.83%, terminal wedge 18.33%, patch 17.33 and lateral veneer 16.51%.

On the other hand, the finding of GDD requirements for lateral veneer and terminal wedge grafting are reported to be 245-398 GDD (20-30 days) is reported, for sprouting and grafts where bud is used, 403-522 are required. GDD (more than two months). It is concluded that the effect of the fertilizer was more categorical in the grafting phase, finding highly significant differences in the growth variables and a close association of these with the physiological variables of the rootstock stage, demonstrated by the high positive correlation found between them and all influenced by the doses of the formula 15-15-15; considering that the assimilation and accumulation of reserves by the rootstocks and their translocation to the grafts and their growth variables was effective.

Keywords: Patch grafting, bud grafting, degree days of development, fertilizer, plant nutrition.

1. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Estudiante tesista. marvin.meza@yahoo.com
1. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Estudiante tesista. xiomaramoya23@gmail.com
2. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Fitotecnia, Fidel Ángel Parada Berrios fidel.parada@ues.edu.sv

1. INTRODUCCION

El cultivo de cacao es considerado desde el punto de vista de su estructuración y funcionamiento como un agrosistema, el cual es integrado por diferentes elementos entre ellos las plantas de cacao, árboles que sirven de sombra, arbustos y hierbas y una cantidad de especies animales entre ellos aves, reptiles, insectos y una inmensa riqueza de microflora y microfauna, los cuales funcionan en forma equilibrada proporcionando características de sostenibilidad al sistema generando beneficios ambientales lo que lo hace al cacao importante ante la variabilidad climática (Somarriba et al, 2008).

Cultivado a escala nacional el cacao tiene el potencial de aumentar la biodiversidad del país, restaurar ecosistemas degradados, mejorar la calidad de los recursos de suelo y agua, y fomentar el potencial de adaptación de cara a los fenómenos meteorológicos extremos actuales y futuros. Los sistemas agroforestales (SAF), con cacao presentan la oportunidad a los agricultores aumentar las oportunidades de ingresos y de empleo a fin de mejorar la seguridad económica (Alianza Cacao, 2016).

Programas como Alianza Cacao dirigida por un consorcio de ONG's promueven variedades Trinitarias, provenientes de CATIE, FHIA e INIFAP, las cuales se propagan de manera clonal por injerto, a fin de garantizar su calidad genética (Alianza Cacao, 2016). Por otra parte la academia liderada por la Universidad de El Salvador a través del departamento de Fitotecnia ha comenzado un proceso de colecta de cacao criollo de aroma fino para establecer colecciones de campo o bancos de germoplasma con el objetivo de multiplicarlos y ponerlos a disposición de productores que lo demanden. En tal sentido y considerando que la propagación sexual genera una segregación genética por ser una especie alógama, se está tratando de generar tecnologías de propagación a través del injerto, considerando la falta de experiencia para la propagación de cacao, utilizando las técnicas de injerto más usadas en frutales como el injerto por enchape lateral y cuña terminal, asimismo, evaluar otros tipos de injerto que practican en instituciones como la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola de Honduras (FHIA), para determinar la viabilidad de los mismos en nuestro país. Dubón y Sánchez (2011) recomiendan el injerto de parche o de lengüeta, en este se injerta una sola yema adherida a una sección de corteza, el cual, indican poseer notables ventajas sobre otros métodos, como la rapidez de ejecución y la obtención de un mayor número de yemas por vareta, reduciendo costos en mano de obra y material de propagación por planta, no obstante, no hay experticia en su práctica por los injertadores y técnicos.

Por otra parte en El Salvador no se han desarrollado estudios sobre nutrición de cacao y sobre las dosis óptimas para el desarrollo del portainjerto y su influencia sobre el prendimiento del injerto, por tal motivo, se consideró de importancia el desarrollo de investigaciones a fin de conocer los requerimiento de NPK idóneos y su influencia en el éxito del prendimiento en diferentes tipos de injerto, con la finalidad de generar recomendaciones confiables hacia viveristas y productores de cacao.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización

La investigación se realizó en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada geográficamente, a 13°43'11" latitud norte y 89°12'13" longitud oeste y una elevación de 703 msnm. En el período de mayo de 2017 a mayo de 2018.

2.1 Condiciones climáticas de la zona

La temperatura promedio anual de la zona es superior a los 24°C, registrándose la más alta entre los meses de marzo y abril mayores a 33°C y las mínimas de 19°C entre los meses de noviembre a enero. Humedad relativa media del aire de 72% y precipitaciones acumuladas de 1797.6 mm al año (MARN, 2013).

2.2 Metodología de campo

La fase de campo se desarrolló en un periodo de 12 meses, la cual se dividió en dos etapas: La primera consistió en el desarrollo de los portainjertos de cacao donde se aplicaron las diferentes dosis de la fórmula 15-15-15 y la segunda fase se realizó la injertación de los portainjertos, en ambas etapas se tomaron datos de las variables de crecimiento.

2.3 Montaje del experimento en fase 1 desarrollo de portainjerto

2.3.1 Material vegetal utilizado:

La siembra de las semillas de cacao se hicieron directamente en bolsas de 8 x 14" x 300 geish por lado, los frutos se compraron en la finca de Don Jaime Arévalo en el catón Cangrejera, Izalco, Sonsonate, comprando un total de 25 mazorcas a \$ 0.50 cada una con un promedio de 35 semillas por fruto, las bolsas se llenaron previamente con un sustrato compuesto por tierra negra y estiércol de ganado en proporción 1:1, se llenaron 600 bolsas en total, las semillas se sembraron directamente en el centro de las bolsas, la germinación completa tardó aproximadamente 17-30 días.

2.3.2 Aplicación de tratamientos y toma de datos:

Los tratamientos con el fertilizante fórmula 15-15-15, se prepararon en bolsitas de 1 libra haciendo las pesas en una báscula semianalítica, preparando las dosis únicas y las que se fraccionaron para hacer varias aplicaciones por contener mayor cantidad de fertilizante. La aplicación se realizó cada 22 días e igualmente la toma de datos en el mismo tiempo para observar la asimilación del fertilizante por las plantas, en el lapso de 22 días también. Se realizaron un total de 6 aplicaciones en un tiempo de 4 meses y medio. El suministro del fertilizante en cada planta se fraccionó en dosis de 5 g por aplicación, generando en la aplicación de la dosis mayor 30 g seis aplicaciones en total. También se realizaron control de malezas manualmente y riegos cada 2 días. El control de plagas y enfermedades se realizaba con aplicaciones de detergente diluido para eliminar los pulgones. Las plantas de cacao se desarrollaron hasta alcanzar el diámetro y altura óptimas de injerto (Cuadro 1). El total de plantas por cada dosis de fertilizante fue de 40 considerándose éstas, las unidades experimentales en la primera fase.

Cuadro 1. Distribución de tratamientos con diferentes dosis de NPK en fase desarrollo de portainjerto.

Tratamientos	Dosis de fórmula 15-15-15
T ₁	5 gramos
T ₂	10 gramos
T ₃	15 gramos
T ₄	20 gramos
T ₅	30 gramos
Testigo	Sin fertilizante

2.4 Montaje del experimento en fase 2 injertación

2.4.1 Selección y preparación de las varetas

Las varetas de cacao criollo se colectaron del banco de germoplasma que posee la Facultad de Ciencias Agronómicas, en el campus universitario, seleccionando y preparando 8 días antes de injertar las ramas terminales.

2.4.2 Proceso de injertación

La injertación se realizó en el mes de octubre, para lo cual fue necesario definir los tipos de injerto a utilizar con las diferentes dosis a fin de poder conocer si hay alguna influencia de la fertilización con el éxito en el prendimiento del injerto. Los diferentes tratamientos se distribuyeron como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Distribución de tratamientos con diferentes dosis de NPK y los diferentes tipos de injerto.

Tratamiento	Dosis de fórmula 15-15-15	Tipo de injerto
T1	5 gramos	Enchapado lateral
T2	5 gramos	Yema
T3	5 gramos	Parche
T4	5 gramos	Cuña terminal
T5	10 gramos	Enchapado lateral
T6	10 gramos	Yema
T7	10 gramos	Parche
T8	10 gramos	Cuña terminal
T9	15 gramos	Enchapado lateral
T10	15 gramos	Yema
T11	15 gramos	Parche
T12	15 gramos	Cuña terminal
T13	20 gramos	Enchapado lateral
T14	20 gramos	Yema
T15	20 gramos	Parche
T16	20 gramos	Cuña terminal
T17	30 gramos	Enchapado lateral
T18	30 gramos	Yema
T19	30 gramos	Parche
T20	30 gramos	Cuña terminal

2.5. Metodología estadística

2.5.1 Diseño experimental.

El diseño estadístico utilizado fue bloques completamente al azar con seis tratamientos y tres bloques, cada unidad experimental estuvo conformada por 40 plantas por cada dosis de fórmula 15-15-15. Posteriormente en la fase de injerto cada tratamiento fue conformado por la asociación de cada dosis de fertilizante con 4 tipos diferentes de injerto generando un total de 20 tratamientos totalizando 600 plantas distribuidos en tres bloques. Cada unidad experimental conformada por 10 plantas con un diseño experimental factorial con arreglo de bloques al azar (Cuadro 2).

2.5.2 Análisis estadístico

Para cada una de las variables se realizó el análisis de varianza en cada muestreo de manera individual. Estos análisis se realizaron con el programa INFOSTAT, para Windows y con su respectiva prueba de Tukey para comparación de medias, así como la determinación de la correlación entre variables calculando el coeficiente de correlación de Pearson.

2.6 Variables evaluadas

Las variables que se analizaron estudiaron en la investigación fueron: a) incremento en altura de la planta (portainjerto e injerto) b) incremento de diámetro de tallo (portainjerto e injerto) c) incremento en el número de hojas (portainjerto e injerto) f) área foliar, g) peso fresco y seco de hoja, h) peso específico de hoja, i) peso fresco y seco de tallo, j) peso fresco y seco de raíz, k) porcentaje de prendimiento, l) contenido de clorofila medido con el SPAD 502 Minolta y m) grados día de desarrollo (GDD). Los valores utilizados para la obtención de los grados días de desarrollo están relacionados con el promedio de las temperaturas medias diarias desde el momento del injerto hasta el momento del éxito del mismo, siendo necesaria la utilización de la fórmula siguiente:

GDD: $\Sigma (T_i - T_b)$ donde:

GDD = Constante térmica en grados días de desarrollo,

T_i = Temperatura promedio,

T_b = Temperatura base del cultivo

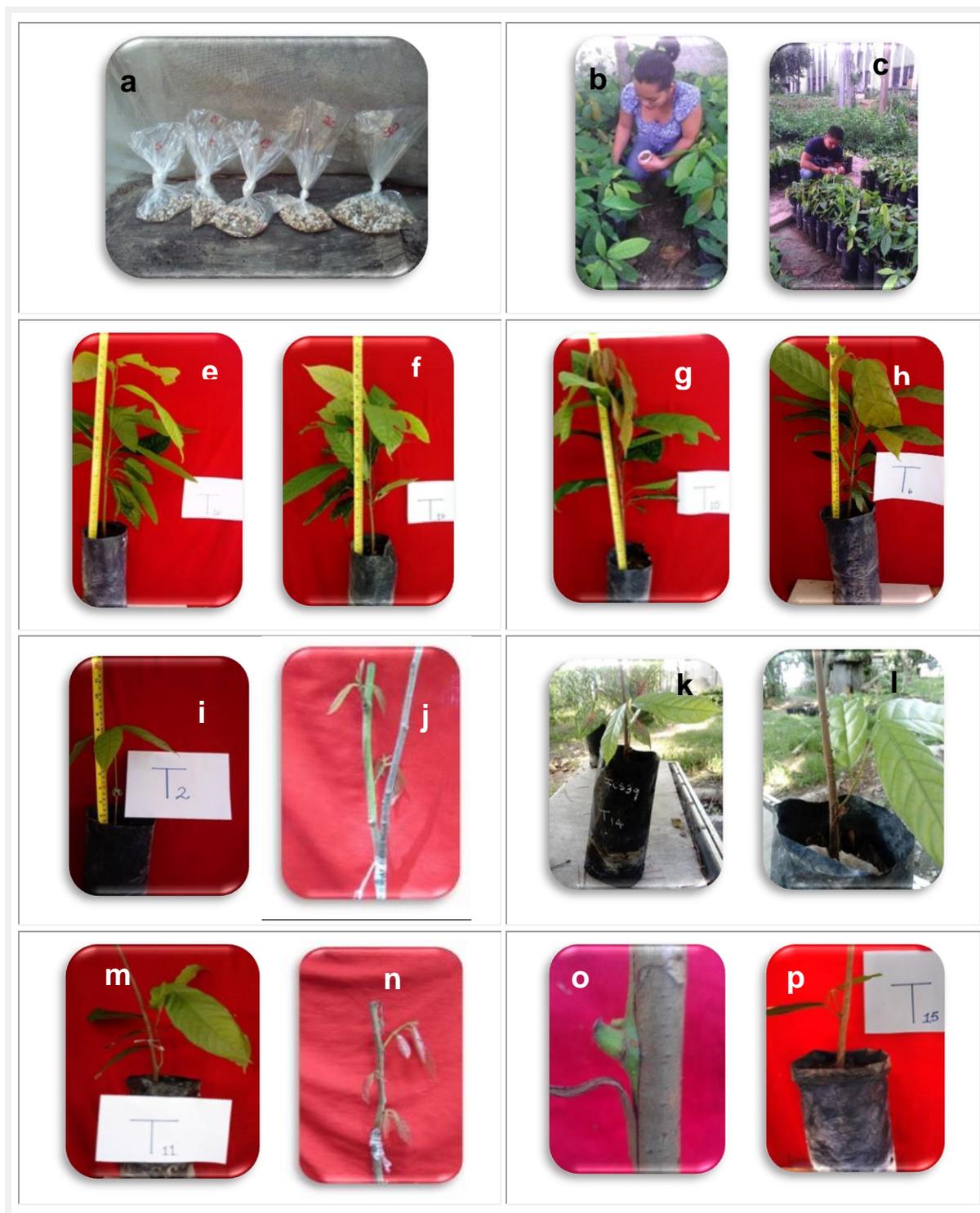


Figura 1. Etapas en el desarrollo de portainjertos de cacao: **a)** bolsitas con las dosis de fertilizante (5, 10, 15, 20 y 30 gramos de fórmula 15-15-15). **b y c)** aplicación del fertilizante cada 22 días. **e, f, g, h, i)** portainjertos de cacao en desarrollo. **j)** injerto por enchape lateral. **k y l)** siembra de estacas en los propagadores. **k, l, m)** injerto de yema y parche **n)** injerto de cuña terminal. **o y p)** injerto de parche.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Variables de crecimiento en el portainjerto: Altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas.

Tanto la altura, el diámetro y las hojas de las plantas representan variables que su desarrollo pueden ser influenciadas por factores externos, como la adición de fertilizantes, los que favorecen el buen desempeño de las mismas, por tal motivo en esta investigación, se aplicaron diferentes dosis de fórmula 15-15-15, pero no hubo diferencias estadísticas significativas en la altura de plantas de los portainjertos de cacao, sin embargo al analizar las medias los tratamientos de 10 y 15 g del triple 15, reflejaron la mayor ganancia de altura con valores de 10 cm y 15 cm, respectivamente, mientras que el tratamiento testigo solo incremento 7.87 cm de altura durante los cuatro meses y medio previos al injerto. El pobre desempeño del testigo se pudo explicar con los valores reportados para nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), del análisis químico del sustrato 0.40%, 0.15% y 0.11%, respectivamente y que según la clasificación que utiliza Calderón Alcázar (1998) para cultivos frutales, resultan ser sustratos muy pobres, pobres y muy pobres para los tres elementos. Para esta variable ganancia de altura o altura absoluta de plantas se presentó una alta correlación positiva de $r=0.66$ con las dosis de fertilizante por lo que se afirma que hubo una incidencia directa entre las dosis y esta variable ya que en todos los tratamientos con fórmula 15-15-15, las plantas de cacao respondieron de forma satisfactoria a su aplicación, lo que nos ayuda en el desarrollo de los portainjertos de cacao en un menor tiempo.

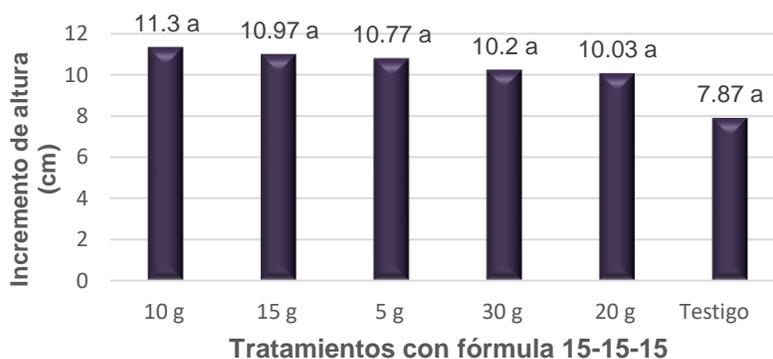


Figura 2. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en el incremento de altura en el portainjerto de cacao criollo.

Con respecto a la ganancia de diámetro en los portainjertos se presentaron diferencias significativas, encontrando, que los tratamientos con las diferentes dosis de fertilizante fueron superiores al testigo, considerando el comportamiento de esta variable muy similar al incremento de la altura, por tal motivo la explicación de este comportamiento es la misma atribuyendo los resultados a la calidad del sustrato utilizado el cual reportó ser muy pobre en los elementos NPK. Jarstfer y Sylvia (1993) mencionan que la captación de NPK y otros minerales es más evidente en sustratos con niveles bajos de fósforo y de otros elementos mayores y esto ocurre frecuentemente en sustratos elaborados con suelos del trópico.

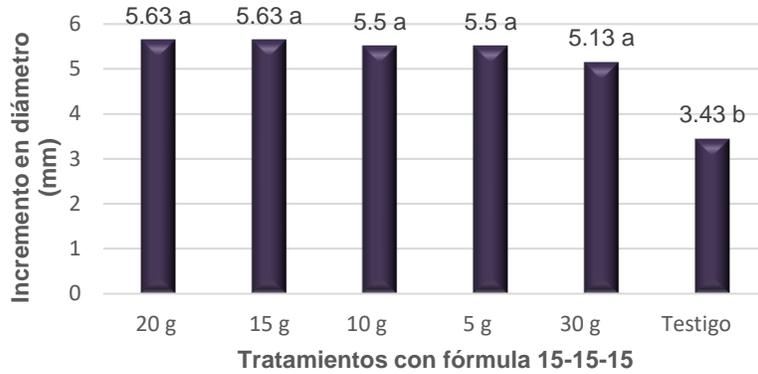


Figura 3. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en el incremento del diámetro en el portainjertos de cacao criollo.

De igual forma al analizar el ANVA para el incremento en número de hojas, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en ninguno de los tratamientos, pero podemos afirmar que los tratamientos con 5 g y 10 g de fórmula 15-15-15 mostraron los promedios más altos mientras que la dosis de 30 g, fue el tratamiento que produjo menos número de hojas, pero la diferencia entre el valor mayor y el menor no es categórica. Las tres variables de crecimiento analizadas muestran un comportamiento parecido cuya explicación nos regresa a revisar los resultados de los análisis de suelo que demostraron los bajos niveles de los elementos NPK, siendo el objetivo principal de estos análisis, identificar factores limitantes para corregirlos. Mientras mayor sea la cantidad de factores limitantes mayor será el incremento en el rendimiento, en este caso expresado por variables de crecimiento, siempre y cuando se corrijan todos los factores limitantes y esto responde a la famosa ley de mínimos de Liebig. No obstante, se puede analizar también la Ley del Máximo relacionado con los factores limitantes de Liebig a fin de obtener rendimientos máximos evitando excesos en el uso de insumos (Wallace, 1993). En un experimento similar Parada-Berríos, *et al* (2016) desarrollando plantas de ojushte encontró que tratamientos con 60 g de fórmula y 60 g de fórmula 16-20-0, fueron los que presentaron niveles de toxicidad al grado de que algunas plantas se quedaron pequeñas con requemo en las hojas, otras perdieron el follaje y en algunos casos la muerte, al respecto Rodríguez Suppo (1989), menciona que dosis altas de fertilizantes pueden llevar a la muerte las plantas por toxicidad, considerando que las dosis empleadas en esta investigación no llegaron a causar daños a las plantas de cacao durante el desarrollo de los portainjertos.

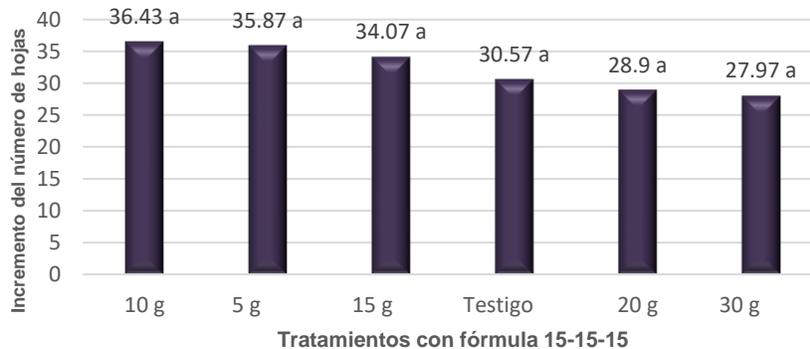


Figura 4. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en el Incremento de hojas en el portainjerto de cacao criollo

3.2 Contenido de clorofila en el portainjerto

Asimismo, se examinó el contenido de clorofila en cada muestreo, analizando estadísticamente solo datos del último muestreo, no encontrando diferencias estadísticas significativas, sin embargo, los tratamientos con 10 y 15 gramos de fórmula 15-15-15 (equivalentes a 1.5-2.25 g de N), presentaron los promedios más altos en las tonalidades de verde según las unidades SPAD, lo cual significa que el fertilizante a base de nitrógeno promovió mayores niveles de clorofila en las hojas (Figura 5), estos resultados coinciden con los encontrados por Parada-Berrios, *et al* (2016) en plantas de ojushte, en las cuales la variable clorofila no presentó diferencias estadísticas, sin embargo, la dosis de 5 gramos de sulfato de amonio (equivalente a 1.05 g de N), generó la mayor intensidad del color verde, lo cual significa que este fertilizante a base de nitrógeno, promovió mayores niveles de clorofila en las hojas, captadas como longitudes de onda reflejadas de la luz solar y expresada en unidades SPAD, en esa tonalidad de verde intenso. Asimismo el contenido de clorofila presentó una alta correlación positiva de $r = 0.78$ con el número de hojas al respecto Cameron y Compton citados por Smith (1989), mencionan que las hojas contienen más concentración de nitrógeno que cualquier otro órgano vegetativo y puede contener casi la mitad del nitrógeno total de la planta. Con respecto al uso del SPAD 502, Li, *et al* (1998) mencionan que su utilización ofrece un potencial económico y ventajas medioambientales, ya que provee de información sobre el estatus de nitrógeno de las plantas sin necesidad de realizar muestreos destructivos, y es una técnica menos tediosa para evaluar la nutrición con nitrógeno, principalmente en árboles evitando el riesgo de bajos rendimientos en la cosecha en campo. Sin embargo la presencia de deficiencias o excesos de otros elementos, enfermedades, entre otros, pueden modificar la relación entre las variables de crecimiento o el rendimiento de árboles y las lecturas del SPAD, por lo tanto su uso no predice el estatus de nitrógeno de los árboles.

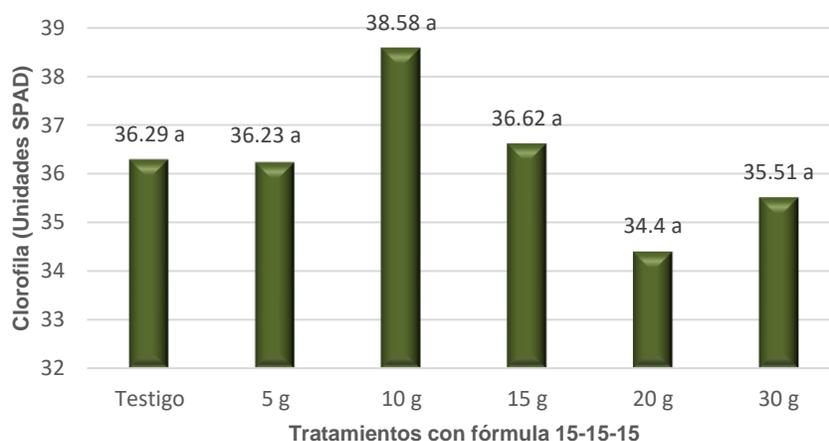


Figura 5. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en los valores de clorofila en el desarrollo del portainjerto de cacao criollo.

3.3 Variables fisiológicas en portainjertos: área foliar, peso específico de hoja (PEH); peso fresco y seco de hoja, tallo y raíz

Conocemos que fisiológicamente, en las hojas se propicia el medio indispensable y necesario para la obtención de frutos, considerándose, la fábrica de la materia orgánica, de azúcar en particular, por lo tanto la capacidad sintetizadora total de un árbol depende del total de la superficie foliar que en el conjunto del mismo se expone a la luz (Calderón Alcazar, 1998), por tal razón se analizó la variable área foliar la cual presentó diferencias altamente significativas,

demostrando la prueba de separación de medias de Tukey que el tratamiento con 30 g de fórmula 15-15-15 fue el mayor generador de superficie foliar, seguida por 10 g, 20 y 15 g del mismo fertilizante, mientras que el testigo y 5 g de triple 15, fueron los que mostraron su menor expresión en la variable (Figura 5). Calderón Alcazar (1998) afirma que las hojas en presencia de abundancia de nitrógeno, se hacen más grandes, y de mayor superficie expuesta a la luz y de color verde intenso, estas mismas dosis mostraron valores de clorofila entre 35 y 38 unidades SPAD de clorofila, mostrando esa intensidad del color verde que menciona el autor (Figura 4). El mismo autor señala que el nitrógeno tiene influencia en el contenido de proteínas de los productos vegetales, ya que es parte constituyente de ellas, al igual que de la clorofila. Amores *et al* (2009) indica al respecto que en el máximo de capacidad fotosintética, las hojas de cacao de seis a ocho semanas de edad más expuestas al sol y que recién han alcanzado su madurez, utilizan del 20 a 25% de la irradiación lumínica interceptada por la parte superior de la planta, en un día soleado en ausencia de nubosidad. Más allá de este punto, la tasa fotosintética de las hojas totalmente expuestas ya no aumenta. Y a esto es lo que se conoce como punto de saturación lumínica del cacao. Solamente como ilustración comparativa el punto de saturación en las hojas de palma de coco bordea el 80% de la luminosidad recibida a plena exposición.



Figura 6. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en los valores del área foliar del portainjerto de cacao criollo.

Tanto el peso fresco y seco de las hojas no presentaron diferencias estadísticas significativas (Figura 7), pero observando los promedios en las mismas, los tratamientos con las mayores dosis de la fórmula 15-15-15, manifestaron el mayor peso fresco y seco de las hojas.



Figura 7. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en los valores de peso fresco y seco de hojas en el portainjerto de cacao criollo.

Al analizar el peso específico de hojas (PEH) (Figura 8), se encontraron diferencias altamente significativas encontrando por medio de la prueba de separación de medias de Tukey a la dosis de 5 g, 20 g de triple 15 y al testigo, como las dosis o tratamientos que más valor mostraron en esta variable, Parada-Berrios, *et al* (2016), explican, que el PEH, no es más que el peso seco, en miligramos dividido entre el área foliar (cm²), y estos valores expresan la eficiencia fotosintética de la hoja estimulada por los tratamientos de fertilización, es decir la capacidad de generar tejido nuevo por cm² de hoja. En el análisis químico del sustrato, los valores para nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), reportaron 0.40%, 0.15% y 0.11% respectivamente, que según la clasificación que utiliza Calderón Alcázar (1998) para cultivos frutales, como sustratos muy pobres, pobres y muy pobres para los tres elementos respectivamente, esto explica en parte el comportamiento de las plantas de cacao en respuesta a las diferentes dosis de fertilizante. El mismo autor señala que fósforo es un constituyente fundamental de los ácidos nucleicos, por lo que es indispensable para la vida, teniendo influencia en los procesos de reproducción al estimular la inducción floral y a la formación de semillas en los frutos, mostrando su importancia no solo en fase de vivero, sino, que en todas las etapas de los árboles. En cuanto al potasio tiene una acción bien marcada en las condiciones hídricas del vegetal, tanto a nivel celular como de los tejidos, ayudando a la formación de las proteínas y en la transformación de azúcares en almidón.

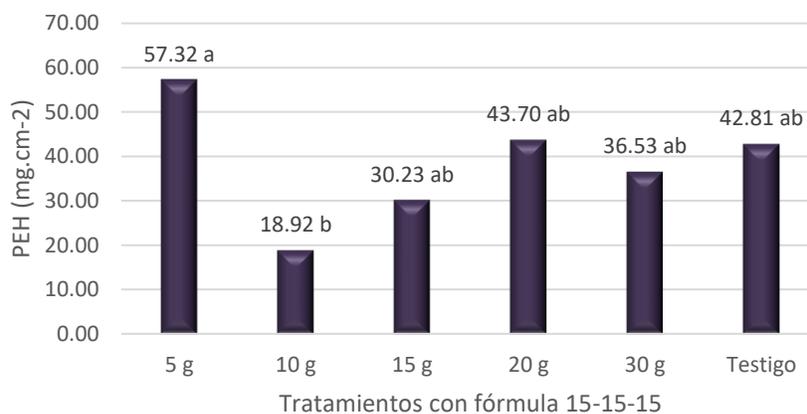


Figura 8. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en los valores de peso fresco y seco de hojas en el portainjerto de cacao criollo.

Las variables del peso del tallo y raíces del portainjerto no presentaron diferencias estadísticas significativas, no obstante, el comportamiento de los promedios sigue la tendencia donde las dosis de la fórmula 15-15-15 muestran su efecto en proporcionar mayores valores en las variables (Figuras 9 y 10), las dosis de 20 y 30 g de fórmula 15-15-15, presentan los mayores pesos Calderón Alcázar (1998), menciona que el fósforo determina la formación de un buen sistema radical y que el potasio actúa además como propiciador de acciones enzimáticas, la formación de semilla de mayor tamaño y tiene decisiva influencia sobre la resistencia que las plantas presentan frente al ataque de enfermedades. Por otra parte el peso fresco de raíz y seco de tallo presentaron una alta correlación positiva con las dosis de fórmula 15-15-15 de $r = 0.65$ y $r = 0.84$, respectivamente, al respecto en experimentos realizados en el Imperial College of Tropical Agriculture en Trinidad, demuestran que el efecto del potasio fue completamente claro, en tanto que en el caso del fósforo y nitrógeno fueron menores,

manifestando, que a medida se incrementan las dosis de los mismos, tanto variables fisiológicas, de crecimiento de los árboles como el rendimiento de frutos de cacao aumentan (Jacob y Uexküll, 1973). Amores *et al* (2009) menciona que los suelos minerales contienen entre el 90 y 99% de materia mineral y del 1 al 10% de materia orgánica, como fuentes primarias de nutrientes, en esta investigación el contenido de materia orgánica en el sustrato fue del 2.3%, el cual se considera bajo, pero aunque este se hubiese encontrado alto, el mismo autor señala que las fuentes se debilitan con el pasar del tiempo, por lo que surge la necesidad de agregar nutrimentos que se encuentren insuficientes. Las plantas absorben del suelo un número de elementos nutritivos en proporciones específicas y es importante que estas, se mantengan balanceadas para facilitar su absorción. Además Amores, *et al* (2009) afirma que previo al desarrollo de un programa de fertilización, es necesario disponer de un diagnóstico del nivel de fertilidad natural del suelo y de los sustratos, si es a nivel de vivero, mediante análisis de suelo y foliares, el autor cita los requerimientos nutricionales del cacao en fase de vivero de una guía elaborada por el CATIE, de Costa Rica, quienes recomiendan 2.4 kg.ha⁻¹(2.16 g.planta⁻¹) de Nitrógeno; 0.6 Kg.h⁻¹ (0.54 g.planta⁻¹) de fósforo y 2.4 kg.ha⁻¹(2.16 g.planta⁻¹) de potasio.

Otras correlaciones de importancia encontradas fueron el peso fresco de tallo: con peso seco fresco y seco hoja ($r= 0.89$ y $r= 0.96$ respectivamente). Peso fresco de raíz con: peso fresco y seco de hoja ($r= 0.96$ y $r= 0.89$, respectivamente). Estas variables están influenciadas de manera directa y demuestran la conexión entre todos los órganos de las plantas, como lo indica Pérez García y Martínez-Laborde (1994), quienes explican que parte de los nutrimentos absorbidos pueden ser metabolizados en las células de la raíz, pero la mayor parte de ellos se dirigirán desde la superficie de la raíz hacia el xilema del cilindro central del tallo. Una vez alcanzado el xilema de la raíz, los nutrimentos se incorporan a la corriente ascendente de agua y son distribuidos a todas las partes de la planta.

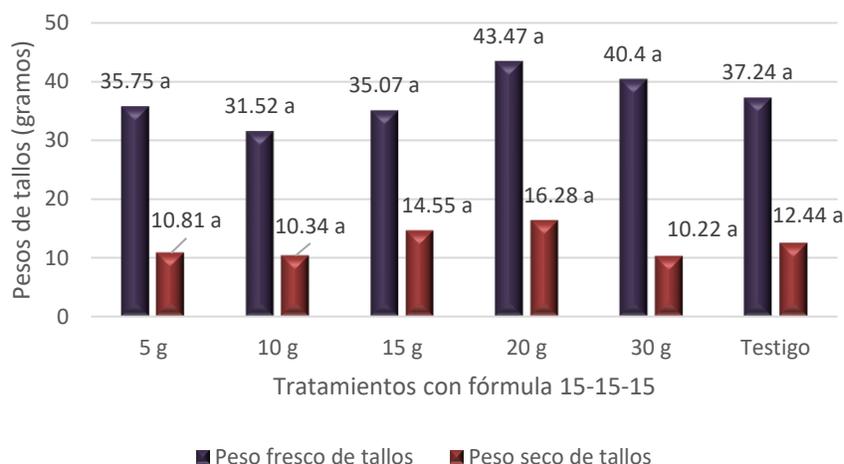


Figura 9. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en los valores de peso fresco y seco de tallos en el portainjerto de cacao criollo.

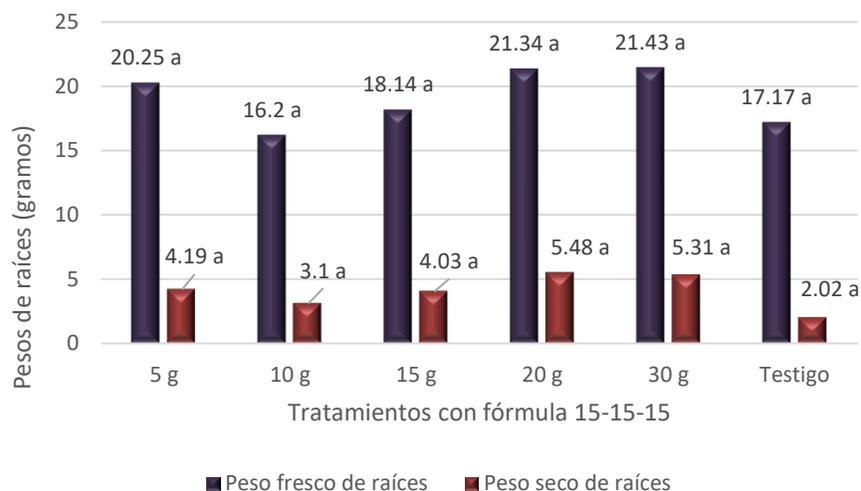


Figura 10. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en los valores de peso fresco y seco de raíces en el portainjerto de cacao criollo.

3.4 Variables: éxito en el prendimiento del injerto y grados días de desarrollo (GDD)

Con respecto a esta variable se presentaron diferencias altamente significativas en el prendimiento del injerto, encontrando que un grupo de 10 tratamientos fueron superiores al resto, siendo las interacciones T_4 (5 g de triple 15 y cuña terminal) y T_6 (10 g de triple 15 más injerto de yema), los que presentaron el mayor éxito de injerto con 33%. Es importante explicar que de 600 plantas injertadas, el éxito ocurrió en 432 plantas equivalente al 72% del total, mostrando la distribución del éxito del injerto por tipo de injertos en la figura 12, siendo el injerto de yema el que mayor éxito tuvo, seguido el injerto de cuña terminal, parche y enchapado lateral. Al revisar la correlación de Pearson se encontró una $r = 0.50$ ligeramente positiva entre las dosis de fórmula 15-15-15 y el éxito en el prendimiento del injerto, lo que implica que no existe una conexión directa entre ambas pero que a la vez si hubo una influencia ligera de los fertilizantes con las dosis entre 5 g y 20 g de la fórmula 15-15-15, pero sin respuesta con la dosis 30 g de la fórmula, reflejándose en la figura 11 con los valores más bajos las interacciones T_{17} , T_{18} , T_{19} y T_{20} , en interacción con sus respectivos tipos de injerto. Ramos, *et al* (2015), evaluando diferentes tipos de injerto en cacao criollo, alcanzaron un 60 y 70% de éxito en el prendimiento en los injertos de enchapado lateral y cuña terminal respectivamente, por lo que los resultados globales de esta investigación coinciden con lo encontrado por los autores.

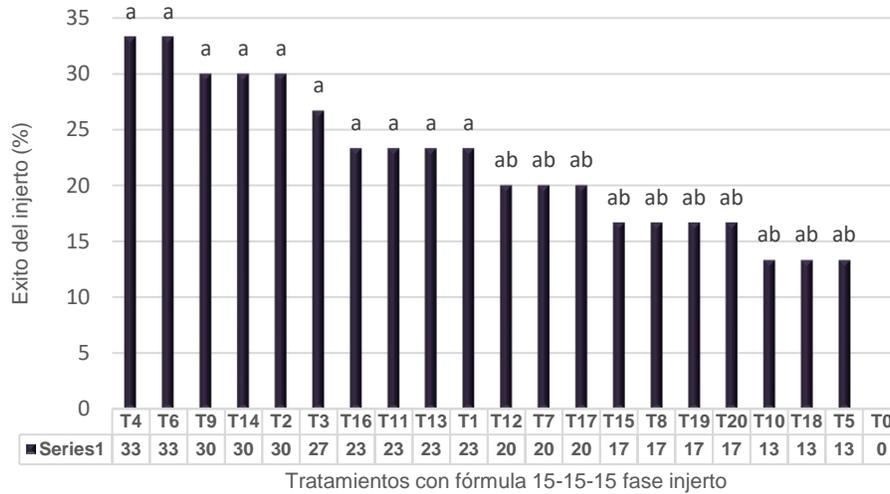


Figura 11. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en el prendimiento de diferentes tipos de injerto en cacao criollo.

Se encontraron altas correlaciones positivas importantes entre el éxito del injerto: la altura, el diámetro y el peso seco de raíz de $r = 0.93$, $r = 0.99$ y $r = 0.70$, respectivamente; variables importantes y de influencia directa en el prendimiento del injerto. La altura y el diámetro del portainjerto fijan una etapa determinante en el prendimiento de los injertos, a mayor altura y diámetro las probabilidades de éxito incrementan, de igual forma las reservas acumuladas, en las diferentes estructuras de sostén del portainjerto son elementales, ya que proveen de alimento a la vareta injertada, la cual inicia su brotación con sus propias reservas, sin embargo, en esta investigación los tipos de injerto de mayor éxito fueron de yema: el de yema como tal y el de parche que no llevan madera como estructura de reserva.

Ambos tipos de injerto suman 37.16% (19.83% más 17.33%) y que corresponde a 223 plantas producidas (Figura 12). Hartman y Kester (1998) indican que en los injertos de yema influye determinantemente que la corteza “resbale”, lo que indica que las células del cambium están en división activa, produciendo células jóvenes de pared delgada en ambos lados del cambium. Además mencionan que los injertos de yema es importante que tengan una provisión de humedad del suelo y nutrición adecuada mucho antes de la operación del injerto. Si carecen de agua en ese período, el crecimiento activo se detiene, cesa la división celular en el cambium y se hace difícil despegar la corteza para insertar la yema.

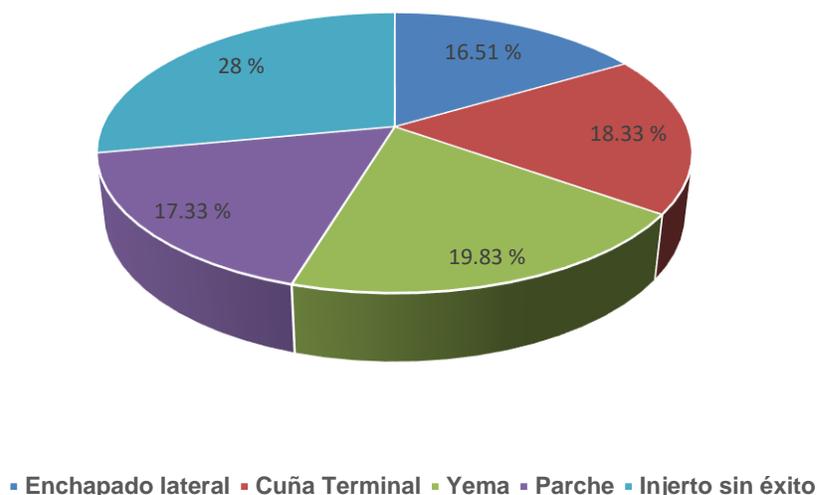


Figura 12. Porcentaje de prendimiento total por tipo de injerto.

En cuanto a los grados días de desarrollo (GDD), que es la acumulación de requerimientos de calor para completar una etapa fenológica determinada, ya que, el crecimiento vegetativo de una planta o porción de ella, está influenciado por las temperaturas prevaecientes en el medio (Snyder, 1985), se registraron las temperaturas medias a partir de la injertación. En la figura 13 se muestra que el T₉ (15 g de fórmula 15-15-15 más injerto de enchapado lateral) presentó el menor valor 245 GDD, seguido del T₁₂ (15 g de fórmula 15-15-15 más injerto de cuña terminal) con 283 GDD, lo que significa que estos tratamientos tardaron menos tiempo en brotar, mientras que el T₇ (10 g de fórmula más injerto de parche) tardó 522 GDD. Ramos, *et al* (2015) encontró para cacao criollo un intervalo de brotación entre 233-395 GDD con los injertos de cuña terminal y enchapado lateral. En esta investigación se puede establecer un intervalo entre 245-522 GDD en términos generales para los injertos evaluados. Sin embargo, al segregar los tratamientos que se tardaron más en brotar en orden descendente: T₇, T₁₄, T₃, T₄, T₁₉, T₁₈ y T₁₅, todos correspondieron a injertos de yema (yema propiamente y de parche). En conclusión los resultados de esta investigación coinciden totalmente en esta variable con lo que reporta Ramos *et al* (2015), ya que el intervalo encontrado para los injertos de enchapado lateral y cuña terminal fue entre 245-398 GDD, mientras que para injertos de yema se puede establecer entre 403 y 522 GDD, lo que implica que tardan más en brotación pudiendo tomar en cuenta este hallazgo para una buena selección de los tipos de injertos a utilizar en diversas situaciones que el productor o viverista pueda tener en la producción de plantas de cacao a escala comercial o para autoabastecer en su finca.

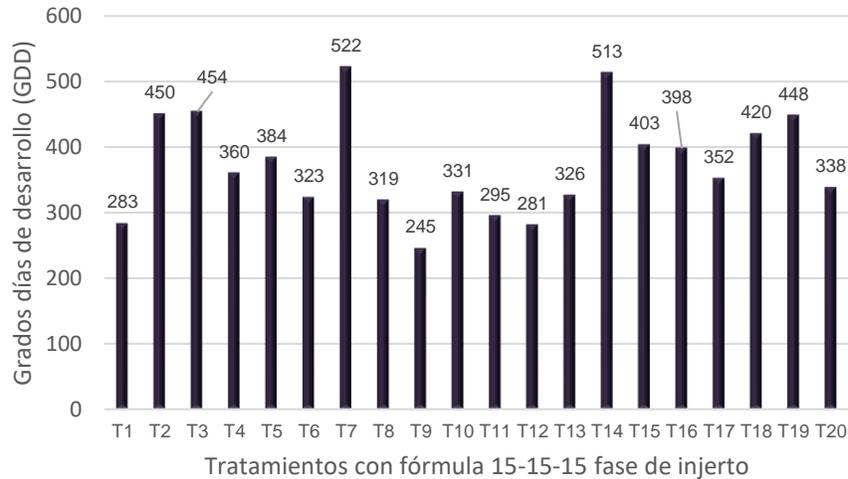


Figura 13. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en la acumulación de unidades calor expresadas en GDD requeridas para la brotación y el éxito del prendimiento del injerto en cacao criollo.

3.5 Variables de crecimiento: altura, diámetro y número de hojas del injerto.

En las tres variables de crecimiento del injerto se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas en las interacciones dosis de fertilizante e injertos, encontrando, para la variable altura y número de hojas el T₈ (10 g de fórmula 15-15-15 más injerto de cuña terminal) con los mejores resultados 30 cm de altura y más de 17 hojas respectivamente (Figuras 14 y 16). En cuanto a la variable diámetro de tallo del injerto el T₁ (5 g más injerto de enchapado lateral) con un valor superior a los 5 mm de diámetro, seguido del T₄ (5 g, más injerto de cuña terminal) (Figura 15). Estas variables reportan correlaciones altamente positivas, demostrando por ejemplo que la fertilización tuvo una influencia directa con la altura de la planta y número de hojas con $r = 0.63$ y $r = 0.67$ respectivamente. El peso seco de hoja, peso seco de tallo y peso seco de raíz presentaron alta correlación positiva con la altura del injerto de $r = 0.90$, $r = 0.70$ y $r = 0.93$ respectivamente. Asimismo, el número de hojas del injerto presentó alta correlación positiva con las dosis de triple 15, con el área foliar con una $r = 0.67$ y $r = 0.84$, respectivamente. En cuanto al diámetro presentó alta correlación positiva con peso seco de hojas, peso específico de hojas (PEH) y peso seco de raíz con una $r = 0.87$, $r = 0.81$ y 0.73 , respectivamente. Todas esas correlaciones nos indican claramente la influencia que ejercieron las diferentes dosis de la fórmula 15-15-15 en las variables de crecimiento altura, número de hojas y diámetro de injerto, pero estas a la vez, mostraron una conexión directa con área foliar, peso, seco de hojas, tallos y raíz, así como el PEH con el diámetro del tallo del injerto, todas estas estructuras de la planta de cacao (tallo y raíz) son de reserva y que también mostraron alta correlación positiva con las dosis de fertilizante, lo que indica que la aplicación del fertilizante influyó directamente en el crecimiento de las variables de crecimiento del injerto. Sandhu (1992) afirma que la aplicación de fertilizantes interactúan sinérgicamente favoreciendo en forma determinante en el éxito del prendimiento del injerto, logrando crear condiciones donde la proporción de células vivas requeridas para formar callo rápidamente en la unión del injerto están a un nivel adecuado, asimismo, cuando portainjerto y vareta son similares (diámetro), significa que no hay diferencia en la madurez de la madera de ambos, lo cual favorece a una unión exitosa, rápida, eficiente desarrollo del injerto y de la nueva planta.

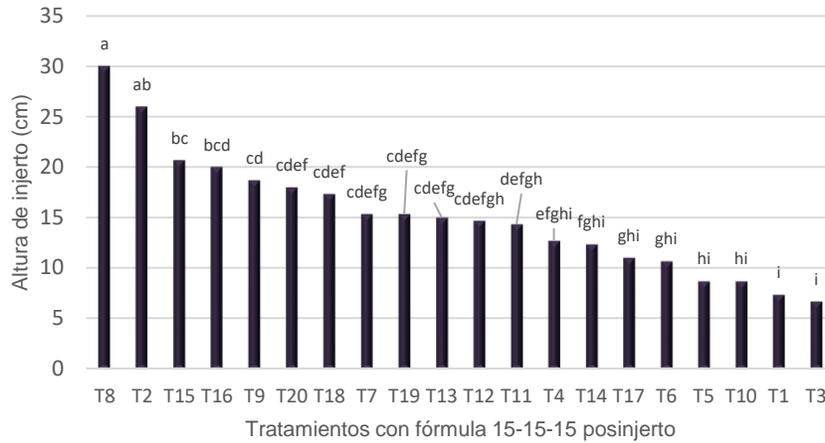


Figura 14. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en el desarrollo de la altura del injerto en cacao criollo.

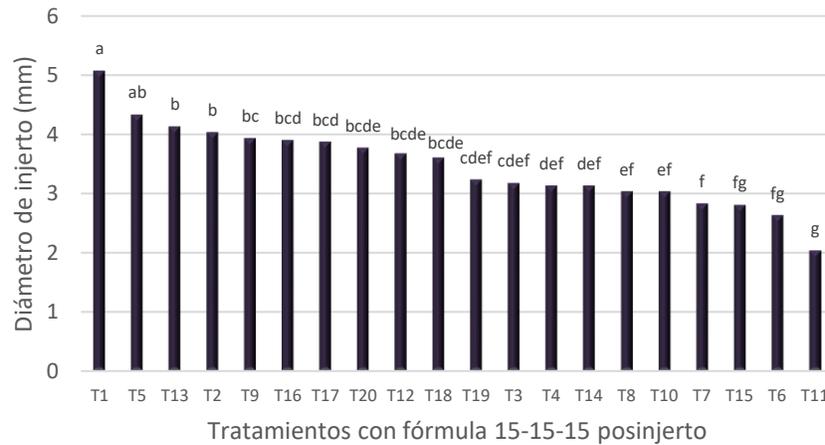


Figura 15. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en el desarrollo del diámetro del injerto en cacao criollo.

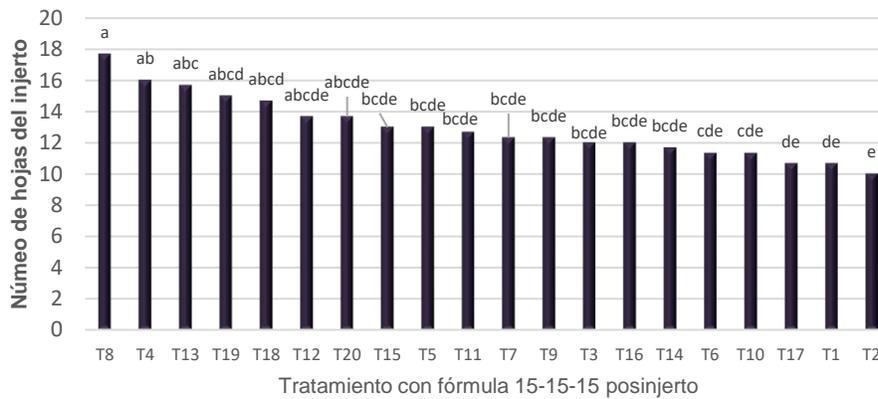


Figura 16. Efecto de diferentes dosis de fórmula 15-15-15 en el desarrollo del número de hojas del injerto en cacao criollo.

4. CONCLUSIONES

Todas las dosis de fórmula 15-15-15 evaluadas en el desarrollo de los portainjertos de cacao criollo, aunque no hubo diferencias estadísticas significativas en todas las variables de crecimiento y fisiológicas con las aplicaciones, las plantas presentaron un mejor desarrollo, alcanzando en cuatro meses condiciones óptimas para el injerto.

En cuanto al prendimiento del injerto se presentaron diferencias estadísticas altamente significativas, alcanzando un 72% de éxito total del experimento, segregando por tipos de injerto 19.83% para el injerto de yema, 18.33% cuña terminal, 17.33% injerto de parche y 16.51% el de enchapado lateral; encontrando además que para los injertos de vareta se requiere 245-398 GDD (20-30 días), para la brotación y los injertos donde se usa yema se requiere 403-522 GDD (más de dos meses).

El efecto del fertilizante fue más categórico en la fase de injerto encontrando diferencias altamente significativas en las variables: altura, diámetro y número de hojas, reportando asociación positiva entre las variables altamente correlacionadas con las variables fisiológicas del portainjerto influenciadas todas de manera positiva con las dosis de la fórmula 15-15-15; considerando que la asimilación y acumulación de reservas por los portainjertos y su translocación a los injertos y sus variables de crecimiento fue efectiva.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda para el desarrollo de portainjertos de cacao la fertilización con fórmula 15-15-15 en dosis de 5 – 30 gramos por planta.

Se recomiendan el uso de cualquiera de los cuatro tipos de injerto, haciendo énfasis en que el uso de varetas, el tiempo de desarrollo es más rápido que los injertos de yema.

Los injertos de yema requieren más de dos meses para brotación, por lo tanto el viverista y los productores deben tomar en cuenta este aspecto para la planificación de la producción de plantas, es decir, tener desarrollados los portainjertos a finales de año para tener listas las plantas a inicios de las lluvias para su respectiva siembra.

6. BIBLIOGRAFÍAS

- Amores P., F.; Saquicela, D.; Sarabia, W.; Tarqui, O.; Sotomayor, I. y Vasco, A. 2009.** Buenas prácticas para la renovación de huertas improductivas de cacao tradicional. Manual técnico No. 97. Quevedo-Los Ríos-Ecuador. p 171
- Alianza Cacao. 2016. CRS (Catholic Relief Services).** Revitaliza el cultivo del cacao en sistemas agroforestales. En línea. El Salvador, Centroamérica. Consultado 11022018. Disponible en <https://asa.crs.org/2017/03/alianza-cacao-revitaliza-el-cultivo-del-cacao-en-sistemas-agroforestal/>
- Calderon Alcázar 1998.** Fruticultura general. El esfuerzo del hombre. UTEHA. Noriega Editores. p 763
- Dubon A; Sánchez J. 2011.** Manual de producción de cacao. 1 ed. Lima, Cortez, HN. FHIA. p 208
- Hartmann, H.; Kester, D. 1998.** Propagación de plantas principios y práctica. Sexta edición. Compañía editorial continental S.A de C.V México. p 760
- Jacob, A y Uexküll, H. 1973.** Fertilización. Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. Cuarta Edición. México. D.F. p 299-311
- Jarstfer, AG. Y Sylvia, DM. 1993.** Inoculum production and inoculation strategies for vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Soil Microbial Ecology. Applications in agricultural and environmental Management. Ed. By F. Blane Metting Jr. Marcel Dekker, INC. New York. p646
- Li, YC.; Alva, AK.; Calvert, DV. Y Zhang, M. 1998.** A rapid nondestructive technique to predict leaf Nitrogen status of Grapefruit Tree whith various nitrogen fertilization practices. Hortitechnology. January-march. 8(1): p 81-8
- MARN, 2013.** Información meterológica: Servicio Metereológico Nacional. San Salvador, El Salvador.
- Parada-Berríos, FA., Barrera Santos, DA; Molina Escalante, MO y Quintanilla, JR. 2016.** Evaluación de diferentes dosis y fuentes de NPK en ojushte, y su efecto en el éxito en el prendimiento del injerto. Informes técnicos: Rescate y desarrollo de germoplasma de ojushte (*Brosimum alicastrum swartz*) con alto potencial genético de rendimiento nutricional y comercial. Proyecto financiado por PRESANCA/CSUCA. p 57-69
- Pérez García, F. y Martínez-Laborde, JB. 1994.** Introducción a la Fisiología Vegetal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. p 218
- Ramos, YM.; Rivas, AT.; Villalta, LB. 2015.** Evaluación de diferentes técnicas de injerto en cacao (*Theobroma cacao* L.) y su incidencia en el prendimiento en fase de vivero. Tesis. Para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador. p 79
- Rodríguez Suppo, F. 1989.** Fertilizantes; Nutrición Vegetal. AGT. Editor S.A. México D.F.

- Sandhu, MK. 1992.** Standardization of grafting techniques in sapota (*Achras zapota* L). International Symposium on Tropical Frontier in tropical fruit Research. Acta Horticulturae. 321: p 610-615
- Smith, PF. 1989.** Nutrición de Cítricos. Research Plant Physiologist. USDA Agricultura Research Service, Orlando Florida. p 90
- Snyder, RL. 1985.** Hand Calculating degree days. Agricultural and Forest Meteorology. 35: p 353-358
- Somarriba, E.; Quezada, F.; Villalobos, M. 2010.** La captura de carbono: un servicio ambiental en fincas cacaoteras indígenas. 1 ed., da reimpr. Turrialba CATIE. Costa Rica. 28 p.
- Wallace, A. 1993.** The law of maximum. Better Crop. 77(2): p 20-22