

Evaluación de la compatibilidad sexual de ocho cruces de materiales promisorios de cacao en San Vicente de Chucurí, Santander

Edinson González Páez
Marzo de 2018

Universidad De Pamplona
Facultad De Ciencias Agrarias
Departamento de Agronomía
Ingeniera Agronómica

Evaluación de la compatibilidad sexual de ocho cruces de materiales promisorios de cacao en San Vicente de Chucurí, Santander

**Edinson González Páez
1192812706**

Trabajo de grado presentado bajo la modalidad de práctica empresarial como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo

Director

I. A. Esp. Yamit Gregorio García Carvajal

Docente

Tutor empresa

Ph.D. Edwin Antonio Gutiérrez Rodríguez

**Universidad De Pamplona
Facultad De Ciencias Agrarias
Departamento de Agronomía
Ingeniera Agronómica
Pamplona, 07 de Junio de 2018**

Agradecimientos

Primeramente a Dios por darme vida y sabiduría para poder culminar mis estudios universitarios.

A la persona que hizo posible que tuviera una educación universitaria, la que con todo el sacrificio me apoyo para salir adelante y siempre estuvo ahí, mi mama Ana Páez.

Agradezco a mis hermanas Jazmin y Mirama, a mis sobrinos Camilo y Jeanpierre por ser un apoyo incondicional y estar ahí para mí siempre, a Leonardo Cáceres que a pesar de no ser mi padre biológico se ha comportado como tal y siempre me ha brindado su apoyo.

A esas personas que a pesar de no ser familia de sangre se convierten en indispensables y que hacen de la universidad la etapa más bonita que se puede vivir, ¡amigos! Gracias por siempre poder contar con ustedes (Deisy, Daniel.)

A la Universidad de Pamplona en especial a mis profesores del departamento de agronomía, que contribuyeron a mi formación profesional.

A la Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO) por permitirme la oportunidad de realizar la práctica profesional con ellos, donde aprendí mucho siendo una muy bonita experiencia

Tabla de Contenido

Capítulo 1	9
Introducción	9
1.Problema	11
1.1 Planteamiento del problema.....	11
2.Justificación.....	12
2.1 Delimitación.....	12
3.Objetivos	14
3.1. Objetivo general	14
3.2. Objetivos específicos	14
Capítulo 2.....	15
4.Marco de referencia.....	15
4.1 Antecedentes	15
4.2 Marco contextual.....	17
4.2.1 San Vicente de Chucurí.....	17
4.2.2 Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO).	19
4.3. Marco teórico	19
4.3.1. Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L).....	19
4.3.2. Origen.....	19
4.3.3. Taxonomía y Morfología	20

4.3.4 Variabilidad.....	23
4.3.5. Polinización.....	24
4.3.6. Fecundación.....	25
4.3.7. Compatibilidad e inter-compatibilidad de clones.....	26
4.4. Marco legal.....	28
4.4.1. Reglamento Estudiantil Académico (Acuerdo No.186 del 02 de diciembre de 2005).....	28
Capítulo 3.....	31
5. Metodología.....	31
Capítulo 4.....	34
6. Resultados y Discusión.....	34
6.1 Porcentaje de auto-compatibilidad.....	36
6.2 Inter-compatibilidad a nivel de padre y madre.....	37
6.3 Matriz de Compatibilidad Sexual.....	39
6.4 Porcentaje de Aborto floral.....	41
Conclusiones.....	43
Recomendaciones.....	44
Referencias bibliográficas.....	45
Anexos.....	48

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Descripción taxonómica del cacao</i>	20
Tabla 2. <i>Cruces para determinación de compatibilidad sexual</i>	33
Tabla 3. <i>Resultados de prendimiento entre los 3, 7, 15 y 30 días y compatibilidad sexual</i>	34
Tabla 4. <i>Auto-compatibilidad de los clones FGI-4 Y FMA-7</i>	36
Tabla 5. <i>Inter-compatibilidad sexual del clon FGI-4 a nivel de madre</i>	37
Tabla 6. <i>Inter-compatibilidad sexual del clon FGI-4 a nivel de padre</i>	38
Tabla 7. <i>Matriz de compatibilidad sexual para los cruces</i>	40

Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Mapa político de San Vicente de Chucurí.....	18
<i>Figura 2:</i> Estructura floral del cacao.....	22
<i>Figura 3.</i> Porcentaje de prendimiento al cabo de 15 días.....	35
<i>Figura 4.</i> Comparacion de la compatibilidad entre el clon FGA-4 y FMA-7.....	36
<i>Figura 5.</i> Comparación de la inter-compatibilidad sexual del clon FGI-4 como madre con los clones FEC-2, FEAR-5 y CCN-51.....	37
<i>Figura 6.</i> Comparación de la inter-compatibilidad sexual del clon FGI-4 como padre con los clones CCN-51, FEAR-5 y FEC-2.....	38
<i>Figura 7.</i> Porcentaje del aborto foral a los 3,7,15 y 30 días después de la polinización para los 8 cruces establecidos	41
<i>Figura 8.</i> Porcentaje del aborto foral que se presentan hasta el día 15 después de la polinización	42

Lista de Anexos

<i>Anexo 1.</i> Polinización artificial en cacao.....	48
<i>Anexo 2.</i> Cruce identificado y efectivo.....	48
<i>Anexo 3.</i> Formato para toma de datos de compatibilidad sexual.....	49
<i>Anexo 4.</i> Matriz de compatibilidad sexual de los materiales más usados en Colombia.....	50
<i>Anexo 5.</i> Datos climáticos de la Granja Villa Mónica, año 2018.....	51

Capítulo 1

Introducción

El cultivo del cacao es uno de los más importantes a nivel mundial y ha tomado mucha fuerza su fomento en Colombia y en el mundo durante los últimos años, esto debido a que es ampliamente utilizado en la industria del chocolate, cosmética farmacéutica y otros derivados, además de que su producción tiene la característica de no generar mucho impacto ambiental, debido a que los procesos agronómicos que se manejan son ecológicos y sostenibles para el medio ambiente (García, B. 2015).

Gran parte del cacao que se consume en el mundo proviene de pequeños cultivos, más de seis millones de agricultores sostienen a sus familias por medio de la producción, el cuidado y la cosecha de granos de cacao. En Colombia se estima que alrededor de 38000 familias dependen de la producción de esta semilla, y el número va en aumento esto gracias a las condiciones agroecológicas que se presentan en el país, las cuales son óptimas para el desarrollo del cultivo (Dinero, 2014).

En Colombia, se vienen desarrollando diferentes proyectos de investigación por parte de la Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO), los cuales están orientados a la determinación de materiales con características de tolerancia, adaptabilidad y producción donde a partir de la selección de materiales promisorios de diferentes regiones del país se busca aprovechar la alta variabilidad genética existente (Duarte, 2012).

El objetivo de la presente práctica empresarial es apoyar la ejecución de actividades necesarias para determinar la compatibilidad sexual de los diferentes clones que se están evaluando y que presentan los mejores resultados en características de tolerancia y producción, esta será llevada a cabo en el departamento de investigación de la Federación Nacional de

Cacaoteros, en la Granja Villa Mónica, la cual se encuentra ubicada en el municipio de San Vicente de Chucurí (Santander), allí se harán cruces en forma dirigida a través de polinización artificial los cuales serán utilizados para determinar compatibilidad sexual dependiendo de los porcentajes de flores fecundadas tomando el 30% como el porcentaje que determine la compatibilidad o incompatibilidad sexual.

El desarrollo de esta práctica fue de gran importancia ya que permitió brindar apoyo a las diferentes actividades que se desarrollan en el departamento de investigación y son necesarias en los proyectos para determinación de compatibilidad sexual por parte de FEDECACAO, así como la participación activa en los demás ensayos, donde se brindaron alternativas en la ejecución de los diferentes proyectos y nuevas estrategias para el cumplimiento de los objetivos establecidos.

1. Problema

1.1 Planteamiento del problema

En busca de mejorar la productividad, tolerancia a enfermedades y calidad del cacao en Colombia, se vienen desarrollando una serie de procesos de selección, propagación y evaluación de materiales promisorios en diferentes regiones, los cuales son seleccionados mediante la determinación de ciertas características asociadas al rendimiento y la calidad. (Federación Nacional de cacaoteros-Fondo Nacional del Cacao, 2018). Sin embargo, estos materiales a pesar de poseer cualidades de fácil manejo y elevar la ganancia económica al productor no expresan toda su capacidad productiva, lo cual se encuentra asociada al potencial genético y al carácter de compatibilidad sexual que presentan, estableciéndose modelos de siembra con materiales que presentan problemas de incompatibilidad e inter-incompatibilidad generando bajos porcentajes en la efectividad de la polinización y por ende en la formación de mazorcas, lo que trae consecuencias que afectan finalmente en el rendimiento del cultivo (Ávila, 2007).

La determinación de la compatibilidad sexual de los diferentes materiales promisorios a evaluar, permitirá ampliar la base genética de los materiales a utilizar en el establecimiento de modelos de siembra en los cuales no se presente este fenómeno, generando plantaciones más productivas y con la calidad deseada.

2. Justificación

A partir de la selección, conservación y caracterización de los diferentes materiales regionales promisorios que representan la base genética en Colombia realizada por FEDECACAO se buscan registrar ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) los materiales que presenten las mejores características sensoriales, de tolerancia a enfermedades y producción, los cuales van a ser recomendados a los agricultores para ser establecidos bajo unos modelos de siembra en busca de mejorar la cacaocultura colombiana. El porcentaje de compatibilidad sexual que presentan los materiales evaluados es una de las características más importantes a tener en cuenta al momento de establecer arreglos espaciales ya que se puede llegar a establecer modelos de siembra con materiales tolerantes y productivos pero incompatibles entre sí, lo que generaría bajos niveles en producción. FEDECACAO ha creado una matriz de compatibilidad sexual de los materiales regionales recomendados y de los diferentes clones universales utilizados en Colombia. (Duarte, 2012).

La importancia de este proyecto radica en la generación de resultados que complementarán la matriz de compatibilidad sexual creada y aplicada por FEDECACAO, contribuyendo de ésta manera al uso de materiales evaluados en el establecimiento de los diferentes modelos de siembra.

2.1 Delimitación

Con la ejecución de este trabajo se espera contribuir en la determinación de la compatibilidad sexual de ocho (8) cruces con materiales regionales promisorios (FGI-4, FMA-7, FEC-2, CCN-

51, FEAR-5) y aportar información para la matriz de compatibilidad sexual y el diseño de los modelos de siembra propuestos por FEDECACAO.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Evaluar la compatibilidad sexual de ocho cruces de materiales promisorios de cacao en San Vicente de Chucurí.

3.2. Objetivos específicos

- Determinar la compatibilidad sexual entre los cruces (FGI4*FGI4, FMA7*FMA7, FGI4*FEAR5, FGI4*FEC2, FGI4*CCN51, FEAR5*FGI4, FEC2*FGI4 y CCN51*FGI4)
- Diseñar una tabla de compatibilidad sexual para los cruces (FGI4*FGI4, FMA7*FMA7, FGI4*FEAR5, FGI4*FEC2, FGI4*CCN51, FEAR5*FGI4, FEC2*FGI4 y CCN51*FGI4)

Capítulo 2

4. Marco de referencia

4.1 Antecedentes

Cadavid-Vélez, S (2006), evaluaron la compatibilidad sexual de algunos clones de cacao y su aplicación en siembras comerciales en Colombia, donde realizaron autopolinizaciones y polinizaciones cruzadas con los siguientes materiales: CAP-34, CAUC-39, CAUC-43, CCN-51, FLE-3, FLO-302, EET-8, ICS-1, ICS-39, ICS-60, ICS-95, IMC-67, SC-6, SCC-59, SCC-61 y TSH-565, aunque por algunas restricciones de operación no se completaron las combinaciones de CAP-34, CAUC-39, CAUC-43, FLE-3 y FLO-302. El trabajo se realizó en el departamento de Antioquia. Los resultados demostraron la auto-compatibilidad de los clones CCN-51, ICS-1, ICS-95 e igualmente la habilidad combinatoria del clon IMC-67 y el comportamiento diferencial en la inter-compatibilidad de los clones EET-8, ICS-39, ICS-60, SC-6, SCC-59, SCC-61.

Ávila (2007) realizó un proyecto bajo el nombre de Determinación de la compatibilidad sexual en clones universales de cacao (*Theobroma cacao* L), Utilizando tres métodos de indagación, a través de polinización manual controlada, en el municipio de San Vicente de Chucurí, en el departamento de Santander. En el cual utilizó tres métodos diferentes para determinar el grado de compatibilidad o inter-compatibilidad sexual en cacao, los cuales son: como tratamiento uno, se utilizó un índice de compatibilidad o inter-compatibilidad igual o superior del 20%, como tratamiento dos, con un índice de compatibilidad o inter-compatibilidad del 10% y el tratamiento tres, con un índice de compatibilidad o inter-compatibilidad del 30%, evaluando en total 14 clones comercialmente utilizados para el establecimiento de plantaciones de cacao. Obteniendo como resultados 32 cruces inter-compatibles y 10 inter-incompatibles,

calificados a través del porcentaje de prendimiento promedio de los tratamientos. Los cruces de mayor porcentaje fueron: TSH 792XIMC 67, TSH 792XICS 1, TSH 792XCAP 34 con 83.33%, 82.5% y 78.33% respectivamente.

En una unión temporal establecida por FEDECACAO y Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) denominada “Cacao de Colombia Uno”. Aranzazu et al., (2009). Presentaron mediante una matriz de compatibilidad sexual, los resultados de los diferentes cruces de auto-compatibilidad e inter-compatibilidad de los 21 materiales más utilizados en Colombia, y otra matriz para el pie de monte llanero así como unos modelos de siembra establecidos con unas características específicas.

Díaz, E., & Urbina, J (2015) evaluaron la compatibilidad a nivel floral de cinco (5) clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), UF- 221, GS- 36, POUND - 12, PACAYA, UF- 227 mediante la compatibilidad a nivel de gameto a través de la polinización artificial, utilizando el Diseño Completamente al Azar compuesto por cinco (5) parcelas (un clon por parcela) donde cada parcela se contó con 3 surcos, en el cual se escogieron cinco (5) árboles al azar por clon trabajado; Por árbol, se seleccionó 4 flores, las cuales fueron entubadas para luego polinizarse con el mismo clon y también por los clones de las otras parcelas estudiadas. Como resultados recolectados, todos los clones muestran buena capacidad de auto-compatibilidad $\geq 30\%$ y de inter-compatibilidad $\geq 70\%$ a nivel floral. Al realizar un análisis de la compatibilidad, el clon con mayor auto - compatibilidad está el UF- 296 con 91.7% y con inter-compatibilidad a nivel de madre del clon UF- 296 se demostró que el clon fue UF-221 con 91%.

Dávalos, J (2016) se efectuó polinizaciones dirigidas, tanto para las autofecundaciones como también los cruzamientos interclonales, para lo cual se realizaron veinte (20) autopolinizaciones con los once (11) clones seleccionados donde se determinaron los grados de Auto-compatibilidad

(AC) y Auto-incompatibilidad (AI), y de igual forma la cruza inter-clonal con los once (11) clones determinando los grados de Inter-compatibilidad (IC), y la Inter-incompatibilidad (II) entre las cruzas realizadas, en lo que corresponde a las autofecundaciones.

4.2 Marco contextual

La presente práctica empresarial se desarrollará geográficamente en el municipio de San Vicente de Chucurí (Santander), donde se encuentran establecidas las fincas con las parcelas de investigación sobre las cuales se llevarán a cabo las actividades propias del trabajo.

4.2.1 San Vicente de Chucurí. Ubicado en la provincia de Yariguies, al centro occidente del departamento de Santander, a una distancia de 85 kilómetros de la ciudad de Bucaramanga, posee una extensión de 1186.2 km², distribuidos en 37 veredas: Agua Blanca, Albania, Altoviento, Barro Amarillo, Cantarranas, Chanchón, El Ceibal, El Centro, El Naranjito, El León, El Pertrecho, El Guadual, Guamales, Campo Hermoso, La Esmeralda, La Colorada, La Granada, La Esperanza, Llana Caliente, Llana Fría, Llana Cascajales, Las Arrugas, Los Medios, Nuevo Mundo, Mérida, Palestina, Palmira, Pamplona, Pozo Nutria, Pradera, Primavera, Puente Murcia, Santa Rosa, Santa Inés, Tempestuosa, Táguales, Vizcaína, tal como se evidencia en la Figura 1 (Acevedo, 2018).

El Municipio basa su economía en el desarrollo del sector agropecuario, de allí depende el ingreso de las familias. Se ha estimado que cerca del 85% de la población rural está dedicada a las labores agrícolas tradicionales: del cultivo de cacao y en menor proporción del café y un 14% se especializa en labores pecuarias. Este renglón de la economía cacaotera se encuentra

establecido con unas 10.000 ha de cacao con producción anual de 7 mil toneladas al año, las cuales pertenecen a 3000 familias aproximadamente (Esteban, L. 2012).

La cabecera municipal se ubica a una altura de 692 msnm y un clima promedio entre los 13°C y 27°C. Estas características, sumado a una estructura geográfica heterogénea, facilitan el desarrollo de actividades económicas del sector primario, lo que le permite el reconocimiento como Capital Cacaotera de Colombia y Ciudad de los frutos valiosos, entre otras denominaciones (Acevedo, 2018).



Figura 1. Mapa político de San Vicente de Chucurí.

Nota. Acevedo, (2018)

4.2.1.1. Granja Villa Mónica: propiedad de FEDECACAO, ubicada en la vereda Mérida, a una altura de 900 m.s.n.m. y una precipitación anual promedio de 1.800 mm. La granja cuenta

con una extensión de cuatro punto cinco (4.5) hectáreas de las cuales todas cuentan con cacao, se utiliza una hectárea en el montaje de los ensayos que allí se manejan (Duarte, 2012).

4.2.2 Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO). se encarga en el país de proteger los intereses de los cacaocultores Colombianos contribuyendo con su desarrollo integral, ofreciendo productos y servicios de carácter comercial, científico, tecnológico, social, ambiental, cultural y de extensión rural, a nivel nacional e internacional, que permiten fortalecer al sub-sector cacaotero, teniendo como sus actividades principales la investigación, la transferencia de tecnologías y apoyo la comercialización para el fomento del cultivo (FEDECACAO, 2018).

4.3. Marco teórico

4.3.1. Cacao (*Theobroma cacao* L). El cacao es un árbol de porte medio, que posee raíz pivotante, con hojas de forma alargada y tamaño medio que produce un fruto de su mismo nombre, el cual se utiliza como ingrediente para alimentos entre los que destaca el chocolate. (Waizel, Waizel, Serrano, & Campos, 2012), este es cultivado en los países ubicados sobre la franja tropical de la tierra, siendo una especie de origen americano encontramos que la mayor producción se presenta en el continente africano, donde se muestra a Costa de Marfil, Ghana, Nigeria y Camerún como los mayores productores. En América se encuentra que la mayor producción en este cultivo la presentan países como Brasil y Ecuador teniendo a Colombia como un país en el cual el fomento del cultivo va en aumento, donde la producción total para el año 2017 fue de 60.535 toneladas (FEDECACAO, 2018).

4.3.2. Origen. Según evidencia histórica el cultivo del cacao es originario de México y América Central. Los españoles no lo vieron cultivado en Sur América, aun cuando lo

encontraron creciendo de manera natural en muchos lugares de los bosques a lo largo de los afluentes de los ríos Amazonas y Orinoco (Dostert, Roque, Cano, & La Torre, 2011)

En Colombia hasta fines del siglo XIX se cultivó exclusivamente el cacao criollo, en 1890-1895, se había introducido de las Antillas, tal vez de Martinica, semilla de cacao forastero.

Los primeros híbridos se desarrollaron en Trinidad en 1945 utilizando clones ICS y SCA para afrontar la Escoba de Bruja. En Colombia la producción comercial de híbridos surgió en 1960, con una base muy amplia, utilizando materiales (clones universales) como ICS, UF, EET, SCA, PA, IMC 67 y TSH (FEDECACAO, 2016). A partir del año 2000, Colombia inició una nueva etapa en la siembra de plantaciones comerciales a base de materiales clónales universales y algunos regionales para suplir el deterioro y baja productividad de las plantaciones híbridas y de cacaos comunes (Ávila, 2007).

4.3.3. Taxonomía y Morfología

Tabla 1.

Descripción taxonómica del cacao

<i>Taxonomía</i>	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clases	Magnoliopsida
Subclase	Dilleniidae
Orden	Malvales
Familia	Malvaceae
Tribu	Theobromeae
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>T. cacao</i>

Nota. (Dostert et al., 2011)

4.3.3.1. Inflorescencia. Las flores del cacao nacen directamente en tejidos adultos de los tallos principales y de las ramas laterales y por lo cual recibe el nombre de *cauliflora*. Ella se origina en una yema axilar de la hoja. Un solo cojín floral contiene desde 40 hasta 60 flores.

4.3.3.2. Flores. Son pequeñas y se producen, al igual que los frutos, en racimos pequeños sobre el tejido maduro mayor de un año del tronco y de las ramas, alrededor en los sitios donde antes hubo hojas. Las flores son pequeñas, se abren durante las tardes y pueden ser fecundadas durante todo el día siguiente. Está compuesta por un pedicelo cuya longitud varía de uno punto tres (1,3) a tres 3 cm, un ovario súpero, un cáliz, una corola de diez (10) estambres donde cinco (5) son estériles llamados estaminodios y un gineceo.

4.3.3.2.1. El cáliz. Tiene cinco (5) pétalos valvados y puede ser casi libre o unidos por su base en un cuarto o la mitad de su longitud, la parte unida que permanece es cupular, en tanto las partes libres se expanden y se repliegan hacia afuera de tal forma que al momento de la anthesis el interior de todo el cáliz es claramente visible. Los sépalos son tomentosos por fuera con abundantes pelos ocreos o ferruginosos pero también pueden ser glabros.

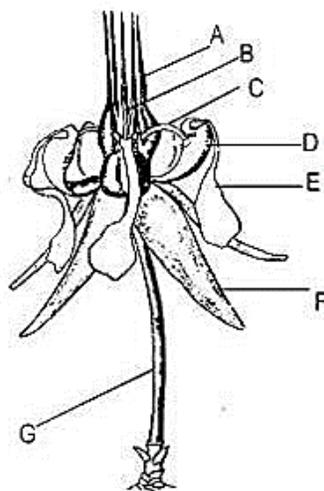
4.3.3.2.2. Corola. Compuesta por cinco (5) pétalos los cuales son libres y uniformes, se dividen en dos (2) partes muy diferentes que se unen medianamente por una faja muy angosta. La parte basal o inferior es cóncava, bastante carnosa y rígida, usualmente tiene de tres (3) a siete (7) nervios y presenta una apariencia de capucha redonda en sus extremos, la parte extrema o lígula es plana variando su forma desde oblonga hasta elíptica de carácter membranoso y muy delgada, su color puede ser amarillo, rojo o rojizo.

4.3.3.2.3. Androceo. Conformado por dos (2) verticilos que están unidos formando un tubo basal, el verticilo exterior o estaminodios y el verticilo interior o estambre fértil. Los verticilos

interiores están compuestos por anteras biceldadas estos verticilos en total son cinco (5) y poseen la función de suministrar el polen.

Cada antera está encerrada por la cavidad de su correspondiente capucha, los granos de polen son muy pequeños con un diámetro de veinte 20 micras, son bicelulares y cada uno tiene dos (2) poros. La dehiscencia de las anteras comienza casi tan pronto como la flor se abre e inmediatamente el polen se torna funcional pero bajo condiciones naturales el período de viabilidad es de 48 horas.

4.3.3.2.4. *Gineceo*. Es de tipo cenosicarpo superior con carpelos opuestos a los pétalos. El ovario es súpero posee cinco (5) lóculos y es placentación axilar (central) con muchos óvulos por lóculo dispuestos en dos (2) hileras en cada cavidad. Es de forma ovoide o elipsoide con cinco (5) lomos bien marcados y con surcos. El estilo está compuesto por cinco (5) filamentos, más o menos unidos simulando un solo estilo glabro y delgado y con ápice astigmático puntiforme (Dostert et al, 2011).



A. Estaminodio. B. Estilo. C. Estambre. D. Cogulla. E. Limbo. F. Sépalo. G. Pedicelo.

Figura 2: Estructura floral del cacao. Nota. Ávila, 2007

La apertura del botón floral empieza por la tarde cuando comienza a entreabrirse las extremidades de los sépalos y se completa en las primeras horas de la mañana siguiente (Gómez y Ramos, s.f).

4.3.4 Variabilidad. La especie (*Theobroma cacao*) comprende una gran variedad de formas y poblaciones muy diferentes. La especie se origina probablemente en la parte superior del territorio amazónico, incluyendo Perú, pero fue domesticada primero en Mesoamérica. Para la caracterización de las formas y cultivares se utilizan hoy en día, aparte de características morfológicas (por ejemplo, flores), características agronómicas (por ejemplo, resistencia a enfermedades, forma del fruto y tamaño del grano) y moleculares (isoenzimas), así como también, frecuentemente, marcadores genéticos (RAPD, AFLP) (Dostert et al., 2011). Los programas de mejoramiento están, hasta hoy, dirigidos a un aumento de los rendimientos y a una mayor resistencia a plagas; principalmente, se han aprovechado efectos de heterosis después del cruce de individuos de diferentes linajes genéticos (David S, 2005).

Las formas de cacao se clasifican tradicionalmente en tres (3) grupos genéticos: Criollo, Forastero y Trinitario (Dostert et al, 2011).

4.3.4.1 Criollo. Las formas Criollo fueron probablemente domesticadas primero por los mayas hace más de 3000 años. Hasta la mitad del siglo XVIII esta era la forma de cacao más frecuentemente cultivada. El cacao Criollo comprende árboles delgados; los frutos tienen típicamente una cubierta delgada, esculpada y una pigmentación rojiza. Las formas Criollo muestran signos de depresión endogámica y, frecuentemente, más bajos rendimientos y mayor susceptibilidad a plagas. El cultivo comercial se desarrolla principalmente en las áreas de origen, en Venezuela, México, Nicaragua, Guatemala y Colombia. Del cinco (5) al diez (10) por ciento de la producción mundial de cacao se origina de las formas Criollo (García, L 2011)

4.3.4.2 Forastero. Las formas Forastero son originarias de la cuenca superior del Amazonas y comprenden las formas de cacao que no son Criollo ni de origen híbrido. Se caracteriza principalmente por su fruto verde, una cubierta del fruto (pericarpo) gruesa, un mesocarpo fuertemente lignificado, semillas redondeadas y ligeramente aplanadas y cotiledones de color violeta. La mayoría del cacao que se cultiva en Brasil, África Occidental, América Central y el Caribe pertenece a este grupo. Con cerca del 80% de la producción mundial de cacao, el grupo de cultivares Forastero es el grupo comercialmente más importante (Gutiérrez, M, Bacalla L. 2007)

4.3.4.3 Trinitario. Estas formas de cacao son de origen híbrido entre formas Criollo y Forastero, las que desde mediados del siglo XVIII han surgido en los territorios de cultivo de cacao. El grupo es correspondientemente muy heterogéneo genéticamente y, morfológicamente, muy polimorfo, no siendo posible delimitarlo a través de características comunes. Las plantas son normalmente muy robustas con frutos verdes o pigmentados y con semillas violeta claro a violeta oscuro. El 10-15 % de la producción mundial de cacao se origina en las formas Trinitario (FEDECACAO, 2016).

4.3.5. Polinización. En el cacao, la transferencia del polen es muy delicada, porque la flor parece estar diseñada por naturaleza para obstruir la polinización, no para favorecerla. Cada flor abierta está prácticamente diseñada para impedir que los insectos polinizadores alcancen el polen que se encuentra en los cinco (5) grupos de anteras que tiene la flor, siendo este el método que realiza el mayor porcentaje de la labor en campo. El polen de estas flores permanece viable durante tres (3) días. Las flores están receptivas durante las primeras horas de la mañana y estas comienzan a abrirse gradualmente por la tarde continuando por la noche hasta quedar

completamente abierta justo antes del amanecer. Sin embargo una porción muy grande de estas flores no son polinizadas y caen al cabo de 48 horas (Ávila, 2007).

Métodos de polinización. Los métodos más utilizados en cacao son: polinización abierta o policross y polinización manual o controlada:

4.3.5.1. Polinización abierta o policross. En este sistema se usan como madre clones auto-compatibles y al lado de estos, se siembran hileras de los cultivares que funcionan como padres. Está reducida a insectos identificados. Ya que, en un alto porcentaje lo efectúan pequeñas mosquitas de la familia Ceratogonidae del genero *Forcipomya sp.*, y en menor escala los trips Thripidae como el *Franklinilla parpula Hood*.

4.3.5.2. Polinización manual controlada. Este método es el más confiable y el más usado en estaciones experimentales para realizar polinizaciones con el fin de determinar la compatibilidad sexual en el cacao, ésta técnica es utilizada también con el objetivo de producir semillas híbridas certificadas para patrones, además se realiza en época alta de floración con el propósito de suplementar la deficiencia de insectos polinizadores y elevar el número de frutos por árbol (Ávila, 2007).

4.3.6. Fecundación. Ocurre cuando se inicia la germinación del grano de polen sobre el estigma y penetra en el estilo, el tubo polínico se desarrolla hasta el saco embrional del óvulo. Se efectúa como máximo veinticuatro (24) horas después de la polinización. La fusión de los gametos se complementa tres (3) días después de la polinización y el desarrollo de los óvulos así como el del fruto (FEDECACAO, 2016).

4.3.7. Compatibilidad e inter-compatibilidad de clones. El potencial productivo de una plantación de cacao está determinado entre otras cosas por la capacidad de los individuos que conforman la población de plantas, de polinizarse a sí mismos o de recibir polen de otros individuos plantados en su cercanía; es decir, la productividad de los clones depende de su auto compatibilidad o inter-compatibilidad con los vecinos. Ello hace indispensable que antes de instalar una plantación se debe tener conocimiento de los materiales de propagación a usar y de acuerdo con sus características, establecer su distribución en el lote, de tal manera que se asegure la plenitud de la polinización o fertilización de la mayor cantidad posible de flores hábiles, para lo cual se debe tener claridad sobre los clones auto-compatibles e inter-compatibles (FEDECACAO, 2016).

La incompatibilidad en cacao es de tipo esporofítico, o sea que se debe a la interacción entre el genoma de la planta donadora de polen ($2n$) y el genoma del pistilo ($2n$). Este mecanismo de esta, involucrado a un locus simple con cinco (5) alelos múltiples y con el siguiente grado de dominancia: $S1 > S2 = S3 > S5$ y posteriormente un último alelo $S6$ recesivo a los otros, independiente de un precursor de incompatibilidad. El citoplasma asociado con los gametos masculinos y femeninos contienen un precursor de incompatibilidad que es el grado por el alelo dominante S antes de las meiosis (control esporofítico), de tal manera por conjugarse el alelo dominante ($S2 = S3$), el precursor tiene grabaciones específicas y al conjugarse alelos similares determinan la no fusión (50%). Cuando ocurre la no fusión del 100% de los óvulos, se presume la existencia de un genotipo homocigoto para el alelo S . Se considera otra hipótesis que presume la existencia de dos loci que exhiben dominancia y recesividad, A y B , con acción complementaria. Cuando uno o ambos loci son homocigotos recesivos el precursor no puede ser grabado por el alelo S en el genotipo el cual es auto-compatible independiente de los alelos S (Becker, 2004).

El fenómeno de incompatibilidad se presenta en dos (2) sistemas: heteromorfo y homomórfico. En el primer caso se impide la fecundación por incompatibilidad morfológica entre las estructuras sexuales femeninas y masculinas. En el segundo, en el sistema homomórfico se impide la fecundación por razones genéticas y morfológicas, este sistema a su vez, dependiendo del mecanismo de la reacción, puede ser: gametofítico y esporofítico.

El sistema gametofítico (G1) se caracteriza por la acción independiente tanto en el estilo como en el polen de los alelos pertenecientes al locus de la incompatibilidad. El grano de polen que lleva genes de incompatibilidad no puede funcionar sobre el estilo que posee el mismo alelo. El sistema esporofítico el cual se presenta en las plantas de cacao se halla determinado por un solo locus con alelos múltiples y se encuentran determinados por el núcleo diploide del esporofito, en otras palabras el comportamiento de cada grano de polen o tubo polínico está dirigido y determinado por el genotipo diploide (Díaz y Urbina, 2015).

4.3.7.1. Clones auto-compatibles (AC): Son aquellos que presentan un cuajamiento de frutas en proporción igual o mayor del 30% dentro de las pruebas de fecundación artificial realizadas a cada clon, utilizando polen de la misma planta. Es decir, son auto-compatibles, los clones que tienen una alta posibilidad de fecundarse con su propio polen.

4.3.7.2. Clones inter-compatibles (IC): Corresponde a los que tienen la posibilidad en las mismas proporciones (mayores del 30%); dentro de las pruebas de compatibilidad de ser polinizados por otros. Hay algunos que presentan porcentajes de fecundación superior al 70% de las pruebas y son considerados con un alto grado de inter-compatibilidad.

4.3.7.3. Clones auto-incompatibles (AI): Corresponden a aquellos materiales que no tienen la posibilidad de auto polinizarse, de acuerdo con los experimentos realizados en proporción mínima del 30%.

4.3.7.4. Clones inter-incompatibles (II): La característica de inter-compatibilidad, se refiere a la baja posibilidad de un clon de ser polinizado por otro o por otros. Es decir que la inter-compatibilidad se da con relación a clones específicos, lo que quiere decir que un clon de cacao puede ser inter-compatible con uno pero no necesariamente con otro o con los demás (FEDECACAO, 2016).

4.4. Marco legal

4.4.1. Reglamento Estudiantil Académico (Acuerdo No.186 del 02 de diciembre de 2005).

Capítulo VI. Trabajo de Grado.

Artículo 35. Definición de Trabajo de Grado: En el Plan de Estudios de los programas, la Universidad establece como requisito para la obtención del título profesional, la realización por parte del estudiante, de un trabajo especial que se denomina “TRABAJO DE GRADO”.

Acuerdo No.081 del 17 de agosto de 2007 *Parágrafo Segundo.* “El Trabajo de Grado se podrá a matricular a partir del 8° semestre, dependiendo de la modalidad, hasta con máximo dos (2) asignaturas. El Trabajo de Grado debe sustentarse ante un Jurado, compuesto por tres (3) personas conocedoras del tema y puede recibir como calificación: “Aprobado”, “Excelente” o “Incompleto”, cuando no cumpla con los objetivos propuestos en la modalidad en la cual se

adelanta, en tal caso, el estudiante deberá matricularlo nuevamente en el semestre académico siguiente”.

Acuerdo No.056 del 25 de junio de 2007 *Parágrafo Tercero*. La Calificación del Trabajo de Grado, tendrá la siguiente equivalencia: Excelente (4.5) Aprobado (4.0) Incompleto

Cuando la NO inclusión del Trabajo de Grado no sea responsabilidad del estudiante, éste contará con un plazo hasta de dos (2) períodos académicos adicionales para su terminación y la calificación será ingresada al sistema en el momento en que sea evaluado.

4.4.1.1.2. Artículo 36.- Modalidades de Trabajo de Grado: El Trabajo de Grado, puede desarrollarse en las siguientes modalidades:

Práctica Empresarial: Comprende el ejercicio de una labor profesional del estudiante en una empresa, durante un período de tiempo. Cuando el estudiante seleccione esta modalidad, deberá presentar al Director de Departamento el anteproyecto, que debe contener: nombre de la empresa, descripción de las características de la empresa, objetivos de la práctica, tipo de práctica a desarrollar, tutor responsable de la práctica en la empresa, cronograma de la práctica, presupuesto (si los hubiere) y copia del convenio interinstitucional Universidad – Empresa o carta de aceptación de la empresa.

Parágrafo Primero. Un estudiante matriculado en Trabajo de Grado sólo desarrolla una de las modalidades y podrá escogerla dentro de la oferta que el Departamento respectivo disponga.

4.4.2. Contrato de pasantía N°. 176RH-001SENA-18. Conforme a lo establecido en la ley 789 de 2002, se suscribe el presente contrato de pasantía (Aprendizaje), entre *Ismael Peña Castellanos*, identificado con la cedula de ciudadanía N°. 19.385.742 como representante legal

(Suplente) de la Empresa *Federación Nacional De Cacaoteros* NIT 899999175-1 y *Edinson González Páez* identificado con la cedula de ciudadanía N°.1.192.812.706, donde se establece la duración del practicante universitario en la empresa, así como las obligación y deberes del mismo durante la el desarrollo de la pasantía de aprendizaje.

Capítulo 3

5. Metodología

El trabajo se desarrolló en la granja Villa Mónica propiedad de FEDECACAO, ubicada en la vereda Mérida, en el municipio de San Vicente de Chucurí Santander, la cual posee una extensión de cuatro punto cinco (4,5) ha, donde se encuentra establecido el jardín clonal con los materiales de cacao utilizados para este trabajo. Con L, 6° 51´58” y W 73°25´00,1”. El periodo durante el cual se desarrolló el trabajo estuvo comprendido desde febrero hasta mayo del año 2018.

El desarrollo del presente proyecto estuvo relacionado a uno de los periodos de mayor floración de los materiales que se evaluaron; así como a unos altos niveles de precipitación, ver (Anexo 5) y realizando las tres (3) repeticiones necesarias para determinar los porcentajes de compatibilidad sexual de los cruces en un solo periodo de tiempo con unas condiciones climáticas marcadas.

Se realizaron cruces en forma dirigida a través de polinización artificial según la metodología recomendada por FEDECACAO, (2016), donde el día anterior a realizar la actividad de polinización se identificaron y cubrieron con tubos plásticos treinta (30) botones florales del material que actuaría como madre; al día siguiente, se colectaron las flores frescas donadoras de polen provenientes del material que actuaría como padre, polinizando solo veinte (20) flores, retirando los tubos que las protegían, y extirpando los estaminodios con una pinza, con la finalidad de facilitar la labor. Se observó si la antera de la flor paterna desprendía polen, por lo que se procedió a frotar la antera sobre el estigma de la flor receptora, verificando la adherencia y cubriendo nuevamente las flores polinizadas con tubos de plástico (Anexo 1), identificando los

cruzamientos realizados mediante el uso de alfileres de colores. Los tubos fueron retirados tres (3) días después de realizada la polinización.

Se tomaron lecturas de prendimiento a los tres (3), siete (7), quince (15) y treinta (30) días, en el (Anexo 5) se puede observar el formato utilizado para registrar las lecturas.

Para calificar si un material fue compatible o incompatible se tomó el límite del 30% de fecundación (seis (6) flores fecundadas) en la lectura del día quince (15) (Anexo 2), según lo establecido por Terreros, Chavarro y Ocampo (1983).

Para mayor precisión de los datos, se realizaron tres (3) repeticiones con el mismo número de polinizaciones para cada uno de los cruces establecidos.

Los clones utilizados fueron seleccionados, caracterizados y evaluados presentando altos índices de rendimiento y calidad por lo que son catalogados como materiales promisorios en Colombia, provenientes de diferentes regiones del país donde se realizaron las correspondientes actividades para su recuperación y son en su orden los siguientes: Federación Gigante-4 (FGI-4), Federación Marcella-7 (FMA-7), Federación El Carmen-2 (FEC-2), Federación Arauca-5 (FEAR-5), y el clon universal, Colección Castro Naranjal-51 (CCN-51). A partir de los cuales se establecieron los cruces ver (tabla 2).

Tabla 2.

Cruces para determinación de compatibilidad sexual

Cruces	
Madre	Padre
FGI-4	FGI-4
FGI-4	FEC-2
FGI-4	CCN-51
FGI-4	FEAR-5
FMA-7	FMA-7
FEC-2	FGI-4
CCN-51	FGI-4
FEAR-5	FGI-4

Fuente: FEDECACAO-Fondo Nacional del Cacao, (2018)

Para cumplir con el objetivo relacionado con el diseño de una matriz de compatibilidad sexual, se procedió a listar los cuatro (4) clones regionales y el clon universal evaluado para este trabajo en un cuadro de doble entrada (Madre y Padre), utilizando los registros de compatibilidad obtenidos en esta investigación así como los ya determinados por FEDECACAO (Anexo 4), se construyó la matriz con los diferentes porcentajes de compatibilidad para cada uno de los cruces.

Capítulo 4

6. Resultados y Discusión

En busca del cumplimiento de los objetivos establecidos se realizaron ocho (8) cruces de forma dirigida a partir de los clones seleccionados, presentados en la (Tabla 3). Allí se evidencia, el cruce realizado, el número de flores prendidas a los 3, 7, 15 y 30 días, así como el porcentaje de prendimiento y el carácter de compatibilidad sexual.

Tabla 3

Resultados de Prendimiento entre los 3, 7, 15 y 30 días y compatibilidad sexual

COMPATIBILIDAD SEXUAL									
#	Cruce		Polinizadas	Número de flores				Prendimiento (%)	Carácter
	♀	♂		Prendidas (días)					
				3	7	15	30		
1	FGI-4	FGI-4	60	24	21	20	20	33.33	AC
2	FGI-4	FEC-2	60	11	10	10	10	16.67	II
3	FGI-4	FEAR-5	60	15	12	11	11	18.33	II
4	FGI-4	CCN-51	60	18	12	12	12	20.00	II
5	FMA-7	FMA-7	60	35	2	1	1	1.67	AI
6	CCN-51	FGI-4	60	31	25	25	25	41.67	IC
7	FEAR-5	FGI-4	60	45	37	37	37	61.67	IC
8	FEC-2	FGI-4	60	17	15	15	15	25.00	II

AC: Auto-Compatibile II: Inter-Incompatibile AI: Auto-Incompatibile IC: Inter-Compatibile

(Fuente: Autor)

En los resultados anteriores se puede expresar la auto-compatibilidad del clon FGI-4 y la auto-incompatibilidad del clon FMA-7, así como la compatibilidad entre los cruces CCN-51*FGI-4 y FEAR-5 * FGI-4 y la incompatibilidad en los cruces FGI-4*CCN-51, FGI-4*FEAR-5, FEC-2*FGI-4 y FGI-4*FEC-2 lo que nos presenta al FGI-4 como un buen material donador

de polen pero con bajo nivel de aceptación de polen por parte de otros materiales para ser fecundado.

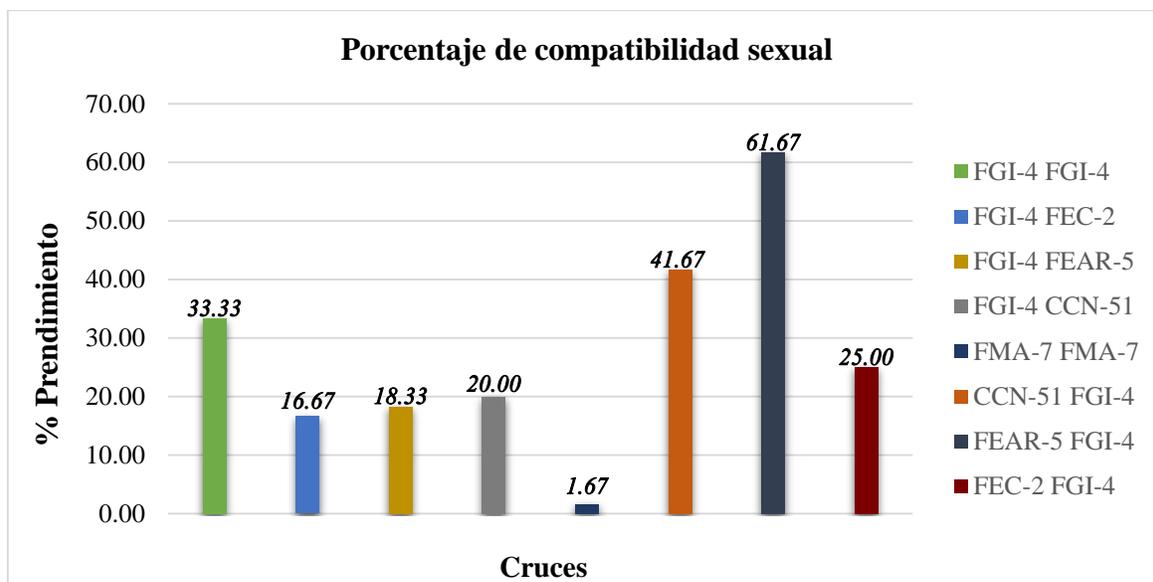


Figura 3. Porcentaje de prendimiento al cabo de 15 días.

Nota: Autor

A partir de la Figura 3, se puede detallar que los cruces que presentaron mayor prendimiento fueron los realizados entre los clones FEAR-5*FGI-4 y CCN-51*FGI-4 con porcentajes de 61.67 y 41.67 respectivamente; así mismo los cruces que presentaron los menores grados de compatibilidad sexual fueron: FMA-7*FMA-7 con 1,67% y FGI-4*FEC-2 con un 16,67% de prendimiento.

6.1 Porcentaje de auto-compatibilidad

Tabla 4

Auto-compatibilidad de los clones FGI-4 y FMA-7

Auto-compatibilidad				
#	Cruce		Prendimiento (%)	Carácter
	♀	♂		
1	FGI-4	FGI-4	33.33	AC
5	FMA-7	FMA-7	1.67	AI

AC: Auto-Compatible AI: Auto-Incompatible

(Fuente: Autor)

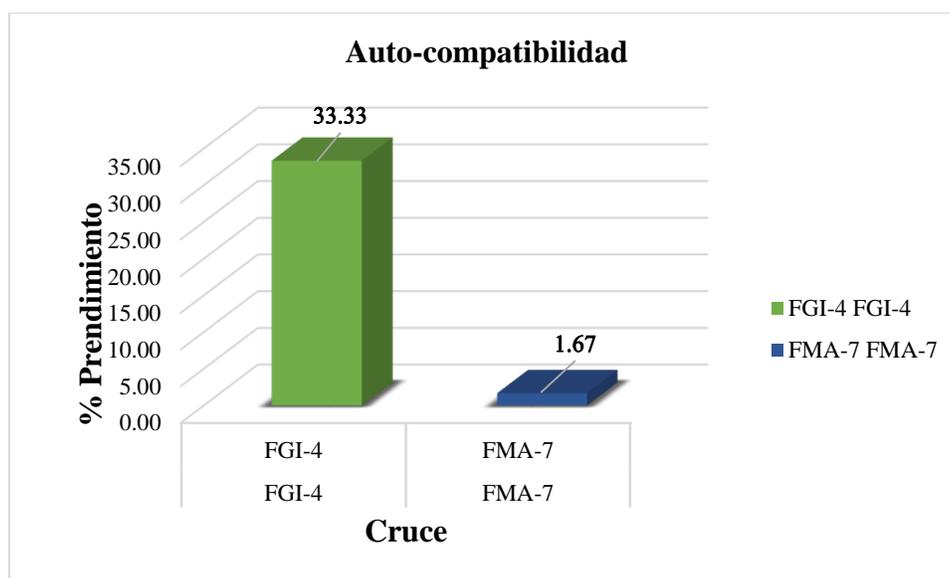


Figura 4. Comparación de la compatibilidad entre el clon FGI-4 y FMA-7.

Nota. Autor

La Figura 4 expresa que al realizar un análisis de la auto-compatibilidad sexual presentado en los materiales FGI-4 y FMA-7 se encontró que el FGI-4 es un clon auto-compatible mostrando un porcentaje de prendimiento del 33,33% mientras el FMA-7 presenta una auto-incompatibilidad total con solo 1,67% de prendimiento lo que nos puede indicar que su

polinización corresponde solamente a la interacción con otros clones dentro de los sistemas de siembra en los que se encuentra establecido.

6.2 Inter-compatibilidad a nivel de padre y madre

Tabla 5

Inter-compatibilidad sexual del clon FGI-4 a nivel de madre

FGI-4 como madre				
#	Cruce		Prendimiento (%)	Carácter
	♀	♂		
2	FGI-4	FEC-2	16.67	II
3	FGI-4	FEAR-5	18.33	II
4	FGI-4	CCN-51	20.00	II

II: Inter-Incompatible IC: Inter-Compatibile

(Fuente: Autor)

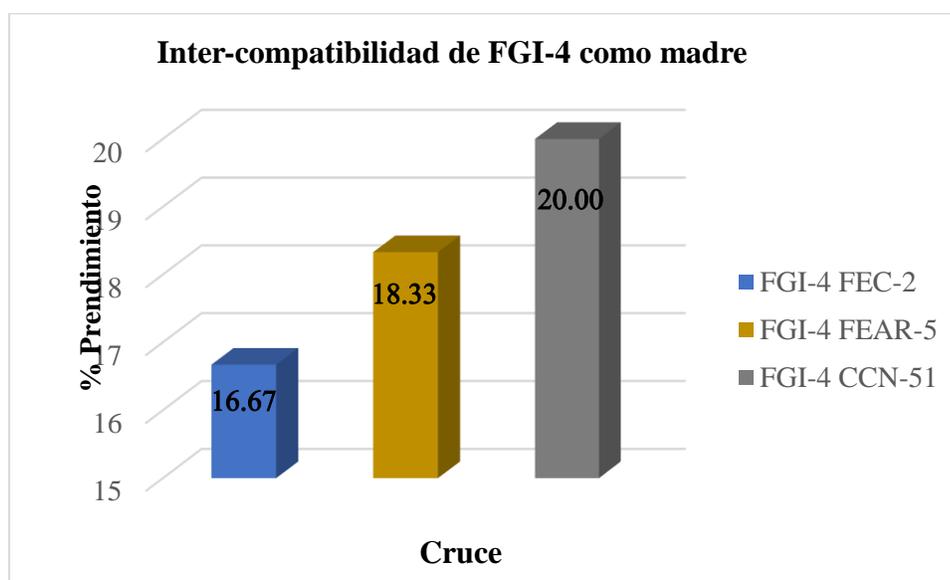


Figura 5. Comparación de la Inter-compatibilidad sexual del clon FGI-4 como madre con los clones FEC-2, FEAR-5 Y CCN-51. Nota. Autor

Al analizar los resultados de inter-compatibilidad sexual a nivel de madre del clon FGI-4 que se presentan en la Figura 5, se puede observar que es inter-incompatible en los cruces realizados con los clones FEC-2, FEAR-5 y CCN-51, con porcentajes de prendimiento de 16,67%, 18,33%, y 20% respectivamente, demostrando la dificultad de este clon para aceptar polen proveniente de otros materiales, mostrándonos un material con alto grado de inter-compatibilidad materna.

Tabla 6

Inter-compatibilidad sexual del clon FGI-4 a nivel de padre

FGI-4 como Padre				
#	Cruce		Prendimiento (%)	Carácter
	♀	♂		
6	FGI-4	FEC-2	16.67	II
7	FGI-4	FEAR-5	18.33	II
8	FGI-4	CCN-51	20.00	II

II: InterIncompatible IC: InterCompatible

(Fuente: Autor)

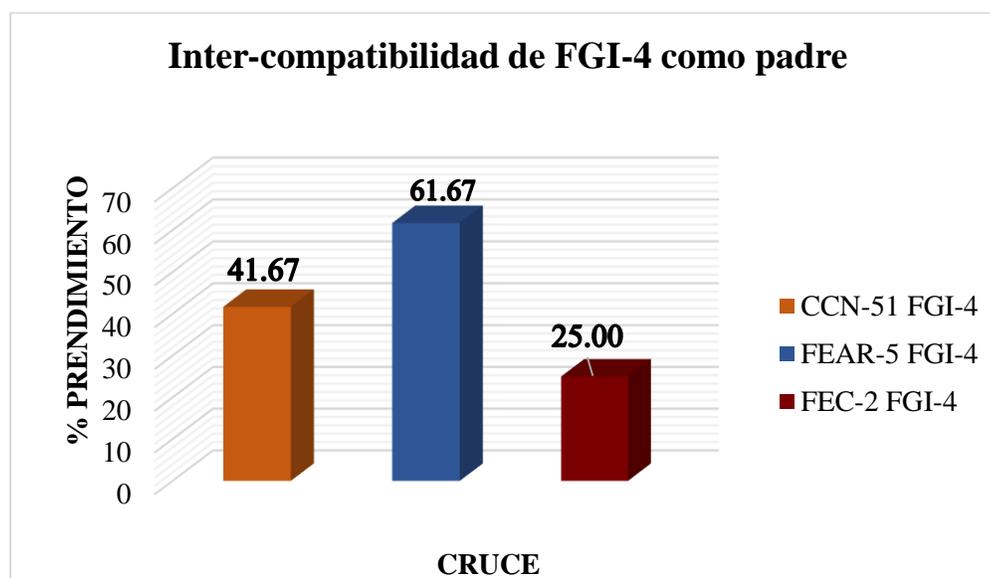


Figura 6. Comparación de la Inter-compatibilidad sexual del clon FGI-4 como padre con los clones CCN-51, FEAR-5 y FEC-2. Nota. Autor

Al realizar los análisis de inter-compatibilidad a nivel de padre del clon FGI-4 demostró ser inter-compatibile con los clones FEAR-5 con un 61,67%, y CCN-51 con un 41,67%, aunque con el clon FEC-2 presento inter-incompatibilidad con un 25%, se puede decir que es un material donador de polen con una buena habilidad paterna.

6.3 Matriz de Compatibilidad Sexual

Con respecto al resumen cualitativo de la calificación de los cruces realizados se encuentran representados los resultados a partir de la tabla de compatibilidad sexual (tabla 7), para la cual se utilizó información de compatibilidad sexual ya determinada por FEDECACAO, con la finalidad de presentar una tabla más completa, ya que de esta forma se facilita la interpretación de la información que se quiere transmitir.

Tabla 7.

Matriz de compatibilidad sexual para los cruces

 		Padre					
		CLON	FGI-4	FMA-7	FEC-2	CCN-51	FEAR-5
M a d r e	CLON						
	FGI-4	AC			II	II	II
	FMA-7		AI				
	FEC-2	II		AI	IC	IC	IC
	CCN-51	IC		IC	AC	II	II
	FEAR-5	IC		IC	IC	IC	AC
		AC	IC	AI	II	Auto-Compatibile Inter-Compatibile Auto-Incompatibile Inter-Incompatibile	

(Fuente: Autor)

En la tabla 7 se lograron presentar el resumen de los resultados de compatibilidad que genero este trabajo relacionando unos cruces ya determinados por FEDECACAO, donde se observa en línea diagonal el carácter de auto-compatibilidad los cuadros con un color verde y el de auto-incompatibilidad con un color amarillo; de esta misma forma se logra analizar la inter-incompatibilidad en cuadros de color azul y la inter-compatibilidad de color rojo.

6.4 Porcentaje de Aborto floral

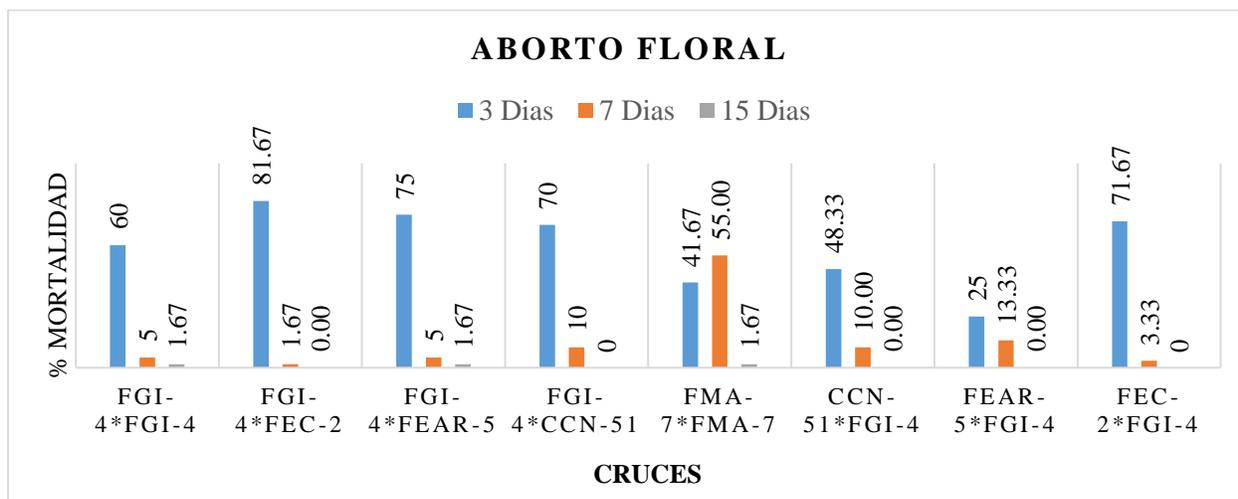


Figura 7. Porcentaje de aborto floral a los 3, 7, 15 y 30 días después de la polinización para los 8 cruces establecidos. *Nota.* Autor

Como se puede observar en la figura 7 el comportamiento para siete (7) de los ocho (8) cruces fue el mismo, donde se analiza que el mayor porcentaje de aborto floral se presentó en los tres (3) primeros días después de la polinización, esto se presenta debido a que los granos de polen que llegaron al pistilo no son suficientes para completar la fecundación, o por una deficiencia en la formación de los tubos polínicos los cuales no llegan a penetrar los óvulos en la flor madre. Se muestran el cruce realizado entre los clones FGI-4*FEC-2 como el que mayor muerte de las flores presentó en este rango de tiempo con más de un 80%; Así mismo el cruce establecido para determinar auto-compatibilidad del clon FMA-7 demostró un mayor porcentaje de aborto floral entre el día tres (3) y el día siete (7) llegando a más de un 98% de la caída de las flores en estos primeros días.

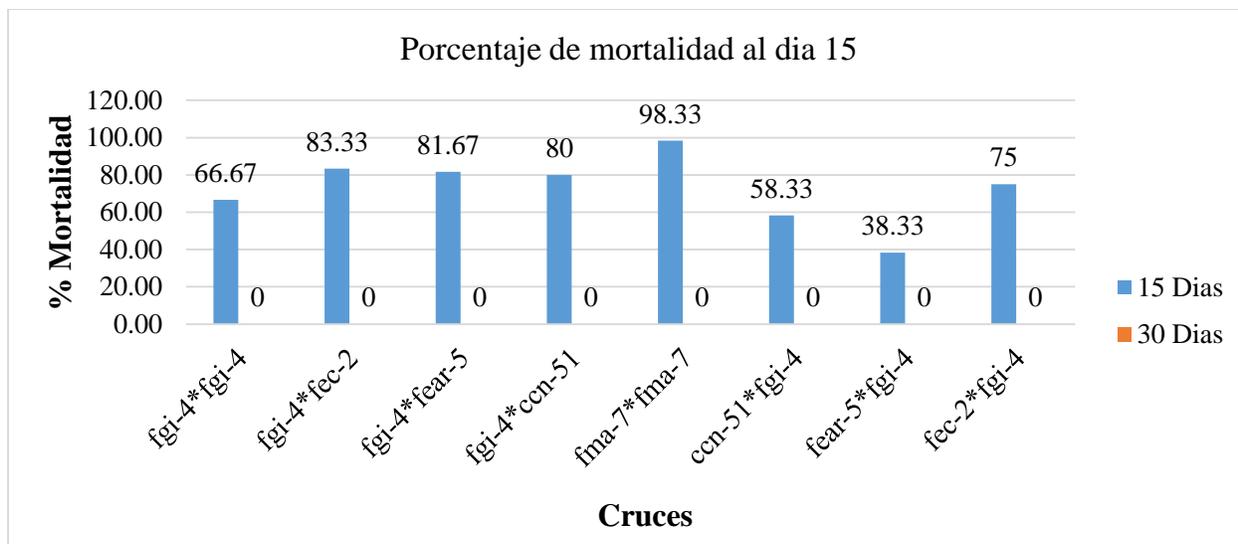


Figura 8. Porcentaje de aborto floral que se presenta hasta el día 15 después de la polinización. *Nota.* Autor

Como se puede observar en la figura 8 hasta el día 15, siete (7) de los ocho (8) cruces realizados presentaron un aborto floral mayor al 50%, presentándose el cruce establecido para auto-compatibilidad del clon FMA-7, con la mayor tasa de mortalidad superior al 98, % generando un carácter de incompatibilidad, así mismo se tiene el cruce entre los clones FEAR-5*FGI-4 como el que menor porcentaje de muerte floral presento demostrando un mayor porcentaje de compatibilidad.

Comparando el porcentaje de aborto floral que se presenta entre el día quince (15) y el día treinta (30) se observa que no hay muerte de las flores en este rango de tiempo y esto nos demuestra que la metodología utilizada en este trabajo es la más indicada ya que hasta el día quince (15) es donde se presenta el mayor aborto floral, esto debido a que no se ha dado por completo la fusión de los gametos y el desarrollo de los óvulos.

Conclusiones

De acuerdo a los ocho cruces establecidos para este trabajo se obtuvieron seis cruces incompatibles, lo que evidencia problemas que afectan la efectividad en la producción si se utilizan a estos materiales dentro de un mismo modelo de siembra.

El clon FGI-4 que fue el más utilizado en los cruces, mostro buena habilidad paterna como donador de polen, pero al ser utilizado como madre presento un alto grado de inter-incompatibilidad materna.

Es de resaltar el buen porcentaje de compatibilidad sexual que presento el cruce entre el FEAR-5 y FGI-4 presentándose como una buena opción al momento de establecer modelos de siembra.

Es necesario determinar el grado de compatibilidad de los clones, para tener plantaciones productivas y competitivas, ya que al presentarse el fenómeno de incompatibilidad se pierde el potencial productivo de la plantación.

Se destaca la existencia de una gran cantidad de materiales de cacao inter-compatibles; por lo tanto para elevar la eficiencia productiva de los clones se deben utilizar aquellos materiales que presentaron un porcentaje alto de inter-compatibilidad y buscar otras características deseables, ya sean sensoriales o de tolerancia.

Recomendaciones

Para obtener resultados más precisos y que no sean influenciados por los factores climáticos que se estén presentando en el periodo de tiempo en el cual se está desarrollando el trabajo se recomienda realizar las diferentes repeticiones en periodos de tiempo variables.

Fortalecer la investigación en el cultivo del cacao donde se puedan profundizar sobre las diferentes variedades de clones que se están utilizando y permita aumentar su rendimiento, mejorar la calidad y que sea más resistente a las plagas y enfermedades.

Complementar la tabla de compatibilidad sexual establecida en el presente proyecto, realizando los cruces que aún están por determinar.

Establecer modelos de siembra donde se utilicen los clones evaluados en este trabajo, interactuando en plantaciones con materiales ya determinados y establecidos.

Utilizar clones al momento de establecer una plantación, tomando como base materiales que presenten la característica de ser auto-compatibles y que además tengan la facultad de ser inter-compatibles con el resto de materiales, con la finalidad de asegurar un alto grado de intercambio de polen en las plantaciones y aumentar el potencial de producción.

Es recomendable realizar estas pruebas en otras zonas productoras de cacao con pisos térmicos diferentes y otras condiciones agroecológicas para corroborar y evaluar el comportamiento de los clones en las diferentes condiciones donde este se desarrolla.

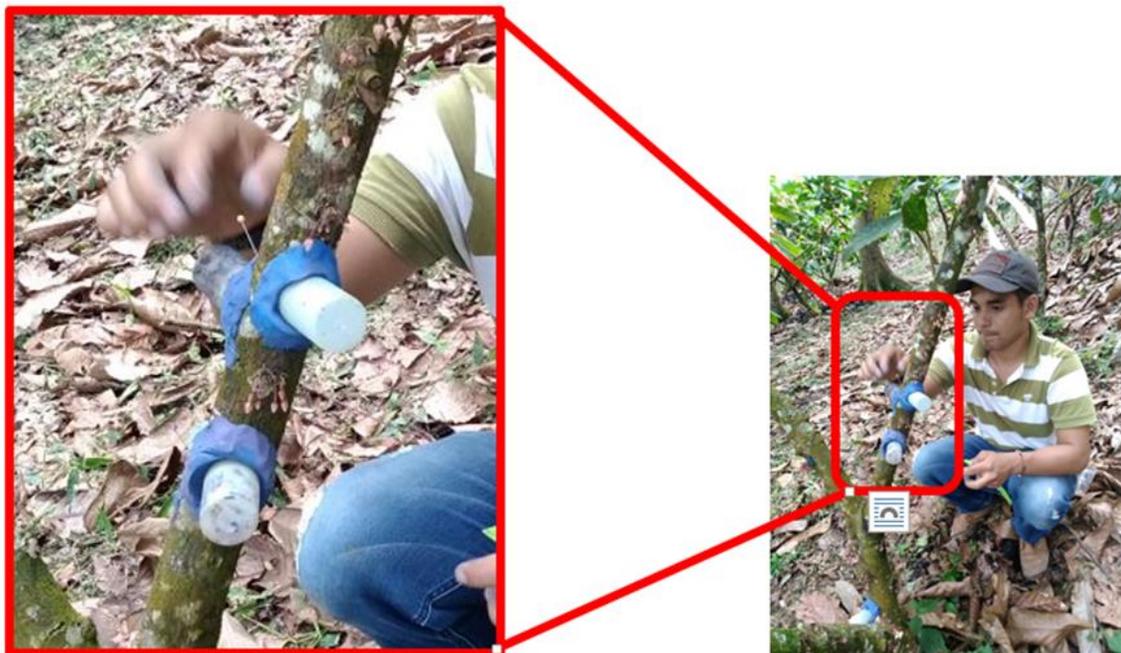
Referencias bibliográficas

- Acevedo, O. (06 de febrero de 2018). *Alcaldía San Vicente de Chucuri-Santander*. Obtenido de sitio oficial de San Vicente de Chucuri en Santander, Colombia:
http://www.sanvicentedechucuri-santander.gov.co/informacion_general.shtml#identificacion
- Aranzazu, F., Martínez, N. Rincón, D. Palencia, G. (2009). Materiales de cacao en Colombia, su compatibilidad sexual y modelos de siembra. FEDECACAO – CORPOICA. 27p.
- Ávila. (2007). Determinación de la compatibilidad sexual en clones universales de cacao *Theobroma cacao* L., utilizando tres métodos de indagación, a través de polinización manual controlada, en el municipio de San Vicente de Chucurí, en el departamento de Santander (tesis de pregrado). Instituto Universitario de la Paz escuela de Ingeniería Agronómica, Barrancabermeja-Santander.
- Becker, (2004). Incompatibilidad. Universidad Nacional Agraria, UNA
- Cadavid. Velez, S. (2006). Características de compatibilidad sexual de algunos clones de cacao y su aplicación en siembras comerciales. Compañía Nacional de Chocolates. Medellín. 28p.
- Contrato de pasantía N°.176RH-001SENA-18. (16 de enero de 2018). Suscrito entre la Federacion Nacional de Cacaoteros y Edinson Gonzalez Paez estudiante de la Universidad de pamplona. San Vicente de Chucuri 2018. 3p.
- David S. 2005. Learning about sustainable cocoa production: a guide for participatory farmer training. 1. Integrated crop and pest management. Sustainable Tree Crops Program, International Institute of Tropical Agriculture, Yaoundé, Cameroon.

- Dávalos, J (2016). Grado de Compatibilidad de Clones Seleccionados de Cacao Chuncho (*Theobroma cacao* L.) en el Cat Sahuayaco la Convención. Universidad Nacional De San Antonio Abad Del Cusco, La Convención – Cusco – Perú
- Díaz, E., & Urbina, J. (2015). Estudio sobre la auto- intercompatibilidad de 5 clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), en el Centro de Desarrollo Tecnológico del INTA El Recreo, El Rama, RAAS, en el periodo 2014-2015. Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua, Managua
- Dinero: Incentivan producción de cacao. (2014). Obtenido de <http://www.dinero.com/economia/articulo/promueven-estrategias-cacao/196852>
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., & La Torre, M. I. (2011). Hoja botanica: Cacao. *botconsult GmbH*, 3-14.
- Duarte (2012). Apoyo en actividades del departamento de investigación de la federación nacional de cacaoteros (tesis de pregrado). Universidad francisco de paula Santander. San Vicente de Chucurí-Santander.
- Esteban, L. (2012). Plan de acción territorial para la prevención, atención, asistencia y reparación integral a las víctimas del conflicto armado residentes en San Vicente de chucuri. Obtenido de: <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/sanvicentedechucurisantanderpat2012.pdf>
- FEDECACAO. (02 de febrero de 2018). Federación Nacional de Cacaoteros. Obtenido de Federación Nacional de Cacaoteros el caocultor es lo primero: <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/>

- Federación Nacional de Cacaoteros. (2016). Guía técnica para el cultivo del cacao. Séptima edición. FEDECACAO, 28-100.
- Federación Nacional de Cacaoteros-Fondo Nacional del Cacao. (2018). Plan de Inversión y Gastos y Presupuesto De Ingresos y Gastos Del Fondo Nacional Del Cacao. *FEDECACAO*, 25-40.
- García, B. (03 de Diciembre de 2015). *Cacao de oro para el mundo*. Obtenido de Iberoamerica divulga: <http://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/?Cacao-de-oro-para-el-mundo>
- García, L. (2011). Recopilación y análisis de información científica para la elaboración de la hoja botánica del cacao (*Theobroma cacao* L). Obtenido de *botconsult GmbH*: <http://www.botconsult.com>
- Gomez, A., Ramos, G. (s.f). Polinizacion dirigida en cacao. Obtenido de INIA: <http://www.capecve.org/buscador/archivos/14.pdf>
- Gutiérrez, M. Bacalla L. (2007). Fermentación del Cacao en Dos Diseños de Cajas de Madera. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2003000200005
- REGLAMENTO ESTUDIANTIL. Acuerdo No.186 [02 de diciembre de 2005]. Por el cual compila y actualiza el Reglamento Académico Estudiantil de Pregrado. Pamplona. 2005. 20 p.
- Terreros, J., Chavarro, G. Ocampo F. (1983). Determinación de los genotipos de incompatibilidad o compatibilidad en varios cultivares de cacao (*Theobroma cacao* L). Medellín, El Cacaotero Colombiano. Vol. 24. P 27-37
- Waizel, S., Waizel, J., Serrano, J., & Campos, P. (2012). Cacao y chocolate: seducción y terapéutica. *Medigraphic*, 236-245.

Anexos



Anexo 1. Polinización artificial en cacao. Fuente: autor



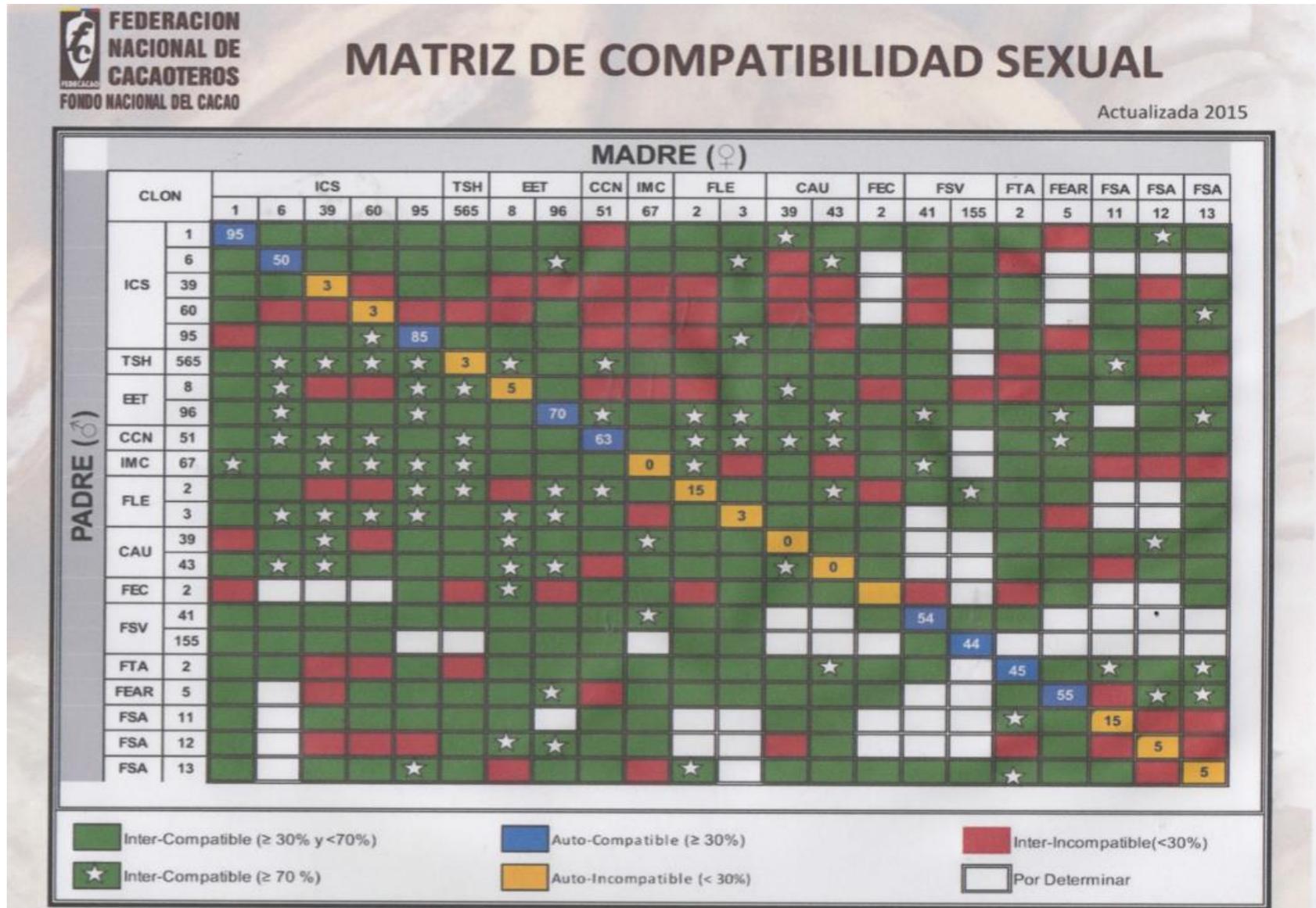
Anexo 2. Cruce identificado y efectivo. Fuente: autor

FECHA	CRUCE		# FLORES POLINIZADAS	FLORES PRENDIDAS A LOS				FINCA
	♀	♂		3 DIAS	7 DIAS	15 DIAS	30 DIAS	
10-04-18	F61-4	F61-4	23	4	4	4	4	
10-04-18	F61-4	FEC-2	15	2	2	2	2	
11-04-18	FEC-2	F61-4	30	3	2	2	2	
12-04-18	CCN-51	F61-4	9	5	4	4	4	
12-04-18	F61-4	CCN-51	26	9	4	4	4	
13-04-18	F61-4	FEC-2	10	3	2	2	2	
13-04-18	CCN-51	F61-4	4	4	3	3	3	
17-04-18	FMA-7	FMA-7	21	8	7	-	-	
17-04-18	CCN-51	F61-4	50	22	18	18	18	
17-04-18	FEC-2	F61-4	13	6	5	5	5	
18-04-18	FMA-7	FMA-7	22	14	-	-	-	
18-04-18	F61-4	F61-4	25	15	13	13	13	
18-04-18	FEAR-5	F61-4	18	17	15	15	15	
20-04-18	F61-4	F61-4	13	5	4	3	3	
20-04-18	FEC-2	F61-4	77	8	8	8	8	
20-04-18	F61-4	FEC-2	22	4	2	2	2	
21-04-18	FMA-7	FMA-7	77	13	7	7	7	
23-04-18	F61-4	FEAR-5	32	6	3	3	3	
23-04-18	F61-4	CCN-51	34	9	8	8	8	
23-04-18	FEAR-5	F61-4	26	20	15	15	15	

OBSERVACIONES

EDINSON GONZALEZ P.
TECNICO RESPONSABLE

Anexo 3. Formato para toma de datos de compatibilidad sexual. Fuente: FEDECACAO-Fondo Nacional del Cacao, (2018)



Anexo 4. Matriz de compatibilidad sexual de los materiales más usados en Colombia. (Fuente: FEDECACAO, 2016)

 FEDERACION NACIONAL DE CACAOTEROS		Condiciones climaticas Granja Villa Monica 2018		
MES	PPT (mm)	Temperatura °C	HR	# DIAS LLUVIA
Enero	139.3	21.7	71.03	7
Febrero	65.8	22.9	69.9	3
Marzo	214.5	22.8	78.3	14
Abril	320.0	22.7	86.0	19
Mayo	220.0	22.0	81.0	14

Anexo 5. Datos climáticos de la Granja Villa Monica año 2018, Fuente: FEDECACAO,

(2018)