

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**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.**

**POR:
XIOMARA MILAGRO MOYA MENJÍVAR
MARVIN ALFREDO MEZA CALDERÓN**

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 2023

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**



**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.**

**POR:
XIOMARA MILAGRO MOYA MENJÍVAR
MARVIN ALFREDO MEZA CALDERÓN**

**REQUISITO PARA OPTAR AL
TÍTULO DE: INGENIERO(A)
AGRÓNOMO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LIC. PEDRO ROSALIO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO

MAECE. NELSON BERNABE GRANADOS ALVARADO

SECRETARIO

M. Sc. EDGAR GEOVANY REYES MELARA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

M. Sc. JULIO CESAR ORTIZ PAVON

DOCENTE DIRECTOR

M. Sc. FIDEL ÁNGEL PARADA BERRIOS

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

M. Sc. OSCAR ALONSO RODRIGUEZ GRACIAS

RESUMEN

La investigación se realizó de mayo 2016 a mayo 2017 en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada a 13°43'11" latitud Norte y 89°12'13" longitud Oeste, a una elevación de 703 metros sobre el nivel del mar.

Los objetivos fue conocer el efecto de cinco dosis de un fertilizante químico a base de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el desarrollo del portainjerto de cacao y su influencia en el prendimiento del injerto; y evaluar cuál de los tipos de injertos presenta mayor porcentaje de prendimiento.

La etapa de campo se realizó en dos fases: la primera fue sobre el desarrollo de los portainjertos de cacao, el diseño estadístico utilizado fue Bloques completamente al azar con 6 tratamientos y 3 bloques, cada unidad experimental estuvo conformada por 40 plantas, 10 plantas por tratamiento, haciendo un total de 200 plantas por cada bloque; las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro del tallo, número de hojas, contenido de clorofila, área foliar, grados días desarrollo. Los tratamientos evaluados fueron: 5, 10, 15, 20 y 30 gramos del fertilizante fórmula 15-15-15 por planta; y el testigo que no se aplicó nada.

En la segunda fase sobre el injerto el diseño estadístico usado fue Factorial con arreglo de bloques al azar, cada tratamiento fue conformado por la asociación de las 5 dosis del fertilizante con los 4 tipos de injerto, con 20 tratamientos y un total de 600 plantas distribuidas en 3 bloques. Cada unidad experimental estuvo conformada por 10 plantas. Las variables evaluadas fueron: altura del injerto, diámetro del tallo, número de hojas y prendimiento del injerto.

A todas las variables se les realizó análisis de varianza y la prueba de Tukey para comparación de medias, los análisis se hicieron con el programa INFOSTAT 2017; se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables.

Los resultados demuestran que todas las dosis del fertilizante químico fórmula 15-15-15 evaluadas tuvieron mejor efecto en el crecimiento y desarrollo de los portainjertos e injertos de cacao criollo que el testigo al final de los cuatro meses; en el prendimiento del injerto se logró 72% de éxito y el mayor prendimiento se obtuvo con el injerto de yema en 19.83%, seguido por los injertos de cuña terminal (18.33%), parche (17.33%) y enchapado lateral (16.51%).

Palabras claves: Cacao, vivero, portainjerto, injerto de parche, injerto de yema, grados días de desarrollo, fertilizante.

SUMMARY

The research was carried out from May 2016 to May 2017 in the nursery of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, located at 13°43'11" North latitude and 89°12'13" West longitude, at a elevation of 703 meters above sea level.

The objectives were to know the effect of five doses of a chemical fertilizer based on nitrogen, phosphorus and potassium on the development of cocoa rootstock and its influence on graft taking; and to evaluate which of the types of grafts presents the highest percentage of grafting. The field stage was carried out in two phases: the first was on the development of cocoa rootstocks, the statistical design used was completely randomized blocks with 6 treatments and 3 blocks, each experimental unit consisted of 40 plants, 10 plants per treatment, making a total of 200 plants for each block; the variables evaluated were: plant height, stem diameter, number of leaves, chlorophyll content, leaf area, degree days development. The treatments evaluated were: 5, 10, 15, 20 and 30 grams of the fertilizer formula 15-15-15 per plant; and the witness that nothing was applied.

In the second phase on grafting, the statistical design used was Factorial with a random block arrangement, each treatment was made up of the association of the 5 fertilizer doses with the 4 types of grafting, with 20 treatments and a total of 600 distributed plants. in 3 blocks. Each experimental unit consisted of 10 plants. The variables evaluated were: graft height, stem diameter, number of leaves and graft attachment.

Analysis of variance and Tukey's test were performed on all variables for comparison of means, the analyzes were done with the INFOSTAT 2017 program; Pearson's correlation coefficient was calculated between the variables.

The results show that all doses of the chemical fertilizer formula 15-15-15 evaluated had a better effect on the growth and development of rootstocks and rootstocks of Creole cocoa than the control at the end of four months; In the graft taking, 72% of success was achieved and the highest taking was obtained with the bud graft in 19.83%, followed by the terminal wedge grafts (18.33%), patch (17.33%) and lateral veneer (16.51%). .

Key words: Cocoa, nursery, rootstock, patch graft, bud graft, degree days of development, fertilizer.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS TODO PODEROSO: por permitirme un triunfo más y brindarme salud y entendimiento, también por iluminarme en mi camino a lo largo de la carrera y emprender con valor y dignidad mi futuro como profesional.

A NUESTRAS FAMILIAS: por brindarnos todo su apoyo y amor incondicional siendo el mayor apoyo moral, personal y económico en la carrera (mi madre Marta Julia Menjivar, esposo Jaime Alexander Gómez y mi hija Melany Alicia Gómez Moya, hermano/a Marta Yaneth Moya, Julio Ernesto Moya).

A NUESTRO DOCENTE DIRECTOR: Ing. M. Sc. Fidel Ángel Parada Berrios por el aporte académico y científico que nos brindó para realizar el proyecto de investigación de tesis, por la paciencia y apoyo incondicional a lo largo de la tesis, muchas gracias.

A LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL CALIFICADOR: Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia e Ing. Agr. Balmore Martínez Sierra, por apoyarnos en el proceso de investigación.

A NUESTROS AMIGOS Y COMPAÑEROS: con quienes compartimos buenos y malos momentos en el transcurso de toda la carrera, además de brindarnos sus apoyos durante la realización del trabajo de graduación en las diferentes etapas.

A NUESTRA ALMA MATER: por el apoyo que brinda a todos los estudiantes de distinta clase social, que son el futuro de nuestro país en la seguridad alimentaria y en la protección del medio ambiente, formando profesionales con conciencia social y espíritu de servicio.

Xiomara Moya y Marvin Meza

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO: por haberme proporcionado fuerza, sabiduría y conocimiento en el transcurso de mi vida personal y académica, y permitirme alcanzar mi meta profesional.

A mis padres Marta Julia Menjivar Henríquez y José Amadeo Moya Acosta, por sus apoyos incondicionales en lo personal y económico, por brindarme sus consejos, comprensión, paciencia. Gracias, sin ustedes no hubiese sido posible este logro.

A mis hermanos Marta Yaneth Moya, Julio Ernesto Moya, que han sido un ejemplo en mi carrera, sin sus apoyos incondicionales y las ganas de seguir adelante a pesar de las circunstancias que pasamos como familia, mil gracias por estar pendiente de mí en todo momento, por el apoyo económico que me brindaron y todo lo necesario para poder culminar mi carrera.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS: por brindarme su amistad, experiencia, conocimientos y apoyo en mi desarrollo académico y personal.

A LOS DOCENTES: todos y cada uno de los maestros de la Facultad de Ciencias Agronómicas, que fueron parte de mi formación académica.

Xiomara Milagro Moya Menjivar

DEDICATORIA

A MIS PADRES: Ricardo Meza y Virginia Calderón por el apoyo incondicional y económico, por brindarme su comprensión, paciencia.

A MIS HERMANOS: Amy Sandoval, Erick Meza e Irvin Meza, que han sido un ejemplo en mi carrera, sin su apoyo incondicional y las ganas de seguir adelante a pesar de las circunstancias que pasamos como familia, mil gracias por estar pendiente de mí en todo momento, por el apoyo que me brindaron y todo lo necesario para poder culminar mi carrera.

A mi Novia y futura esposa Katerin Cañas por su apoyo incondicional y consejos durante todos estos años.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS: Ricardo Tejada, Rommel Alvarado, Elías Vásquez, Kenaida Orellana, por brindarme su amistad, experiencia, conocimientos y su apoyo en mi desarrollo académico y personal.

A LOS DOCENTES: todos y cada uno de los maestros de la Facultad de Ciencias Agronómicas, que fueron parte de mi formación académica.

AL PERSONAL ADMINISTRATIVO de la facultad que conocí durante toda la carrera, por su apoyo y amistad.

Marvin Alfredo Meza Calderón

INDICE

	Página
RESUMEN.....	iii
SUMMARY	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA	vi
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	2
2.1. Origen y distribución del cultivo de cacao	2
2.2. Importancia del cacao.....	2
2.2.1. Importancia económica del cacao	2
2.2.2. Importancia ambiental del cacao	2
2.2.3. Importancia nutricional del cacao.....	2
2.3. Clasificación taxonómica del cacao.....	4
2.4 Descripción botánica del cacao	4
2.5. Grupos genéticos de cacao	5
2.5.1. Cacao criollo o dulce.....	5
2.5.2. Cacao forastero o amargo	5
2.5.3. Cacao trinitario.....	6
2.6. Requerimientos edafoclimáticos del cacao	6
2.7. Portainjertos en cacao	6
2.7.2. Absorción de nutrientes en las plantas de cacao.....	8
2.7.3. Nutrición química de las plantas de cacao en vivero.....	8
2.8. Reproducción del cacao.....	10
2.8.1. Reproducción sexual.....	10
2.8.2. Reproducción asexual	10
2.9. Injertación en cacao	11
2.9.1. Injerto de parche.....	11
2.9.2. Injerto de enchape lateral.....	11
2.9.3. Injerto de cuña terminal	11

2.9.4.	Injerto de yema	12
2.10.	Anatomía de la zona de unión del injerto	12
2.10.1.	Afinidad	12
2.10.2.	Incompatibilidad	13
2.10.3.	Factores que influyen en la unión del injerto.....	13
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1.	Localización.....	15
3.2.	Metodología de campo	15
3.3.	Metodología de laboratorio	19
3.4.	Metodología estadística.....	19
3.5.	Variables evaluadas en la fase 1 del portainjerto.....	20
3.6.	Variables evaluadas en la fase 2 del injerto.....	22
4.	Objetivos.....	22
4.1.	Objetivo General.....	22
4.2.	Objetivos Específicos.....	22
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
5.1.1.	Altura de los portainjertos.....	23
5.1.2.	Diámetro del tallo del portainjerto	24
5.1.3.	Número de hojas del portainjerto.....	26
5.1.4.	Contenido de clorofila en las hojas del portainjerto	27
5.2.2.	Grados días de desarrollo (GDD)	36
5.2.3.	Altura del injerto.....	37
5.2.4.	Diámetro del injerto	39
5.2.5.	Número de hojas en la planta injertada	41
6.	CONCLUSIONES.....	43
7.	RECOMENDACIONES.....	44
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	45
9.	ANEXOS.....	50

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido nutricional del cacao.....	3
Cuadro 2. Clasificación taxonómica del cacao.....	4
Cuadro 3. Requerimientos nutricionales del cultivo de cacao	7
Cuadro 4. Fechas en que se aplicaron los tratamientos y se hizo la toma de datos.....	17
Cuadro 5. Fechas en que se aplicaron los tratamientos y se hizo la toma de datos.....	19
Cuadro 6. Tratamientos utilizados en la fase de desarrollo de los portainjertos	19
Cuadro 7. Tratamientos utilizados en la fase de injerto.....	21
Cuadro 8. Diferencia de medias en la variable diámetro (mm) según la Prueba de Tukey....	24
Cuadro 9. Medias de Tukey de la clorofila en los portainjertos utilizando diferentes dosis de fórmula 15-15-15	28
Cuadro 10 Análisis de varianza de la variable éxito del prendimiento del injerto.....	35
Cuadro 11. Promedios de la prueba de Tukey para la variable grados días de desarrollo (GDD) en injertos de cacao.....	37
Cuadro 12. Promedios de altura de los injertos de cacao en la prueba de Tukey.	39
Cuadro 13. Promedio de diámetros de los injertos de cacao de la prueba de Tukey.	40
Cuadro 14. Promedios de la prueba de Tukey en el número de hojas en injertos de cacao para los diferentes muestreos.....	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de fertilización en portainjertos.	17
Figura 2. Toma de datos en portainjertos.....	17
Figura 3. Distribución de los bloques de portainjertos.....	18
Figura 4. Proceso de crecimiento de los diferentes tipos de injertos.....	18
Figura 5. Altura promedio de los portainjertos por tratamiento a los 88 y 110 días después de la siembra.	23
Figura 6. Diámetro promedio del tallo del portainjerto por tratamiento a los 88 y 100 días después de la siembra.	24
Figura 7. Diferencia de medias en el diámetro del tallo del portainjertos de cacao utilizando diferentes dosis de fertilizante fórmula 15-15-15.	25
Figura 8. Promedio del número de hojas en los portainjertos por tratamiento a los 88 y 100 días después de siembra.....	26
Figura 9. Ganancia de hojas en los portainjerto de cacao utilizando diferentes dosis de fertilizante fórmula 15-15-15.....	27
Figura 10. Contenido de clorofila en las hojas de los portainjertos a los 88 y 110 días después de siembra.	27
Figura 11. Promedio de área foliar en los portainjertos con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.	29
Figura 12. Promedio del peso fresco y seco en hojas de los portainjertos con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.....	30
Figura 13. Promedio del peso específico de las hojas en portainjerto con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.....	31
Figura 14. Peso fresco y seco de los tallos de los portainjertos con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.....	32
Figura 15. Peso fresco y seco de las raíces de los portainjertos con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.	33
Figura 16. Promedio de la variable éxito en el prendimiento del injerto en 4 muestreos.	34
Figura 17. Variable Grados días de desarrollo en el injerto de plantas de cacao utilizando diferentes dosis de fertilizante 15-15-15.....	36
Figura 18. Promedio de altura de los injertos de cacao con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.	37
Figura 19. Ganancia de altura de los injertos de cacao con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.	38
Figura 20. Promedio de diámetros de los injertos de cacao en muestreos a los 90 y 120 días después de injertados.....	39
Figura 21. Ganancia de diámetros de los injertos de cacao con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.	40
Figura 22. Promedio del número de hojas en cada planta injertada de cacao a los 120 días después de injertados.	41
Figura 23. Ganancia en el número de hojas en las plantas injertadas de cacao con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.	42

ANEXOS

INDICE DE CUADROS

Cuadro A 1. Diferencia de medias utilizando la prueba de Tukey en la variable diámetro (mm).	50
Cuadro A 2. Diferencia de medias utilizando la prueba de Tukey en la variable altura (cm)..	50
Cuadro A 3. Diferencia de medias utilizando la prueba de Tukey en la variable número de hojas.	50
Cuadro A 4. Diferencia de medias utilizando la prueba de Tukey en la variable número de hojas.	50
Cuadro A 5. Diferencia de medias utilizando la prueba de Tukey en la variable prendimiento.	51
Cuadro A 6. Diferencia de medias utilizando la prueba de Tukey en la variable hojas.	51
Cuadro A 7. Presupuesto parcial por tratamiento en fase de desarrollo e injertación del cacao.	52
Cuadro A 8. Costo beneficio por cada tratamiento en estudio.....	52

INDICE DE FIGURAS

Figura A 1. Temperatura máxima y mínima promedio (MARN 2016).....	52
Figura A 2. Precipitación de lluvia mensual promedio (MARN 2016).	53
Figura A 3. Injerto de Parche.....	53
Figura A 4. Injerto de Enchape Lateral.	53
Figura A 5. Injerto de Cuña Terminal.	53
Figura A 6. Injerto de Yema.....	53

1. INTRODUCCION

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) tiene el potencial de aumentar la flora y fauna de los ecosistemas, restaurar ecosistemas degradados, mejorar la calidad de los recursos suelo y agua, y fomentar el potencial de adaptación de cara a los fenómenos meteorológicos extremos actuales y futuros.

Los sistemas agroforestales con cacao presentan la oportunidad a los agricultores de 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 Organizaciones No Gubernamentales, promueven variedades trinitarias provenientes del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) de Costa Rica, la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA) y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de México, las cuales se propagan de manera clonal por injerto, a fin de garantizar su calidad genética (Alianza Cacao 2016).

El Departamento de Fitotecnia de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ha realizado desde hace varios años 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 poner los mejores materiales a disposición de agricultores que lo demanden. La propagación sexual en el cacao genera segregación genética por ser una especie alógama, por lo cual se está tratando de generar tecnologías de propagación a través del injerto, como los que se usan en frutales, como el injerto por enchape lateral y cuña terminal, asimismo, la evaluación de otros tipos de injerto que practican instituciones como la FHIA, para determinar la viabilidad de los mismos en El Salvador (Parada Berrios 2013).

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, posee ventajas sobre otros métodos como la rapidez de ejecución y la obtención de un mayor número de yemas por varetta, reduciendo costos en mano de obra y material de propagación por planta.

En El Salvador no se han desarrollado estudios sobre nutrición de cacao y 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 la investigación a fin de conocer los requerimientos de nitrógeno, fosforo y potasio para la nutrición del portainjerto y su influencia en el éxito del prendimiento utilizando diferentes tipos de injerto, con la finalidad de generar recomendaciones confiables hacia viveristas y productores de cacao.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Origen y distribución del cultivo de cacao

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) tuvo su origen en América. Algunos autores indican que se inició en México y América Central, y señalan al mismo tiempo que los españoles lo vieron cultivado en América del Sur cuando arribaron a este continente, donde existen diferentes tipos genéticos de un alto valor (ANACAFE 2009).

2.2. Importancia del cacao

2.2.1.Importancia económica del cacao

El cacao es una fuente importante de ingresos para las familias que lo producen en sus plantaciones, a la vez que lo utilizan para su alimentación ya que forma parte de una gran variedad de alimentos, además es un aporte importante a la soberanía alimentaria porque contiene nutrimentos esenciales para el sano desarrollo del ser humano, no requiere de grandes inversiones económicas para su establecimiento y manejo, convirtiéndolo en una buena alternativa productiva (Fedecacao 2008).

Para las familias es un buen negocio producir y vender cacao debido a que es un cultivo que siempre tiene demanda, su precio en el mercado es estable (ANACAFE 2009).

2.2.2.Importancia ambiental del cacao

Los árboles de cacao y las especies utilizadas como sombra permanente protegen el suelo de la erosión y proliferación de malezas, lo que conlleva a reducir su control, a la vez, mantienen un clima equilibrado dentro de la plantación, las hojas al caer se descomponen y contribuyen a mejorar el contenido de materia orgánica del suelo. Permite que exista una mayor infiltración de agua en el suelo, ayudan a restaurar los mantos acuíferos, además de proteger las cuencas hidrográficas. Si se utilizan leguminosas como árboles de sombra se fija nitrógeno en el suelo. Los sistemas productivos de cacao son hábitat y refugio de la biodiversidad (FUNDESYRAM 2015).

2.2.3.Importancia nutricional del cacao

Los granos de cacao han demostrado beneficios sorprendentes para la salud, en su composición contienen magnesio, cromo, hierro, vitamina C, omega 6 y fibra, además de ser

muy ricos en flavonoides, los cuales son compuestos químicos presentes en los vegetales que protegen al organismo de la oxidación que causa deterioro celular y, por tanto, el envejecimiento. Estas propiedades de los granos de cacao disminuyen cuando éstos son procesados y convertidos en chocolate.

Estudios acerca de los beneficios del cacao indican que el consumo de éste en forma de granos está vinculado a la reducción de riesgos cardiovasculares, ya que los flavonoides proporcionan propiedades antioxidantes que contribuyen en la prevención de la inflamación y el daño a nivel celular. De igual forma, los flavonoides presentes en los granos de cacao protegen las células nerviosas del cerebro, limitando los riesgos de enfermedades coronarias (EPCOPERU 2012).

Los granos de cacao también proporcionan una serie de neurotransmisores, que son sustancias químicas que actúan como antidepresivos, imitando los efectos positivos de los psicotrópicos, es decir, inducen a la felicidad, de allí que sea una costumbre difundida mundialmente el dejar una tableta de chocolate a base de cacao en las almohadas de las habitaciones, sinónimo de “un dulce sueño”; y, todo esto gracias a la phenylethylamina, anandamida y teobromina, sustancias responsables de la felicidad y el aumento de la energía que se encuentran en los granos de cacao (EPCOPERU 2012).

Cuadro 1. Contenido nutricional del cacao.

Elemento	Porcentaje
Manteca de cacao	54%
Proteínas	11.50%
Celulosa	9%
Almidón	7.50%
Taninos	6%
Agua	5%
Olio elementos y sales	2.60%
Ácidos orgánicos y esencias	2%
Teobromina	1.20%
Azúcares	1%
Cafeína	0.20%

Fuente: (EPCOPERU 2012).

2.3. Clasificación taxonómica del cacao

La clasificación taxonómica de la planta de cacao es la siguiente:

Cuadro 2. Clasificación taxonómica del cacao.

Clasificación	Taxonómica
Reino	Plantea
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Dilleniidae
Orden	Malvales
Familia	Esterculiácea
Subfamilia	Byttnerioideae
Tribu	Theobromeae
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>cacao</i>
Nombre binomial	<i>Theobroma cacao</i> L.

Fuente: (FUNDESYRAM 2015).

2.4. Descripción botánica del cacao

- Tallo. Las plantas de cacao producidas por semillas desarrollan un tallo principal de crecimiento vertical que puede alcanzar 1 a 2 metros de altura a la edad de 12 a 18 meses. A partir de ese momento la yema apical detiene su crecimiento y del mismo nivel emergen de 3 a 5 ramas laterales. A este conjunto de ramas se le llama comúnmente verticilo u horqueta.
- Hojas. Las hojas adultas son de color verde, de lámina simple, entera, de forma que va desde lanceoladas o casi ovaladas, con una nervadura penninervia y ambas superficies glabras. Las hojas cuando jóvenes son muy delicadas por lo que son apetecidas por los insectos y dañadas por el viento, poseen un color verde pálido o puede ser color violeta y al alcanzar su madurez hacen el cambio de color (Fedecacao 2008).
- Flor. Es hermafrodita, pentámera, de ovario súpero. La fórmula floral es: S5, P5, E5+5, + G (5), esto indica que la flor del cacao está constituida en su estructura floral por 5 sépalos, 5 pétalos, el androceo conformado por 10 filamentos de los cuales 5 son fértiles (estambres) y los otros 5 son infértiles (estaminodios); el gineceo (pistilo) está formado por un ovario súpero con 5 lóculos fusionado desde la base donde cada uno puede contener de 5 a 15 óvulos, dependiendo del genotipo.

La polinización del cacao es entomófila, para lo cual la flor inicia su proceso de apertura con el agrietamiento del botón floral en horas de la tarde. El día siguiente, en horas de la mañana, la flor está completamente abierta. Las anteras cargadas de polen abren y están viables (disponibles, funcionales) casi inmediatamente por un período aproximado de 48 horas. Esta es la única etapa disponible para la polinización. El tamaño y la forma dependen en gran medida de las características genéticas de la planta, el medio ambiente, así como el manejo de la plantación. Actualmente en el mundo existe una gran cantidad de variedades, la riqueza genética con la que se cuenta es muy amplia; aunque originalmente solo existían dos tipos: el criollo y el forastero, el cruce de estas dos razas ha dado origen al trinitario.

- Raíz. Su sistema radicular es pivotante y de rápido crecimiento, las raíces secundarias laterales de desarrollo horizontal; se encuentran en los primeros 20 a 25 cm del suelo desde el cuello de la raíz.
- Fruto. Es una mazorca que tiene módulos visibles por los surcos. En su interior presenta cinco hileras de semillas o almendras cubiertas de pulpa o mucílago, de sabor dulce y aroma agradable. El número de semillas por fruto varía en promedio de 20 a 40, en casos excepcionales alcanzan 50 dependiendo del tamaño de mazorca (ESCACAO 2011).

2.5. Grupos genéticos de cacao

2.5.1. Cacao criollo o dulce

Su origen se focaliza principalmente en Centroamérica, Colombia y Venezuela, entre las características más sobresalientes se menciona que el fruto posee un exocarpo suave, con 10 surcos profundos con otro de menor profundidad, su curvatura es borroñosa y termina en una punta delgada. El endospermo de la semilla es de color blanco o violeta, las semillas son dulces y de ellas se elabora el cacao denominado fino (ANACAFE 2009).

2.5.2. Cacao forastero o amargo

Su principal centro de origen se limita a la zona de América del Sur y es el más cultivado en África. Entre sus características el fruto posee un exocarpo duro y liso, de apariencia redondeada que suele ser de color verde a amarillo. Las semillas son aplanadas de color morado y sabor amargo (ANACAFE 2009).

2.5.3. Cacao trinitario

Esta variedad surge del cruce de la variedad criolla y el forastero, las mazorcas por lo general son de muchas formas y colores, las semillas son más grandes que el de las otras variedades, las plantas son fuertes, de tronco grueso y hojas grandes. Actualmente es la variedad más cultivada en el mundo (ANACAFE 2009).

2.6. Requerimientos edafoclimáticos del cacao

Las condiciones climáticas que afectan el óptimo desarrollo del cacao son principalmente la temperatura, la lluvia, el viento fuerte, la radiación solar y la humedad relativa. Se adapta muy bien desde los cero metros sobre el nivel del mar hasta los 800 metros sobre el nivel del mar.

El mejor desarrollo del cacao se manifiesta en temperaturas promedio anuales de 21° C. Las temperaturas muy altas o bajas pueden llegar a producir alteraciones fisiológicas en el árbol. La temperatura ejerce su efecto en la formación de las flores (ESCACAO 2011).

El cacao es muy sensible a los escasos de agua, así como su exceso. La precipitación debe de ser de 1,500 a 2,500 mm al año. Los suelos deben estar provistos de prácticas que favorezcan la evacuación del exceso de agua.

El viento fuerte incide en el desecamiento, muerte y caída de las hojas, afectando así la capacidad de alimentarse de la planta, en zonas donde existe este problema deben de colocarse cortinas rompe vientos para evitar daños (ESCACAO 2011).

2.7. Portainjertos en cacao

El empleo del portainjerto en los frutales ha constituido uno de los grandes artificios utilizados por las personas, a través del cual se ha logrado una mejora sustantiva de los rendimientos y la calidad de los frutos, también, ha permitido su explotación en sitios con características que le son adversas para el normal desarrollo de la planta.

En general, el árbol frutal injertado se caracteriza por estar formado por la unión en simbiosis de dos individuos, uno es el patrón o portainjerto que constituye el sistema radical y una parte del tronco sobre el cual se injerta la yema, vareta o púa del otro individuo que formará en definitiva la copa o parte área y producirá los frutos correspondientes a su particular genética.

La elección del mejor portainjerto representa uno de los problemas más complejos de la fruticultura (Avilan 1997).

La Injertación permite obtener una planta que fructifica en menor tiempo que la propagada por semilla, manteniendo la identidad genética, con un sistema radical pivotante, por lo tanto, un mejor anclaje (Vera 1993).

El manejo del portainjerto se realiza desde antes que exista germinación de la semilla, ya que es necesario regar cada tres días para evitar exceso de humedad y no haya pérdida de semillas; luego de germinadas se sigue el mismo régimen de riego durante una semana, ya cuando las plántulas den sus primeras hojas el riego es más constante cada dos días, el control de malezas es primordial para evitar la competencia de nutrientes, el aporcado de la tierra en la bolsa es necesario para que haya más entrada de oxígeno al suelo, la fertilización se hace de manera de no dañar los cotiledones de la planta en todo caso aun los tenga, cuando se aplica el fertilizante se hace a unos 10 cm del tallo, haciendo una media luna y se procede a enterrarlo para evitar la pérdida (FUNDESYRAM 2015).

2.7.1. Nutrición en vivero para la producción de portainjertos de cacao

Los fertilizantes son elementos nutritivos que se suministran a las plantas para complementar las necesidades nutricionales para su crecimiento y desarrollo. La fertilización en vivero tiene como fin una alimentación equilibrada del cultivo y así prepararlo para su fase de establecimiento definitivo (Nicolás y Roche citado por Aguilar y Cabrera 2003).

Cuadro 3. Requerimientos nutricionales del cultivo de cacao

Estado del cultivo	Edad de la planta	Requerimiento nutricional (Promedio en kg/ha)						
		N	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn
Etapa inicial	Mes							
Vivero	5-12	2.4	0.6	2.4	2.3	1.1	0.04	0.01
Establecimiento del cultivo	28	136	14	156	113	47	3.9	0.5
Inicio de producción	39	212	23	321	140	71	7.1	0.9
Plena Producción	50-87	438	48	633	373	129	6.1	1.5

Fuente: (ESCACAO 2011).

Las formas de fertilización son variadas, en los almácigos e instalación de viveros se fertiliza profusamente los plantines con sustancias nutritivas y aplicación en los hoyos de plantación (Rodríguez Suppo 1982).

Algunos propagadores opinan que la aplicación temprana de nutrimentos es innecesaria por las reservas internas que poseen las semillas y que alcanzan a sustentar los primeros estados de crecimiento. Diversos estudios de nutrición de plantas demuestran respuesta inmediata y a largo plazo a la aplicación temprana de nutrimentos. Las respuestas dependen del método y cantidad de nutrimentos aplicados, efectos de nutrimentos solos y combinados, factores estacionales y ambientales, y diferencias en respuestas entre géneros y especies (Rodríguez Suppo 1982).

Según Suarez (1987), la cantidad estimada de nutrientes absorbidos por la planta de cacao en fase de vivero es: 2.4 kg.ha⁻¹ de nitrógeno, 0.6 kg.ha⁻¹ de fósforo, 2.4 kg.ha⁻¹ de potasio, 2.3 kg.ha⁻¹ de calcio, 1.1 kg.ha⁻¹ de magnesio, 0.04 kg.ha⁻¹ de manganeso, 0.01 kg.ha⁻¹ de zinc.

2.7.2. Absorción de nutrientes en las plantas de cacao

Los elementos nutritivos son absorbidos por las plantas en forma de iones, principalmente por las raíces. Estos pueden ser tomados de la solución del suelo o directamente de la materia mineral u orgánica. El empleo de variedades o cultivares mejorados más productivos son más exigentes en fertilización, y la mayor densidad de plantas por unidad de superficie influye en la dosificación. En principio, la relación suelo-planta es el criterio básico que debe sustentar la práctica de fertilización, un tercer factor que influye sobre ambos componentes es el clima (Rodríguez Suppo 1982).

El balance nutricional está referido a la relación cuantitativa en que son absorbidos los nutrientes, de tal manera que su utilización por la planta sea óptima. Este balance puede ser variado por condiciones de deficiencias o excesos, las mismas que son factibles de ser corregidas mediante fertilizaciones o enmiendas (Escobedo 2003).

Para conocer el balance nutricional se debe de realizar un diagnóstico, que consiste en la evaluación de los requerimientos nutricionales de una plantación, el cual es la base para la elaboración de un adecuado plan de fertilización (Escobedo 2003).

2.7.3. Nutrición química de las plantas de cacao en vivero

Los elementos vitales para el desarrollo de las plantas son los nutrimentos presentes en el suelo como los que puedan ser aplicados, estos se dividen en macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) y micro nutrimentos (hierro, magnesio, cobre, zinc, cloro, boro, manganeso

y molibdeno), estos últimos son elementos absorbidos en menores proporciones (Rodríguez Suppo 1982).

Si falta alguno de estos elementos en el suelo la planta pronto demostrará síntomas de deficiencia. Es importante siempre proveer a la planta de estos minerales en forma orgánica o química (Guerrero citado por Aguilar y Cabrera 2003).

Cada uno de los macronutrientes tiene una función y beneficio específicos para la planta, en términos generales son los siguientes:

- Nitrógeno: da color verde a las plantas, favorece el rápido crecimiento y aumenta la producción.
- Fósforo: estimula el crecimiento de las raíces, favoreciendo un crecimiento rápido de la planta, estimula la floración, acelera la madurez y ayuda a la formación de la semilla.
- Potasio: aumenta el vigor de las plantas y su resistencia a las enfermedades, mantiene el desarrollo de las raíces y tubérculos, y mejora el llenado de granos y semillas.

La fertilización química es la forma más común utilizada para abastecer a las plantas de los macronutrientes y micronutrientes, pero existen casos en que la disponibilidad de dichos nutrimentos en la solución del suelo es limitada debido a problemas de absorción, fijación, precipitación, suelos con baja disponibilidad nutrimental, suelos áridos y cuando el sistema radical disminuye su función, como resultado de la competencia por carbohidratos en la etapa reproductiva (Guerrero citado por Aguilar y Cabrera 2003).

Los fertilizantes compuestos contienen por lo menos dos de los tres elementos nitrógeno, fósforo y potasio. La fórmula 15-15-15 es un abono químico granulado completo para uso en suelos, su equilibrada composición lo hace versátil para aplicaciones en pastos, macetas, canteros, árboles frutales y todas las especies ornamentales. Su forma de uso y dosificaciones son muy variables, de acuerdo al tipo de plantas en que sea utilizado (Guerrero citado por Aguilar y Cabrera 2003).

La absorción de nutrimentos es un fenómeno que ocurre día a día. Resulta imprescindible saber cuántos días va a estar activo el proceso de absorción para completar los requisitos que harán posible la obtención de cosechas óptimas. Los nutrimentos necesarios para producir hojas son diferentes de los que se necesitan para producir semillas, de ahí que sea necesario

conocer las etapas que van a ocurrir durante el ciclo, el tiempo en que suceden y la distribución de los fotoasimilados en los diferentes tejidos.

Para que ocurra una buena absorción de nutrimentos, además de los mecanismos fisiológicos de la membrana que intervienen en la introducción de los nutrimentos del suelo a la raíz, son importantes otros procesos de absorción relacionados con la forma en que los nutrimentos se acercan de los diferentes puntos del suelo a la raíz tales como los estomas que absorben a través de las hojas el CO₂, fuente de carbono y oxígeno por medio del xilema y el floema (Bertsch 1995).

2.8. Reproducción del cacao

Antes de decidir por el tipo de planta a sembrar, es importante documentarse sobre la demanda y requerimientos del mercado, así como conocer el material que más se adapta al lugar donde se va a realizar la siembra en función de su rendimiento, calidad y tolerancia a las principales plagas y enfermedades (Fedecacao 2008).

Existen dos formas para la reproducción de las plantas de cacao: la sexual y asexual.

2.8.1. Reproducción sexual

Es el método más sencillo, común y el más económico de todos, aunque los resultados en cuanto al rendimiento son por lo general inseguros ya que nadie puede predecir el potencial de producción de los árboles que han resultado de la producción utilizando semillas. Las ventajas de la reproducción sexual es que se logra una producción de plantas en mayor cantidad; las desventajas son que suelen reproducir características indeseables que resultan en perjuicio de los productores y se obtienen árboles de mayor tamaño, lo que dificulta su recolección (CEIP 2010).

2.8.2. Reproducción asexual

Se realiza porque la planta de cacao es alógama o de polinización cruzada, por lo que la semilla presenta una base genética altamente heterocigota (variadas), en consecuencia, los genes se combinan libremente dando plantas con diferentes características. En el cultivo del cacao las más usadas son la reproducción por estacas y por injerto. En el injerto se aprovecha el sistema de raíces de la planta patrón que ofrece mayor fortaleza en el anclado del árbol en el suelo, siendo esta una forma de mayor resistencia a los fuertes vientos de las temporadas ciclónicas que con mucha frecuencia afectan al país.

Las ventajas del injerto son que las plantas mantienen las características genéticas que se desean multiplicar, son de alta precocidad, buenos rendimientos y sobre todo uniformidad en las características del producto deseado. Las desventajas son costos muy elevados por el valor de las varetas y se depende de la habilidad de la persona que injerta (Dubón y Sánchez 2011).

2.9. Injertación en cacao

El momento óptimo para injertar es cuando el portainjerto producido por semilla tiene una edad entre cuatro y cinco meses; para injertar es importante seleccionar las mejores yemas y patrones con raíces fuertes. Los tipos de injerto son:

2.9.1. Injerto de parche

En el patrón se realizan dos cortes verticales de 2 a 3 cm de longitud, dejando una distancia de un centímetro entre los cortes. Luego se realiza un corte horizontal para unir los dos cortes anteriores en forma de “U”, esto es para evitar la salida de chupones que dificulten el nacimiento del brote y puedan causar confusión al momento de la poda y eliminar el brote de la yema injertada. Posteriormente, con la punta de la navaja se levanta el trozo de corteza en el patrón, para encajar o insertar la yema cortada, que es del mismo tamaño del corte realizado en el patrón, cuando se coloca la yema es importante que se deje parte de la base de la hoja y la corteza del patrón como protección a los daños que puedan ocurrir durante el amarre (Paredes 1949).

2.9.2. Injerto de enchape lateral

Se utiliza para injertar un pedazo de vareta que porta dos o tres yemas. El corte efectuado al patrón es de mayor tamaño 3 cm y el pedazo de corteza o cáscara se le quita del tallo, ahí se coloca el trozo de vareta cortado del mismo tamaño. Los dos cortes se realizan de la misma forma y tamaño para que la vareta quede ajustada, así las yemas se pueden pegar sin dificultad y no se van a secar (Cockrell 2000).

2.9.3. Injerto de cuña terminal

Consiste en unir una vareta o rama seleccionada con la punta de la rama de un patrón, ambos deben tener el mismo grosor 2 cm. La vareta debe tener al menos tres yemas activas. El proceso se realiza al cortar el patrón a una altura de 15 cm del pie, luego se le hace una herida

en el centro, con un corte de arriba hacia abajo de 1 a 2 cm de largo. Luego se coloca la vareta la cual debe estar cortada a fin de que establezca un buen contacto con el patrón (Paredes 1949).

2.9.4. Injerto de yema

Es tomada de una planta seleccionada por su producción (clon), la cual se va a transformar en la copa del nuevo árbol, por lo que será la encargada de formar las ramas, hojas, flores y frutos (Echeverri Rodríguez 2006).

Se utiliza un trozo de corteza del injerto y se introduce bajo la corteza del tronco del patrón, haciendo un corte rectangular de la zona que rodea una yema foliar. A los 15 días después del injerto se retiran las cintas de amarre por peligro de estrangulamiento, cuando brotan las yemas injertadas se corta la parte superior del patrón para permitirle ser la rama dominante. (Cockrell 2000).

2.10. Anatomía de la zona de unión del injerto

Una clave fundamental en los injertos es que queden en buen contacto el cambium del patrón (portainjerto) y el de la variedad (injerto). También hay que tener en cuenta que el injerto para ser exitoso necesita que el patrón sea compatible con la variedad a injertar, de lo contrario no se unirán. El cambium es el meristemo lateral que forma los tejidos vasculares (floema y xilema), tiene forma cilíndrica y espesor menor de 1 mm. Una vez realizado el injerto, debe quedar un buen contacto entre el cambium de la púa (injerto) y el cambium del portainjerto para que se inicie la división celular del parénquima. Luego se entremezclan las células y se conectan para producir un nuevo cambium y tejidos vasculares que permitirán el paso de nutrientes y agua (compatibilidad de injertos en frutales 2013).

2.10.1. Afinidad

Según Hartmann y Kester (1997), la afinidad consiste en la cualidad que permite la unión de sus tejidos (prendimiento) y constituir un solo individuo, es decir, la existencia de tolerancia entre un vegetal y otro cuando ambos son injertados, además, mencionan que se puede clasificar en:

- **Afinidades celulares:** Se presenta cuando los protoplasmas se asocian mal resultando en una soldadura imperfecta, por lo que el injerto se desliga al menor choque, y depende de la dimensión de los vasos y la constitución de las células.

- Afinidades fisiológicas: Se da en dos vías, la primera con relación al potencial de succión en el cual cada vegetal se caracteriza por un estado de equilibrio entre la absorción de las raíces y la succión de las ramas; en segundo caso por la composición de la savia ya que ciertos patrones no aceptan sustancias elaboradas por el injerto. Otras condiciones a tener en cuenta son la polaridad del injerto la cual debe ser respetada (extremidad distal y proximal); también el patrón e injerto deben tener similar vigor; finalmente debe haber similitud en la consistencia de los dos tejidos a unir (herbáceo, semi leñosa).

2.10.2. Incompatibilidad

Son las diferencias genéticas entre el patrón y la variedad. En los injertos se combinan una amplia gama de sistemas fisiológicos, bioquímicos o anatómicos diferentes, con muchas interacciones favorables o desfavorables. En algunos casos se ha demostrado que algunos compuestos que produce el patrón reaccionan con otros de la variedad, dando otros nuevos que inhiben la actividad del cambium. La reducción de la concentración de azúcares que llegan a la raíz por dificultades de translocación a través del injerto puede liberar en ella compuestos tóxicos que producen su degeneración y muerte (Hartmann y Kester 1997).

Rojas *et al.* (2004) mencionan que la incompatibilidad se manifiesta en la falta de brotación del injerto, que supone la muerte del vegetal injertado. La incompatibilidad se puede presentar en diferentes estados de desarrollo o edad de la nueva planta formada durante el proceso de injertación.

2.10.3. Factores que influyen en la unión del injerto

Según Hartmann y Kester (1997), los factores que influyen en la unión del injerto son:

- Humedad. Las células del parénquima que forman el tejido del callo son de paredes delgadas y muy sensibles a la deshidratación si se exponen al aire. Los contenidos de humedad del aire menores al punto de saturación inhiben la formación de callo y aumentan la tasa de desecación de las células cuando disminuye la humedad.
- Oxígeno. Para la producción de tejido de callo es necesaria la presencia de oxígeno en la unión del injerto. La división y crecimiento de las células van acompañados de una respiración elevada. Para algunas plantas puede bastar una tasa de oxígeno menor que la presente en el aire, pero para otras es conveniente que la ligadura del injerto permita el acceso del oxígeno a la zona de la unión.

- Actividad de crecimiento del patrón. La actividad cambial se debe a un estímulo de auxinas y giberelinas producidas en las yemas en crecimiento. Si el patrón está en fase de reposo o crecimiento lento es más difícil la producción de cambium en el injerto.
- Técnicas del injerto. Si se pone en contacto sólo una reducida porción de las regiones cambiales del patrón y de la variedad la unión será deficiente. Aunque haya una buena cicatrización y comience el crecimiento de la variedad, cuando ésta alcance un desarrollo importante, una unión tan escasa impedirá el movimiento suficiente del agua y se producirá el colapso de la planta injertada.
- Edad del patrón. El patrón estará listo para injertarse entre los cuatro a seis meses de edad, cuando el diámetro del tallo de la planta en vivero alcance un centímetro. Sian (2005) reporta que el clon UF667 en cinco etapas de crecimiento del patrón Pound 7, el mayor prendimiento se obtuvo a los 120 días de edad con el 91.25%, utilizando el injerto tipo “U” invertida o de yema.
- Contaminación con patógenos. En ocasiones entran en las heridas producidas al injertar bacterias y hongos que causan la pérdida del injerto. Para prevenir estas infecciones utilizar agua y manos limpias (Corral 2012).
- Épocas de injertación. Las épocas favorables para injertar se condicionan a la clase de plantas, estado vegetativo, así como las condiciones edafoclimáticas del lugar. Dependiendo de la época, clase de injerto que se adopte y de las precauciones que se pueden tomar, los meses de mayo a agosto son las mejores épocas para realizar la labor de injerto (Paredes 2010).
- Tiempo de injertación. En el cacao el tiempo máximo que debe transcurrir al realizar los procedimientos de injertación por individuo no debe exceder de 30 segundos en promedio (Paredes 2010).
- Hora de injertación. Según Santana (2013), en su estudio para determinar el tipo de injerto y la hora efectiva de realización sobre el prendimiento de yemas en plántulas de cacao, determinó que la realización de la labor de injertación en horas de la mañana (8:00 a.m.), favorece el prendimiento de las yemas en los patrones.
- Manejo del portainjerto. Un primer paso para la obtención de yemas es la selección de la planta madre o planta élite, la cual se debe realizar siguiendo el mismo procedimiento de la planta élite para la producción de semillas. Las ramas o varetas portadoras de las yemas se deben cortar al momento de hacer el injerto. Si pasa más de 24 horas entre el corte de ramas y la injertación se pierde el vigor de las yemas y hay poco prendimiento de las mismas, para eso se colocan en hojas de papel periódico mojadas en la parte baja del

refrigerador. Las varetas pueden provenir de ramas jóvenes primarias ubicadas en partes que no estén muy expuestas al sol, de un grosor similar al del portainjerto y un largo entre 35 y 40 cm, conservando la parte media de color café claro y con yemas que están apenas brotadas.

Las varetas deben contener de 7 a 10 yemas. Se les cortan las hojas dejando una parte del pecíolo o base de la hoja. La vareta debe protegerse con papel periódico húmedo y en caso de transporte a lugares distantes se deben proteger sus extremos con parafina o cera de velas, y luego de tratarlos con solución fungicida, identificarlas y colocarlas en cajas plásticas selladas y protegidas para evitar daños mecánicos (Vera 1993).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

La investigación se realizó en el período de mayo 2016 a mayo 2017, en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada a 13°43'11" latitud Norte y 89°12'13" longitud Oeste, a una elevación de 703 metros sobre el nivel del mar.

La temperatura promedio anual de la zona es superior a 24° C, registrándose la más alta de 30° C entre los meses de marzo y abril, y las mínimas de 19° C entre noviembre y enero. La humedad relativa media del aire fue de 72% y precipitaciones acumuladas de 1,797.6 mm al año (MARN 2016).

3.2. Metodología de campo

La etapa de campo se desarrolló en un periodo de 12 meses, la cual se dividió en dos fases: la 1ª consistió en el desarrollo de los portainjertos de cacao, donde se aplicaron las diferentes dosis de la fórmula 15-15-15, y en la 2ª fase se realizó la injertación de los portainjertos, en ambas etapas se tomaron datos de las variables de crecimiento.

En la fase 1 se realizaron las siguientes actividades:

- Adquisición de las semillas de cacao para el patrón. La semilla que se utilizó para los patrones se compró a un productor del cantón Cangrejera, municipio de Izalco,

departamento Sonsonate, en total se utilizaron 15 bayas a un precio unitario de \$0.50 centavos de dólar.

- Selección de los árboles de cacao para obtención de los frutos. Se seleccionaron árboles con frutos maduros, de buen tamaño, color uniforme y sin daños por plagas, enfermedades o físicos.
- Selección de las semillas. Las mazorcas de cacao se partieron por mitad y las semillas a utilizar como portainjertos se extrajeron de la parte media de la mazorca, ya que estas estaban uniformemente desarrolladas, eliminando las semillas que se ubican en los extremos, que presentaban daños o un desarrollo incompleto. Luego se colocaron en una cubeta con aserrín y se frotaron suavemente con el propósito de absorber la humedad del mucílago y evitar la fermentación, se dejaron reposar durante el resto del día y se sembraron al día siguiente.
- Preparación del sustrato. El sustrato que se utilizó fue una mezcla de 50% de tierra negra y 50% de estiércol de bovino, tamizado para eliminar cualquier material extraño como piedras, raíces, otros. Para la desinfección del sustrato se colocó a pleno sol durante ocho días, cubriéndolo con un plástico negro para aumentar la temperatura y acelerar el proceso de desinfección.
- Llenado de bolsas. Se llenaron 600 bolsas negras de polietileno de 8 x 14" x 300 geish por lado, para lo cual se utilizó 1.80 m³ de sustrato.
- Siembra y manejo post germinativo de las semillas. Las semillas se sembraron a una profundidad de 2 cm, para lo cual se colocaron de forma horizontal en el centro de cada bolsa, teniendo cuidado de no dañarlas, se taparon con el sustrato, después se agregó una capa de aserrín sobre las bolsas de siembra con el objetivo de proteger las semillas a la hora de aplicar el riego.
- Manejo de los portainjertos. Cada dos días por la mañana se regaban; el control de maleza se realizó manualmente en cada bolsa cada semana.
- Tratamientos y toma de datos. El fertilizante que se evaluó fue la fórmula química 15-15-15. Los tratamientos se prepararon en bolsas de una libra, haciendo la pesa en una báscula semianalítica, preparando las dosis únicas y las que se fraccionaron para hacer varias aplicaciones por contener mayor dosis del fertilizante. Las aplicaciones del fertilizante, (según los tratamientos) y la toma de datos se realizaron cada 22 días.



Figura 1. Etapas de fertilización en portainjertos.

- En total se realizaron 5 aplicaciones del fertilizante en un tiempo de 4 meses y medio. El suministro del fertilizante en cada planta se fraccionó en dosis de 5 g por aplicación tomando en cuenta la cantidad asignada para cada tratamiento, generando en la aplicación de la dosis mayor de 30 g seis aplicaciones en total.

Cuadro 4. Fechas en que se aplicaron los tratamientos y se hizo la toma de datos

Aplicación	1ª fertilización y toma de datos	2ª fertilización y toma de datos	3ª fertilización y toma de datos	4ª fertilización y toma de datos	5ª fertilización y toma de datos
Portainjerto	22 días 22/05/16	44 días 16/06/16	66 días 08/07/16	88 días 30/07/16	110 días 22/08/16

El control de plagas como los pulgones se realizó con aplicaciones de detergente diluido en agua.



Figura 2. Toma de datos en portainjertos.

Las plantas de cacao se desarrollaron hasta que alcanzaron 1 cm de diámetro y 40 cm de altura, óptimas para realizar el injerto. El total de plantas por cada dosis de fertilizante fue de 40, considerándose éstas las unidades experimentales, distribuidas en 3 bloques, 10 plantas por tratamiento, haciendo un total 200 plantas por cada bloque.

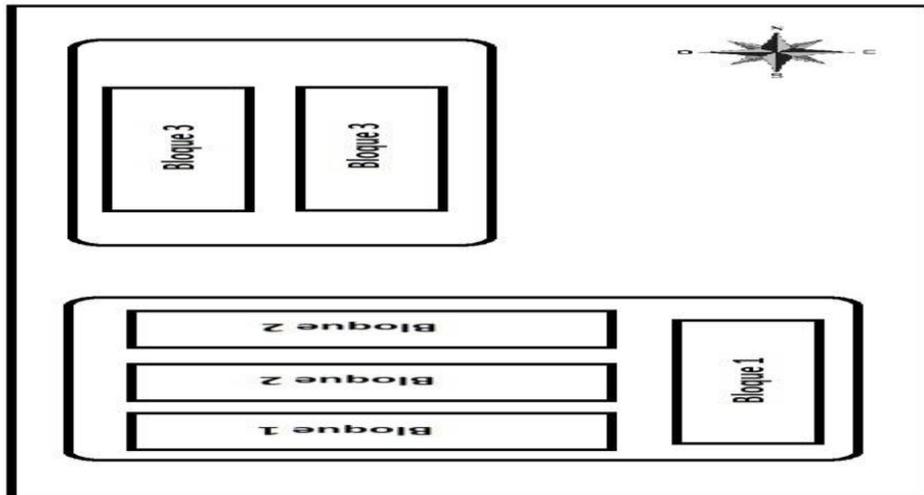


Figura 3. Distribución de los bloques de portainjertos.

En la fase 2 del post injerto se realizaron las siguientes actividades:

- Selección y preparación de las varetas. Las varetas de cacao criollo se colectaron del banco de germoplasma de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, seleccionando y preparando 8 días antes de injertar las ramas terminales, que son el material de propagación conocidas como varetas o yemas.
- La injertación se realizó en el mes de octubre de 2016, a las 9:00 am en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas.



Figura 4. Proceso de crecimiento de los diferentes tipos de injertos.

Cuadro 5. Fechas en que se aplicaron los tratamientos y se hizo la toma de datos.

Aplicación	1ª fertilización y toma de datos	2ª toma de datos	3ª toma de datos	4ª toma de datos	5ª toma de datos
Injerto	22 ddi* 29/10/16	44 ddi* 12/11/16	66 ddi* 19/12/16	88 ddi* 04/01/17	110 ddi* 04/02/17

*ddi =días después de la Injertación.

3.3. Metodología de laboratorio

En el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador se hizo lo siguiente:

- Peso fresco de hojas, tallo y raíz. Esta variable se tomó haciendo uso de una balanza semianalítica, donde se colocó el material vegetal recién colectado. El proceso consistió en tomar una planta por tratamiento y por repetición, las plantas fueron seleccionadas al azar y fue un muestreo destructivo de la planta.
- Peso seco de hojas, tallo y raíz, después de tomar el peso fresco de las hojas, tallo y raíz, las muestras se colocaron en una estufa a 65° C durante 24 horas, luego se tomaron los pesos de cada una de las muestras en balanza semianalítica; esta variable se tomó a los 60 días a los portainjertos.
- Longitud de raíz. Esta variable fue tomada desde la base del tallo hasta la zona más distante de la raíz, con una cinta métrica; se utilizó una planta por tratamiento y se midió a los 60 días a los portainjertos.

3.4. Metodología estadística

En la fase de desarrollo de los portainjertos de cacao el diseño estadístico utilizado fue Bloques completamente al azar con 6 tratamientos y 3 bloques, cada unidad experimental estuvo conformada por 40 plantas por cada dosis de fórmula 15-15-15, 10 plantas por tratamiento, haciendo un total de 200 plantas por cada bloque.

Cuadro 6. Tratamientos utilizados en la fase de desarrollo de los portainjertos

Tratamientos	Dosis de fórmula 15-15-15
T1	5 gramos
T2	10 gramos
T3	15 gramos
T4	20 gramos
T5	30 gramos
Testigo	Sin fertilizante

Fuente: Elaboración propia (2017).

3.5. Variables evaluadas en la fase 1 del portainjerto

Las variables evaluadas en la fase 1 del portainjerto fueron:

- Altura de la planta. Se medía desde la base de la planta hasta la parte apical con una cinta métrica. Esta medida se tomó cada 22 días, en total fueron 5 datos. Se comenzó a medir desde el momento en que se hizo la primera aplicación de fertilizante hasta que las plantas estuvieron listas para injertar.
- Diámetro del tallo del portainjerto. Se midió a una altura de 5 cm de la base del tallo con un Vernier, cada 22 días, en total fueron 5 datos. Se comenzó a medir desde el momento en que se hizo la primera aplicación de fertilizante hasta que las plantas estuvieron listas para injertar.
- Número de hojas. Se hizo un conteo manual cada 22 días desde el momento de la primera aplicación de fertilizante hasta que las plantas estuvieron listas para injertar.
- Contenido de clorofila. Se midió en las hojas con un Clorofilometro, se tomaron 5 datos cada 22 días después de la aplicación del fertilizante, tomando 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.
- Área foliar. Se realizó un muestreo destructivo de la planta, seleccionando las hojas del tercio medio de las plantas, utilizando el integrador de área foliar marca LI-COR, modelo LI-3100, las lecturas se expresaron en cm^2 , esta variable se determinó a los 120 días después de la siembra.
- Grados Días Desarrollo (GDD). Se utilizó las temperaturas medias diarias reportadas por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en el periodo 2016-2017; para la temperatura base del cultivo se tomó como criterio la temperatura base de los trópicos la cual es de 12°C , la toma de datos se realizó diariamente desde que se injerto hasta el momento del prendimiento del mismo. Se calcula asumiendo que a una temperatura T_i un organismo emplea un número de días para completar una etapa determinada de su desarrollo, y que a una temperatura base (T_b) deja de haber crecimiento; con ello se obtiene la constante térmica (GDD), que es la cantidad de calor necesaria para que un organismo complete una etapa de su fenología, para lo cual se utilizó la fórmula siguiente (MARN 2016):

$$\text{GDD} = \sum (T_i - T_b).$$

Dónde:

GDD = Constante térmica en grados días de desarrollo.

Ti = Temperatura promedio.

Tb = Temperatura base del cultivo.

En la fase dos del injerto el diseño estadístico usado fue Factorial con arreglo de bloques al azar, cada tratamiento fue conformado por la asociación de cada una de las 5 dosis del fertilizante con los 4 tipos de injerto, generando un total de 20 tratamientos, totalizando 600 plantas distribuidas en 3 bloques. Cada unidad experimental estuvo conformada por 10 plantas.

Cuadro 7. Tratamientos utilizados en la fase 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

3.6. Variables evaluadas en la fase 2 del injerto

Las variables evaluadas en la fase 2 del injerto se midieron cada 22 días, haciendo un total de 5 tomas de datos, y fueron las siguientes:

- Altura del injerto (cm): Se midió con cinta métrica para conocer el aumento de altura del injerto.
- Diámetro del tallo del injerto (mm): Se utilizó un Pie de rey o Vernier para conocer el aumento del diámetro del injerto.
- Número de hojas: Se hizo un conteo del número de hojas del injerto.
- Éxito de prendimiento del injerto. Se obtuvo dividiendo el número de plantas donde el injerto tuvo éxito entre el total de plantas por cada tratamiento y multiplicando por 100, según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de prendimiento} = \frac{\text{Número de injertos brotados}}{\text{Total de plantas por tratamiento}} \times 100$$

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 versión 2017 para sistema operativo de Windows 10, 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.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Conocer el efecto de un fertilizante químico a base de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el desarrollo del portainjerto y su influencia en el prendimiento del injerto.

4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de cinco dosis de un fertilizante químico sobre el desarrollo del portainjerto.
- Determinar la influencia de las diferentes dosis de un fertilizante químico en el éxito del prendimiento del injerto.
- Evaluar cuál de los cuatro tipos de injertos presenta mayor porcentaje de prendimiento.
- Comparar los beneficios-costos de cada tratamiento evaluado.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Fase 1, Portainjerto

5.1.1. Altura de los portainjertos

Según los resultados obtenidos en esta investigación, la mayor altura de los portainjerto se obtuvo a los 110 días después de la siembra con el tratamiento 2 (10 g de fertilizante fórmula 15-15-15 por planta) con 46.23 cm, seguido por el tratamiento 1 (5 g de fertilizante fórmula 15-15-15 por planta) con una altura de 46.13 cm, y por último el tratamiento 5 (30 g de fertilizante fórmula 15-15-15 por planta) con una altura de 38.50 cm.

La mayoría de plantas de cacao presentaron un desarrollo tardío y no fue hasta el último muestreo donde se notó un mejor desarrollo en los promedios de algunas plantas.

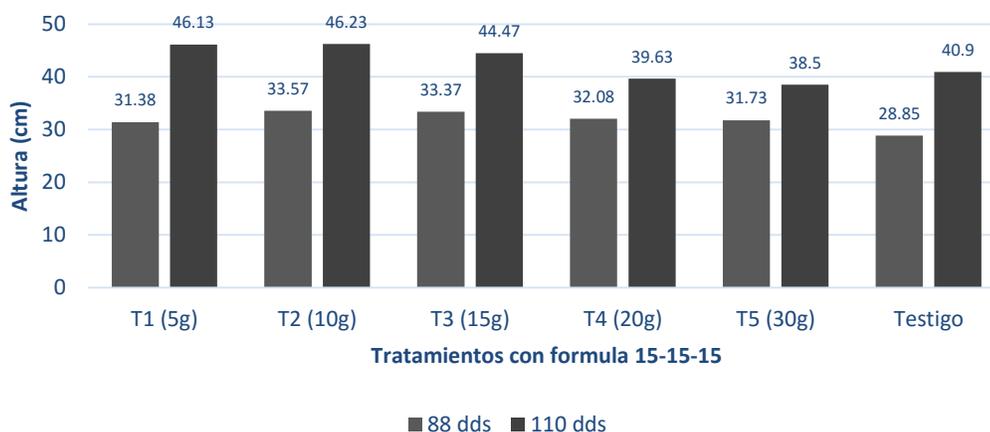


Figura 5. Altura promedio de los portainjertos por tratamiento a los 88 y 110 días después de la siembra.

Según el Análisis de Varianza no se encontraron diferencias estadísticas significativas en las primeras tomas de datos ya que los resultados se mantenían homogéneos, siendo hasta la última toma de datos que se vieron las diferencias.

Guardado y Salinas (2009) evaluaron el crecimiento en plantas de marañón (*Anacardium occidentale L.*) utilizando diferentes dosis de fórmula 15-15-15, obteniendo resultados de altura significativos a partir de los 41, 112 y 155 días después de la siembra.

5.1.2. Diámetro del tallo del portainjerto

Al analizar el diámetro del tallo del portainjerto se pudo constatar que no hay diferencias estadísticas significativas en ninguno de los cinco muestreos realizados, no obstante, al analizar los promedios de los tratamientos del último muestreo se pudo verificar que los tratamientos T3 (15 g) y T4 (20 g) de fórmula 15-15-15 presentaron diámetros de 8.83 mm para ambas dosis, seguidos por el T2 (10 g) con 8.67 mm, siendo los mejores promedios con respecto a los demás (figura 3).

Estos resultados con las diferentes dosis de fertilizante fueron mejores en comparación al testigo, este comportamiento se le atribuye a los resultados de la calidad del sustrato utilizado el cual reportó ser muy pobre en los elementos nitrógeno, fósforo y potasio.

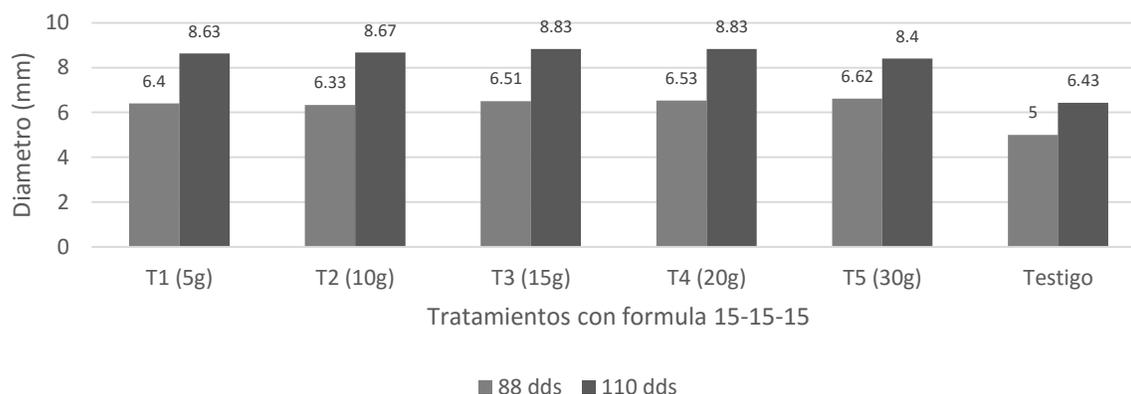


Figura 6 .Diámetro promedio del tallo del portainjerto por tratamiento a los 88 y 100 días después de la siembra.

Cuadro 8. Diferencia de medias en la variable diámetro (mm) según la Prueba de Tukey.

Tratamiento	22 dd		44 dd		66 dd		88 dd		110 dd	
0 g	3.07	B	4	D	4.5	B	5	D	6.43	B
5 g	3.11	AB	4.34	AB	5.6	A	6.4	BC	8.63	A
10 g	3.19	AB	4.43	A	5.6	A	6.33	C	8.67	A
15 g	3.27	AB	4.26	ABC	5.5	A	6.51	ABC	8.83	A
20 g	3.23	AB	4.14	CD	5.57	A	6.53	AB	8.83	A
30 g	3.3	A	4.19	BCD	5.63	A	6.62	A	8.4	A

Dd = Días de desarrollo

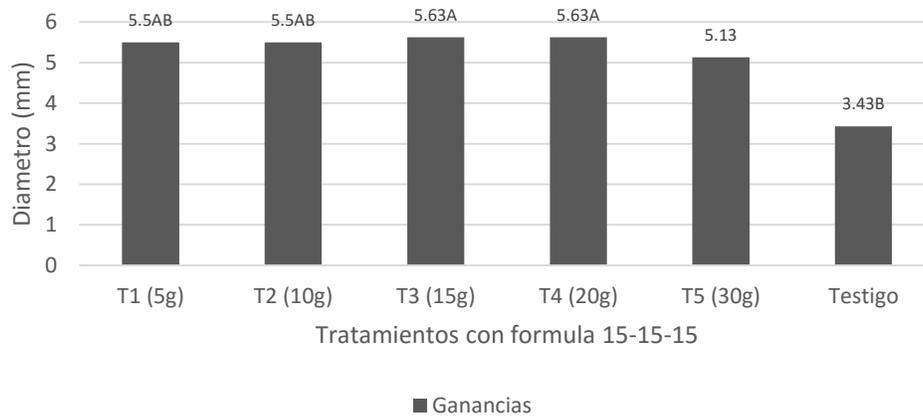


Figura 7. Diferencia de medias en el diámetro del tallo del portainjerto de cacao utilizando diferentes dosis de fertilizante fórmula 15-15-15.

Jarstfer y Sylvia (1993) mencionan que la captación de nitrógeno, fósforo, potasio y de otros minerales es más evidente en sustratos con niveles bajos de fósforo y de otros elementos mayores, esto ocurre frecuentemente en sustratos elaborados con suelos del trópico.

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. 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).

Aguilar y Cabrera (2003) evaluaron diferentes abonos en plantas de anona (*Anona diversifolia*), encontrando que las plantas abonadas con formula 15-15-15 presentaron los menores promedios en cuanto a diámetro, esto debido a que el suelo utilizado, de acuerdo al análisis químico realizado, contenía altas a muy altas concentraciones de nutrientes.

El grosor del tallo del patrón también influye sobre el prendimiento de las yemas, debido a que a mayor diámetro del tallo del patrón se tiene mayor cantidad de tejido vegetal para que la yema pueda acoplarse a este (Santana 2013).

5.1.3. Número de hojas del portainjerto

En la variable número de hojas en los portainjertos en los cinco muestreos no se encontraron diferencias estadísticas significativas, pero en los promedios de los tratamientos del último muestreo se observa que las dosis del T2 (10 g) y T3 (15 g) de fórmula 15-15-15 presentaron valores de 16.90 y 16.63, respectivamente, siendo estos los mejores promedios.

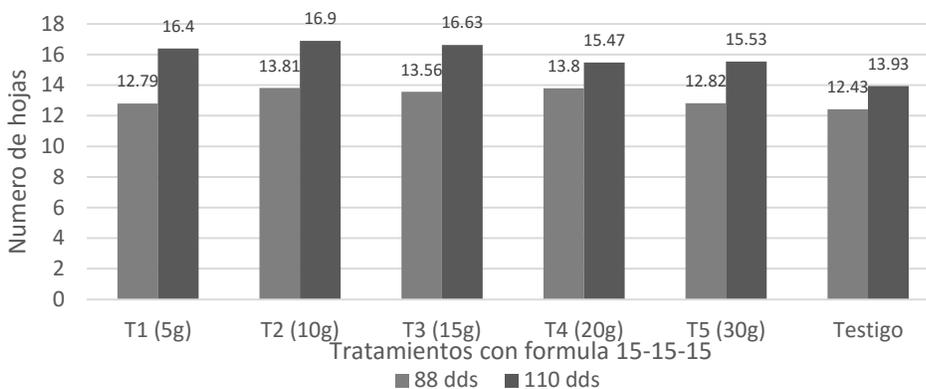


Figura 8. Promedio del número de hojas en los portainjertos por tratamiento a los 88 y 100 días después de siembra.

Leakey (2004) encontró la existencia de un gradiente de variación en la edad del tejido a lo largo del brote, el cual afecta el tamaño de las hojas, la longitud, diámetro de los entrenudos, número de hojas, contenido de carbohidratos y nutrientes; por lo que determinó que no existen dos plantas fisiológicamente idénticas en su respuesta, incluso dentro de la misma variedad.

En la ganancia en el número de hojas en los portainjerto de cacao no se encontraron diferencias estadísticas, pero al analizar los promedios, las dosis de T2 (10 g de fórmula 15-15-15) y T3 (15 g de fórmula 15-15-15) presentaron 11.30 y 10.97 hojas respectivamente, siendo esta la cantidad de hojas generadas durante el experimento como efecto de las diferentes dosis del fertilizante, considerando ambas fertilizaciones las mejores para esta variable.

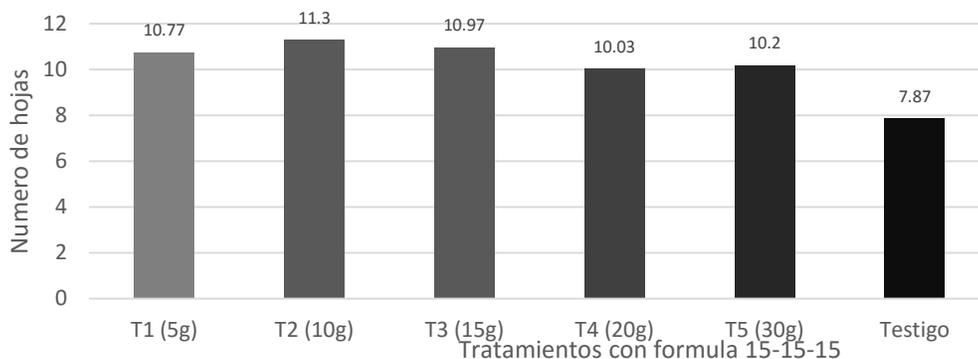


Figura 9. Ganancia de hojas en los portainjertos de cacao utilizando diferentes dosis de fertilizante fórmula 15-15-15.

5.1.4. Contenido de clorofila en las hojas del portainjerto

Se examinó el contenido de clorofila en cada muestreo y en ninguno hubo diferencia estadística significativa, sin embargo, en el último muestreo los tratamientos T2 (10 g de fórmula 15-15-15, equivalente a 1.0 g de nitrógeno) y T3 (15 g de fórmula 15-15-15, equivalente a 1.5 g de nitrógeno), presentaron los promedios más altos en las tonalidades de verde según las unidades SPAD, los cuales fueron a los 88 dds (días después de la siembra) T2 = 38.00 y T3 = 37.0 unidades SPAD, lo cual significa que el fertilizante a base de nitrógeno promovió mayores niveles de clorofila en las hojas.

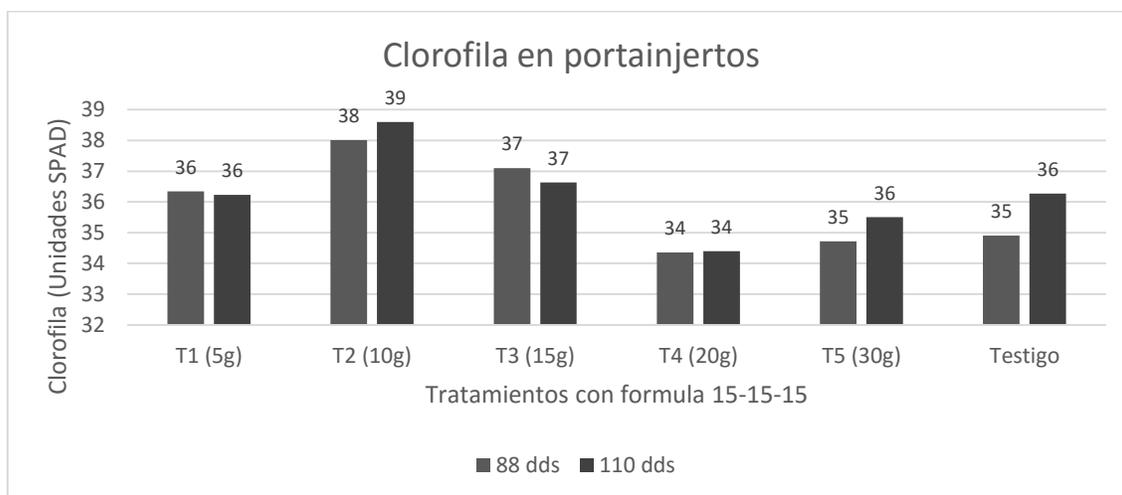


Figura 10. Contenido de clorofila en las hojas de los portainjertos a los 88 y 110 días después de siembra.

Cuadro 9. Medias de Tukey de la clorofila en los portainjertos utilizando diferentes dosis de fórmula 15-15-15.

Trata.	22 dd	**	44 dd	**	66 dd	**	88 dd	**	110 dd	**
0 g	24	A	26	B	29	A	35	A	36	A
5 g	26	A	33	A	34	A	36	A	36	A
10 g	27	A	34	A	33	A	38	A	39	A
15 g	28	A	34	A	34	A	37	A	37	A
20 g	27	A	34	A	34	A	34	A	34	A
30 g	28	A	35	A	35	A	35	A	36	A

Estos resultados coinciden con los encontrados por Parada-Berríos, *et al* (2016) en plantas de ojushte (*Brosimum alicastrum*), en las cuales la variable clorofila no presentó diferencias estadísticas, sin embargo, la dosis de 5 g de sulfato de amonio (equivalente a 1.05 g de nitrógeno) 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 tonalidad de verde intenso.

El contenido de clorofila presentó una alta correlación positiva de $r = 0.78$ con el número de hojas.

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.

Li, *et al* (1998) mencionan que la utilización del SPAD 502 ofrece un potencial económico y ventajas medioambientales, ya que provee información sobre el estatus de nitrógeno en 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.

5.1.5. Área foliar de los portainjertos de cacao

El área foliar presentó diferencias altamente significativas, demostrando la prueba de separación de medias de Tukey que el tratamiento T5 donde se aplicó 30 g de fórmula 15-15-15 fue el mayor generador de superficie foliar con un área de 225.27 cm², seguida por el tratamiento T2 con dosis de 10 g con un área foliar de 203.97 cm², la menor área foliar de 117.76 cm² se obtuvo con el tratamiento T1 con una dosis de 5 g de fertilizante fórmula 15-15-15.

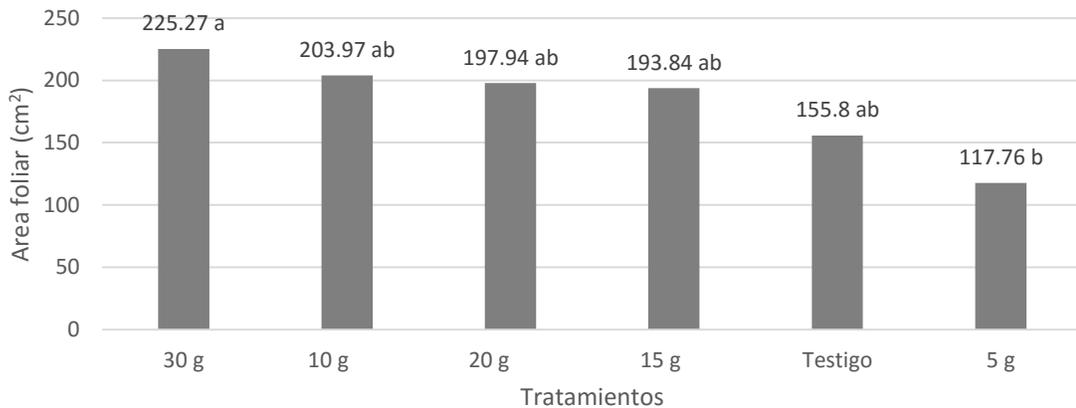


Figura 11. Promedio de área foliar en los portainjertos con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.

Las dosis del fertilizante usado en esta investigación mostraron valores entre 35 y 38 unidades SPAD de clorofila, mostrando esa intensidad del color verde que menciona el autor.

Según Calderón Alcaraz (1998), 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.

El mismo autor menciona que las hojas en presencia de abundancia de nitrógeno se hacen más grandes, de mayor superficie expuesta a la luz y de color verde intenso; y 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.* (2014) mencionan 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. 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.

5.1.6. Peso fresco y seco de las hojas de los portainjertos

El peso fresco y seco de las hojas no presentaron diferencias estadísticas significativas; sin embargo, el tratamiento T4 donde se aplicó 20 g de fórmula 15-15-15 fue con el que se obtuvo el mayor peso fresco (33.67 g) y peso seco (8.65 g); el menor peso fresco (19.79 g) y peso seco (3.86 g) se obtuvo con el tratamiento T2 donde se aplicó una dosis de 10 g de fertilizante fórmula 15-15-15.

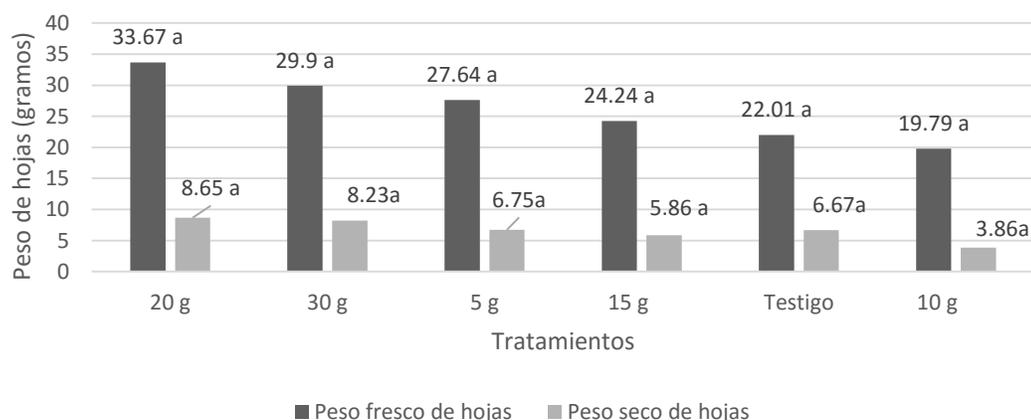


Figura 12. Promedio del peso fresco y seco en hojas de los portainjertos con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.

5.1.7. Peso específico de las hojas de los portainjertos

Al analizar el peso específico de las hojas (PEH) se encontraron diferencias altamente significativas, determinando por medio de la prueba de separación de medias de Tukey que el tratamiento T1 con la dosis de 5 g de fórmula 15-15-15 fue con el que se obtuvo el mayor peso específico con 57.32 mg.cm²; el menor peso específico de 18.92 mg.cm² se obtuvo con el tratamiento T2 donde se aplicó una dosis de 10 g de fertilizante fórmula 15-15-15.

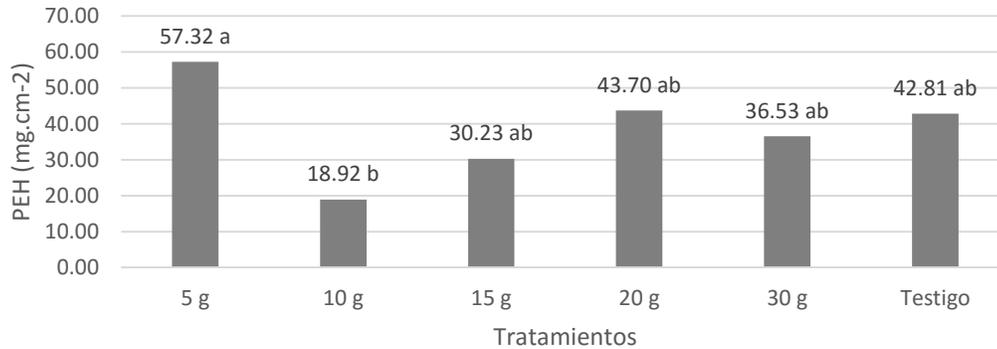


Figura 13. Promedio del peso específico de las hojas en portainjerto con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.

Parada-Berríos, *et al* (2016), explican que el peso específico (PEH) es 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 reporto valores para nitrógeno, fósforo y potasio de 0.40%, 0.15% y 0.11%, respectivamente.

Según la clasificación de los sustratos que utiliza Calderón Alcázar (1998) en cultivos frutales en sustratos pobres para nitrógeno, fósforo y potasio, esto explica en parte el comportamiento de las plantas de cacao en respuesta a las diferentes dosis de fertilizante. El 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 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. El 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.

Amores *et al* (2009) mencionan que los suelos minerales contienen entre 90% y 99% de materia mineral y del 1% al 10% de materia orgánica, como fuentes primarias de nutrientes. 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.

Amores *et al* (2009) afirman 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. 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} ($2.16 \text{ g.planta}^{-1}$) de nitrógeno; 0.6 kg.h^{-1} ($0.54 \text{ g.planta}^{-1}$) de fósforo y 2.4 kg.ha^{-1} ($2.16 \text{ g.planta}^{-1}$) de potasio.

En esta investigación el contenido de materia orgánica en el sustrato fue del 2.3%, el cual se considera bajo.

5.1.8. Peso fresco y peso seco de los tallos de los portainjertos

El peso fresco y seco de los tallos no presentaron diferencias estadísticas significativas; el tratamiento T4 donde se aplicó 20 g de fórmula 15-15-15 fue el que obtuvo el mayor peso fresco con 43.47 g y peso seco con 16.28 g; el menor peso fresco de 31.52 g se obtuvo con el tratamiento T2 con dosis de 10 g de fertilizante fórmula 15-15-15; el menor peso seco de 10.22 g se obtuvo con el tratamiento T5 con dosis de 30 g de fertilizante fórmula 15-15-15.

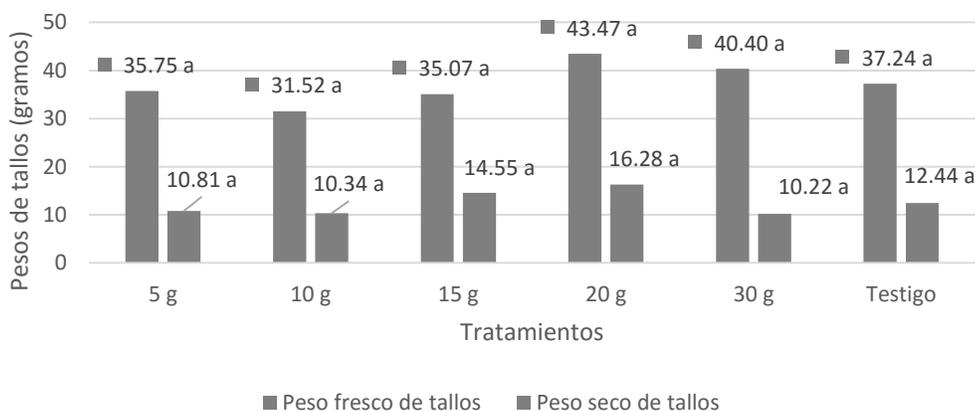


Figura 14. Peso fresco y seco de los tallos de los portainjertos con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.

El peso seco del tallo presentó alta correlación positiva con las dosis de fórmula 15-15-15 de $r = 0.84$.

Otras correlaciones encontradas fueron el peso fresco de tallo con el peso fresco y seco de la hoja ($r = 0.89$) y ($r = 0.96$), respectivamente; el peso fresco de la raíz con el peso fresco y seco de la hoja ($r = 0.96$) y ($r = 0.89$), respectivamente.

Experimentos realizados en el Imperial Collage of Tropical Agriculture en Trinidad, demuestran que a medida se incrementan las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio, las variables fisiológicas de crecimiento de los árboles como el rendimiento de frutos de cacao aumentan (Jacob y Uexküll 1973).

Pérez García y Martínez-Laborde (1994) explican que parte de los nutrientes absorbidos por las plantas 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 nutrientes se incorporan a la corriente ascendente de agua y son distribuidos a todas las partes de la planta.

5.1.9. Peso fresco y peso seco de las raíces de los portainjertos

El peso fresco y seco de las raíces no presentaron diferencias estadísticas significativas; el tratamiento T5 donde se aplicó 30 g de fórmula 15-15-15 fue el que obtuvo el mayor peso fresco con 21.43 g; el tratamiento T4 con 20 g de fórmula 15-15-15 fue el que obtuvo el mayor peso seco con 5.48 g; el menor peso fresco de 16.20 g se obtuvo con el tratamiento T2 con dosis de 10 g de fertilizante fórmula 15-15-15; el menor peso seco de 2.02 g se obtuvo con el testigo.

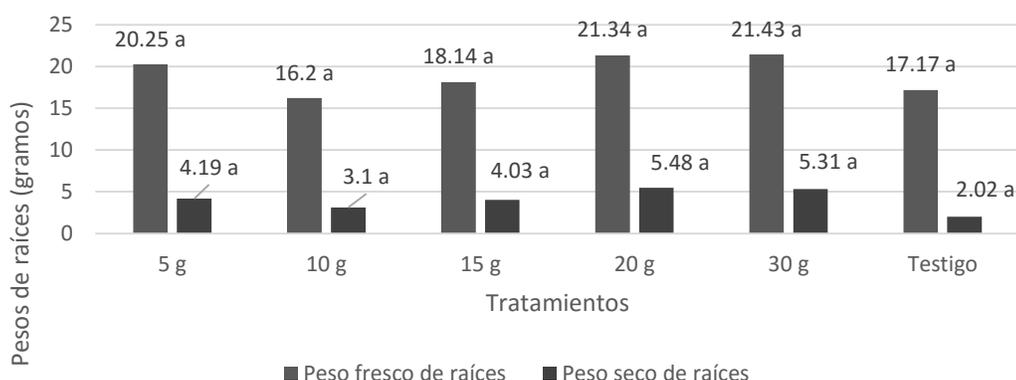


Figura 15 .Peso fresco y seco de las raíces de los portainjertos con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.

El peso fresco de la raíz presentó alta correlación positiva con las dosis de fórmula 15-15-15 de $r = 0.65$. Calderón Alcázar (1998) menciona que el fósforo determina la formación de un buen sistema radicular y que el potasio actúa 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.

5.2. Fase 2, Injerto

5.2.1. Éxito en el prendimiento del injerto

De las 600 plantas injertadas, el éxito en el prendimiento del injerto ocurrió en 432 plantas, equivalente al 72%, siendo el injerto de yema el que mayor éxito tuvo, seguido por el injerto de cuña terminal, parche y enchapado lateral. En el prendimiento del injerto pudo afectar la alta tasa oxidativa de los tejidos de los portainjertos y de las varetas de cacao; en muchas ocasiones se cree que hay incompatibilidad entre los clones de cacao.

Salcedo *et al.* (1986) citados por Vidal (2002), menciona que en el portainjerto se tiene un cambium regular y continuo, que podría ser una razón del éxito de prendimiento del injerto.

Ramos *et al.* (2015) dicen que al revisar la anatomía de las plantas de cacao esta tiene un cambium regular, por lo que el poco éxito en algunos tipos de injerto no se atribuye a fallas anatómicas del cambium.

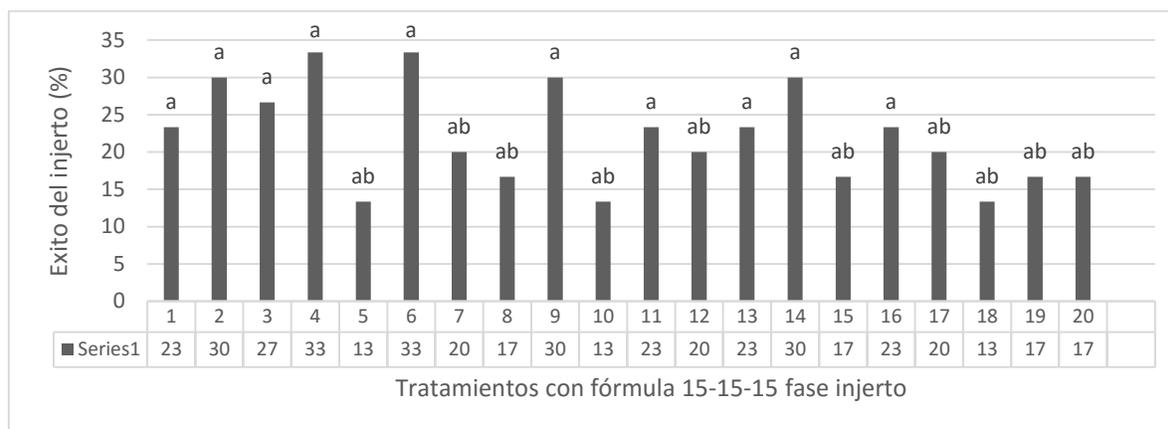


Figura 16. Promedio de la variable éxito en el prendimiento del injerto en 4 muestreos.

Según el análisis de varianza (ANVA) para la variable éxito del prendimiento de los injertos, existieron diferencias altamente significativas en todos los muestreos. Donde las letras a, ab en cada columna son las que la prueba de tukey asigna para ver que media es más sobresaliente y la serie es el valor de cada columna.

Cuadro 10. Análisis de varianza de la variable éxito del prendimiento del injerto.

Variable	Cuadrado medio	R ²	P-valor
Prendimiento del injerto 30 ddi*	192.98	0.66	0.0004
Prendimiento del injerto 60 ddi	102.11	0.66	0.0003
Prendimiento del injerto 90 ddi	141.75	0.81	0.0001
Prendimiento del injerto 120 ddi	95.7	0.74	0.0001
Prendimiento del injerto Ganancia	187.3	0.62	0.0001

*ddi = días después de injertación

Vidal-Hernández (2002) reporta problemas de incompatibilidad en anonáceas, atribuidas a la presencia de catequinas en la unión del injerto, asegurando ser la causa de la falta de éxito de los injertos en anonas. Las catequinas son un antioxidante polifenólico que procede de las plantas en las cuales aparece como un metabolito secundario.

Mila y Scalbert citados por Vidal-Hernández (2002), menciona que la corteza de los árboles es rica en extractos de polifenoles que contribuyen a la protección contra depredadores y patógenos, en muchas especies el principal polifenol encontrado en la corteza son las proantocianidinas como el ácido clorogénico. El floema contiene considerables cantidades de polifenoles que están fácilmente sujetos a la oxidación. Los flavonoides y ácidos clorogénicos son compuestos fenólicos que se ubican mayormente en vacuola o pared celular pero también en cloroplastos.

Según Stonier *et al.* citados por Vidal-Hernández (2002), las catequinas ejercen un papel fisiológico por lo que están involucrados en la modificación del crecimiento de los árboles.

Ramos *et al* (2015) evaluando diferentes tipos de injerto en cacao criollo, alcanzaron 60% y 70% de éxito en el prendimiento en los injertos de enchapado lateral y cuña terminal, respectivamente.

Herrero (1951), citado por Vidal (2002), investigó si las diferencias anatómicas entre el portainjerto y la vareta sería una causa de discontinuidad cambial; encontrando que la proporción y tamaño de los elementos del xilema, distancia entre los radios y anchura de radios iniciales uniseriados afecta el prendimiento de estos.

5.2.2. Grados días de desarrollo (GDD)

Los grados días de desarrollo (GDD) es la acumulación de requerimientos de calor para completar una etapa fenológica determinada, ya que, el crecimiento vegetativo de una planta o una porción están influenciado por las temperaturas prevalecientes en el medio (Snyder 1985).

Las temperaturas medias durante la investigación se registraron a partir de la injertación. No se encontraron diferencias estadísticas significativas; el menor valor de Grados días de desarrollo (GDD) se obtuvo con el tratamiento T9 (15 g de fórmula 15-15-15 con injerto de enchapado lateral) con 245 GDD; seguido por el tratamiento T12 (15 g de fórmula 15-15-15 con injerto de cuña terminal) con 281 GDD, lo que significa que estos tratamientos tardaron menos tiempo en brotar, mientras que el tratamiento T7 (10 g de fórmula 15-15-15 más injerto de parche) tardó 522 GDD.

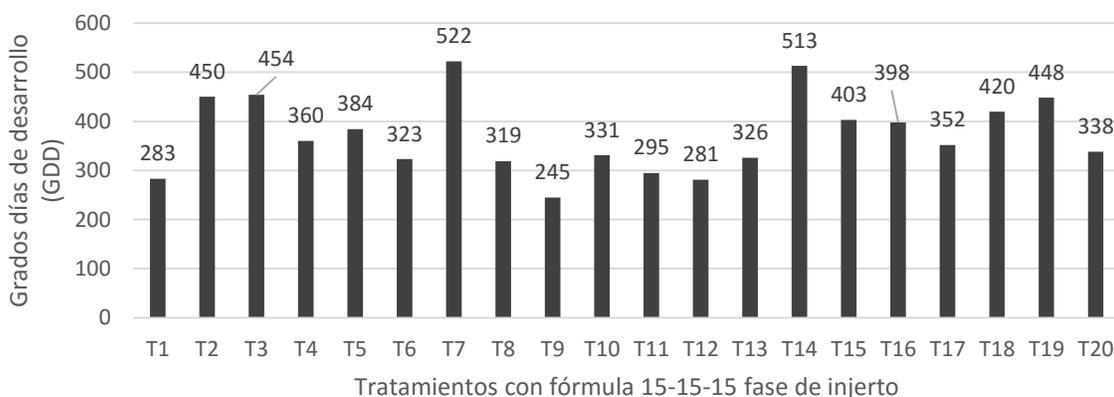


Figura 17. Variable Grados días de desarrollo en el injerto de plantas de cacao utilizando diferentes dosis de fertilizante 15-15-15.

En esta investigación se puede establecer un intervalo entre 245 a 522 GDD para los injertos evaluados; sin embargo, al segregar los tratamientos que tardaron más en brotar en orden descendente: T7, T14, T3, T4, T19, T18 y T15, todos correspondieron a injertos de yema y de parche. Ramos, *et al* (2015) encontraron para cacao criollo un intervalo de brotación entre 233 a 395 GDD con los injertos de cuña terminal y enchapado lateral.

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 a 398 GDD, mientras que para injertos de yema se puede establecer entre 403 y 522 GDD, lo que implica que tardan más en brotación.

Cuadro 11. Promedios de la prueba de Tukey para la variable grados días de desarrollo (GDD) en injertos de cacao.

Tratamiento	GDD	
1	283.83	A
2	450.27	A
3	454.1	A
4	360.43	A
5	341.77	A
6	323.1	A
7	522.1	A
8	307.27	A
9	245.4	A
10	331.93	A
11	295.6	A
12	281.6	A
13	326.6	A
14	513.93	A
15	403.27	A
16	398.6	A
17	352.1	A
18	419.93	A
19	448.77	A
20	337.6	A

5.2.3. Altura del injerto

Al analizar el cuarto muestreo a los 120 días después del injerto, los tratamientos que registraron los mejores promedios de altura en la prueba de Tukey fue el tratamiento T4 (5 g 15-15-15 más injerto de cuña terminal) con 24 cm; seguido por el T19 (30 g 15-15-15 más injerto de parche) con 23 cm, y el tratamiento T3 (5 g de fórmula 15-15-15 más injerto de parche) obtuvo el menor promedio con 15 cm.

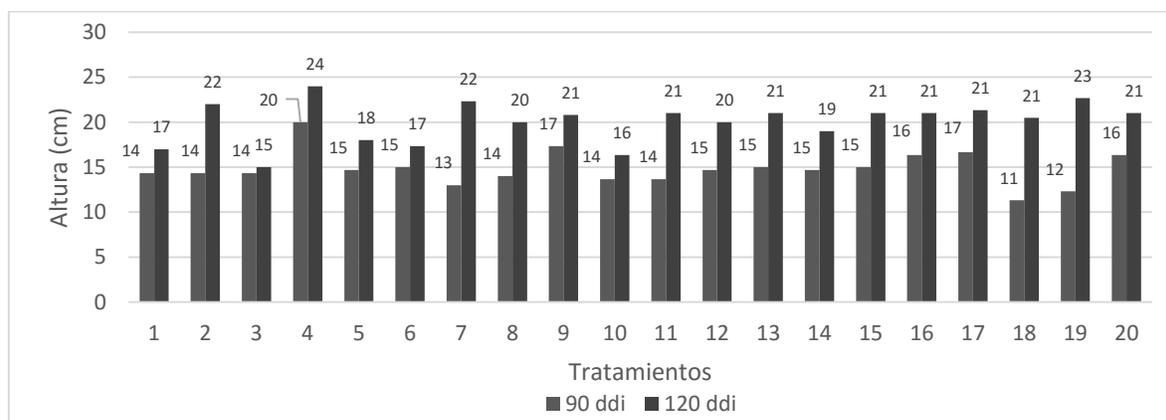


Figura 18. Promedio de altura de los injertos de cacao con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.

Para la variable altura del injerto el ANVA determino que en los cuatro muestreos existieron diferencias altamente significativas, lo que indica que al menos uno de los tratamientos ejerce los mejores resultados.

Rubin (1984) dice que el ácido abscísico es un inhibidor del crecimiento en las varetas de los árboles, esto puede hacer que exista un menor crecimiento.

Salisbury y Ross (1992) mencionan que el ácido abscísico es la hormona que permite que la planta detecte un estrés fisiológico y le ayuda a protegerse de los factores adversos, reduciendo el crecimiento prematuro de la vareta.

La etapa fisiológica en que se encuentran las varetas o las condiciones agroecológicas donde se colectaron puede ejercer un efecto negativo en el crecimiento (Parada Berrios 2012).

Al analizar las ganancias de altura en el injerto de las plantas de cacao se encontraron diferencias estadísticas significativas, según la prueba de Tukey, la mayor ganancia de altura se obtuvo con el tratamiento T19 (30 g de fórmula 15-15-15 más parche) con 16.34 cm de altura, es decir, la ganancia en crecimiento de altura después de injertado.

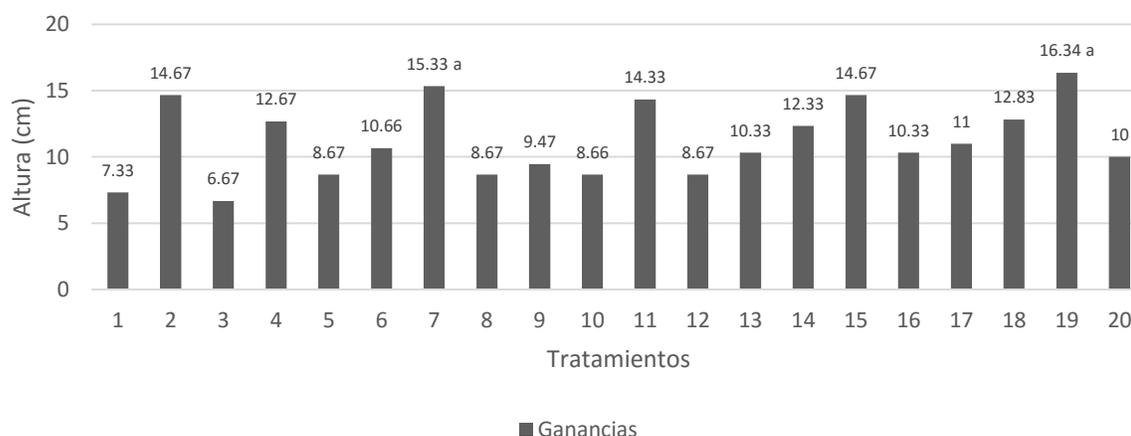


Figura 19. Ganancia de altura de los injertos de cacao con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.

Cuadro 12. Promedios de altura de los injertos de cacao en la prueba de Tukey.

Tratamientos	22 ddi		44 ddi		66 ddi		88 ddi	
1	9.67	ABC	12	A	14.33	BCDEF	17	HIJ
2	7.33	DE	11	A	14.33	BCDEF	33.33	B
3	8.33	BCDE	12	A	14.33	BCDEF	15	J
4	11.33	A	12.67	A	20	A	24	EFG
5	9.33	ABCD	12.33	A	14.67	BCDEF	18	HIJ
6	6.67	E	11.33	A	15	BCDE	17.33	HIJ
7	7	E	12.67	A	13	DEF	22.33	EFGH
8	11.33	A	11.67	A	14	BCDEF	41.33	A
9	11.33	A	12.67	A	17.33	AB	30	BCD
10	7.67	CDE	12.33	A	13.67	CDEF	16.33	IJ
11	6.67	ABC	13	A	13.67	CDEF	21	FGHI
12	11.33	A	13.67	A	14.67	BCDEF	26	CDEF
13	10.67	A	12	A	15	BCDE	25.67	CDEF
14	6.67	E	12.33	A	14.67	BCDEF	19	GHIJ
15	6.33	E	12	A	15	BCDE	27	CDE
16	10.67	A	12.67	A	16.33	BCD	30.67	BCD
17	10.33	AB	11.67	A	16.67	ABC	21.33	EFGHI
18	7.67	CDE	11.67	A	11.33	F	25	DEF
19	6.33	E	11	A	12.33	EF	22.67	EFGH
20	11	A	12.33	A	16.33	BCD	31	BC

5.2.4. Diámetro del injerto

En los cuatro muestreos realizados hubo diferencias altamente significativas, lo que indica que la fertilización tuvo efectos positivos en el desarrollo del injerto. Con el tratamiento T1 (5 g de fórmula 15-15-15 con injerto en enchape lateral) se obtuvo el mayor diámetro del injerto con 8.3 mm, seguido por el tratamiento T5 (10 g de fórmula 15-15-15 con injerto en enchape lateral) con 7.4 mm.

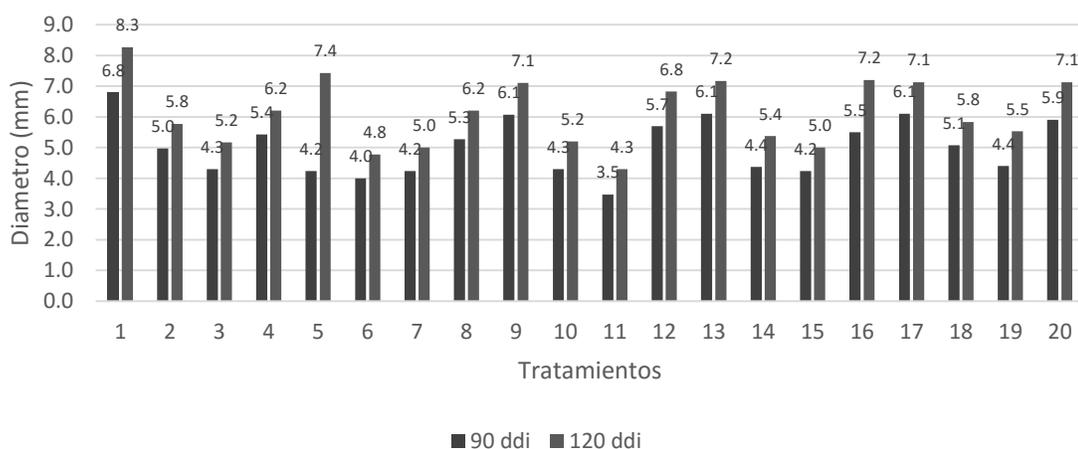


Figura 20. Promedio de diámetros de los injertos de cacao en muestreos a los 90 y 120 días después de injertados.

Según Cáceres citado por Aguilar y Guerra (2003), mencionan que hay plantas que entran en letargo, siendo el término usado para referirse al estado de reducida actividad en las plantas o partes de ella, en la cual no ocurre crecimiento apreciable.

Se analizó la ganancia absoluta del diámetro, encontrando diferencias significativas en la prueba de Tukey. Con el tratamiento T1 (5 g de fórmula 15-15-15 con injerto en enchape lateral) se obtuvo la mayor ganancia en el diámetro del injerto con 5.07 mm, seguido por el tratamiento T5 (10 g de fórmula 15-15-15 con injerto en enchape lateral) con 4.33 mm; y el menor promedio lo registro el tratamiento T11 (15 g de fórmula 15-15-15 con injerto de parche) con 2.03 mm.

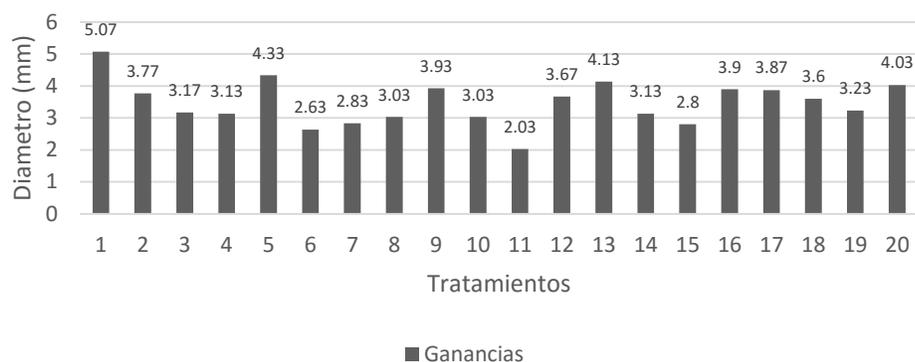


Figura 21. Ganancia de diámetros de los injertos de cacao con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.

Cuadro 13. Promedio de diámetros de los injertos de cacao de la prueba de Tukey.

Tratamiento	22 ddi		44 ddi		66 ddi		88 ddi	
1	3.2	A	4.3	AB	6.8	A	8.27	A
2	2	C	3.23	D	4.97	DEF	5.77	DEF
3	2	C	3.47	D	4.3	FGH	5.17	EFG
4	3.07	A	4.23	AB	5.43	BCD	6.2	CD
5	3.1	A	4.07	BC	4.23	FGH	7.43	B
6	2.13	BC	3.3	D	4	GH	4.77	GH
7	2.17	BC	3.43	D	4.23	FGH	5	FGH
8	3.17	A	4.27	AB	5.27	BCDE	6.2	CD
9	3.17	A	4.67	A	6.07	AB	7.1	B
10	2.17	BC	3.47	D	4.3	FGH	5.2	EFG
11	2.27	BC	3.63	CD	3.47	H	4.3	H
12	3.17	A	4.6	A	5.7	BCD	6.83	BC
13	3.03	A	4.6	A	6.1	AB	7.17	B
14	2.23	BC	3.4	D	4.37	FG	5.37	EFG
15	2.2	BC	3.5	D	4.23	FGH	5	FGH
16	3.3	A	4.6	A	5.5	BCD	7.2	B
17	3.27	A	4.53	A	6.1	AB	7.13	B
18	2.23	BC	3.5	D	5.07	CDEF	5.83	DE
19	2.3	B	3.4	D	4.4	EFG	5.53	DEFG
20	3.1	A	4.57	A	5.9	BC	7.13	B

5.2.5. Número de hojas en la planta injertada

En el número de hojas en el injerto de cacao se determinó que para todos los muestreos existieron diferencias significativas. El mayor número de hojas se obtuvo con el tratamiento T8 (10 g de fórmula 15-15-15 con injerto de cuña terminal) con 22 hojas por planta injertada; seguido por los tratamientos T4 (5 g de fórmula 15-15-15 con injerto de cuña terminal) y T13 (20 g de fórmula 15-15-15 con injerto de enchape lateral) con 20.3 hojas por planta.

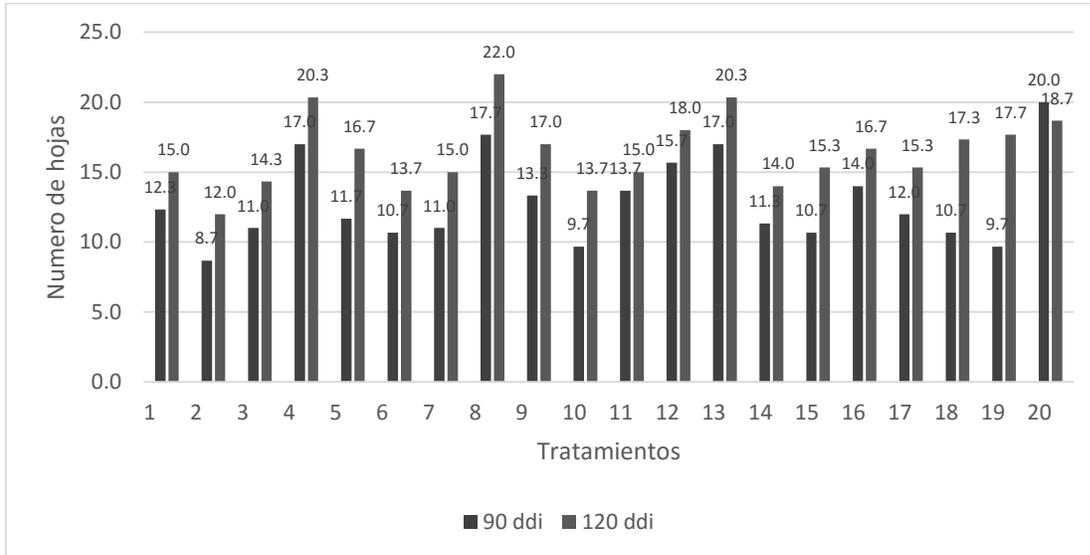


Figura 22. Promedio del número de hojas en cada planta injertada de cacao a los 120 días después de injertados.

Leakey (2004) encontró la existencia de un gradiente de variación en la edad del tejido a lo largo del brote el cual afecta el tamaño de las hojas, la longitud, diámetro de los entrenudos, número de hojas, contenido de carbohidratos y nutrientes, por lo que determinó que no existen dos varetas fisiológicamente idénticas en su respuesta incluso dentro de la misma variedad. La mayor ganancia en el número de hojas se obtuvo con el tratamiento T7 (10 g de fórmula 15-15-15 con injerto de parche) con 17.67 hojas por planta injertada; seguido por el tratamiento T3 (5 g de fórmula 15-15-15 con injerto de parche) con 16 hojas por planta.

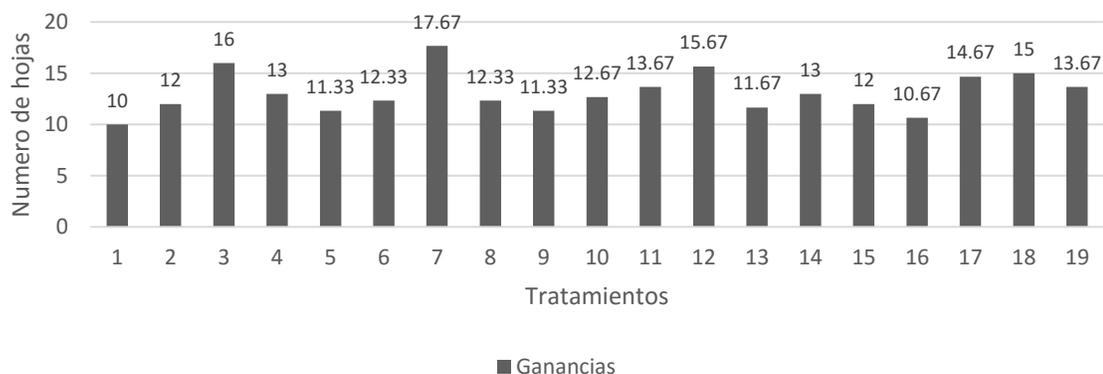


Figura 23. Ganancia en el número de hojas en las plantas injertadas de cacao con diferentes dosis de fórmula 15-15-15.

Cuadro 14. Promedios de la prueba de Tukey en el número de hojas en injertos de cacao para los diferentes muestreos.

Tratamiento	30 ddi		60 ddi		90 ddi		120 ddi	
1	4.33	AB	9.67	A	12.33	BCDE	15	DEFGH
2	2	C	8	A	8.67	E	12	H
3	4.33	AB	9.33	A	11	E	14.33	EFGH
4	3.67	ABC	8	A	17	ABC	20.33	AB
5	2.33	C	7.33	A	11.67	CDE	16.67	CDEFG
6	2.67	BC	8	A	10.67	DE	13.67	GH
7	4.33	AB	7.67	A	11	DE	15	DEFGH
8	4.67	A	7.67	A	17.67	ABC	22	A
9	2.33	C	8.33	A	13.33	BCDE	17	BCDEFG
10	2.33	C	8.67	A	9.67	E	13.67	GH
11	4.33	AB	8.33	A	13.67	BCDE	15	DEFGH
12	4.67	A	9	A	15.67	ABCD	18	BCD
13	2.33	C	8.33	A	17	ABC	20.33	AB
14	2.33	C	8.33	A	11.33	DE	14	FGH
15	2.33	C	10.67	A	10.67	DE	15.33	CDEFGH
16	4.67	A	9.67	A	14	BCDE	16.67	CDEFG
17	4.67	A	11.33	A	12	CDE	15.33	CDEFGH
18	2.67	BC	10.67	A	10.67	DE	17.33	BCDEFG
19	2.67	BC	8	A	9.67	E	17.67	BCDEFG
20	5	A	8.67	A	20	A	18.67	ABC

6. CONCLUSIONES

Todas las dosis del fertilizante químico fórmula 15-15-15 evaluadas tuvieron mejor efecto en el crecimiento y desarrollo de los portainjertos de cacao criollo que el testigo al final de los cuatro meses.

En el prendimiento del injerto en las plantas de cacao criollo se logró 72% de éxito y el mayor prendimiento se obtuvo con el injerto de yema en 19.83%, seguido por los injertos de cuña terminal (18.33%), parche (17.33%) y enchapado lateral (16.51%).

Los injertos de enchapado lateral y cuña terminal en las plantas de cacao criollo requieren de 245 a 398 grados días desarrollo (GDD) (20 a 30 días para la brotación), y los injertos donde se usa yema requieren entre 403 a 522 GDD (más de dos meses).

El efecto de todas las dosis del fertilizante químico fórmula 15-15-15 fue más categórico en la fase de injerto de las plantas de cacao criollo que en el portainjerto.

En promedio para producir una planta injertada de cacao criollo se invierte \$2.50 dólares y se vende a \$3.50 dólares.

7. RECOMENDACIONES

Fertilizar los portainjertos de cacao con el fertilizante químico fórmula 15-15-15 en dosis de 10 a 15 gramos por planta cada 30 días.

Fertilizar los injertos de cacao con el fertilizante químico fórmula 15-15-15 en dosis de 5 gramos por planta cada 30 días.

En plantas de cacao se recomienda el uso de cualquiera de los cuatro tipos de injerto evaluados en esta investigación, aunque los injertos de cuña terminal y enchape lateral necesitan de 20 a 30 días para la brotación del injerto, en comparación con los injertos de parche y de yema que requieren más tiempo.

Los injertos de parche y de yema en las plantas de cacao tienen menor inversión en la compra de varetas porque en promedio de una vareta en perfecto estado se obtienen de 3 a 6 injertos.

Para obtener excelentes resultados en el prendimiento de los injertos en plantas de cacao se debe tener personal con experiencia en la técnica de injertación para evitar pérdidas económicas.

8. BIBLIOGRAFÍA

Amores P, F; Saquicela, D; Sarabia, W; Tarqui, O; Sotomayor, I; vasco, A. 2014. Buenas prácticas para la renovación de huertas improductivas de cacao tradicional. Manual técnico No. 97. Quevedo-Los Ríos-Ecuador. p.171

ANACAFE (Asociación Nacional de café, Guatemala). 2009. Cultivo de Cacao. En Línea. Guatemala, Centroamérica/ Consultado 040516. Disponible en: Cacao Propagación Vegetativa.

Aguilar López, KM; Cabrera Orantes, LO. 2003. Desarrollo de Portainjerto y Evaluación de injerto en Anona Común (*Anona diversifolia*) utilizando diferentes fertilizantes foliares y al suelo. Tesis de ingeniero agrónomo: Universidad de El Salvador, El Salvador. 69 p

Avilan R, Luis. 1997. El patrón y su importancia en la fruticultura. Patrones. Venezuela, Maracay. Consultado 040616. Disponible en: /revistas_tec/FonaiapDivulga/fd58/patrones.html

CEIP (Centro de enseñanza San José Obrero de Sevilla, España). 2010. La semilla. (En línea). Consultado 10 de nov de 2015. disponible en www.perso.wanado.es

Cockrell M.B. 2000. Fruticultura General 2 da edición. Editorial EUNED. San José, Costa Rica. p. 73

Corral, JA. 2012. Influencia del portainjertos en la calidad del pimiento "tipo ramiro" en invernadero. Almería, España.

Dubón, A; Sánchez, J. 2011. Manual de producción de cacao. Eds. R Tejada; MT Bardales. La Lima, HN, FITIA. p. 208

Echeverri Rodríguez, J. 2006. El injerto en la producción de cacao orgánico. Manejo integrado de plagas y agroecología. No.53. p. 101-105

ECOAGRICULTOR. 2014. La Luna y su influencia en los cultivos. En Línea. Centroamérica. Consultado 18/06/16/disponible en <http://www.ecoagricultor.com/la-luna-y-su-influencia-en-los-cultivos/>

EPCOPERU. 2012. Nutrición y beneficios del Cacao Orgánico a la salud. En línea. Lima, Perú. Consultado noviembre 2016. Disponible en

<http://epcoperu.com/index.php?option=content&viewid=47&itemid=37>

ESCACAO. 2011. Historia del cacao. En Línea. El Salvador, Centroamérica. Consultado 01/08/16. Disponible en http://www.escacao.com/ES_CACAO_Historia.html

Escobedo Álvarez, J. 2003. Conceptos básicos de fruticultura. Programa de extensión en riego y asistencia técnica. Lima, Perú. p. 25-30, 41-44

Fedecacao (Federación Nacional de Cacaoteros, Colombia). 2008. Guía Técnica para el cultivo del cacao. Tercera edición. 189 p. Fondo nacional del cacao.

Fundesyam (Fundación para el desarrollo socioeconómico y restauración ambiental, El Salvador). 2015. Morfología de la planta de Cacao. En Línea. El Salvador, Centroamérica. Consultado 20/05/16. Disponible en <http://www.fundesyam.info/biblioteca.php?id=3096>

Fundesyam (Fundación para el desarrollo socioeconómico y restauración ambiental, El Salvador). 2015. Propagación de Cacao por injerto. En Línea. El Salvador, Centroamérica. Consultado 18/05/16. Disponible en <http://www.fundesyam.info/biblioteca.php?id=3223>

García, A. 1993. Sintomatología de las deficiencias nutricionales en cacao. ICA, Colombia.

Hartmann, H; Kester, D. 1998. Propagación de plantas principios y práctica. Sexta edición. Compañía editorial continental S.A de C.V México. p. 760

Isla Ramírez, E; Andrade Adaniya, B. 2009. Propuesta para el manejo de cacao orgánico. Lima, PE, lettera gráfica. p. 92

Jacob, A; Uexküll, H. 1973. Fertilización. Nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales. Cuarta Edición. México. D.F. p. 299-311

Jarstfer, AG; 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 Meting Jr. Marcel Dekker, INC. New York. 646 p

Leakey, RRB. 2004. Physiology of vegetative reproduction. In: *Encyclopedia of Forest Sciences*. J Burley, E Evans, J A Younquist (eds). Academic Press. London, UK. p.1655–1668

Li, YC; Alva, AK; Calvert, DV; Zhang, M. 1998. A rapid nondestructive technique to predict leaf Nitrogen status of Grapefruit Tree with various nitrogen fertilization practices. *Hortitechnology*. January-march. 8(1): p. 81-86

Ling, AH; Chiu, SB. 1990. Cocoa nutrition and manuring in Malaysia. In: *Proc. Of MCGC – Malaysian Cocoa Board Workshop on Cocoa Agricultural Research*. Kuala Lumpur. Malaysia Cocoa Grower's Council, p. 131-142

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2016. Información meteorológica: Servicio Meteorológico Nacional. San Salvador, El Salvador.

Parada Berríos, FA; Barrera Santos, DA; Molina Escalante, MO; 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*) con alto potencial genético de rendimiento nutricional y comercial*. Proyecto financiado por PRESANCA/CSUCA. p. 57-69

Parada Berríos, FA. 2013. *El Cacao (Entrevista)*. SV, Universidad de El Salvador.

Parada Berríos, FA. 2008. Desarrollo de tecnologías en la cadena agro-productiva del cultivo de marañón orgánico en la cooperativa ACOPASMA de R.L., cantón Tierra Blanca, Chirilagua, San Miguel. San Salvador. SV. UES. p. 216-234

Paredes, P. 1949. El injerto de cacao. Tesis Ep. Cacao. Turrialba, CR, IICA 31 p. 70

Paredes, RO. 2010. Propagación vegetativa por injerto de Bolaina blanca (*Guásuma crinita* Mart) bajo condiciones controladas en pucallpa, Perú. Tingo María, Perú.

Pérez García, F; Martínez Laborde, JB. 1994. Introducción a la Fisiología Vegetal. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. p. 218

Ramírez, AD. 2014. Datos climatológicos (Entrevista). SV SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales).

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

Rendón, AP. 1953. Las influencias de las estaciones y del estado sobre el enraizamiento de estacas de cacao. Actas Agronómicas. CO 3(2): 123-148

Rivera González, RA. 1979. Obtención de patrones de chicozapote (*Manilkara sapota* L.). V. Royen, a partir de semillas con diferentes características. Universidad Autónoma Chapingo. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo General, Chapingo, México. p. 46

Rodríguez Suppo, F. 1982. 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: 610-615 p

Santana, WM. 2013. Determinación del tipo de injerto y la hora efectiva de realización, sobre el prendimiento de yemas en plántulas de cacao en la zona de pueblo viejo, provincia de los ríos. Babahoyo, Ecuador.

Sian, JL. 2005. Evaluación del prendimiento de injerto de cacao (*Theobroma cacao*) en cinco etapas de crecimiento del patrón Pound - 7. San Carlos, Guatemala.

Smith, PF. 1989. Nutrición de Cítricos. Research Plant Physiologist. USDA Agricultura Research Service, Orlando Florida. 90 p

Snyder, RL. 1985. Hand Calculating degree days. Agricultural and Forest Meteorology. 35: 353-358.

Somarriba, E; Quezada, F; Villalobos, M. 2010. La captura de carbono: un servicio ambiental en fincas cacaoteras indígenas. 1 ed. Turrialba, CATIE. Costa Rica. 28 p

Suarez, C. 1987. Manual de cultivo del cacao. Ecuador, INIAP. p. 107

Universidad Nacional de Colombia. 2012. Aspectos para la nutrición del cacao *Theobroma cacao* L. En línea. Bogotá, Colombia. Consultado 31/08/16. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/50450/1/ednaivonneleivarojas.2012.pdf>

Uribe, A; Méndez, H; Mantilla, J. 1998. Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del Departamento de Santander. Revista Suelos Ecuatoriales, 28: 31-36 p

Vaca Mera *et al*, 2010. Comportamiento Productivo y sanitario de selecciones clónales de Cacao nacional en varias zonas del litoral ecuatoriano. Tesis Ing. Agr. Ecuador. UTEQ. 40 p

Vera, BJ. 1993. Material de siembra y propagación. In manual del cultivo de cacao. 2ª edición. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Quevedo EC, p. 24-37

Vidal Hernández, L. 2002. Aislamiento y cuantificación de Catequinas involucradas con la incompatibilidad en injertos de Guanábano (*Annona muricata* L.). Tesis para obtener el grado de Doctorado en Ciencias. Área: Biotecnología. 146 p

Wallace, A. 1993. The law of maximum. Better Crop. 77(2): 20-22 p

Wilson, KC. 1999. Coffee, cocoa and tea. CABI publishing. Wallingford, UK.

9. ANEXOS

Cuadro A 1. Diferencia de medias utilizando la prueba de Tukey en la variable diámetro (mm).

TRAT	22 dd	**	44 dd	**	66 dd	**	88 dd	**	110 dd	**
0 g	3.07	B	4	D	4.5	B	5	D	6.43	B
5 g	3.11	AB	4.34	AB	5.6	A	6.4	BC	8.63	A
10 g	3.19	AB	4.43	A	5.6	A	6.33	C	8.67	A
15 g	3.27	AB	4.26	ABC	5.5	A	6.51	ABC	8.83	A
20 g	3.23	AB	4.14	CD	5.57	A	6.53	AB	8.83	A
30 g	3.3	A	4.19	BCD	5.63	A	6.62	A	8.4	A

Cuadro A 2. Diferencia de medias utilizando la prueba de Tukey en la variable altura (cm).

TRAT	22 dd	**	44 dd	**	66 dd	**	88 dd	**	110 dd	**
0 g	10.33	AB	16.2	A	25.53	A	28.85	A	40.9	A
5 g	10.24	AB	14.3	A	22.1	A	31.38	A	46.13	A
10 g	9.83	B	14.8	A	22.6	A	33.57	A	46.23	A
15 g	10.4	AB	15.3	A	23.67	A	33.37	A	44.47	A
20 g	10.77	A	15	A	22.53	A	32.08	A	39.63	A
30 g	10.53	AB	14.8	A	22.1	A	31.73	A	38.5	A

Cuadro A 3. Diferencia de medias utilizando la prueba de Tukey en la variable número de hojas.

TRAT	22 dd	**	44 dd	**	66 dd	**	88 dd	**	110 dd	**
0 g	6.07	A	8.53	A	12.63	A	12.43	A	13.93	A
5 g	5.58	A	8.58	A	11.17	A	12.79	A	16.4	A
10 g	5.6	A	8.58	A	11.63	A	13.81	A	16.9	A
15 g	5.7	A	8.75	A	11.4	A	13.56	A	16.63	A
20 g	5.47	A	8.89	A	10.63	A	13.8	A	15.47	A
30 g	5.33	A	8.41	A	11.14	A	12.82	A	15.53	A

Cuadro A 4. Diferencia de medias utilizando la prueba de Tukey en la variable número de hojas.

TRAT	22 dd	**	44 dd	**	66 dd	**	88 dd	**	110 dd	**
0 g	24.07	A	25.5	B	28.73	A	34.9	A	36.27	A
5 g	26.31	A	32.65	A	33.6	A	36.34	A	36.23	A
10 g	27.37	A	34.31	A	33.43	A	38.01	A	38.6	A
15 g	27.73	A	33.74	A	33.57	A	37.1	A	36.63	A
20 g	27.13	A	33.51	A	33.8	A	34.36	A	34.4	A
30 g	27.5	A	34.63	A	35.37	A	34.72	A	35.5	A

Cuadro A 5. Diferencia de medias utilizando la prueba de Tukey en la variable prendimiento.

Tratamientos	22 ddi	**	44 ddi	**	66 ddi	**	88 ddi	**
1	46.67	BC	43.33	C	33.33	E	23.33	C
2	73.33	A	63.33	AB	53.33	ABC	43.33	A
3	66.67	AB	60	AB	53.33	ABC	40	AB
4	73.33	A	66.67	A	60	A	40	AB
5	53.33	ABC	53.33	ABC	53.33	ABC	40	AB
6	63.33	ABC	60	AB	50	ABCD	30	BC
7	56.67	ABC	56.67	ABC	56.67	AB	36.67	AB
8	60	ABC	56.67	ABC	56.67	AB	43.33	A
9	60	ABC	56.67	ABC	40	DE	30	BC
10	43.33	C	43.33	C	40	DE	30	BC
11	53.33	ABC	53.33	ABC	50	ABCD	30	BC
12	50	BC	50	BC	46.67	BCD	30	BC
13	53.33	ABC	53.33	ABC	40	DE	30	BC
14	60	ABC	53.33	ABC	43.33	CDE	30	BC
15	56.67	ABC	56.67	ABC	46.67	BCD	40	AB
16	56.67	ABC	56.67	ABC	46.67	BCD	33.33	ABC
17	50	BC	50	BC	40	DE	30	BC
18	50	BC	50	BC	50	ABCD	36.67	AB
19	56.67	ABC	53.33	ABC	50	ABCD	40	AB
20	50	BC	50	BC	50	ABCD	33.33	ABC

Cuadro A 6. Diferencia de medias utilizando la prueba de Tukey en la variable hojas.

Tratamientos	22 ddi	**	44 ddi	**	66 ddi	**	88 ddi	**
1	4.33	AB	9.67	A	12.33	BCDE	15	DEFGH
2	2	C	8	A	8.67	E	12	H
3	4.33	AB	9.33	A	11	E	14.33	EFGH
4	3.67	ABC	8	A	17	ABC	20.33	AB
5	2.33	C	7.33	A	11.67	CDE	16.67	CDEFG
6	2.67	BC	8	A	10.67	DE	13.67	GH
7	4.33	AB	7.67	A	11	DE	15	DEFGH
8	4.67	A	7.67	A	17.67	ABC	22	A
9	2.33	C	8.33	A	13.33	BCDE	17	BCDEFG
10	2.33	C	8.67	A	9.67	E	13.67	GH
11	4.33	AB	8.33	A	13.67	BCDE	15	DEFGH
12	4.67	A	9	A	15.67	ABCD	18	BCD
13	2.33	C	8.33	A	17	ABC	20.33	AB
14	2.33	C	8.33	A	11.33	DE	14	FGH
15	2.33	C	10.67	A	10.67	DE	15.33	CDEFGH
16	4.67	A	9.67	A	14	BCDE	16.67	CDEFG
17	4.67	A	11.33	A	12	CDE	15.33	CDEFGH
18	2.67	BC	10.67	A	10.67	DE	17.33	BCDEFG
19	2.67	BC	8	A	9.67	E	17.67	BCDEFG
20	5	A	8.67	A	20	A	18.67	ABC

Cuadro A 7. Presupuesto parcial por tratamiento en fase de desarrollo e injertación del cacao.

Detalle	Trat. 5 g + Enchape	Trat. 10 g + Yema	Trat. 15 g + Parche	Trat. 20 g + cuña Terminal	Trat. 30 g
Tamizado de sustrato	\$10.00	\$10.00	\$ 10.00	\$10.00	\$ 10.00
Llenado de bolsas	\$10.00	\$10.00	\$ 10.00	\$10.00	\$ 10.00
Fertilizante 15-15-15	\$ 3.30	\$6.60	\$ 9.90	\$13.20	\$ 19.85
Mano de obra	\$ 384.00	\$ 384.00	\$ 384.00	\$ 384.00	\$ 384.00
Mantenimiento del cultivo					
Precio de vareta	\$ 600.00	\$600.00	\$600.00	\$600.00	\$600.00
Mano obra injertador	\$ 200.00	\$ 200.00	\$200.00	\$ 200.00	\$200.00
Bolsas tipo charamusca	\$ 2.40	-----	-----	\$ 2.40	-----
Bolsas de parafilm	\$ 3.00	\$ 1.50	\$ 1.50	\$ 3.00	\$ 1.50
Total	\$1, 212.7	\$ 1,212.1	\$ 1,215.4	\$ 1, 222.6	\$ 1,215.4

Cuadro A 8. Costo beneficio por cada tratamiento en estudio.

Tratamiento	Costo	Beneficio*
T1	1,212.70	\$ 0.98
T2	1,212.10	\$ 0.98
T3	1,215.40	\$ 0.97
T4	1,222.60	\$ 0.96
T5	1,215.40	\$ 0.98

*Por cada dólar invertido en los tratamientos se recupera el dólar más \$0.98, vendiendo a \$3.00 cada árbol injertado.

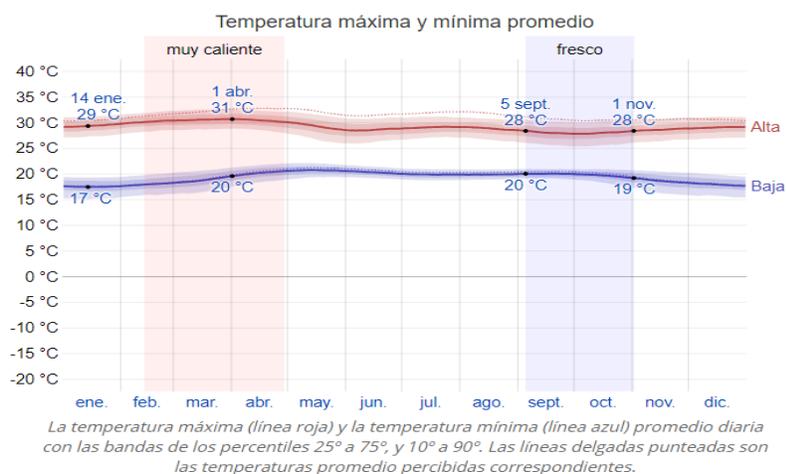


Figura A 1. Temperatura máxima y mínima promedio (MARN 2016).

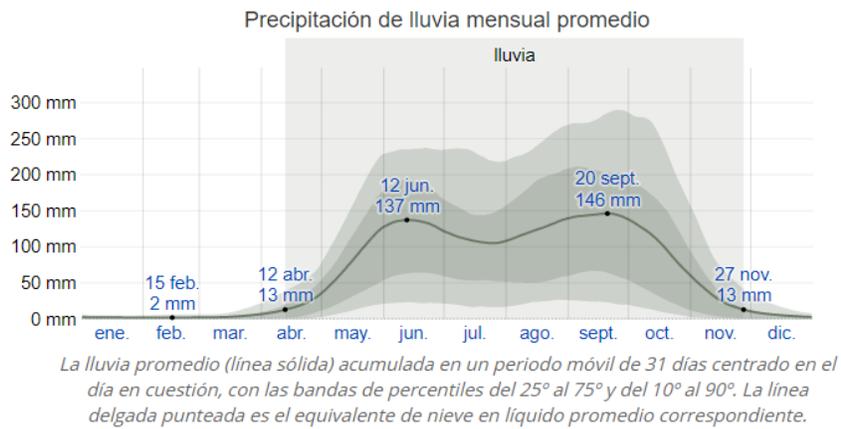


Figura A 2. Precipitación de lluvia mensual promedio (MARN 2016).



Figura A 3. Injerito de Parche.



Figura A 4. Injerito de Enchape Lateral.

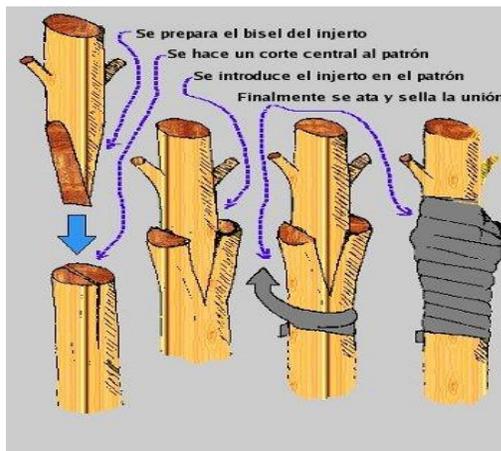


Figura A 5. Injerito de Cuña Terminal.

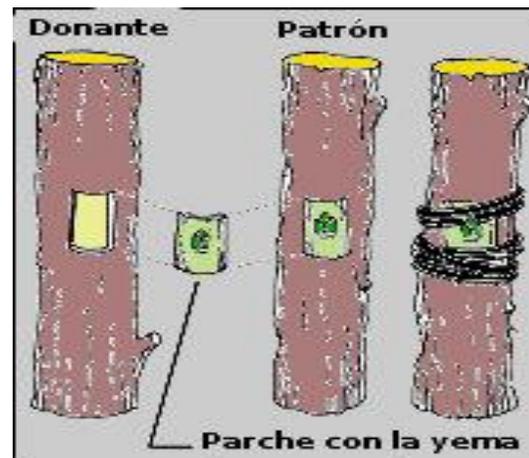


Figura A 6. Injerito de Yema.