

Universidad de San Carlos de Guatemala Dirección General de Investigación Programa  
Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente

## **INFORME FINAL**

“DETERMINACIÓN DE LA HABILIDAD COMBINATORIA DE 11 MATERIALES DE  
CACAO (*Theobroma cacao L.*) DE TIPO CRIOLLO, EN GRANJA ZAHORÍ,  
CUYOTENANGO, SUCHITEPÉQUEZ.”

### **Equipo de investigación;**

**Coordinador: Ing. Agr. Msc. David Alvarado Güinac**

Nombre de Investigador(a): Ing. Agr. David Estuardo Moreno Camey

Nombre de Auxiliar de Investigación I: T.P.A. Julio Roberto Montesdeoca Franco

30 de Noviembre de 2016

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN AVALADORA

Centro Universitario de Sur Occidente (CUNSUROC)

Dirección General de Investigación (DIGI)

M.Sc. Gerardo Arroyo Catalán Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Coordinador General de Programas

Ing. Agr. Saúl Guerra Coordinador del Programa de Investigación

Ing. Agr. M.Sc. David Alvarado Güinac Coordinador del proyecto.

Ing. Agr. David Estuardo Moreno Camey Investigador

T.P.A. Julio Roberto Montesdeoca Franco Auxiliar de Investigación I

Partida Presupuestaria 4.8.56.2.60

Año de ejecución: 2016

## INDICE GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
1 “DETERMINACIÓN DE LA HABILIDAD COMBINATORIA DE 11 MATERIALES DE CACAO ( <i>Theobroma cacao L.</i> ) DE TIPO CRIOLLO, EN GRANJA ZAHORÍ, CUYOTENANGO, SUCHITEPÉQUEZ.” .....	5
2 RESUMEN.....	5
3 ABSTRACT .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4 INTRODUCCION .....	7
5 Planteamiento del problema.....	8
5.1 Preguntas de investigación.....	8
5.2 Delimitación en tiempo y espacio.....	9
6 Justificación.....	9
7 Objetivos .....	10
7.1 Objetivo General.....	10
7.2 Objetivos Específicos .....	10
8 Hipótesis (si aplica).....	10
9 Marco teórico y Estado del Arte .....	11
9.1 Marco Teórico.....	11
9.2 Generalidades.....	11
9.3 Clasificación botánica.....	11
9.4 Flor:.....	11
9.5 Semilla: .....	12

9.6	Fruto: .....	12
9.7	Grupo de cacao criollo.....	13
9.8	Polinización .....	13
9.9	COMPATIBILIDAD EN CACAO.....	16
9.10	AUTO COMPATIBILIDAD .....	16
9.11	INTER COMPATIBILIDAD.....	16
10	Estado del Arte .....	17
10.1	Investigaciones realizadas.....	17
11	Materiales y métodos .....	19
11.1	Tipo de investigación .....	19
11.2	Técnicas e instrumentos .....	19
11.3	Manejo Agronómico de la Investigación .....	19
11.4	Control de maleza.....	19
11.5	Limpieza de zona de goteo.....	19
11.6	Fertilizaciones .....	19
11.7	Riego .....	19
11.8	Podas Fitosanitarias:.....	20
11.9	De mantenimiento:.....	20
11.10	Control fitosanitario .....	20
11.11	Eliminación de flores y frutos .....	20
11.12	Proceso de polinización manual.....	20
11.13	Cruzamientos realizados .....	21

12	Operacionalización de las variables o unidades de análisis.....	23
12.1	Coherencia de la investigación.....	24
12.2	Procesamiento de datos y plan de análisis.....	24
13	Productos o hallazgos esperados.....	25
14	Impacto esperado.....	25
15	RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS .....	26
16	CONCLUSIONES .....	29
17	Referencias.....	30
18	APENDICE.....	33
19	ACTIVIDADES DE GESTION VINCULACION Y DIVULGACION .....	39

## INDICE DE TABLAS

CONTENIDO	PAGINA
Tabla 1. Materiales de cacao criollo colectados en el territorio nacional.....	18
Tabla 2: Matriz de cruzamientos dialelicos realizados.....	22
Tabla 3: Operacionalización de variables o unidades de análisis.....	23
Tabla 4: Coherencia de la propuesta de investigación.....	24
Tabla 5: Resultados de polinización cruzada en la determinación de la habilidad combinatoria de seis materiales de cacao nativo ( <i>Theobroma cacao L.</i> ).....	28
Tabla 6: Numero de frutos al trigésimo día de la polinización artificial.....	33
Tabla 7: porcentaje de autocompatibilidad e intercompatibilidad de los 11 materiales de cacao criollo .....	33

## INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	PAGINA
FIGURA 1: Partes de la flor de cacao.....	12
FIGURA 2: Proceso de polinización manual en cacao.....	14
FIGURA 3: Distribución de las polinizaciones o cruces, dentro del jardín clonal. Considerando que en cada postura o planta se realizarón 20 polinizaciones manuales.....	22
FIGURA 4: Racimo floral antes de la preparación para la polinización artificial. ....	34
FIGURA 5: Insecto del orden Coleoptera polinizando una flor de cacao criollo. ....	34
FIGURA 6: Preparación de la flor para la polinización artificial (emasculación).....	35
FIGURA 7: Polinización artificial de una flor de cacao .....	35
FIGURA 8: Aislamiento de las flores polinizadas artificialmente. ....	36
FIGURA 9: Fruto en crecimiento y marcado, séptimo día después de la polinización artificial.....	36
FIGURA 10: Frutos en crecimiento al trigésimo día después de la polinización artificial. ....	37
FIGURA 11: Actividad de divulgación en diferentes medios de comunicación. ....	37
FIGURA 12: Divulgación de resultados del Proyecto en programa televisivo Cable DX, Región+. ....	38
FIGURA 13: Capacitación sobre elaboración de chocolate artesanal. ....	38

# **1 “DETERMINACIÓN DE LA HABILIDAD COMBINATORIA DE 11 MATERIALES DE CACAO (*THEOBROMA CACAO L.*) DE TIPO CRIOLLO, EN GRANJA ZAHORÍ, CUYOTENANGO, SUCHITEPÉQUEZ.”**

## **2 RESUMEN**

En la actualidad el cacao criollo es considerado como cacao fino, el cual es más demandado por los mercados internacionales debido a la diversificación de los subproductos y el valor cultural que buscan los consumidores. Debido a la demanda de cacao finos para su establecimiento en parcelas comerciales y la falta de información básica para propagarlos, surge la necesidad de realizar las pruebas de habilidad combinatoria. Esta investigación se realizó en el jardín clonal de la granja docente Zahorí, Cuyotenango Suchitepéquez, del Centro Universitario del Sur Occidente, con el propósito de generar información básica de estos materiales. Se consideraron los 11 materiales colectados en el territorio nacional. Se realizaron 55 polinizaciones cruzadas y 11 autopolinizaciones, por medio de la metodología de cruza dialélicas simples con aislamiento de botones florales. Los porcentajes de pegue obtenidos treinta días después de la polinización artificial, fueron analizados por medio de la prueba de Xi cuadrado al 0,5% de significancia y tomándose como intercompatible o autocompatible aquellos materiales cuyos valores fueron mayores al comparador del 30%. Las cruza realizadas entre los materiales M1xM4 (30%), M1xM6 (30%), M1xM7 (55%), y M4xM5 (30%) se consideran intercompatibles, además el material M11 (60%) se considera autocompatible, debido a que los resultados son iguales o menores al comparador crítico de Xi cuadrado = 3,8415. Con base en los resultados anteriores, las cruza de los materiales M1xM4, M1xM6, M1xM7, M4xM5 y el material M11, se recomiendan para futuras investigaciones y ser llevados a plantaciones comerciales por parte de los agricultores.

Palabras claves: Polinizaciones controladas, autocompatibilidad, intercompatibilidad, cacao criollo, generación de información.

## ABSTRACT

Currently the creole cocoa is considered fine cocoa, nowadays is being more demanded by international markets due to the diversification of products and their cultural value looking the consumers. Because the demand for the fine cocoas for commercial plots establishment and the lack of basic information to propagate, the need to perform tests combining ability. This research was carried out in the clonal garden of the teacher farm Zahorí, Cuyotenango Suchitepequez, the Centro Universitario del Sur Occidente, with the purpose of generating basic information of these materials. The 11 materials collected in the national territory considered. Making 55 cross-pollinations and 11 self-pollinations, through simple methodology diallel crosses insulated flower buds. The results of the percentages obtained thirty days after artificial pollination, were analyzed by Xi square test of significance 0.5% and taking as intercompatible or autocompatible those materials whose values were greater than Compare 30%. The crosses made between materials M1xM4 (30%), M1xM6 (30%), M1xM7 (55%), and M4xM5 (30%) are considered intercompatible also the M11 (60%) material is considered self-compatible, because that the results are at or below critical Xi comparator square = 3,8415. Based on previous results, the crossbreeding of M1xM4, M1xM6, M1xM7, M4xM5 and M11 material materials are recommended for further research and to be taken to commercial plantations by farmers.

Keywords: Controlled pollinations, self-compatibility, intercompatibility, creole cocoa, information generation.



### 3 INTRODUCCION

En la actualidad, el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*), ha recobrado importancia económica en diversos países del mundo, debido a la inclinación de los mercados por sus subproductos. Durante los años 2012/2013, se registró un notable déficit, estimado por la Organización Internacional del Cacao (ICCO), en 160,000 toneladas (International Cocoa Organization, 2014). Actualmente en Guatemala se realizan esfuerzos por impulsar el cultivo de cacao, ya que según Otzoy Rosales (2013), “los precios han venido en aumento y más considerablemente con los denominados cacaos finos” (cacao criollo de semilla blanca de Guatemala), aunque según Rangel et al. (2012), “los cotiledones de los genotipos criollos mexicanos son de color beige”. El cacao criollo blanco, es particularmente uno de los cultivos con mayor potencial por sus características en términos de sabor, aroma y color, que es de prioridad conservar a través de una selección e identificación de las mejores plantas madre de cacao (Salvador, Espinoza, & Rojas, 2012), además según Martínez (2016) sus frutos pueden variar de formas cundiamor y angoleta. Desde el año 2008 el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONCYT- a través del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología -FONACYT- , ha apoyado el rescate del cacao criollo de semilla blanca, por medio de diferentes proyectos exploratorios en el territorio nacional. Como resultado de estos esfuerzos, en la granja experimental Zahorí del Centro Universitario del Suroccidente (CUNSUROC), se cuenta con un jardín clonal de 11 materiales recolectados en todo el territorio nacional. Como recomendaciones de Otzoy Rosales (2013), “se deben realizar proyectos para generar información de los materiales criollos establecidos en el jardín clonal de la granja Zahorí, para realizar la evaluación de estos con fines de manejo y mejoramiento”, que es básicamente lo que se buscó al realizar esta investigación, generando información básica de los cacaos criollos, para poder recomendar materiales que puedan ser utilizados por los agricultores de forma comercial.

#### **4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Como resultados del Proyecto FODECYT No. 051-2008, en la granja experimental Zahorí del Centro Universitario del Suroccidente se cuenta con un jardín clonal de 11 materiales recolectados en todo el territorio nacional, los cuales provienen de los departamentos de Petén, Alta Verapaz, Izabal y Suchitepéquez. Dichos materiales cuentan con estudios de caracterización molecular y morfológica.

Actualmente estos materiales cuentan con una edad de cinco años de establecidos en campo y se encuentran en plena producción. Según observaciones del personal de campo de la granja Zahorí, en entrevista personal, dirigida al encargado de campo, dicho jardín no presenta una producción homogénea, por lo que se considera que cada uno de los materiales posee diferentes comportamientos en su habilidad combinatoria (información que se carece sobre estos materiales) (Esteban , 2015).

##### **4.1 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

Considerando la importancia de la habilidad combinatoria en de los materiales de cacao para la los procesos de mejoramiento y la formación de futuras plantaciones comerciales, se plantean las siguientes interrogantes:

¿Poseen los 11 materiales de cacaco criollo de semilla blanca la habilidad de autocompatibilidad?

¿Poseen los 11 materiales de cacaco criollo de semilla blanca la habilidad de intercompatibilidad?

¿Existen materiales promisorios para formar futuras plantaciones comerciales de cacao, en el jardín clonal de granja Zahorí?

## **4.2 DELIMITACIÓN EN TIEMPO Y ESPACIO**

El proyecto se realizó entre los meses de febrero a noviembre del 2016, en las plantas establecidas en el jardín clonal de la granja Zahorí (perteneciente al Centro Universitario del Suroccidente), ubicada en el municipio de Cuyotenango Suchitepéquez.

## **5 JUSTIFICACIÓN**

Con las investigaciones realizadas con esfuerzos del CONCYT y CUNSUROC, en Guatemala se ha logrado rescatar e identificar materiales (presentes en la Granja Zahorí) de cacao muy especial, el cacao blanco o cacao porcelana (un cultivo con potencial económico para el país), que es el preferido de expertos internacionales.

Considerando que Noriega de la Cruz (2012), menciona que “la realización de cruza entre individuos seleccionados es la base para la obtención de híbridos nuevos. “es de suma importancia la generación de la información sobre la habilidad combinatoria de los materiales de cacao criollo presentes en la Granja Zahorí (información inexistente), para poder iniciar procesos de selección y mejoramiento genético con estos materiales y poder dar propuestas técnicas viables a los cacaoteros del país.

Teniendo en cuenta esta problemática es muy importante tener conocimientos sobre este aspecto, tanto para trabajos en los programas de mejoramiento genético como en plantaciones comerciales, ya que superando esta problemática nos va a permitir planificar y asegurar las futuras plantaciones en donde exista un balance en polinización de los árboles y por ende una excelente producción. (Noriega de la Cruz, 2012, pág. 3)

## **6 OBJETIVOS**

### **6.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la habilidad combinatoria de 11 materiales de cacao (*Theobroma cacao L.*) de tipo criollo mediante polinización artificial, en granja Zahorí, Cuyotenango, Suchitepéquez.

### **6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer el número de flores fecundadas, por polinizaciones artificiales realizadas en los 11 materiales de cacao criollo, presentes en granja Zahorí.
- Determinar el porcentaje de autocompatibilidad e intercompatibilidad de los 11 materiales de cacao criollo.

## **7 HIPÓTESIS (SI APLICA)**

Ha.1. Al menos uno de los 11 materiales de cacao criollo en estudio, presentará porcentaje de auto compatibilidad, mayor o igual al 30 por ciento.

Ha.2. Al menos uno de los 11 materiales de cacao criollo, presentará porcentaje de inter compatibilidad, mayor o igual al 30 por ciento.

## **8 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE**

### **8.1 MARCO TEÓRICO**

### **8.2 GENERALIDADES**

Es un árbol perenne que pertenece a la familia de Sterculiaceae. Puede alcanzar entre 10 a 20 m de altura. Sus frutos son de forma alargada y pueden ser hasta de 1 kg (Oportunidades de Negocios, 2015).

Los cacaos de tipo criollo se caracterizan por tener menor número de semillas totales y viables por mazorca, de hileras de la placenta y espesor de la cáscara, surco primario más profundo, mayor número de surcos profundos y menor número de surcos superficiales (Graziani de Fariñas, Ortiz de Bertrelli, Angulo & Parra, 2016)

Además Graziani de Fariñas et.al. (2016) menciona que “los frutos de cultivares de cacao criollo poseen pesos que oscilaron entre 225-1387 g. con un promedio de 596,35 g.”

### **8.3 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA**

La planta de cacao se considera que pertenece al orden Malvales, a la familia Esterculíaceas, al género *Theobroma* y a la especie *Theobroma cacao* L. (Salvador, Espinoza, & Rojas, 2012).

### **8.4 FLOR:**

Son pequeñas, y se ubican en racimos sobre el tejido maduro, de tronco y ramas, en las yemas axilares donde existieron hojas. El cáliz es de color rosa con segmentos puntiagudos; la corola es de color blancuzco, amarillo o rosa. Los pétalos son largos tal como se aprecia en la figura uno a continuación (Salvador, Espinoza, & Rojas, 2012, pág. 10).

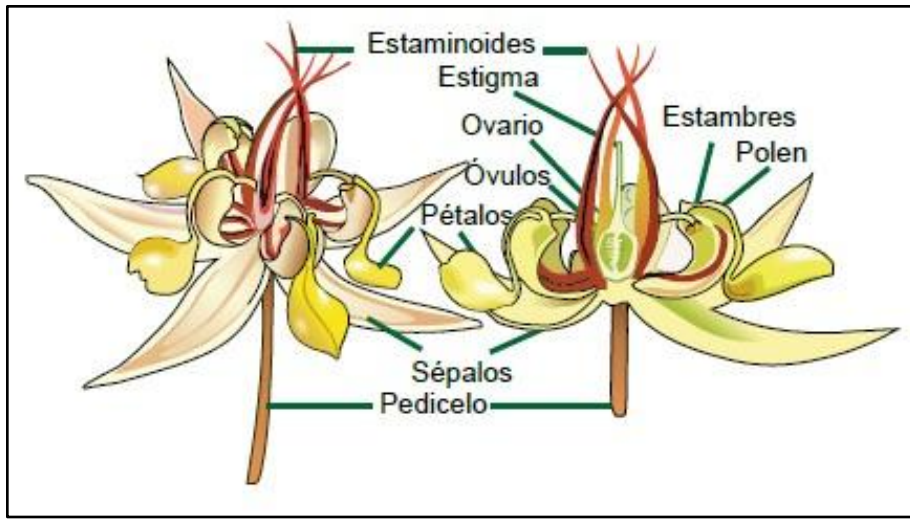


FIGURA 1. Partes de la flor de cacao.

Fuente: (Salvador, Espinoza, & Rojas, 2012)

### 8.5 SEMILLA:

De acuerdo a Salvador, Espinoza, & Rojas (2012) los materiales de cacao de semilla blanca, considerados como criollos “tiene una semilla de color violeta y blanco”...y en relación a la forma, “longitudinalmente se aprecia una elipse o huevo. Si se le mira transversalmente, se puede definir como aplana da; intermedia” (p.11).

### 8.6 FRUTO:

Baya grande denominada mazorca. Escamosa, oblonga a ovada, amarilla, de 15 a 30cm de largo por 7 a 10 cm de grueso, puntiaguda y con camellones longitudinales; cada mazorca contiene en general 20 semillas dispuestas en placentación axial e incrustadas en una masa de pulpa desarrollada de las capas externas dela testa (Salvador, Espinoza, & Rojas, 2012, pág. 11).

## 8.7 GRUPO DE CACAO CRIOLLO

Noriega de la Cruz (2012) clasifica a los cacaos en grupos, describiendo al grupo de los cacaos criollos de la siguiente manera:

Los cacaos denominados criollos (palabra que significa nativo pero de ascendencia extranjera), se originaron también en Sudamérica, pero fueron domesticados en México y Centro América y son conocidos también como híbridos de cacao dulce. Se caracterizan por sus frutos de cáscara suave y semillas redondas medianas a grandes, de color blanco a violeta, que se cultivan principalmente en América Central, México, Colombia y parte de Venezuela.

Poseen sabores dulces y agradables, donde los árboles son de porte bajo y menos robustos con relación a otras variedades. Sin embargo este grupo se caracteriza por su alta susceptibilidad a las principales enfermedades (Noriega de la Cruz, 2012, pág. 12).

## 8.8 POLINIZACIÓN

La polinización del cacao es entomófila (realizada por insectos), entre estos los más importantes en llevar a cabo tanto la polinización cruzada como autopolinización, son diversas especies de la familia *Ceratopogonidae*. Estas son mosquitas diminutas, las cuales se encuentran en porcentajes variados, dependiendo del manejo de las plantaciones en diferentes zonas cacaoteras del mundo. Además, se menciona que en menor escala, y realizando particularmente autofecundaciones, se han encontrado trips, áfidos, hormigas y abejas. En la práctica, los niveles de polinización natural y consecuente producción de frutos por árbol son bajos, con relación al número de flores brotado (Noriega de la Cruz, 2012, pág. 8).

El mecanismo de polinización del cacao presenta caracteres de mucho interés. La estructura de la flor no facilita la polinización por ninguno de los medios comunes, más bien la dificulta. El polen es demasiado pegajoso para que pueda

intervenir el viento, tampoco la posición de las anteras se adapta a la condición de una planta anemófila, por lo que ciertos insectos son los que se encargan de la fecundación (Noriega de la Cruz, 2012, pág. 9).

Las flores fecundadas pierden los pétalos, sépalos y estambres y el ovario inicia su crecimiento; muchos de los ovarios fecundados caen por diversas causas y sólo muy pocos llegan a la maduración. Poco se ha dicho sobre polinización adecuada a nivel de flor individual o sobre el mínimo de granos de polen que se requieren para cuajar una fruta o para que se aborte. Pero conociendo el número promedio de semillas por fruta, se menciona que se necesitan por lo menos unos 60 granos de polen por flor para cuajar el número mayor de semillas por fruta (Noriega de la Cruz, 2012, pág. 9).

Con base en lo anterior, existe el proceso de polinización manual adaptado por Decker (1956) y Vera (1969), el cual consiste en “el aislamiento de los botones florales con tubos transparentes que completaron su desarrollo en la tarde anterior a su apertura o antesis, con el objetivo de que no exista la polinización natural. En las primeras horas de la mañana del día siguiente y cuando los botones se encuentran abiertos se procede a realizar las polinizaciones manuales”.

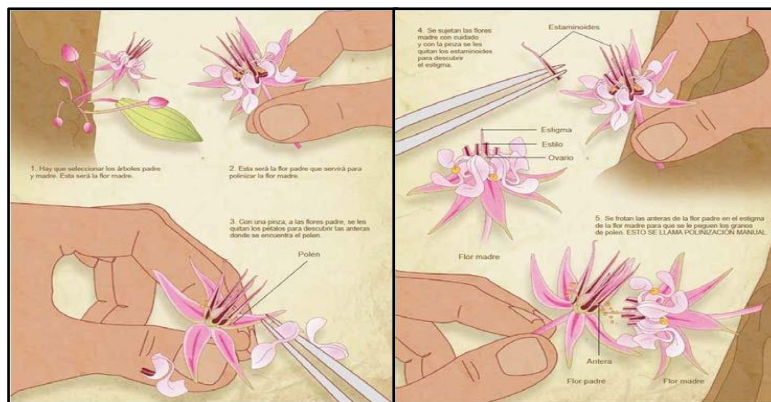


FIGURA 2. Proceso de polinización manual en cacao.

Fuente: (Somarriba C., Cerda B., Astorga D., Quezada Ch.i, & Vásquez M., 2010)



Según Vera (1969), “el momento adecuado para realizar las polinizaciones manuales durante la época seca son realizadas desde las 07:00 am hasta las 11:00 am, por cuando las flores empiezan a desprenderse al segundo día de que estén abiertas”.

Por otra parte, cuando se efectúan polinizaciones artificiales inmediatamente después de una lluvia prolongada, el porcentaje de cuajamiento de flores disminuye notablemente por alteraciones en la constitución fisiológica del polen en la receptibilidad del estigma. Además el agua puede actuar como inhibidor de la germinación de los granos de polen o alterando el pH del estigma. Por lo cual se aconseja realizar las polinizaciones por lo menos dos horas después de que se ha suspendido la precipitación (Noriega de la Cruz, 2012, pág. 10).

Se recomienda que las polinizaciones manuales de una plantación de interés comercial se realice en los meses de junio-agosto de cada año, para que los frutos obtenidos de esta labor al cabo de cinco a seis meses cuando estos ya ha completado su madurez fisiológica, entre los meses de noviembre y enero. “De esta forma, aumenta la probabilidad que los frutos no sean atacados por agentes o patógenos que causan infecciones al fruto. Los mayores niveles de infección se han detectado entre los meses de marzo y mayo, con pérdidas de hasta el 70 %” (Vera, 1969).

Además hay que considerar que el porcentaje de sombra influye directamente sobre el poder germinativo del polen y el crecimiento del tubo polínico. El polen que provenía de árboles con una sombra del 25 al 50 %, tuvo un buen desarrollo del polen y del tubo polínico que aquel que provenía de plantas que estaban en plena exposición solar. Como así tampoco aquellas que se encontraban con una sombra mayor al 50 %. Además, se considera que el incremento de los rendimientos por polinización manual también se ven limitados por ocurrencia de periodos de poca floración, debido posiblemente a bajas temperaturas y/o a la baja presencia de nutrientes, exceso de sombra, sequías prolongadas, utilización de plantaciones con mucha edad o que se encuentren en mal estado. (Noriega de la Cruz, 2012, pág. 11)

## **8.9 COMPATIBILIDAD EN CACAO**

Debido a que la planta de cacao posee polinización cruzada y que fundamentalmente depende la intervención de agentes polinizadores, según Noriega de la Cruz (2012) “especies de la familia *Ceratopogonidae*” y de acuerdo a Aranzazú Hernández, Martínez Guerrero, & Rincón-Guarín (2008), “generalmente un díptero del género *Forcipomya*”(p.7).

La incompatibilidad sexual es un fenómeno genético que según Aranzazú Hernández, Martínez Guerrero, & Rincón-Guarín (2008), “está regido por un proceso bioquímico en el proceso de reconocimiento, aceptación o rechazo del polen...lo cual puede ocurrir en el tubo polínico o en el estigma de la flor receptora”, de tal manera que la compatibilidad o incompatibilidad sexual se expresa en el porcentaje de flores que son fecundadas de forma natural o manual y forman frutos viables.

## **8.10 AUTO COMPATIBILIDAD**

De acuerdo a Aranzazú Hernández, Martínez Guerrero, & Rincón-Guarín (2008), “cuando las flores de una planta de cacao son debidamente polinizadas con una efectividad mayor o igual al 30% por polen de ella misma o polen del mismo árbol” (p.8), se considera que se trata de una planta auto compatible, por consiguiente cuando no acepta dicho polen, se trata de una planta auto incompatible.

## **8.11 INTER COMPATIBILIDAD**

Por otra parte, Aranzazú Hernández, Martínez Guerrero, & Rincón-Guarín (2008) afirma que “cuando las flores de una planta generalmente auto incompatible son fecundadas con polen de otra planta, se dice que es un cruce compatible con ella y se reconoce como intercompatible”... y por el lado contrario “...cuando la flor no puede ser fecundada con polen de otra planta, se dice que es un cruce

interincompatible” (p.8).

La segunda causa de la baja productividad de los cacaotales, después de la variabilidad del cacao de semilla, es la incompatibilidad entre las plantas. La incompatibilidad sexual del cacao es un fenómeno genético químico que regula la capacidad de una planta de aceptar o rechazar el polen de sí misma o de plantas vecinas afectando la potencial cosecha. De tal manera que según el Centro de Exportaciones e Inversiones (2014), “en cacao existen cuatro tipos de plantas”, las que se detallan a continuación:

- Auto-compatibilidad: Es cuando las flores de un árbol de cacao pueden fecundarse a sí mismas o a otras flores del mismo árbol.
- Inter-compatibilidad: Es cuando el polen de las flores de un árbol de cacao puede fecundar a las flores de otro árbol.
- Auto-incompatibilidad: Es cuando las flores de un árbol no pueden fecundarse a sí mismas o a flores del mismo árbol.
- Inter-incompatibilidad: Es cuando el polen de las flores de un árbol de cacao no puede fecundar a las flores de otro árbol (Centro de Exportaciones e Inversiones, 2014).

## **9 ESTADO DEL ARTE**

### **9.1 INVESTIGACIONES REALIZADAS**

Durante los años 2008 y 2009 se realizó una búsqueda y caracterización agromorfológica y molecular de materiales de cacao criollo en el territorio guatemalteco. Como resultado de esta investigación se obtuvieron 11 materiales recolectados en todo el territorio nacional, los cuales provienen de los departamentos de Petén, Alta Verapaz, Izabal y Suchitepéquez. Dichos materiales se presentan a continuación. (Otzoy Rosales, 2013)

Tabla 1. Materiales de cacao criollo colectados en el territorio nacional.

<b>No.</b>	<b>Lugar</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Altura (msnm)</b>
1	Finca La Manzanita,	N 15° 42' 26.9"	2
2	Finca La Manzanita,	N 15° 42' 21.9"	2
3	Aldea Barra Lámpara,	N 15° 46' 21.9"	2
4	Cahabón, Saquijá, Alta	N 15° 34' 45.0"	201
5	Lanquín, Seluc, Alta Verapaz	N 15° 33' 46.0"	465
6	Cantón Chiguasté, Samayac,	N 14° 33' 10.9"	458
7	Aldea El Progreso	N 14° 31' 09.3"	326
8	Cantón La Toma, San Antonio,	N 14° 29' 00.9"	332
9	San Pablo Jocopilas,	N 14° 34' 35.78"	591
10	Samayac, Suchitepéquez	N 14° 34' 32.7"	597
11	Cantón ChacaltéSis,	N 14° 31' 34.6"	293

Fuente: (Otzoy Rosales, 2013)

De acuerdo al establecimiento de un jardín clonal en la variabilidad encontrada, se pudo establecer uno en la granja docente Zahorí, situada en Cuyotenango, Suchitepéquez, perteneciente al Centro Universitario de Sur Occidente (CUNSUROC) de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El distanciamiento de siembra en el jardín clonal fue de cuatro por cuatro metros, la plantación se sembró en el segundo semestre del año 2010. (Otzoy Rosales, 2013)

## **10 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **10.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Se buscaba la realización de cruzas de materiales para determinar sus características combinatorias, la presente investigación se consideró experimental de carácter exploratoria.

### **10.2 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

### **10.3 MANEJO AGRONÓMICO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **10.4 CONTROL DE MALEZA**

El control de malezas se realizó, principalmente, por medio de un control mecánico, utilizando una desbrozadora motorizada, se programaron a cada 21 días.

### **10.5 LIMPIEZA DE ZONA DE GOTEÓ**

Esta se realizó a cada uno de los árboles seleccionados para la investigación, a partir del mes de febrero previo al inicio de las polinizaciones manuales, utilizando para ello un rastrillo con el objetivo de limpiar la hojarasca de la zona de goteo, para la aplicación de fertilizantes.

### **10.6 FERTILIZACIONES**

Se aplicaron dos fertilizaciones al suelo, con dosis de 114 g de fertilizante completo (15-15-15) por planta una en el mes de marzo y otra en el mes de octubre, además de dos fertilizaciones foliares utilizando una dosis de Bayfolan Forte de 40 ml/10 L, una aplicación en el mes de mayo y otra en agosto.

### **10.7 RIEGO**

El riego se realizó con una frecuencia de aplicación de tres veces por semana, durante los meses de febrero a mayo.

## **10.8 PODAS FITOSANITARIAS:**

Esta actividad consistió en la eliminación de ramas enfermas (infectadas por hongos, principalmente *Phytophthora*). Esta se realizó durante el transcurso de la investigación, a todas las plantas de cacao de tipo criollo del jardín clonal.

## **10.9 DE MANTENIMIENTO:**

adicionalmente se realizó mensualmente la eliminación de ramas en exceso que evitaran la filtración de aire y luz a los cojines florales, así como la eliminación de brotes tiernos no deseados (deschuponado).

## **10.10 CONTROL FITOSANITARIO**

El control de enfermedades fungosas se realizó haciendo aplicaciones intercaladas del fungicida (Clorotalonil), en dosis de 75 cm<sup>3</sup>/bomba de 18 L y un fungicida cúprico en dosis de 20 g/bomba de 18 L, cada 15 días directamente sobre frutos obtenidos de la polinización manual, iniciando al séptimo día de la polinización.

## **10.11 ELIMINACIÓN DE FLORES Y FRUTOS**

Se realizó un proceso de eliminación de flores y frutos, antes de iniciar el ensayo, para evitar confusión al momento de la toma de datos. Además, se realizó esta actividad a cada 30 días, con el fin de eliminar todas las flores y frutos de polinización natural y mantener así durante la fase del experimento únicamente las flores y frutos de las polinizaciones manuales.

## **10.12 PROCESO DE POLINIZACIÓN MANUAL**

Para las polinizaciones manuales del experimento, se utilizó la técnica del **aislamiento de los botones florales** que completaron su estado de desarrollo en la tarde del día anterior a su apertura o antesis, se realizaron 20 polinizaciones cruzadas y 20 autopolinizaciones por cada material. El proceso fue el siguiente:

- El día anterior (a la polinización manual) se realizaron las estimulaciones manuales, que consistieron en presionar levemente al botón floral y el aislamiento a los mismos para que estos no fueran polinizados naturalmente.
- Las flores provenientes del árbol padre, también fueron aisladas el día anterior, previo a la liberación de la cogulla o concha.
- Las polinizaciones se realizaron en las primeras horas de la mañana, en el período definido de 06:00 hasta las 9:30 de la mañana, durante el cual prevaleció una temperatura media de 28 °C y no se presentaron precipitaciones.
- Para realizar las polinizaciones propiamente dichas, se tomaron los estambres (con la ayuda de pinzas) de las flores provenientes del árbol padre (aisladas el día anterior) y se frotaron sobre el estilo-estigma de la flor madre (también aislada el día anterior). Como se muestra en la figura 1
- Para efectuar la técnica de autopolinizaciones de cada uno de los materiales progenitores (madres y padres), se procedió con la ayuda de una pinza de punta fina y curva a frotar sobre el estilo-estigma de la flor, con el polen de la misma flor o de otra del mismo material, se realizó la emasculación (castración) de la flor madre.
- Luego de realizadas las polinizaciones manuales, se procedió a cubrir la flor auto polinizada con un tubo (tubo protector) y a la respectiva identificación, para la toma de datos.

### **10.13 CRUZAMIENTOS REALIZADOS**

Con el objetivo de determinar la habilidad combinatoria de los 11 materiales de cacao criollo, se realizaron los cruzamientos de los 11 materiales de cacao tipo criollo. Para realizar estos cruzamientos se utilizó el método de cruzamientos dialélicos incompletos, se efectuaron 55 polinizaciones cruzadas y 11 autopolinizaciones, en donde por cada material se realizaron 20 polinizaciones por árbol dando un total de 1320 polinizaciones artificiales.

Tabla 2. Matriz de cruzamientos dialelicos realizados.

	Material 1	Material 2	Material 3	Material 4	Material 5	Material 6	Material 7	Material 8	Material 9	Material 10	Material 11
Material 1	1x1										
Material 2	2x1	2x2									
Material 3	3x1	3x2	3x3								
Material 4	4x1	4x2	4x3	4x4							
Material 5	5x1	5x2	5x3	5x4	5x5						
Material 6	6x1	6x2	6x3	6x4	6x5	6x6					
Material 7	7x1	7x2	7x3	7x4	7x5	7x6	7x7				
Material 8	8x1	8x2	8x3	8x4	8x5	8x6	8x7	8x8			
Material 9	9x1	9x2	9x3	9x4	9x5	9x6	9x7	9x8	9x9		
Material 10	10x1	10x2	10x3	10x4	10x5	10x6	10x7	10x8	10x9	10x10	
Material 11	11x1	11x2	11x3	11x4	11x5	11x6	11x7	11x8	11x9	11x10	11x11

Fuente: Proyecto Digi (2016).

A continuación se presenta la distribución en campo de los cruces realizados.

11x1	11x2	11x3	11x4	11x5	11x6	11x7	11x8	11x9	11x10	11x11	M11
10x1	10x2	10x3	10x4	10x5	10x6	10x7	10x8	10x9	10x10	10x11	M10
9x1	9x2	9x3	1x4	9x5	9x6	9x7	9x8	9x9	9x10	1x11	M9
8x1	8x2	8x3	8x4	8x5	8x6	8x7	8x8	8x9	8x10	8x11	M8
7x1	7x2	7x3	7x4	7x5	7x6	7x7	7x8	7x9	7x10	7x11	M7
6x1	6x2	6x3	6x4	6x5	6x6	6x7	6x8	6x9	6x10	6x11	M6
5x1	5x2	5x3	5x4	5x5	5x6	5x7	5x8	5x9	5x10	5x11	M5
4x1	4x2	4x3	4x4	4x5	4x6	4x7	4x8	4x9	4x10	4x11	M4
3x1	3x2	3x3	3x4	3x5	3x6	3x7	3x8	3x9	3x10	3x11	M3
2x1	2x2	2x3	2x4	2x5	2x6	2x7	2x8	2x9	2x10	2x11	M2
1x1	1x2	1x3	1x4	1x5	1x6	1x7	1x8	1x9	1x10	1x11	M1

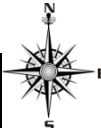


FIGURA 3. Distribución de las polinizaciones o cruces, dentro del jardín clonal.

Considerando que en cada postura o planta se realizarón 20 polinizaciones manuales.

Fuente: Proyecto Digi (2016).



## 11 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES O UNIDADES DE ANÁLISIS.

Objetivo	Variable	Definición teórica de la	Definición operativa	Técnica	Instrumento	
Evaluar el número de prendimientos y Abscisiones	Pegue y Abscisión	<b>Pegue:</b> proceso de transformación de la estructura floral en fruto luego de ser fecundada biológicamente. <b>Abscisión:</b> perdida de la estructura floral luego de	Conteo de frutos formados y conteo de flores caídas, a los 3 días después de la polinización manual.	Conteo y cálculo de %.	Boletas de campo	%
Determinar la autocompatibilidad y la intercompatibilidad de los materiales	Pegue	<b>Pegue:</b> proceso de transformación de la estructura floral en fruto luego de ser fecundada	Conteo de frutos formados, a los 7, 15 y 30 días después de la	Determinación de la prueba de hipótesis de Ji-cuadrado	Procesador de datos	%≥30

Tabla 3: Operacionalización de variables o unidades de análisis.

## 11.1 COHERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN.

Tabla 4. Coherencia de la propuesta de investigación.

Objetivos	Actividad	Productos o hallazgos esperados (en función de cada objetivo)	Responsables
Evaluar el número de prendimientos y Abscisiones	Conteo de frutos formados y flores caídas	% de pegue de frutos y abscisiones	Investigador
Determinar la auto Compatibilidad y la inter compatibilidad de los materiales	Calculo de Ji-cuadrado para determinar el ajuste al 30% esperado en cada material	Auto compatibilidad e inter compatibilidad de los materiales	Investigador

## 11.2 PROCESAMIENTO DE DATOS Y PLAN DE ANÁLISIS.

**Número de flores fecundadas:** La evaluación se realizó a los 3 días posteriores a las polinizaciones manuales. La evaluación a los tres días se realizó para verificar si la flor ha sido polinizada. Con los datos tomados se realizó la transformación a porcentajes, para definir los porcentajes de fecundación por materiales.

**Determinación de autocompatibilidad e intercompatibilidad:** A partir de los 7, 15 y 30 días después de realizada las polinizaciones manuales se tomó la variable prendimiento y formación de frutos, ya que dentro de este periodo se observó problemas de incompatibilidad entre los cruzamientos y autopolinizaciones. Para determinar la capacidad combinatoria de los 11 materiales se utilizó una prueba estadística no paramétrica de Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) de bondad de ajuste, al nivel del 5 % de probabilidad y con 1 grado de libertad (valor crítico de tabla de 3.84). Considerando como dato de frecuencia

esperada el valor del 30% de pegue de frutos.

La fórmula a utilizar será la siguiente: (Di Rienzo, Casanoves, Gonzalez, & Tablada, 2005)

$$X^2 = \frac{(O^1 - E^1)^2}{E^1}$$

Donde:

x<sup>2</sup>= Chi cuadrado

O<sup>1</sup>= Frecuencia observada

e<sup>1</sup>= Frecuencia esperada

De acuerdo al valor de Chi cuadrado y el valor crítico de tabla, se evaluó la aceptación o no de cada una de las hipótesis, según fue el caso, determinando así la habilidad combinatoria de cada uno de los 11 materiales de cacao criollo.

## **12 PRODUCTOS O HALLAZGOS ESPERADOS**

Con la realización de la presente investigación se obtuvieron los productos siguientes:

- Porcentaje de prendimiento y abscisiones de las flores de cacao en los 11 materiales de cacao criollo en estudio. Se obtuvieron 2 cruza autocompatibles y 8 cruza intercompatibles con un porcentaje arriba del 30% de pegue de flores a los 30 días después de la polinización artificial.
- Materiales de cacao criollo con porcentajes de compatibilidad adecuados (igual o mayores al 30%) para ser recomendados en el establecimiento de plantaciones comerciales de cacao criollo, se obtuvieron 2 materiales autocompatibles y 8 materiales intercompatibles.

## **13 IMPACTO ESPERADO**

Con los resultados de esta investigación se establecen las bases para iniciar procesos de mejoramiento genético y poder generar propuestas de materiales de cacao criollo que puedan ser utilizados para el establecimiento de plantaciones

comerciales. Con este tipo de propuesta y los resultados obtenidos se estará beneficiando a todos los cacaoteros de la región y agricultores dispuestos a convertirse en productores de cacao de tipo criollo.

## **14 RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS**

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de habilidad combinatoria para los once materiales de cacao nativo, se tomaron datos de esta prueba a los tres, siete, quince y treinta días después de realizar las polinizaciones cruzadas y autopolinizaciones, obteniendo los resultados siguientes en base a 20 flores polinizadas artificialmente:

Los resultados obtenidos al tercer día demostraron que, de las 55 polinizaciones cruzadas y 11 autopolinizaciones, únicamente ocho polinizaciones cruzadas y dos autopolinizaciones dieron resultados positivos. Siendo las polinizaciones que presentaron pegue de flor las siguientes: polinizaciones cruzadas entre M1xM2 (45%), M1xM4 (55%), M1xM5 (45%), M1xM6 (55%), M1xM7 (75%), M3xM6 (15%), M3xM7 (15%), M4xM5 (40%) y las autopolinizaciones M4xM4 (40%) y M11xM11 (75%). De acuerdo a los resultados, el resto de los materiales que no presentaron datos fue debido a que la polinización no se realizó, lo cual pudo deberse a factores fisiológicos tales como: Inhabilidad del grano de polen para germinar, desarrollo lento del tubo polínico, falla de los gametos para fertilizar el óvulo, falta del núcleo masculino y/o femenino para emerger dentro del citoplasma del huevo. Dentro de los factores físicos puede mencionarse: Temperatura, humedad relativa como menciona Armijo (2015) y la sensibilidad de los materiales al maniobrar las partes intrínsecas de la flor.

Al séptimo día los resultados demostraron que, de las ocho polinizaciones cruzadas y dos autopolinizaciones, los datos fueron: polinizaciones cruzadas entre M1xM2 (35%), M1xM4 (50%), M1xM5 (45%), M1xM6 (55%), M1xM7 (70%), M3xM6 (10%), M3xM7 (15%), M4xM5 (40%) y las autopolinizaciones M4xM4 (40%) y M11xM11 (70%). Según Vera (1969), del tercero al séptimo día es cuando se dan las

manifestaciones de incompatibilidad, por tal motivo de aquí en adelante se consideraron los siguientes datos de incompatibilidad.

En el tercer muestreo realizado al décimo quinto día los resultados fueron, en las polinizaciones cruzadas entre M1xM2 (25%), M1xM4 (30%), M1xM5 (25%), M1xM6 (30%), M1xM7 (55%), M3xM6 (5%), M3xM7 (5%), M4xM5 (35%) y las autopolinizaciones M4xM4 (25%) y M11xM11 (65%). Según los datos obtenidos se nota una disminución en el porcentaje de prendimiento en relación al segundo muestreo, esto pudo deberse a factores mecánicos como: movimientos provocados por aves, insectos, lluvia, viento. Y a factores bióticos como: enfermedades entre ellas el mal del chilillo (*Phytophthora sp.*).

Los resultados obtenidos al trigésimo día fueron, polinizaciones cruzadas entre M1xM2 (15%), M1xM4 (30%), M1xM5 (25%), M1xM6 (30%), M1xM7 (55%), M3xM6 (5%), M3xM7 (5%), M4xM5 (30%) y las autopolinizaciones M4xM4 (15%) y M11xM11 (60%). Considerando los datos recopilados en el cuarto muestreo se nota una disminución en el porcentaje de prendimiento con relación al tercer muestreo de los materiales de polinizaciones cruzadas M1xM2 del 25% al 15%, M4xM5 del 35% al 30% y las autopolinizaciones M4xM4 del 25% al 15% respectivamente, lo que se pudo deber a que estos cuatro materiales estuvieron más expuestos a los factores antes mencionados, ya que según los resultados obtenidos por Armijo (2015), al tener altas humedades se obtienen bajos porcentajes de pegue y fructificación. La autopolinización del material M11xM11 presentó pegues del 65% al 60% lo que se asemeja a los resultados obtenidos en híbridos por Véliz (2015).

Las cruza realizadas entre los materiales M1xM4 (30%), M1xM6 (30%), M1xM7 (55%), y M4xM5 (30%) se consideran intercompatibles, además el material M11 (60%) se considera autocompatible, debido a que los resultados son iguales o menores al comparador crítico de  $\chi^2 = 3,8415$ . (ver tabla 5)

Tabla 5. Resultados de polinización cruzada en la determinación de la habilidad combinatoria de seis materiales de cacao nativo (*Theobroma cacao L.*)

RESULTADOS DE POLINIZACION ARTIFICIAL EN 20 FLORES											
CRUCE DE MATERIALES		FECUNDACION (%) DIAS				NUMERO DE FLORES		VALOR DE $\chi^2$ A LOS 30 DIAS	TAMAÑO DE LOS FRUTOS (cm A LOS 30 DIAS)		
MADRE	PADRE	3	7	15	30	FECUNDADAS	NO FECUNDADAS		LARGO	DIAMETRO	
1	M1	M2	45	35	25	15	3	17	9,8*	2,78	1,15
2	M1	M4	55	50	30	30	6	14	3,2	2,69	1,16
3	M1	M5	45	45	25	25	5	15	5	2,75	1,14
4	M1	M6	55	55	30	30	6	14	3,2	2,79	1,15
5	M1	M7	75	70	55	55	11	9	0,2	2,66	1,12
6	M3	M6	15	10	5	5	1	19	16,2	2,95	1,16
7	M3	M7	15	15	5	5	1	19	16,2	2,88	1,14
8	M4	M4	40	30	25	15	3	17	9,8	2,76	1,13
9	M4	M5	40	40	35	30	6	14	3,2	2,85	1,13
10	M11	M11	75	70	65	60	12	8	0,8	2,72	1,14

\*  $(3-10)X(3-10)/10 + (17-10)X(17-10)/10 = 9,8$

VALOR CRITICO DE  $\chi^2$  CUADRADO = 3,8415

## 15 CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos al tercer día demostraron que, de las 55 polinizaciones cruzadas y 11 autopolinizaciones, únicamente ocho polinizaciones cruzadas y dos autopolinizaciones dieron resultados positivos.
- Los resultados de los porcentajes obtenidos a los treinta días fueron tabulados y analizados por medio de la prueba de Xi cuadrado al 0,5% de significancia y tomándose como intercompatible o autocompatible aquellos materiales cuyos valores fueron mayores al comparador del 30% en esta prueba.
- Las polinizaciones cruzadas que presentaron crecimiento y desarrollo de fruto al trigésimo día fueron las siguientes: M1xM4 (30%), M1xM6 (30%), M1xM7 (55%), y M4xM5 (30%) estos materiales se consideran intercompatibles.
- De las autopolinizaciones únicamente solamente un material presentó crecimiento y desarrollo del fruto al trigésimo día fue el material M11 (60%) se considera autocompatible.

## 16 REFERENCIAS

- Aranzazú Hernández, F., Martínez Guerrero, N., & Rincón-Guarín, D. A. (2008). *Autocompatibilidad e Intercompatibilidad sexual de materiales de cacao*. Bucaramanga: Corpoica.
- Armijo Alvarez, A.A. (2015). *Validación de tres métodos de propagación en cacao (Theobroma cacao L.) nacional y trinitario en la finca experimental La Represa, UTEQ*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- Centro de Exportaciones e Inversiones. (Agosto de 2014). Boletín Cacao. *Cambiando paradigmas en el cultivo de cacao*, 4. Managua, Nicaragua.
- Decker, G. (1956). *Estudios de autocompatibilidad y compatibilidad en cruces para determinar los hábitos de polinización de los clones de cacao de la EETPichilingue*. (Tesis de pregrado), Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Gonzalez, L., & Tablada, E. (2005). *Estadística para las Ciencias Agropecuarias* (Sexta ed.). Cordova, Argentina: Brujas.
- Esteban G., C. A. (10 de Febrero de 2015). Condiciones del Jardín Clonal de Cacao. (D. Alvarado, Entrevistador) Mazatenango, Suchitepéquez, Guatemala.



Graziani de Fariñas, L., Ortiz de Bertrelli, L., Angulo, J., & Parra, P. (12 de enero de 2016). *scielo.org*. Obtenido de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0002-192X2002000300006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000300006&lng=es&tlng=es).

International Cocoa Organization. (2014). *Informe Anual*. International Cocoa Organization (ICCO). Londres, Reino Unido: Westgate House.

Martínez, W.J. (2016). La variabilidad genética del cacao (*Theobroma cacao* L.) nacional boliviano. *Apthapi*, 2 (1), 58-77.

Noriega de la Cruz, C. O. (2012). *Determinación de Habilidad Combinatoria de 14 clones de cacao (Theobroma cacao L.) de tipo nacional seleccionado por el INIAP en la Estación Experimental Litoral Sur (EELS)*. Tesis Ingeniero Agrónomo, Escuela Politécnica del Ejercito, Departamento de Ciencias de la Vida, Santo Domingo, Ecuador.

*Oportunidades de Negocios*. (2 de Julio de 2015). Obtenido de Oportunidades de Negocios: [http://www.negociosgt.com/main.php?id=310&show\\_item=1&id\\_area=157](http://www.negociosgt.com/main.php?id=310&show_item=1&id_area=157)

Otzoy Rosales, M. R. (2013). *Búsqueda, rescate, caracterización agromorfológica y molecular y conservación de cacao (Theobroma cacao L.) tipo criollo, de los departamentos de Alta Verapaz, Izabal, Petén, Suchitepéquez y El Quiché*. Informe Final, CONCYT, SENACYT, FONACYT, CUNSURC-USAC, Guatemala.

- Rangel Fajardo, A., Zavaleta Mancera, H.A., Córdova Téllez, L., López Andrade, A.P., Delgado Alvarado, A., Vidales Fernández I. y Villegas Monter, A. (2012). Anatomía e histoquímica de la semilla del cacao (*Theobroma cacao* L.) criollo mexicano. *Revista Fitotécnica Mexicana*, 35 (3), 189-197.
- Salvador, N., Espinoza, E., & Rojas, J. (Septiembre de 2012). Manual del cultivo de cacao blanco de Piura. 58. (M. Zegarra, M. Moscol, & R. Ganoza, Edits.) Piura, Perú: Athenea.
- Somarrriba C., E., Cerda B., R., Astorga D., C., Quezada Ch.i, F., & Vásquez M., N. (2010). *Reproducción sexual del cacao* (1 ed., Vol. Colección Escuelas de Campo No.2). Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Veliz Apolo, B.M. (2015). *Auto compatibilidad genética y calidad física de la almendra en 20 híbridos interclonales de cacao (Theobroma cacao L.* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- Vera, J. (1969). *Estudio de la compatibilidad en híbridos interclonales de cacaco (Theobroma cacao L.)*. Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad de Guayaquil, Facultad de Agronomía y Veterinaria, Guayaquil, Ecuador.

## 17 PENDICE

Tabla 6. Numero de frutos al trigésimo día de la polinización artificial.

		MADRE										
		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11
PADRE	M-1	0										
	M-2	3	0									
	M-3	0	0	0								
	M-4	6	0	0	3							
	M-5	5	0	0	6	0						
	M-6	6	0	1	0	0	0					
	M-7	11	0	1	0	0	0	0				
	M-8	0	0	0	0	0	0	0	0			
	M-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	M-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	M-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12

2 MATERIALES AUTOCOMPATIBLES  
8 MATERIALES INTERCOMPATIBLES

Fuente: Proyecto DIGI (2016).

Tabla 7. Porcentaje de autocompatibilidad e intercompatibilidad de los 11 materiales de cacao criollo.

		MADRE										
		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11
PADRE	M-1	0										
	M-2	15%	0									
	M-3	0	0	0								
	M-4	30%	0	0	15%							
	M-5	25%	0	0	30%	0						
	M-6	30%	0	5%	0	0	0					
	M-7	55%	0	5%	0	0	0	0				
	M-8	0	0	0	0	0	0	0	0			
	M-9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	M-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	M-11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60%

Fuente: Proyecto DIGI (2016).



FIGURA 4. Racimo floral antes de la preparación para la polinización artificial.

Fuente: Proyecto DIGI (2016).



FIGURA 5. Insecto del orden Coleoptera polinizando una flor de cacao criollo.

Fuente: Proyecto DIGI (2016).



FIGURA 6. Preparación de la flor para la polinización artificial (emasculación)

Fuente: Proyecto DIGI (2016).



FIGURA 7. Polinización artificial de una flor de cacao

Fuente: Proyecto DIGI (2016).



FIGURA 8. Aislamiento de las flores polinizadas artificialmente.

Fuente: Proyecto DIGI (2016).



FIGURA 9. Fruto en crecimiento y marcado, séptimo día después de la polinización artificial.

Fuente: Proyecto DIGI (2016).



FIGURA 10. Frutos en crecimiento al trigésimo día después de la polinización artificial.

Fuente: Proyecto DIGI (2016).



FIGURA 11. Actividad de divulgación en diferentes medios de comunicación.

Fuente: Proyecto DIGI (2016).



FIGURA 12. Divulgación de resultados del Proyecto en programa televisivo Cable DX, Región+.

Fuente: Proyecto DIGI (2016).



FIGURA 13. Capacitación sobre elaboración de chocolate artesanal.

Fuente: Proyecto DIGI (2016).



## **18 ACTIVIDADES DE GESTION VINCULACION Y DIVULGACION**

- Gestión con la facultad de agronomía; solicitud de personal técnico para capacitación de polinización controlada al personal involucrado en el proyecto.
- Capacitación para la elaboración de chocolate artesanal.
- Presentación del proyecto de investigación en el parque central de Mazatenango.
- Participación con un stand del proyecto en el congreso de investigación de sur occidente, celebrado en la ciudad de Quetzaltenango.
- Divulgación del proyecto de investigación en canal dx de cable local.
- impresión de material en la modalidad de bifolios para la divulgación con estudiantes, docentes, y público en general.
- Elaboración de afiches y trifolios de para dar a conocer los resultados parciales y finales de la investigación, con las instituciones en vinculación.
- Elaboración de un manual técnico de polinización controlada en el cultivo de cacao.
- Estudiantes practicantes de Ejercicio Profesional Supervisado y de Práctica Profesional Supervisada, ubicados en áreas de producción de cacao. Relaciones de cooperación institucional con MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación) en delegaciones de Suchitepéquez y Retalhuleu. Y Alianzas de trabajo con Asociaciones de productores de cacao en la región.

### Listado de todos los integrantes del equipo de investigación

Contratados por unidad avaladora	Otros colaboradores
Ing. Agr. M.Sc. David Alvarado Güinac, No. De personal 20000450	Pedro Champet Ixcoy No. De Personal 50787

### Contratados por la Dirección General de Investigación

Contratados por la Dirección General de Investigación					
Nombre	Categoría	Registro de Personal	PAGO DIGI		FIRMA
			SI	NO	
David Estuardo Moreno Camey	Investigador	20030520	X		
Julio Roberto Montesdeoca Franco	Auxiliar de Investigación II	20140496	X		