

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Agronomía Tropical



**Compatibilidad sexual de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao L.*),
en el Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), Tarapoto-San Martín.**

Tesis presentado por el bachiller **Yerwin Salinas
Atausinchi,**

Para optar al título profesional de **Ingeniero
Agrónomo Tropical.**

Asesores:

MSc. Luis Justino Lizárraga Valencia

Ph D. Isaias Merma Molina

Ing. Juan Arévalo Gardini

Patrocinador: Instituto de Cultivos Tropicales

CUSCO-PERÚ

2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, asesor del trabajo de investigación/tesis titulado: **COMPATIBILIDAD SEXUAL DE NUEVE GENOTIPOS DE CACAO (*Theobroma cacao L.*)**, EN EL INSTITUTO DE CULTIVOS TROPICALES (ICT), TARAPOTO-SAN MARTIN, presentado por: **Yerwin Salinas Atausinchi** con Nro. de DNI: 74889960, para optar el título profesional/grado académico de **Ingeniero Agrónomo Tropical**.

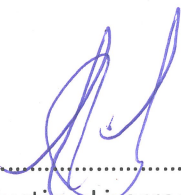
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del *Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC* y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 4%

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 15 de Octubre de 2022



M.Sc. Luis Justino Lizarraga Valencia
Nro. de DNI: 23902170

ORCID del Asesor: 0000-0001-5600-7998
ORCID 2 del Asesor: 0000-0001-8245-7829
ORCID 3 del Asesor: 0000-0001-9870-7714

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid:27259:172518608

NOMBRE DEL TRABAJO

Tesis.grado - Dictamen corregido.docx

AUTOR

Yerwin Salinas

RECUENTO DE PALABRAS

11327 Words

RECUENTO DE CARACTERES

62369 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

69 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

8.5MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 14, 2022 12:04 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Oct 14, 2022 12:05 AM GMT-5**● 4% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 4% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente

Contenido

Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Resumen	vi
Introducción.....	viii
I Problema objeto de investigación	1
1.1. Identificación del problema objetivo de investigación.....	1
1.2. Formulación del problema.....	2
1.2.1. Pregunta principal de la investigación	2
1.2.2. Preguntas específicas de la investigación	2
II Objetivos y justificación	3
2.1. Objetivos	3
2.1.1. Objetivo general.....	3
2.1.2. Objetivos específicos	3
2.2. Justificación.....	3
III Hipótesis	5
3.1. Hipótesis general	5
3.2. Hipótesis específicas	5
IV Marco teórico	6
4.1. Aspectos generales.....	6
4.1.1.- Origen y clasificación genética del cacao	6
4.2. Taxonomía y botánica del cacao.....	6
4.2.1. Taxonomía.....	6
4.2.2. Botánica.....	7
4.3. La compatibilidad sexual en el cultivo de cacao.....	13

4.3.1. Fenómenos de la incompatibilidad sexual y compatibilidad sexual	13
4.3.2. Proceso de cuajado de frutos	17
V. Diseño de la investigación	19
5.1. Tipo de investigación	19
5.2. Ubicación espacial y temporal de la investigación	19
5.2.1. Ubicación política.....	19
5.2.2. Ubicación geográfica	19
5.2.3. Ubicación temporal	19
5.2.4. Condición climática.....	19
5.3. Materiales y método.....	20
5.3.1. Materiales	20
5.3.2. Método.....	25
VI Resultados y discusión	30
6.1. Determinación de la intercompatibilidad y autocompatibilidad	30
6.2. Porcentaje de índice de retención a los tres, quince y treinta días	36
VII Conclusiones y sugerencias	42
7.1. Conclusiones.....	42
7.2. Sugerencias	43
VIII Bibliografía	44
IX Anexos	51

Dedicatoria

Este trabajo de investigación dedico a mi padre Eugenio Salinas Aquino, quien siempre me motivó y me apoyó de manera constante en mi formación profesional; de la misma forma, agradezco a mi madre Roxana Atausinchi Quispe por su sacrificio incondicional, por permitir realizarme toda una persona correcta, por sus llamadas de atención y guía constante durante mi vida.

A mis hermanos Harry, Jerson, Yomenny y Lucero, a mis abuelos y tíos que siempre estuvieron pendiente de mis estudios. Me apoyaron y motivaron constantemente hasta lograr el camino que tracé desde mi infancia.

Dedico este trabajo a toda la familia ICT, por brindarme y facilitarme sus materiales y el área de experimentación. Sin ellos, hubiera sido imposible realizar este trabajo de investigación. Desde luego, son muchas las personas a las que les debo bastante.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a la Facultad de Ciencias Agrarias, a la Escuela Profesional de Agronomía Tropical por permitirnos ser profesionales de calidad, excelencia y éxito.

Al Dr. Enrique Arévalo Gardini, por permitirme realizar y apoyarme en la elaboración de este trabajo de investigación y a su distinguida y prestigiosa institución ICT.

A mi amigo, a quien considero como un hermano más, el M. Sc. Abel Farfán Pinedo que siempre estuvo guiándome constantemente en la elaboración y ejecución de este trabajo de investigación. Siempre permaneció pendiente de mi bienestar y me motivó de manera constante.

Al Mgt. Luis Justino Lizárraga Valencia, Ph D. Isaías Merma Molina y el Ing. Juan Arévalo Gardini por permitirme ser mis asesores en este trabajo de investigación.

A mis compañeras Josselyn A. Revollar Mateo, Yanira A. Lloclla Saire, Luz C. Vila Cuadros, Diana Elaquita Mamani, Deny M. Vera Fuentes, Jessica Capani Condori, Keila Paitan Porras, Luz Y. Valverde Manuyama, e Ivonne K. Tapia Llanco, por apoyarme incondicionalmente.

A todos los trabajadores y equipo técnico de la familia ICT por brindarme su experiencia y conocimiento.

Resumen

La incompatibilidad, es uno de los fenómenos que se hace presente en la mayoría de los cacaotales de la región San Martín y afecta la economía de los agricultores. Bajo ese considerando, la presente investigación tiene como título: compatibilidad sexual de nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.), en el Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), Tarapoto-San Martín. El objetivo general es Identificar la compatibilidad sexual entre los nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Estación Experimental el Chocliño del Instituto de Cultivos Tropicales del distrito de la Banda de Shilcayo-Tarapoto, San Martín. La investigación es cuantitativa de estudio no experimental, transversal exploratorio. Para realizar las cruzas se seleccionó nueve genotipos de cacao (ICT-1112; ICT-1176; ICT-2174; ICT-2315; ICT-2501; ICT-2825; CCN-51; TSH-565; IMC-67), teniendo un total de 81 cruzas, de las cuales se seleccionaron 20 flores para cada craza, realizándose un total de 1620 polinizaciones. Se aisló flores masculinas y flores femeninas un día antes de la polinización para evitar posibles polinizaciones foráneas. Se prosiguió con la polinización manual de flores individuales al día siguiente durante las primeras horas del día. A nivel de los resultados, en la intercompatibilidad, se tuvo 72 polinizaciones cruzadas, de las cuales se obtuvo 64 cruzas intercompatibles y 8 cruzas interincompatibles. Del total de cruzas intercompatibles (64 cruzas), 38 cruzas lograron ser $\geq 70\%$ a nivel del índice de retención (IR); el resto se encuentra en el rango de $\geq 30\%$ y $< 70\%$. En las cruzas autocompatibles se tuvo 9 combinaciones, de las cuales, 5 cruzas fueron autocompatibles y 4 cruzas autoincompatibles. Por lo que, las combinaciones con el $IR \geq 70\%$ indican que hubo mayor cuajado de frutos (altamente compatibles), recomendándose estos clones para la instalación de parcelas nuevas. Por otro lado, las

cruzas ICT-1112xICT-2174, ICT-1112xTSH-565, ICT-1176xCCN-51, ICT-2174xTSH-565, ICT-2315xICT-1176, ICT-2315xICT-2315, ICT-2501xICT-2315, ICT-2825xICT-1112, ICT-2825xCCN-51, TSH-565xCCN-51, CCN-51xICT-2174 y el ICT-2315xICT-2315 mantuvieron los índices de retención a los tres, quince y treinta días después de la polinización.

Palabras clave: compatibilidad sexual, clones, índice de retención, polinización, *Theobroma cacao L.*

Introducción

El Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) hasta el 2018, tiene registrado un área de 160 419 ha de cultivo de cacao en todo el Perú y, la producción total es de 134 676 ton. Para la región San Martín, el cacao es un cultivo de vital importancia porque a nivel nacional es la región con mayor producción y tiene una gran relevancia porque a muchas familias les permite subsistir. Sin embargo, el rendimiento es bajo en la región a diferencia de otros países y este fenómeno es evidente por muchas causas: presencia de plagas y enfermedades, falta de capacitación y sobre todo la presencia del fenómeno de la incompatibilidad sexual.

Según el MINAGRI y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en el Perú, el rendimiento promedio de cacao es bajo y uno de los factores que influye es la incompatibilidad sexual en los clones de cacao. Esta manifestación según **Enríquez (1999)** afecta gravemente la producción. En tal sentido, se hace evidente que la incompatibilidad sexual es un problema profundo y particular. Esta situación se observa cuando existe una floración en cantidad en los árboles de cacao, sin embargo, el cuajado de frutos es poca. Empero, los agricultores realizan las labores culturales como la poda, fertilización, desmalezado, control y manejo de plagas y enfermedades, etc.

Por otro lado, los fenómenos de la incompatibilidad sexual son expresados por distintos factores y una de las más importantes es de naturaleza genética. La compatibilidad sexual permite el cuajado de los frutos; en cambio, la incompatibilidad sexual favorece la abscisión de las flores. Si a los tres días se fecunda de manera satisfactoria, el ovario inicia con el desarrollo del fruto; pero, si no hubo fecundación, la caída se hace inminente

(abscisión de la flor). Sin embargo, para determinar la compatibilidad sexual es suficiente probar veinte polinizaciones; si de estas fecundan seis o más flores, es un indicador de que las cruzas son intercompatibles o autocompatibles, en cambio, si son inferiores a seis las cruzas son interincompatibles o autoincompatibles.

En ese sentido, la presente tiene como objetivo general Identificar la compatibilidad sexual entre los nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Estación Experimental el Choclino del Instituto de Cultivos Tropicales del distrito de la Banda de Shilcayo-Tarapoto, San Martín. Asimismo, tiene como finalidad evitar la instalación y rehabilitación de parcelas nuevas con problemas de incompatibilidad y de esta forma, permite promover un incremento en la producción y mejorar el ingreso económico de los agricultores.

I Problema objeto de investigación

1.1. Identificación del problema objetivo de investigación

Según las fuentes estadísticas de la FAO al 2017, el rendimiento promedio mundial es de 457.47 Kg/ha en el cultivo de cacao. Encabeza el ranking de rendimiento Tailandia y Guatemala con 2 777.8 kg/ha y 2 710.8 kg/ha respectivamente.

Para el MINAGRI el Perú tiene un rendimiento de 827 kg/ha. La región Junín y La Libertad encabezan la lista con una proporción de 1 192 kg/ha y 1 161 kg/ha respectivamente. La región San Martín tiene el rendimiento de 950 kg/ha en promedio, ocupando el sexto lugar en ranking de rendimientos al 2018. La diferencia es notable en el rendimiento por hectárea en nuestro país y es muy ínfima a los que obtiene Tailandia y Guatemala.

En el cultivo de cacao, la incompatibilidad sexual afecta directamente la fructificación y es una limitación sustancial en la producción (**Da Silva et al., 2016**). Por lo que instalar parcelas con clones incompatibles ocasiona la vana labor polinizadora de los insectos (*Forcipomyia*); porque según **Soria (1971)** son los responsables de la polinización. En ese sentido, la incompatibilidad durante la polinización, es un factor que merma de manera drástica la producción (**Dávalos, 2016**). El desconocimiento de este fenómeno por parte de los agricultores en la región San Martín y a nivel nacional: ocasiona el bajo rendimiento. La mayoría de los agricultores instalan nuevas parcelas sin conocer el fenómeno de la incompatibilidad de los clones y resultan estas totalmente improductivas. El ICT seleccionó y colectó 44 genotipos de cacao con fines de productividad, resistencia a enfermedades y sequía. Por ello, mediante el presente estudio se pretende dar solución al problema del bajo rendimiento a consecuencia de la incompatibilidad sexual,

identificando clones compatibles y mostrar de esa forma el verdadero potencial productivo de los clones de cacao.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Pregunta principal de la investigación

¿Cuál será la compatibilidad sexual entre los nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la Estación Experimental el Choclino?

1.2.2. Preguntas específicas de la investigación

¿Cuál será la intercompatibilidad y autocompatibilidad entre los nueve genotipos de cacao en la Estación Experimental el Choclino?

¿Cuál será el porcentaje de índice de retención a los tres, quince y treinta días después de la polinización entre los nueve genotipos de cacao en la Estación Experimental el Choclino?

II Objetivos y justificación

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo general

Identificar la compatibilidad sexual entre los nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la Estación Experimental el Choclino del Instituto de Cultivos Tropicales del distrito de la Banda de Shilcayo-Tarapoto, San Martín.

2.1.2. Objetivos específicos

Identificar los clones intercompatibles y autocompatibles entre los nueve genotipos de cacao en la Estación Experimental el Choclino.

Identificar el comportamiento de las cruzas a nivel del porcentaje de índice de retención a los tres, quince y treinta días después de la polinización entre los nueve genotipos de cacao en la Estación Experimental el Choclino.

2.2. Justificación

Existen genotipos de cacao de la colección ICT, que han sido colectados en las provincias de Tocache y Juanjui de la región San Martín que son productivas y comerciales. Sin embargo, no tienen estudios de compatibilidad sexual y en la actualidad muchos agricultores de la región vienen cultivando clones autoincompatibles e interincompatibles. El fenómeno de la incompatibilidad afecta gravemente la economía familiar de los lugareños porque se tiene un bajo rendimiento en el cultivo.

La determinación de la compatibilidad sexual entre los nueve genotipos de cacao de la colección ICT es indispensable para conocer el grado de compatibilidad; porque permite que cada genotipo muestre su potencial fecundador de óvulos y receptor de polen. Estos resultados posibilitan plantear diseños de plantación.

Por otro lado, identificar el comportamiento del porcentaje de índice de retención en los genotipos de cacao permite conocer la capacidad de mantener en desarrollo las mazorcas de cacao desde el momento del cuajado de las flores hasta los treinta días después de la polinización. Resultado que es indispensable saber porque garantizará la seguridad del agricultor con relación a la permanencia de los frutos desde el momento del cuajado hasta la cosecha.

Es por ello que es imprescindible el presente estudio porque beneficia a los agricultores en la rehabilitación o instalación de parcelas nuevas y favorece al ICT como base para futuras investigaciones.

III Hipótesis

3.1. Hipótesis general

La compatibilidad sexual entre los nueve genotipos de cacao (*Theobroma cacao L.*) en la Estación Experimental el Choclino es autocompatible e intercompatible.

3.2. Hipótesis específicas

La autocompatibilidad e intercompatibilidad entre los nueve genotipos de cacao en la Estación Experimental el Choclino es mayor o igual al 30%.

El índice de retención en las cruzas se mantiene a los tres, quince y treinta días después de la polinización entre los nueve genotipos de cacao en la Estación Experimental el Choclino.

IV Marco teórico

4.1. Aspectos generales

4.1.1.- Origen y clasificación genética del cacao

Ávila (2013) y Enriquez (1985) refieren que el cacao, es una planta originaria de América. Para Fins et al. (2013) el cacao tiene origen en las cabeceras del río Amazonas e inicia en el Perú, pasa por Ecuador y Colombia y, crece de manera natural en los bosques.

Zhang y Motilal (2016) afirman que en el Perú, Colombia, Ecuador, Brasil, Bolivia, Guyana y French Guinea se realizaron grandes expediciones de colecta de cacao. Se dio a conocer una gran diversidad genética del cacao en la región amazónica de América del Sur. Zarrillo et al. (2018) reafirman la hipótesis de que el cacao fue domesticado en América del Sur y es el lugar más remoto de la domesticación y que posteriormente fue llevado a Mesoamérica y Centroamérica.

Estrada et al. (2011) mencionan que existe una gran cantidad de variedades de cacao. La riqueza genética es amplia; aunque originalmente existían dos tipos: el forastero y el criollo. El trinitario se originó a partir de estas dos especies. Empero, para Motamayor et al. (2008) existen 10 tipos genéticos de cacao de los cuales son el Amelonado, Contamana, Criollo, Curaray, Guiana, Iquitos, Marañón, Nacional, Nanay y Purús.

4.2. Taxonomía y botánica del cacao

4.2.1. Taxonomía

De acuerdo a Cronquist (1981), la taxonomía del cultivo de cacao queda definida de la siguiente manera:

Reino: Vegetal
Subreino: Tracheobionta
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Subclase: Dilleniidae
Orden: Malvales
Familia: Esterculiácea
Género: Theobroma
Especie: *Theobroma cacao* L.

4.2.2. Botánica

Gómez y Rivero (2005) afirman que la planta de cacao es un árbol del trópico que crece en climas húmedos y cálidos. El árbol es pequeño entre 4 y 8 metros de altura. El fruto, en promedio, puede poseer una longitud de 15 cm a 25 cm. La mazorca contiene 30 y 40 semillas aproximadamente; en cambio para **Ávila (2013)**, el árbol tiene la copa redondeada y tiene un ancho de 2 a 4 metros. El ciclo vegetativo es perenne, el tronco es recto y la forma depende de las podas de formación (**Arrazate et al., 2011**).

4.2.2.1. Raíz

Enriquez (1985) afirma que la planta de cacao que proviene de la semilla, posee una raíz principal pivotante y crece entre 1.20 a 1.50 metros; usualmente alcanza los 2 metros. En los primeros 20 y 25 centímetros se desarrolla una gran cantidad de raíces laterales secundarias que origina a otras terciarias y así sucesivamente. Casi todas las raicillas se ubican en la parte superficial del suelo y se encuentran a la altura de la copa del árbol.

Por otro lado, **Batista (2009)** menciona que aquellas plantas que fueron reproducidos por medios asexuales o vegetativos no desarrollan raíces pivotantes; en cambio, si raíces primarias y secundarias de crecimiento horizontal. Para **Pinzón y Rojas (1998)** las raíces

expuestas en la superficie del suelo, tienen el riesgo de que sean dañadas fácilmente cuando se realizan las labores culturales.

4.2.2.2. Tallo

El tallo que proviene de semilla crece de manera vertical (ortotrópico). Llega a formar el primer verticilo a unos 80 a 100 centímetros de altura. El tallo es cubierto por hojas que poseen peciolo largo y forman una espiral filotáctica de 3/8. Después del primer año, en el tallo se desarrollan las yemas axilares y que en conjunto se llama horqueta o verticilo. Cuando la horqueta inicia con el crecimiento lateral (plagiotrópicas), el crecimiento del tallo principal en la altura se suspende por lo que la yema terminal desaparece. Después de un tiempo, por debajo de la horqueta, le sucede otra yema a la cual se le llama chupón (posee las características propias del tronco original) y llega a formar un segundo verticilo. Normalmente sucede a los 80 ó 100 centímetros (**Enriquez, 1985**).

Las ramas laterales se desarrollan formando un ángulo de 45°. La formación de los chupones de manera frecuente se repite unas 4 veces (**Batista, 2009**). En cuanto a la reproducción asexual, **Pinzón y Rojas (1998)** mencionan que una yema injertada o reproducida mediante estacas, el crecimiento es diferente al de la planta reproducida por semilla.

4.2.2.3. Hoja

Las hojas son alargadas, simples, enteras y de color verde. Las hojas tiernas van desde verde pálido, claro café y morado rojizo (**Ávila, 2013**). Las más pigmentadas generalmente se encuentran entre los cacaos trinitarios y criollos; las menos pigmentadas son los amazónicos (**Enriquez, 1985**). Las hojas adultas son

completamente verdes, de lámina entera y simple. Tiene formas que van desde lanceolada a casi ovalada, con margen entero, ambas superficies glabras y nervadura pinnada. El ápice de la hoja es agudo y el nervio central es prominente (**Batista, 2009**).

Figura 1
Hoja de cacao



Fuente. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

4.2.2.4. Inflorescencia

La inflorescencia es cimosa y caulinar (**Dostert et al., 2011**). Para **Enriquez (1985)** y **Navarro y Mendoza (2006)** las inflorescencias se ubican en la base de las hojas, alrededor de la cicatriz que dejan las hojas aparecen en grupo ligeras prominencias florales, es por eso que se denomina planta caulífloa al cultivo de cacao. Por otro lado, es importante no dañar la parte basal de los cojines florales si es que se pretende obtener una buena producción. Durante el crecimiento y la formación de la inflorescencia, se transforma en una masa bastante densa que mientras se desarrolla forma un cojín floral que agrupa entre 40 y 60 flores (**Batista, 2009**).

4.2.2.5. Flor

Las flores del cacao se distribuyen a lo largo del tronco y las ramas; se agrupan en los sitios denominados cojines florales. La flor es caulinar; es decir, se produce en el tronco, ramas y tallos leñosos **(Pinzón y Rojas, 1998)**. Las primeras flores aparecen en el tallo uno o dos años después de que el tallo se ha lignificado **(Dostert et al., 2011)**. Según **Rondón y Cumana (2005)**, las flores son bisexuales, actinomorfas y completas, es hipógina y posee cinco sépalos. Asimismo, tiene cinco pétalos imbricados y libres entre sí; posee capucha siendo esta glabra o pilosa, generalmente es de color púrpura. Tiene cinco estambres fértiles, opuestos a los pétalos con dos anteras bitecas cada uno, asimismo, posee cinco estaminodios. El gineceo tiene un ovario súpero, sincárpico de cinco carpelos y cinco lóculos con óvulos en placentación axial con estilos conniventes, filiformes y estigmas agudos.

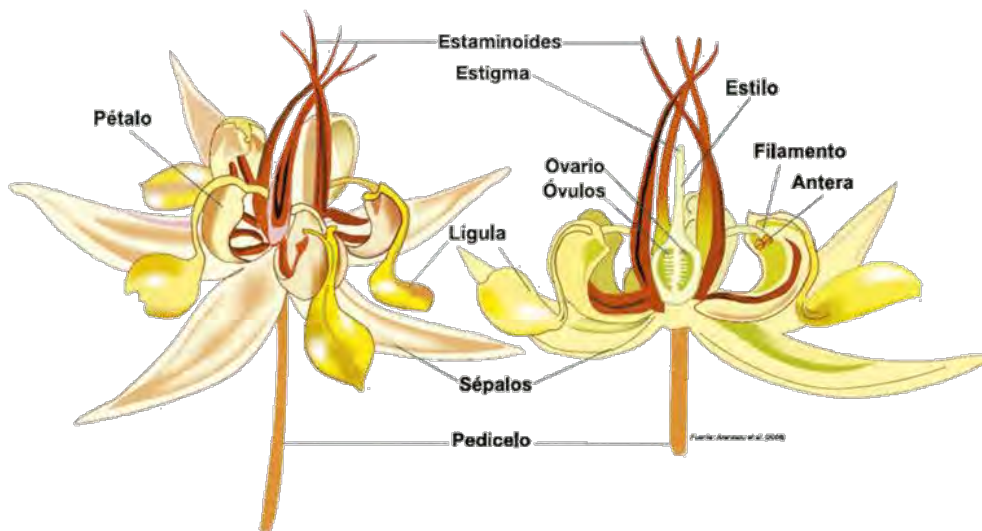
Desde el momento en que se abre el botón floral hasta la apertura, es de aproximadamente 30 días **(López, 2018)**. La apertura de la flor inicia con el agrietamiento del botón floral en horas de la tarde. Al día siguiente, durante la mañana, la flor está abierta por completa **(Estrada et al., 2011)**. La velocidad de la apertura de la flor depende del ambiente, cuanto más seco y exista luz brillante, es más rápida. Los sacos polínicos dan apertura por la mañana y son funcionales casi inmediatamente. Las anteras están cargadas de polen, se abren y están viables; empero, la viabilidad del polen es corta (48 horas aproximadamente) y es la única etapa disponible para la polinización **(Enriquez, 1985)**. Si el botón floral no es fecundado por problemas de incompatibilidad genética, se cae pasado los tres días (Barahona, 1987) citado por **(Córdoba, 2011)**. Por otro lado, Addicott (1982), Morgan (1984), Osborne (1991) y Sargent et al. (1984) citado por **Aneja**

et al. (1999) indican que, si la flor no fue fecundada durante el periodo de 48 horas, inevitablemente sucede la abscisión (caída de la flor); en cambio, si se logró la polinización y fecundación de los óvulos, la abscisión de estas no se lleva a cabo. Por lo que los gametos masculinos y femeninos están viables durante 48 horas.

Por otro lado, **Trujillo (1953)** indica que el desarrollo de frutos con mayor o menor número de semillas depende del polen respecto a su germinación, crecimiento y fecundación del tubo polínico.

Una característica muy particular de una planta autoincompatible, es que esta, siempre presentará una gran cantidad de flores por cojinete, proliferación de los haces florales, presencia de ramas en los haces florales, escasa fructificación y muerte de los frutos jóvenes (Vera, 1969) citado por **(Quinaluisa, 2010)**.

Figura 2
Flor de cacao



Fuente. CATIE.

4.2.2.6. Fruto

El fruto es el resultado de la maduración del ovario después de ser fecundado. La mazorca es sostenida por un pedúnculo leñoso y este es el resultado de la maduración

del pedicelo floral. El pericarpio o cáscara está formado por tres partes: el exocarpo o sección exterior, mesocarpo y el endocarpo. La maduración del fruto varía por genotipos (tiempo de 5 a 7 meses) y depende muchas veces del ambiente; entre mas cálido y húmedo el tiempo es más rápido la maduración (**Enriquez, 1985**). La mazorca del cacao tiene una forma angoleta, amelonado, cundeamo y calabacillo variando según el tipo o la especie (**Batista, 2009**).

Figura 3
Frutos de cacao



Fuente. ICT.

4.2.2.7. Semilla

Las almendras son de tamaño variable (1.2 a 3 centímetros). Tiene cubierta con un mucílago o pulpa de color blanco cremoso de diversos sabores y aromas (floral, frutal, etc.); grados de acidez, dulzura y astringencia. En el interior de la almendra se encuentran los cotiledones que pueden ser de color morado, violeta, rosado o blanco; variando según el genotipo (**Arrazate et al., 2011**). Por otro lado, **Batista (2009)** afirma que el fruto del cacao puede contener entre 20 a 60 semillas aproximadamente, cuyo tamaño y forma varía según el tipo genético. La semilla no necesita un período de reposo

para su germinación. Por otro lado, el alto número de semillas en un fruto, puede explicarse por el alto número de granos de polen de sí mismos compatibles en el estigma (proceso de polinización) (Falque et al., 1996).

4.3. La compatibilidad sexual en el cultivo de cacao

Pantoja (2014) afirma que la polinización, es el traslado del polen desde los estambres al estigma, proceso que facilita la fecundación. **Enriquez (1985)** y **Arrazate et al. (2011)** indican que el cacao es una especie altamente alógama. Se estima que la polinización cruzada está por encima del 95%; por ello, depende de la acción de los insectos del género *Forcipomyia* (polinización entomófila). Además, **Córdoba et al. (2013)** indican que el polen es pegajoso y no se mueve fácilmente con el viento o la lluvia. Por lo que la polinización recae de manera necesaria sobre los insectos polinizadores.

La planta de cacao es autocompatible cuando las flores son polinizadas con una efectividad mayor o igual al 30% y puede ser el polen de ella misma o un polen de flores del mismo árbol. Sin embargo, la intercompatibilidad es un cruce intercompatible cuando en porcentaje es mayor o igual al 30%; pero, las flores deben ser fecundadas con polen de otra planta (**Aránzazu et al., 2009**).

La compatibilidad, es una cualidad deseable porque posibilita los cruzamientos y el cuajado de frutos haciendo posible la siembra de los clones de manera individual en áreas uniformes; empero, la incompatibilidad es fuertemente relacionado con la baja producción (Phillis, 2008) citado por (**Téllez et al., 2015**).

4.3.1. Fenómenos de la incompatibilidad sexual y compatibilidad sexual

La incompatibilidad existe en la naturaleza y favorece la variabilidad genética; porque la autofecundación originaría el incremento de la homocigosis (**De Nettancourt, 1997**); por

ello, el mecanismo es controlado genéticamente para prevenir la endogamia en las plantas **(Haring et al., 1990; Stone et al., 1999; Byers y Meagher, 1992)**; por esa razón, el sistema de incompatibilidad (SI) en la polinización cruzada **(Kubo et al., 2010)** y en el autocruzamiento mediante la autoincompatibilidad funcional favorece la diversificación genética a una tasa mayor y significativa de las que no las tienen **(Goldberg et al., 2010)**.

La autoincompatibilidad es un proceso bioquímico de reconocimiento y rechazo. Este proceso involucra la interacción entre el gametofito masculino (grano de polen) y el esporofito femenino (estigma o estilo), por lo que el crecimiento del tubo polínico puede inhibirse en el estigma o en el estilo; al mismo tiempo, existen sustancias que obstaculizan el crecimiento y desarrollo del tubo polínico el cual hace que no llegue a concretarse la fecundación. Esta sustancia *inhibidora del pistilo incompatible* interviene en el crecimiento del tubo polínico del polen compatible **(Baker et al., 1997)**.

El SI, es un sistema de señalización que inhibe o anula la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico a través de los tejidos del pistilo **(Nasrallah y Nasrallah, 1993)**. En varias especies, el no auto-reconocimiento del SI, está controlado por un solo locus polimórfico, el S-locus **(Takayama y Isogai, 2005; Matton et al., 1994)**. Existen diversas teorías acerca de la autoincompatibilidad y esta se fundamenta en que muchas de ellas dependen de una serie de alelos múltiples (S) de un locus simple que pueden ser dominantes y recesivos; empero, la compatibilidad la determina el gen recesivo (Knight y Rogers, 1953) citado por **(Noriega, 2012)**. La autocompatibilidad es recesiva en cacao; por ello, todos los árboles incompatibles en la población deben ser heterocigotos para poseer la compatibilidad **(Godoy, 2009; Warren y Misir, 1995)**.

Según **Seavey y Bawa (1986)**, en la mayoría de plantas autoincompatibles, el desarrollo del tubo polínico en flores autopolinizadas se inhibe en el estigma o estilo. Se asume que los sistemas SI que operan en el ovario son raras, sin embargo, se presentan evidencias de varias especies vegetales; para mostrar que las barreras SI en el ovario, descritas aquí como el SI de acción tardía son bastante comunes. Los SI de acción tardía se dividen en cuatro categorías: a) inhibición ovárica de tubos polínicos incompatibles antes que alcance el óvulo; b) inhibición de la prefertilización en el óvulo; c) rechazo poszigótico del embrión, y d) inhibición ovular para la cual no se han establecido los detalles.

En el cultivo de cacao, aquellos gametos que no logran fusionarse, pasan por un proceso estrictamente aleatorio. Se demostró que los tubos polínicos en apareamientos incompatibles se desarrollan igual de bien en el estilo, y no se evidenció que la penetración en el saco embrionario por tubos de polen con gametos incompatibles sea controlada de manera selectiva (**Cope, 1962**). Los gametos masculinos entregados en el saco embrionario se ponen en contacto con los gametos femeninos; la proporción de óvulos sin fusión en el ovario será de 25%, 50% y 100%; solo será compatible cuando el porcentaje de fusión sea cerca al 100%, por lo que el cacao es una planta con flores de mecanismo incompatible que se basa en el control genético (**Cope, 1958; 1962**).

Para **Franklin (2008)** la diversidad de los sistemas SI en plantas con flores, se refleja en las diferencias del control genético. El SI en cacao se encuentra entre los sistemas esporofítico y gametofítico (**Pandey, 1960**), pero cabe la probabilidad evolutiva de un sistema completamente *esporofítico* a partir de un gametofítico (**Enríquez, 1999**). En ese sentido, el lugar de reacción de la incompatibilidad en cacao no reside en el estilo sino en el *saco embrionario* (...), siendo este de carácter esporofítico (**Cope, 1958; 1962**;

Soria, 1970; Segovia, 2017; Knight y Rogers, 1955). Brewbaker (1957) confirma la tesis de que familia Sterculiácea tiene un tipo de sistema S, el tipo de polen es binucleado y el lugar o sitio de inhibición es el ovario. **Soria (1970); Newbiggin et al. (1993); Jiménez y Cruz (2011)** estudiaron el sistema de incompatibilidad gametofítico (determinado por el genotipo masculino), donde se evidencia el accionar de los alelos simples que pertenecen a serie de alelos múltiples del mismo locus. Este sistema de incompatibilidad se manifiesta con la inhibición parcial o de crecimiento del tubo polínico en su propio estilo (por lo que existe una interacción entre el polen haploide y el estilo diploide). Por ejemplo, una planta diploide S_1S_2 produce granos de polen genética y fenotípicamente S_1 o S_2 , los granos de polen serán de haploides S_1 o S_2 , y si lleguen a un pistilo S_1S_2 , germinarán y producirán un tubo polínico; empero, como la cruza es incompatible el crecimiento será inhibido en el estilo; si el polen tiene un alelo que está representado en el estilo, el tubo polínico no logra germinar. Es decir, no existe dominancia en el estilo. El tubo polínico crece solamente cuando el alelo de polen no está representado en el estilo (estigma). Para Cruz y McClure (2001) citado por **Jiménez y Cruz (2011)**, si el haplotipo del polen es S_3 , el polen será aceptado y el tubo polínico desarrollará hasta alcanzar el saco embrionario para llevar a cabo la fecundación y como resultado se tendrá a una progenie con individuos S_2S_3 y S_1S_3 . En la incompatibilidad esporofítico, el fenómeno está determinado por el genotipo materno y de manera general existen reacciones de dominancia y recesividad entre alelos, como también hay casos de igualdad de acción entre los alelos $S_2=S_3$ en cacao. Por ejemplo, una planta heterocigota S_1s_2 produce polen S_1 y s_2 , pero con fenotipos S_1 dominante y s_2 recesivo. Por ello, la incompatibilidad en cacao tiene predominancia esporofítico, la constitución diploide de

los tejidos paterno y materno determinan el fracaso o éxito de la polinización, además hay plantas autocompatibles las que aparentemente tienen un alelo so recesivo a todos los alelos de autoincompatibilidad (**Newbigin et al., 1993; Soria, 1970**). Kinght y Rogers (1953) citado por **Soria (1970)** plantearon la relación de dominancia $S1>S2=S3>S4>S5$

4.3.2. Proceso de cuajado de frutos

La incompatibilidad se presenta cuando un polen de un clon no logra fertilizar el ovulo del mismo (McCubbin y Kao, 2000) citado por (**Takayama et al., 2001**) y (**Wittmann y Agnol, 2002**); o de otros clones (**Godoy et al., 2009**); en ambos casos no existe la formación de las semillas. Para **Baker et al. (1997)** y **Pineda (1953)**, el crecimiento del tubo polínico después de una polinización compatible e incompatible, el polen germina en la mayoría de los casos a las 4 h, el tubo polínico crece hasta la base del estilo en un periodo de 8 h, los tubos de polen atrapan la mayoría de los óvulos en los carpelos a las 16 h, la entrega de las células espermáticas y la fertilización se complementan entre las 16 y 24 h posteriores a la polinización. Las hormonas de etileno, ácido abscísico y auxina después de la polinización intervienen. La auxina se incrementa de manera sustancial en flores polinizadas compatibles y de manera regular en las flores polinizadas incompatibles. El ácido abscísico se elevó en flores polinizadas incompatibles y en flores compatibles no polinizadas (24 h después), pero no en flores polinizadas compatibles. El etileno, a las 24 horas, aumenta dramáticamente en flores no polinizadas e incompatiblemente polinizadas promoviendo la abscisión, pero no en flores polinizadas compatibles. Por lo que el cuajado o no del fruto se sabe a ciencia cierta a los 3 días posteriores a la polinización. Addicott (1982); Morgan (1984); Osborne (1991); Sargent et al. (1984) citado por **Aneja et al. (1999)** confirman que la eliminación de flores y frutos

cuajados está controlada por 3 hormonas: ácido abscísico, auxina y etileno; si no se fecunda la flor sucede la abscisión y si se fecunda, la abscisión no sucede. Por otro lado, si una flor es fecundada menos del 50% de sus óvulos, ocurre la marchitez del pepino (Cope, 1957) citado por **(Aranzazu et al., 2008)**.

V. Diseño de la investigación

5.1. Tipo de investigación

Investigación cuantitativa de estudio no experimental, transversal exploratorio (Sousa et al., 2007).

5.2. Ubicación espacial y temporal de la investigación

5.2.1. Ubicación política

La estación experimental se ubica en el sector de Choclino, propiedad que pertenece al ICT.

E.E.:	El Choclino
Distrito:	Banda de Shilcayo
Provincia:	San Martín
Región:	San Martín

5.2.2. Ubicación geográfica

Latitud Sur:	06°28'37.3"
Longitud Oeste:	76°19'54.6"
Altitud:	506 m.s.n.m.

5.2.3. Ubicación temporal

Febrero a Julio del 2019

5.2.4. Condición climática

Tabla 1
Precipitación y temperatura promedio

es	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Precipitación (mm)	84.8	147	112.4	61.9	107.2	94.1	56.2	73.2
Temperatura (°C)	26.09	25.96	26.08	26.39	25.75	25.20	24.64	25.33

Fuente. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

5.3. Materiales y método

5.3.1. Materiales

5.3.1.1. Materiales de campo

Pinzas, vasos de plástico de una onza, cajas Petri, chinches, correctores, micas, tela (organza fina), ligas, plastilinas, cámara fotográfica y escalera.

5.3.1.2. Materiales de gabinete

Calculadora, papel, lapicero, computadora y plumones.

5.3.1.3. Material Vegetal

Se utilizaron seis genotipos de cacao de la colección ICT (ICT-1112; ICT-1176; ICT-2174; ICT-2315; ICT-2501; ICT-2825); dos genotipos internacionales (CCN-51; TSH-565) y 1 genotipo nacional (IMC-67). Además, cabe precisar que la edad de los clones de cacao seleccionados en la Estación Experimental el Choclino es de catorce años.

5.3.1.4. Características de los Clones

Bartra (2009) afirma que los genotipos de cacao de la colección ICT poseen las siguientes características.

Clon ICT-1112

Origen

País:	Perú
Departamento:	San Martín
Provincia:	Juanjui
Sector:	Aucararca

Características

Número de semillas por fruto:	30
-------------------------------	----

Rendimiento (kg/árbol/año): 3013.75
Número óvulos/ovario: 52
Color de pedúnculo (flor): rojo
Color de los estaminodios: morado oscuro
Color de mazorca: amarillo

Clon ICT-1176

Origen

País: Perú
Departamento: San Martín
Provincia: Juanjui
Sector: Aucararca

Características

Número de semillas por fruto: 32
Rendimiento (kg/árbol/año): 2348.56
Número óvulos/ovario: 52
Color de pedúnculo (flor): rojo
Color de los estaminodios: morado oscuro
Color de mazorca: naranja rojizo

Clon ICT-2174

Origen

País: Perú
Departamento: San Martín
Provincia: Tocache

Sector: Alto Almendra

Características

Número de semillas por fruto: 41

Rendimiento (kg/árbol/año): 1501.73

Número óvulos/ovario: 50

Color de pedúnculo (flor): verde

Color de los estaminodios: morado oscuro

Color de mazorca: amarillo

Clon ICT-2315

Origen

País: Perú

Departamento: San Martín

Provincia: Tocache

Sector: Bolívar

Características

Número de semillas por fruto: 39

Rendimiento (kg/árbol/año): 3474.03

Número óvulos/ovario: 50

Color de pedúnculo (flor): rojo

Color de los estaminoides: morado oscuro

Color de mazorca: amarillo

Clon ICT-2501

Origen

País: Perú
Departamento: San Martín
Provincia: Tocache
Sector: Shapajilla

Características

Número de semillas por fruto: 43
Rendimiento (kg/árbol/año): 431.75
Número óvulos/ovario: 50
Color de pedúnculo (flor): rojo
Color de los estaminodios: morado oscuro
Color de mazorca: naranja rojizo

Clon ICT-2825

Origen

País: Perú
Departamento: San Martín
Provincia: Tocache
Sector: Rivera del Huallaga

Características

Número de semillas por fruto: 40
Rendimiento (kg/árbol/año): 1697.48
Número óvulos/ovario: 51
Color de pedúnculo (flor): rojo
Color de los estaminodios: morado oscuro

Color de mazorca: naranja rojizo

Los genotipos CCN-51, TSH-565 e IMC-67 tienen las siguientes características (**García, 2010**).

Clon CCN-51

Origen

País: Ecuador

Características

Número de semillas por fruto: 44
Rendimiento (kg/ha): 2760
Número óvulos/ovario: 57
Color de pedúnculo (flor): rojo
Antocianina en los estaminodios: presente
Color de mazorca inmadura: rojo

Clon TSH-565

Origen

País: Trinidad y Tobago

Características

Número de semillas por fruto: 46
Rendimiento (kg/ha): 2547
Número óvulos/ovario: 52
Color de pedúnculo (flor): rojo
Antocianina en estaminodios: presente
Color de mazorca inmadura: rojo

Clon IMC-67

Origen

País de origen: Perú

Características

Número de semillas por fruto: 45

Rendimiento (kg/ha): 950 kg.

Número óvulos/ovario: 63

Color de pedúnculo (flor): verde pigmentado

Antocianina en los estaminodios: presente

Color de mazorca inmaduro: verde

5.3.2. Método

5.3.2.1. Selección de clones

Se seleccionó seis genotipos de cacao de la colección ICT (ICT-1112; ICT-1176; ICT-2174; ICT-2315; ICT-2501; ICT-2825); estos genotipos poseen alto número de óvulos (**Bartra, 2009**); y 3 genotipos de alta capacidad donadora de polen (CCN-51; TSH-565; IMC-67) (**Aranzazu et al., 2008**); sumando un total de nueve.

5.3.2.2. Matriz de la Compatibilidad

Para las facilidades del etiquetado e identificación de las cruzas, se codificó de la siguiente forma: ICT-1122 (Q); ICT-1176 (R); ICT-2174 (S); ICT-2315 (T); ICT-2501 (P); ICT-2825 (U); TSH-565(V); IMC-67(X) y CCN-51(Y).

Tabla 2
Matriz de compatibilidad

		MADRE								
CRUZA		ICT-1112 (Q*)	ICT-1176 (R*)	ICT-2174 (S*)	ICT-2315 (T*)	ICT-2501 (P*)	ICT-2825 (U*)	TSH-565 (V*)	IMC-67 (X*)	CCN-51 (Y*)
PADRE	ICT-1112 (Q)	Q*Q	R*Q	S*Q	T*Q	P*Q	U*Q	V*Q	X*Q	Y*Q
	ICT-1176 (R)	Q*R	R*R	S*R	T*R	P*R	U*R	V*R	X*R	Y*R
	ICT-2174 (S)	Q*S	R*S	S*S	T*S	P*S	U*S	V*S	X*S	Y*S
	ICT-2315 (T)	Q*T	R*T	S*T	T*T	P*T	U*T	V*T	X*T	Y*T
	ICT-2501 (P)	Q*P	R*P	S*P	T*P	P*P	U*P	V*P	X*P	Y*P
	ICT-2825 (U)	Q*U	R*U	S*U	T*U	P*U	U*U	V*U	X*U	Y*U
	TSH-565 (V)	Q*V	Q*V	S*V	T*V	P*V	U*V	V*V	X*V	Y*V
	IMC-67 (X)	Q*X	Q*X	S*X	T*X	P*X	U*X	V*X	X*X	Y*X
	CCN-51 (Y)	Q*Y	Q*Y	S*Y	T*Y	P*Y	U*Y	V*Y	X*Y	Y*Y

Nota. Los asteriscos representan la cruce entre un genotipo y otro.

5.3.2.3. Actividades realizadas antes de la ejecución de la investigación.

5.3.2.3.1. Sobre la fertilización

El muestreo y el análisis de suelo se realiza cada 2 años. Basado en los resultados del análisis se plantea el suministro de los fertilizantes. La fertilización se realiza cada año.

5.3.2.3.2. Sobre la poda

La poda de los genotipos de cacao y forestales se realiza de forma anual. El periodo de poda se realiza en la etapa de descanso del cultivo de cacao que corresponde a los meses de agosto, setiembre y octubre.

5.3.2.3.3. Sobre la poda fitosanitaria

La poda fitosanitaria y cuantificación de incidencia y severidad se realizan cada 15 días.

5.3.2.4. Metodología de la polinización

5.3.2.4.1. Selección de flores antes de la polinización

Paso 1: antes de iniciar con la polinización se procedió con la eliminación de frutos.

Después, se realizó la selección de flores un día antes de la polinización (3 a 5 de la

tarde), aún cuando estas no abrieron los sépalos (antes) (Falque et al., 1995) citado por **(Falque., 1996)**. Se seleccionaron aquellas flores que tenían características fisiológicamente maduras listas para abrirse al día siguiente por la mañana **(de Jesus Branco et al., 2018)** y **(Alvarado et al., 2017)**.

Paso 2: se limpiaron los cojines florales, liberando a este de musgos y líquenes, flores conjuntas de cacao y de insectos con la finalidad de dejar libre la flor a utilizar. El aislamiento se realizó a flores masculinas y femeninas con vasos de polietileno abiertas a los dos extremos. Un extremo abierto para permitir el ingreso de la flor dentro del vaso y cubierta al otro extremo con una tela (organza fina) sujeta por una liga.

Paso 3: se apegó el vaso en el tronco del árbol de cacao con una plastilina aislándolo por completo la flor; porque según **de Jesus Branco et al. (2018)** la finalidad es evitar posibles polinizaciones no deseadas ya sea por insectos u otros factores polinizadores y cuyo objetivo es proteger las flores femeninas y masculinas. Para asegurar el número de flores femeninas y masculinas para el día siguiente y realizar la polinización sin inconvenientes, se aisló cincuenta a sesenta flores por cada cruz.

5.3.2.4.2. Proceso de polinización

Paso 1: para la polinización se aplicó el método de polinización manual **(Alvarado et al., 2017)**. Se retiró los vasos de polietileno y se procedió con la extirpación de la flor masculina (donador de polen) depositándose esta en una caja petri (5 unidades de flores por 4 etapas).

Paso 2: se ha utilizado una flor masculina por cada flor femenina; es decir, 40 flores por cada cruz. Seguidamente, se emasculó las flores femeninas **(Barrón, 2014; Alvarado et al., 2017)** y se removió los estaminodios, para dejar libre el pistilo **(Arévalo, 1972)**.

Luego, en la flor masculina se liberó el estambre de la cogulla (**García, 2014**) y (Braudeau, 1970) citado por (**Vera et al., 2016**); todo esto con la ayuda de pinzas.

Paso 3: una vez liberado la flor femenina y masculina, se tomó la parte masculina de la flor que fue considerado como padre (los estambres con el saco polínico), se procedió a frotar en la flor femenina (estigma) que se consideró como planta madre (**Arévalo, 1972; Alvarado et al., 2017**). La polinización se hizo durante las mañanas, porque las anteras liberan el polen y el estigma se comporta como receptivo durante esas horas (**Aneja et al., 1999**).

Paso 4: una vez terminada la polinización, se volvió a cubrir con el vaso de polietileno para evitar polinizaciones extrañas y evitar posibles daños. Asimismo, se realizó el etiquetado correspondiente indicando la cruz.

Se realizaron 20 polinizaciones por cada cruz (**Alvarado et al., 2017; Quiroz et al., 1992**). Las polinizaciones se realizaron en plantas diferentes y en algunos casos, las veinte polinizaciones se realizaron en una sola planta; sin embargo, este fue dependiendo de acuerdo a la aparición de las flores. Además, cabe precisar que cada cruz realizada tuvo que terminarse el mismo día.

Por cada cruz se demoró en promedio cinco minutos y durante el día se logró realizar sesenta polinizaciones en un tiempo promedio de cinco horas (6 am – 11 am); es decir, se alcanzó realizar tres cruces por día. El total de polinizaciones, que son de 1620 cruces, se realizaron en veintisiete días.

5.3.2.4. Evaluación de resultados y análisis del porcentaje de índice de retención

La primera evaluación se realizó a los tres días después de la polinización; se observó las flores prendidas y caídas (**Segovia, 2017**). La siguiente evaluación se realizó a los

quince días después de la polinización y se consideró el día idóneo para determinar la intercompatibilidad y autocompatibilidad (**Quiroz et al., 1992**); por último, la evaluación se hizo a los treinta días después de la polinización, donde se ha contabilizado los frutos formados y desarrollados (**Alvarado et al., 2017**). En ese sentido, la evaluación principal para determinar la compatibilidad entre los nueve genotipos se ha realizado a los quince días después de la polinización. Se evaluaron las flores prendidas y las flores que sufrieron la abscisión. Además, cabe precisar que los vasos de polietileno cubrieron las flores polinizadas hasta el último día de la evaluación; es decir, hasta los treinta días. Para determinar la compatibilidad e incompatibilidad se usó lo propuesto por Terreros et al. (1983) citado por **Aranzazu et al. (2008)**; **Quiroz et al. (1992)** donde afirman que para definir la autocompatibilidad e intercompatibilidad el límite mínimo es del 30%; es decir, deben fecundarse como mínimo seis flores. Por tanto, el porcentaje del índice de retención (%IR) se calculó mediante la relación del número de flores prendidas en los árboles sobre el número total de flores polinizadas; seguidamente, el resultado fue multiplicado por el 100% que según **de Jesus Branco et al. (2018)** es la siguiente:

$$\%IR = \frac{\text{Número de flores prendidas}}{\text{Número total de flores polinizadas}} \times 100\%$$

VI Resultados y discusión

6.1. Determinación de la intercompatibilidad y autocompatibilidad

Tabla 3

Número de flores polinizadas, flores prendidas, abscisión de flores, % índice de retención e intercompatibilidad

Madre	Cruza		Total flores polinizados	Flores prendidas	Abscisión de flores	% índice de retención	Comportamiento de la intercompatibilidad
	Padre						
ICT-1112	TSH-565		20	19	1	95	Intercompatible
	ICT-2501		20	17	3	85	Intercompatible
	CCN-51		20	16	4	80	Intercompatible
	ICT-1176		20	14	6	70	Intercompatible
	ICT-2174		20	14	6	70	Intercompatible
	ICT-2315		20	13	7	65	Intercompatible
	IMC-67		20	8	12	40	Intercompatible
	ICT-2825		20	7	13	35	Intercompatible
ICT-1176	TSH-565		20	16	4	80	Intercompatible
	CCN-51		20	12	8	60	Intercompatible
	ICT-2825		20	4	16	20	Interincompatible
	ICT-2315		20	2	18	10	Interincompatible
	IMC-67		20	2	18	10	Interincompatible
	ICT-1112		20	0	20	0	Interincompatible
	ICT-2174		20	0	20	0	Interincompatible
	ICT-2501		20	0	20	0	Interincompatible
ICT-2174	ICT-2315		20	19	1	95	Intercompatible
	ICT-1112		20	18	2	90	Intercompatible
	TSH-565		20	18	2	90	Intercompatible
	CCN-51		20	16	4	80	Intercompatible
	ICT-2501		20	12	8	60	Intercompatible
	IMC-67		20	12	8	60	Intercompatible
	ICT-2825		20	11	9	55	Intercompatible
	ICT-1176		20	8	12	40	Intercompatible

Madre	Padre	Total flores polinizados	Flores prendidas	Abscisión de flores	% índice de retención	Comportamiento de la intercompatibilidad
ICT-2315	ICT-1112	20	17	3	85	Intercompatible
	TSH-565	20	16	4	80	Intercompatible
	ICT-2174	20	15	5	75	Intercompatible
	CCN-51	20	14	6	70	Intercompatible
	ICT-1176	20	13	7	65	Intercompatible
	ICT-2501	20	13	7	65	Intercompatible
	ICT-2825	20	11	9	55	Intercompatible
	IMC-67	20	7	13	35	Intercompatible
ICT-2501	ICT-1176	20	18	2	90	Intercompatible
	ICT-2825	20	18	2	90	Intercompatible
	CCN-51	20	16	4	80	Intercompatible
	ICT-2315	20	14	6	70	Intercompatible
	ICT-2174	20	12	8	60	Intercompatible
	TSH-565	20	12	8	60	Intercompatible
	ICT-1112	20	11	9	55	Intercompatible
	IMC-67	20	10	10	50	Intercompatible
ICT-2825	ICT-1112	20	19	1	95	Intercompatible
	ICT-1176	20	19	1	95	Intercompatible
	ICT-2501	20	19	1	95	Intercompatible
	CCN-51	20	18	2	90	Intercompatible
	ICT-2315	20	17	3	85	Intercompatible
	ICT-2174	20	16	4	80	Intercompatible
	IMC-67	20	7	13	60	Intercompatible
	TSH-565	20	0	20	0	Interincompatible
TSH-565	IMC-67	20	19	1	95	Intercompatible
	ICT-2315	20	19	1	95	Intercompatible
	CCN-51	20	17	3	85	Intercompatible
	ICT-1112	20	17	3	85	Intercompatible
	ICT-1176	20	17	3	85	Intercompatible
	ICT-2174	20	14	6	70	Intercompatible
	ICT-2501	20	13	7	65	Intercompatible
	ICT-2825	20	0	20	0	Interincompatible

Madre	Padre	Total flores polinizados	Flores prendidas	Abscisión de flores	% índice de retención	Comportamiento de la intercompatibilidad
IMC-67	ICT-2825	20	17	3	85	Intercompatible
	ICT-1176	20	15	5	75	Intercompatible
	ICT-2501	20	15	5	75	Intercompatible
	ICT-2174	20	12	8	60	Intercompatible
	ICT-2315	20	11	9	55	Intercompatible
	CCN-51	20	11	9	55	Intercompatible
	ICT-1112	20	8	12	40	Intercompatible
	TSH-565	20	8	12	40	Intercompatible
CCN-51	ICT-2315	20	17	3	85	Intercompatible
	ICT-2825	20	16	4	80	Intercompatible
	TSH-565	20	15	5	75	Intercompatible
	ICT-1176	20	14	6	70	Intercompatible
	ICT-2174	20	14	6	70	Intercompatible
	ICT-1112	20	13	7	65	Intercompatible
	ICT-2501	20	11	9	55	Intercompatible
	IMC-67	20	10	10	50	Intercompatible

De acuerdo a la tabla 2, los clones ICT-1112, ICT-2174, ICT-2315, ICT-2501, IMC-67 y CCN-51 son altamente receptoras de polen. Los clones ICT-1112, ICT-2174, ICT-2315, ICT-2501 ICT-2825, TSH-565, IMC-67 y CCN-51 son buenos donares de polen exceptuándose en todos los casos al clon ICT-1176 (la recepción de polen no fue viable en la mayoría de las cruas). A esto se suma los resultados obtenidos por **Vásquez (2013)**; donde los clones ICT se comportaron de manera satisfactoria. En ese sentido, los clones de la colección ICT hasta el momento probados se comportaron como buenos receptores y donadores de polen. Por otro lado, el clon CCN-51 estudiados por **Aranzazu et al. (2008)**; **Mendoza (2015)**; **Vásquez (2013)** y otros investigadores concluyen que es altamente donador de polen. En tal sentido, se puede inferir que existe un menor porcentaje de clones que puedan rechazar el polen de dicho clon.

La mayoría de las cruzas son intercompatibles porque a nivel de %IR son mayores al 30%. Sin embargo, específicamente en las cruzas ICT-1176xICT-1112, ICT-1176xICT-2174, ICT-1176xICT-2501, ICT-2825xTSH-565 y TSH-565xICT-2825 son interincompatibles.

El fenómeno de la interincompatibilidad se presenta porque no hubo fusión de los óvulos en el ovario del cacao y como resultado se tuvo la abscisión de las flores (**Cope, 1962**). Esta característica se presenta porque el cacao tiene predominancia de incompatibilidad femenina o esporofítica.

Las cruzas de TSH-565xIMC-67, TSH-565xCCN-51 y el CCN-51xTSH-565 resultaron ser altamente intercompatibles y las cruzas entre IMC-67xTSH-565, IMC-67xCCN-51 y el CCN-51xIMC-67 resultaron ser intercompatibles en condiciones de la Estación experimental el Choclino. Estas cruzas también fueron estudiadas por **Aranzazu et al. (2008)** y concuerdan con los resultados obtenidos a nivel de la intercompatibilidad, pero con cierta variación en el %IR. Por otro lado, En la Estación Experimental del ICT se realizaron estudios por vez primavera por **Vásquez (2013)**; en dicha investigación, los clones ICT-1112 y CCN-51 se comportaron como receptoras de polen a todos los clones estudiados. Los resultados son similares a nivel de intercompatibilidad con la presente investigación; sin embargo, existe cierta variabilidad en el %IR. Las variaciones pueden ser afectadas por muchos factores como la sombra, labores culturales, fertilización, presencia de insectos polinizadores, etc. Según (**Segovia, 2017**) existen también, otros factores que regulan la variación del %IR como la viabilidad del polen, hora de polinización, las condiciones ambientales y entre otros. Es sin duda, que la

incompatibilidad no necesariamente tiene un origen genético; al contrario, es causado por varios factores y es un caso muy problemático que afecta la producción.

Tabla 4

Número de flores polinizadas, flores prendidas, abscisión de flores, % índice de retención y autocompatibilidad

Cruza		Total flores polinizados	Flores prendidas	Abscisión de flores	% índice de retención	Comportamiento de la autocompatibilidad
ICT-1112	ICT-1112	20	16	4	80	Autocompatible
ICT-1176	ICT-1176	20	12	8	60	Autocompatible
ICT-2174	ICT-2174	20	10	10	50	Autocompatible
ICT-2315	ICT-2315	20	13	7	65	Autocompatible
ICT-2501	ICT-2501	20	0	20	0	Autoincompatible
ICT-2825	ICT-2825	20	0	20	0	Autoincompatible
TSH-565	TSH-565	20	0	20	0	Autoincompatible
IMC-67	IMC-67	20	0	20	0	Autoincompatible
CCN-51	CCN-51	20	13	7	65	Autocompatible

La autocompatibilidad en los clones ICT-1112, ICT-1176, ICT-2174, ICT-2315 y CCN-51 es mayor al 30% a nivel del %IR. Empero, los clones ICT-2501, ICT-2825, TSH-565 e IMC-67 son autoincompatibles.

Uno de los factores más importantes que causa la autoincompatibilidad, mas allá de los fenómenos ambientales, es la presencia de genes dominantes y no un gen recesivo en las células sexuales femeninas del saco embrionario (Knight y Rogers, 1953) citado por **(Noriega, 2012)**. En tal sentido, puede que los tubos polínicos hayan alcanzado el saco embrionario; sin embargo, no hubo un gen recesivo que permita la fecundación. Por otro lado, de manera hipotética, puede que haya sucedido el desarrollo bastante lento del tubo polínico **(Pineda, 1953)**. Este factor, si es que sucedió, imposibilitó que el tubo polínico pueda alcanzar al óvulo y entregar las células espermáticas en menos de cuarenta y ocho horas; en ese sentido, al sufrir una demora, la flor inició con la abscisión.

La autocompatibilidad en el clon CCN-51 bajo las condiciones de la estación experimental el Chocliño se obtuvo un índice de retención del 65%; sin embargo, **Aranzazu et al. (2008)** lograron obtener un 63%; en cambio, **Vásquez (2013)** obtuvo el 44%; demostrándose que el clon CCN-51 es autocompatible. Los clones IMC-67 y TSH-565 resultaron ser autoincompatibles con un %IR de 0 y **Aranzazu et al. (2008)** llegaron a las mismas conclusiones. El clon ICT-1112 es altamente autocompatible porque se obtuvo un IR del 80%; Sin embargo, **Vásquez (2013)** obtuvo el 72% confirmando la tesis de autocompatibilidad, aunque con cierta variación a nivel de %IR.

Tabla 5
Matriz resumida del grado de compatibilidad

		MADRE								
CLON	ICT-1112	ICT-1176	ICT-2174	ICT-2315	ICT-2501	ICT-2825	TSH-565	IMC-67	CCN-51	
PADRE	ICT-1112	80	0	90	85	55	95	85	40	65
	ICT-1176	70	60	40	65	90	95	85	75	70
	ICT-2174	70	0	50	75	60	80	70	60	70
	ICT-2315	65	10	95	65	70	85	95	55	85
	ICT-2501	85	0	60	65	0	95	65	75	55
	ICT-2825	35	20	55	55	90	0	0	85	80
	TSH-565	95	80	90	80	60	0	0	40	75
	IMC-67	40	10	60	35	50	35	95	0	50
	CCN-51	80	60	80	70	80	90	85	55	65

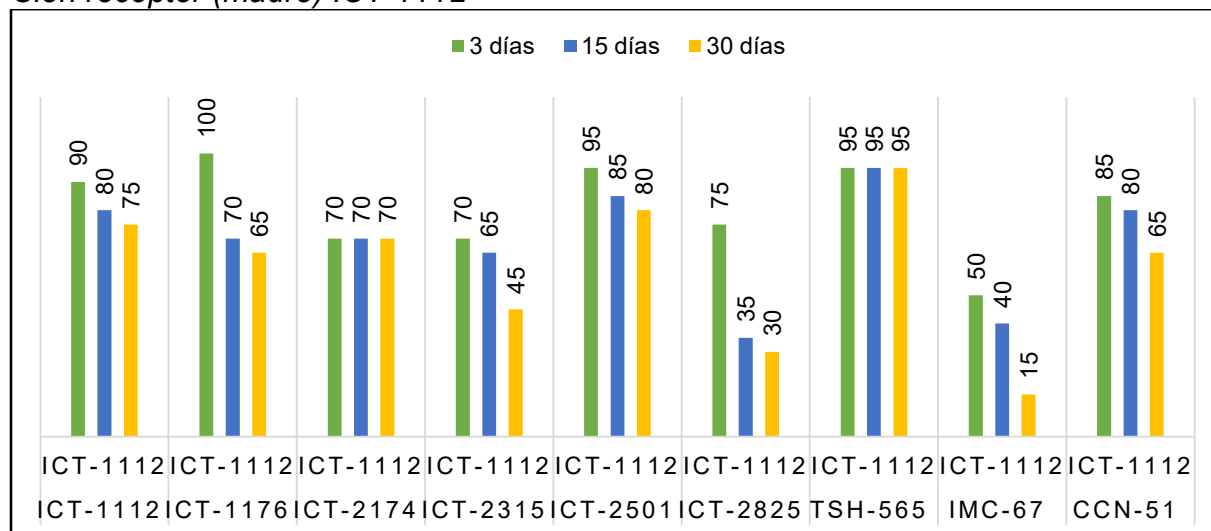
Nota: rojo (<30) autoincompatible; amarillo (≥30) autocompatible; blanco (<30) interincompatible; azul (≥30) intercompatible; verde (>70) altamente intercompatible.

La tabla 4, muestra y se puede observar a los clones progenitores madre (receptor de polen) y clones progenitores padre (donador de polen) y su respectivo grado de compatibilidad. Los valores se clasificaron de acuerdo al %IR. Según **Aranzazu et al. (2008)**, la clasificación va de la siguiente manera: (<30) autoincompatible; (≥30) autocompatible; (<30) interincompatible; (≥30) intercompatible; (=70) intercompatible. Sin embargo, existen cruza en una cantidad considerable que lograron ser mayores al 70%; esta cualidad hace que sean altamente intercompatibles y altamente autocompatibles.

6.2. Porcentaje de índice de retención a los tres, quince y treinta días

Figura 4

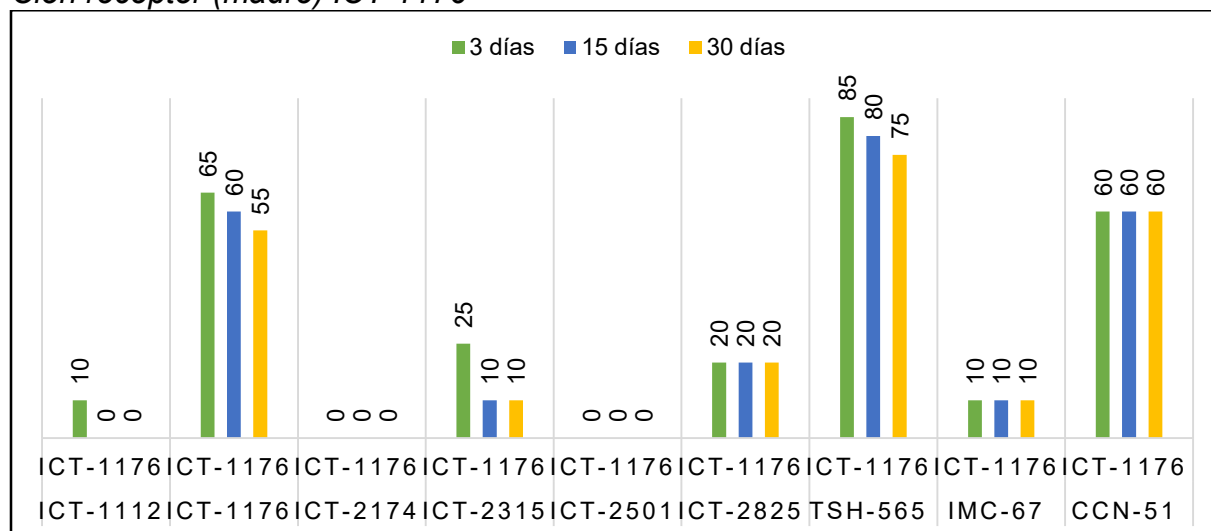
Clon receptor (madre) ICT-1112



Las combinaciones ICT-1112xICT-2174 y ICT-1112xTSH-565 mantienen el mismo %IR a los tres, quince y treinta días después de la polinización. Las combinaciones ICT-1112xICT-1112 y ICT-1112xICT-2501 tienen una disminución ligera del %IR.

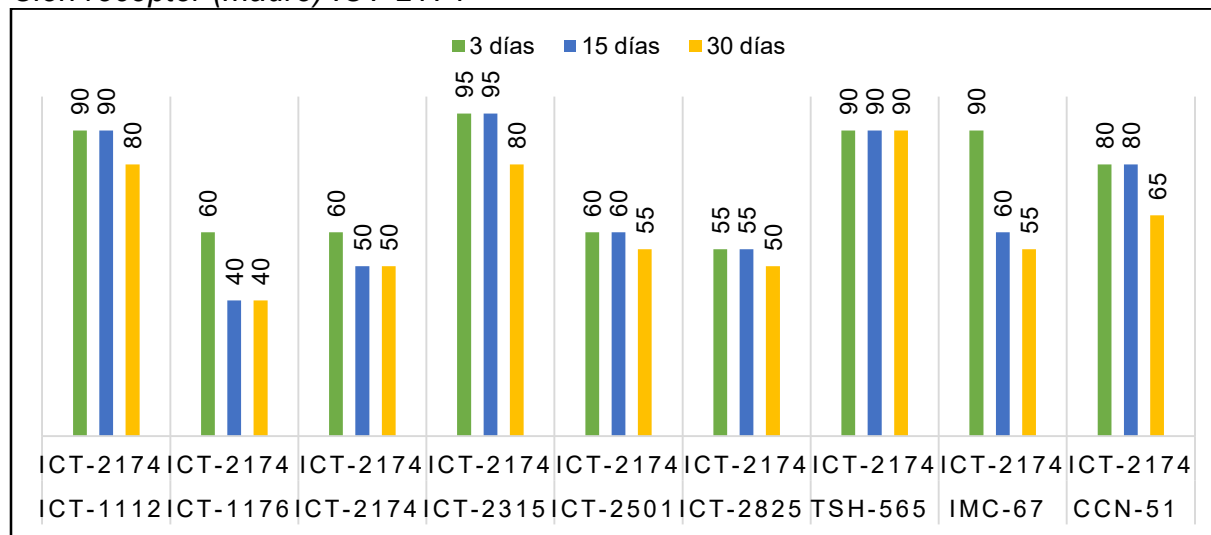
Figura 5

Clon receptor (madre) ICT-1176



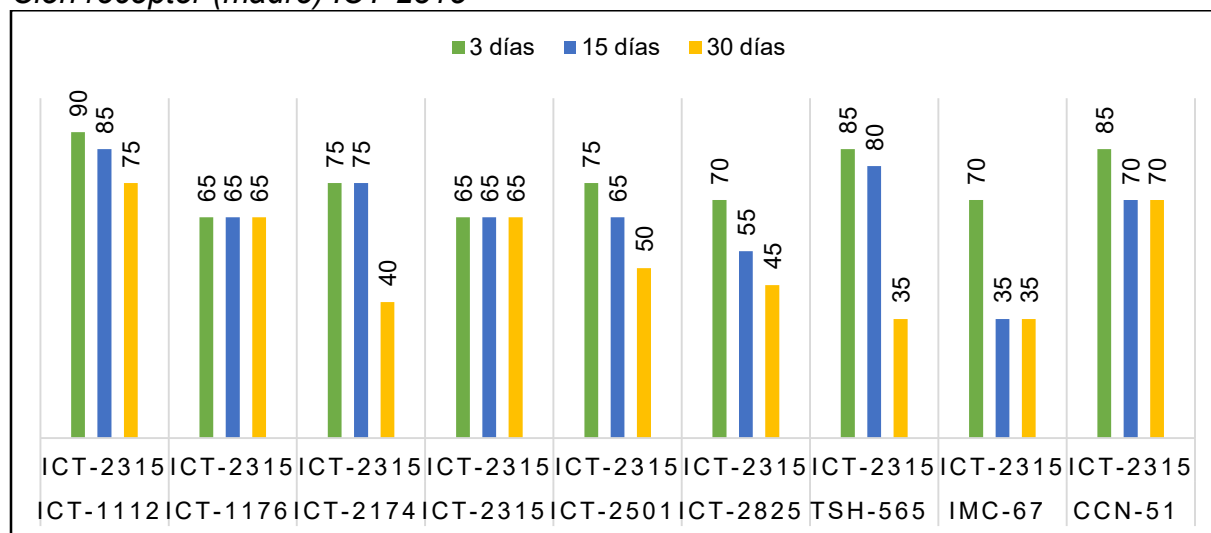
La combinación ICT-1176xTSH-565 y ICT-1176x ICT-1176 presentan una disminución mínima del %IR y en la combinación ICT-1176xCCN-51 se mantiene.

Figura 6
Clon receptor (madre) ICT-2174



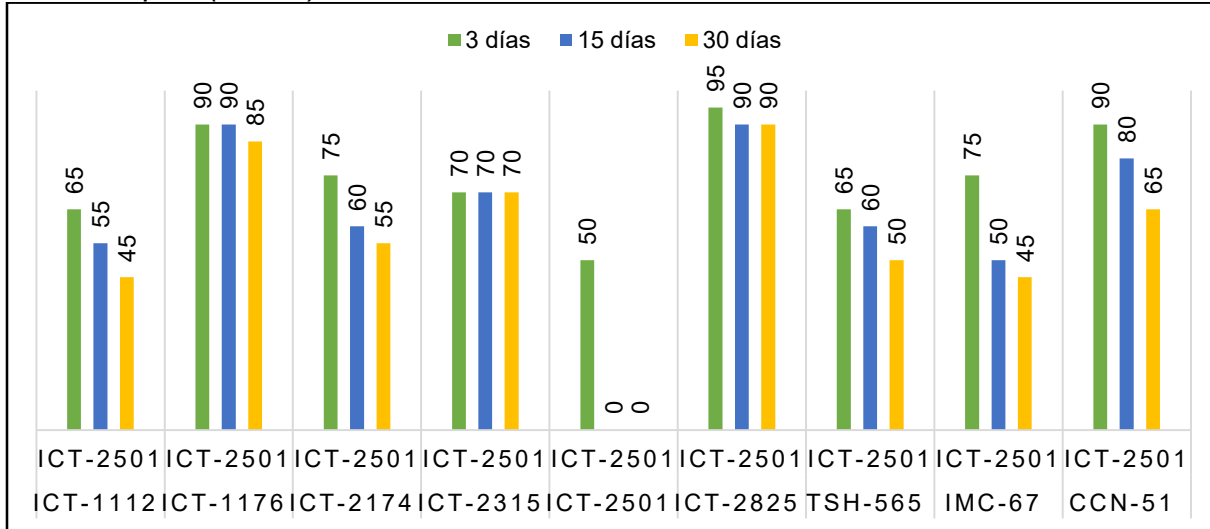
La combinación ICT-2174xTSH-565 mantiene el %IR a los tres, quince y treinta días después de la polinización; seguidamente, las combinaciones ICT-2174xICT-2315, ICT-2174xICT-1112, ICT-2174x ICT-2174, ICT-2174xICT-2501, ICT-2174xICT-2825 y el ICT-2174xCCN-51 tienen una mínima reducción del %IR.

Figura 7
Clon receptor (madre) ICT-2315



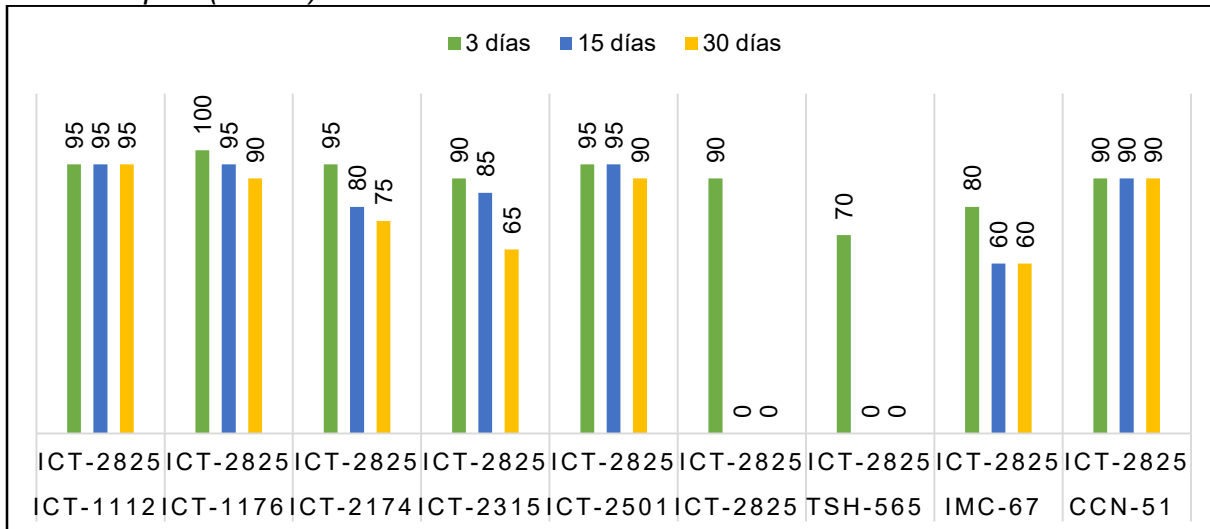
En las combinaciones ICT-2315xICT-1176 y el ICT-2315xICT-2315 mantienen el %IR. Empero, en ICT-2315xCCN-51 y el ICT-2315xICT-1112 poseen una mínima disminución.

Figura 8
Clon receptor (madre) ICT-2501



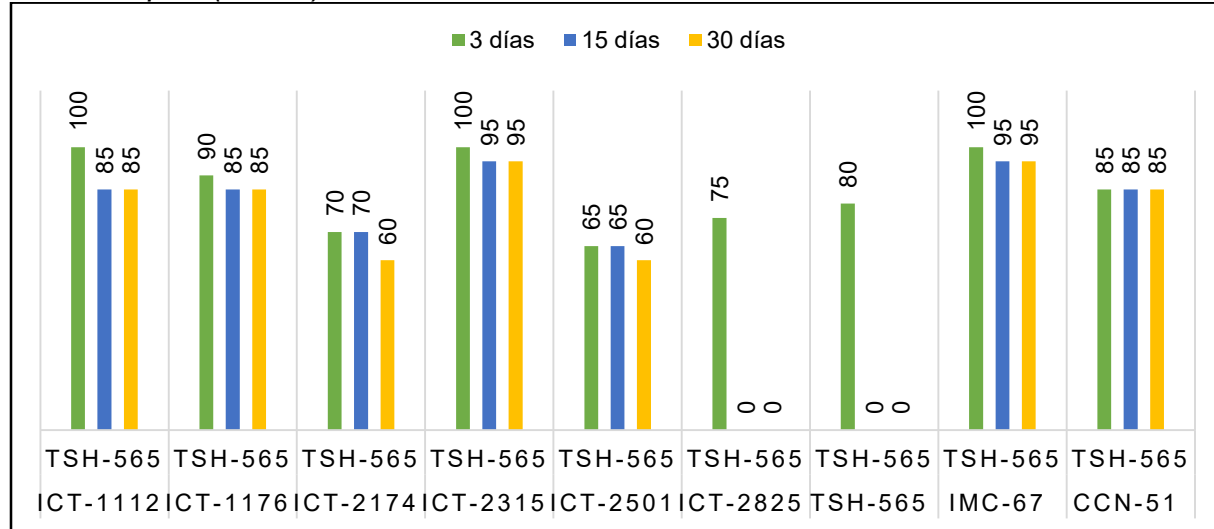
La combinación ICT-2501xICT-2315 mantiene el %IR a los tres, quince y treinta días; seguidamente las combinaciones ICT-2501xICT1176 y el ICT-2501xICT-2825 teniendo una mínima disminución del %IR.

Figura 9
Clon receptor (madre) ICT-2825



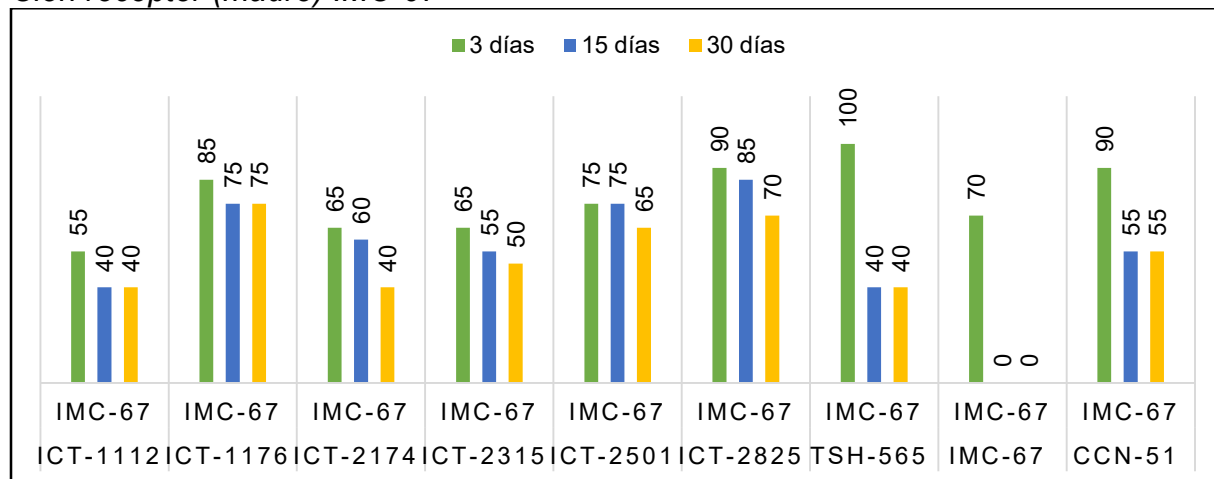
Las combinaciones ICT-2825xICT-1112 y el ICT-2825xCCN-51 mantienen el %IR a los tres, quince y treinta días; seguidamente, las combinaciones ICT-2825xICT-1176, ICT-2825xICT-2174 y el ICT-2825xICT-2501 poseen una disminución mínima del %IR.

Figura 10
Clon receptor (madre) TSH-565



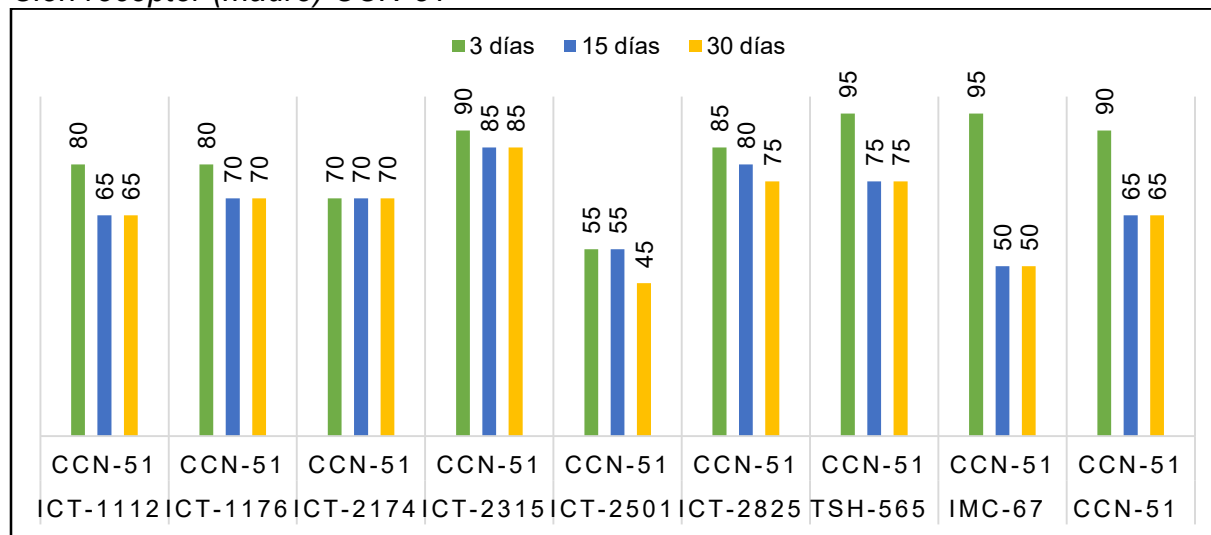
La combinación TSH-565xCCN-51 mantiene el %IR a los tres, quince, treinta días después de la polinización; seguidamente TSH-565xICT-1112, TSH-565xICT-1176, TSH-565xICT-2315, TSH-565xIMC-67, TSH-565xICT-2174 y el TSH-565xICT-2501 poseen una mínima disminución del %IR.

Figura 11
Clon receptor (madre) IMC-67



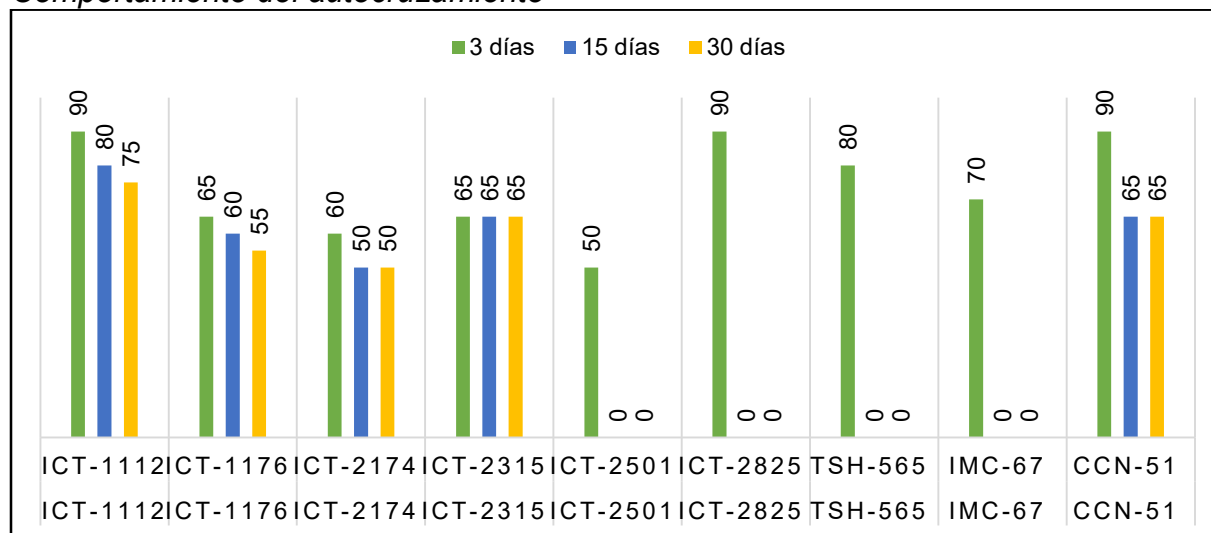
Las combinaciones IMC-67xICT-1176, IMC-67xICT-2825, IMC-67xICT-1112, IMC-67xICT-2315 y el IMC-67xICT-2501 tienen una mínima disminución del %IR a los tres, quince y treinta días después de la polinización.

Figura 12
Clon receptor (madre) CCN-51



La combinación CCN-51xICT-2174 mantiene el %IR; después, las combinaciones CCN-51xICT-1176, CCN-51xICT-2315, CCN-51xICT-2825, CCN-51xTSH-565, CCN-51xICT-1112 y el CCN-51xICT-251 poseen una mínima disminución del %IR.

Figura 13
Comportamiento del autocruzamiento



En la combinación ICT-2315xICT-2315 se mantiene a los tres, quince y treinta días el %IR. Sin embargo, en las combinaciones ICT-1112xICT-1112, ICT-1176xICT-1176 y el ICT-2174xICT-2174 poseen una mínima disminución.

La ligera o drástica disminución puede que haya sido influenciada por la posible carga polínica baja (**Falque et al., 1996**); porque si fue fecundado menos del 50% del total óvulos, indudablemente ocurre la marchitez del fruto en desarrollo (Cope, 1957) citado por (**Aranzazu et al., 2008**). Asimismo, a esto se suma los factores ambientales, la tasa fotosintética, chupones y brotes nuevos que se desarrollan en la planta, falta de nutrimentos y factores ambientales. Sin embargo, de manera inesperada, las labores culturales aumentan la incidencia de frutos cherelle (**Anzules et al., 2019**). En ese sentido, una de las causas muy perjudiciales es la poda, porque esta permite que la planta pueda desarrollar brotes nuevos y cancelar por el contrario el desarrollo de frutos cuajados. Se recomienda planificar las épocas de poda y evitar que concuerde con la temporada de la floración.

VII Conclusiones y sugerencias

7.1. Conclusiones

- a. En la intercompatibilidad, se tuvo 72 polinizaciones cruzadas, de las cuales se obtuvo 64 cruzas intercompatibles y 8 cruzas interincompatibles. Del total de cruzas intercompatibles (64 cruzas), 38 cruzas lograron ser $\geq 70\%$ a nivel del índice de retención; el resto se encuentra en el rango de $\geq 30\%$ y $< 70\%$. En las cruzas autocompatibles se tuvo 9 combinaciones, de las cuales fueron 5 las cruzas autocompatibles y 4 cruzas autoincompatibles; el más sobresaliente con un índice de retención del 80% fue el ICT-1112x ICT-1112.
- b. Las cruzas ICT-1112xICT-2174, ICT-1112xTSH-565, ICT-1176xCCN-51, ICT-2174xTSH-565, ICT-2315xICT-1176, ICT-2315xICT-2315, ICT-2501xICT-2315, ICT-2825xICT-1112, ICT-2825xCCN-51, TSH-565xCCN-51, CCN-51xICT-2174 y el ICT-2315xICT-2315 mantuvieron los índices de retención a los tres, quince y treinta días después de la polinización. En el resto de las cruzas, el índice de retención fue ligera la disminución; sin embargo, hay cruzas donde existe una caída drástica.

7.2. Sugerencias

- a. Realizar la compatibilidad sexual entre los clones de cacao que restan en la estación experimental el Choclino usando diferentes métodos de determinación de la compatibilidad y diferentes condiciones ambientales.
- b. Obtener híbridos F1 a partir de la colección ICT, promoviendo el mejoramiento genético, con características de alta productividad, tolerancia a enfermedades y sequías.
- c. Promocionar los clones altamente donadores (ICT-1112, ICT-1176, ICT-2174, ICT-2315, ICT-2501, IMC-67 y CCN-51) y receptoras de polen (ICT-2174, ICT-2315, ICT-2501, IMC-67 y CCN-51) y proponer diseños de plantación para la instalación de nuevas parcelas y rehabilitación de cacaotales.
- d. Realizar el control de plagas en la Estación Experimental, en vista de que se observaron diferentes especies de insectos que se alimentan de los frutos en desarrollo, ocasionando la disminución de estos.
- e. Identificar y preservar los insectos polinizadores del cacao y generar condiciones adecuadas para la proliferación de estas, para incrementar el número de flores fecundadas en la estación experimental el Choclino.

VIII Bibliografía

- Alvarado, D., Pérez, J., Velásquez, G., y Velásquez, M. (2017). *Manual de polinizaciones controladas en cacao*.
- Aneja, M., Gianfagna, T. y Ng, E. (1999). The roles of abscisic acid and ethylene in the abscission and senescence of cocoa flowers. *Plant Growth Regulation*. 27(3), 149-155.
- Anzules, V., Borjas, R., Alvarado, L., Castro, V., & Julca-Otiniano, A. (2019). Cultural, biological and chemical control of *Moniliophthora roreri* and *Phytophthora* spp IN *Theobroma cacao* 'CCN-51.' *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 511–520. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.08>
- Aranzazu, F. Martínez, N. y Rincón, D. (2008). *Autocompatibilidad e intercompatibilidad sexual de materiales de cacao. Modelos para el empleo de los materiales de cacao más usados en Colombia utilizando los mejores porcentajes de intercompatibilidad*. Unión Temporal Cacao de Colombia. Bucaramanga, Colombia.
- Aránzazu, H. F., Martínez, G. N., Rincón, G. D. y Palencia, C. G. (2009). *Materiales de cacao en Colombia, su compatibilidad sexual y modelos de siembra*.
- Arévalo, R. (1972). *Evaluación de cuatro métodos de polinización artificial en cacao (Theobroma cacao)*. IICA, Turrialba (Costa Rica).
- Arrazate, C., Fuentes, J. M. V., Rojas, E. C., Méndez, R. A. G., López, A. M., Medina, J. F. A., y Zaragoza, S. E. (2011). *Diagnóstico del cacao en México*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Ávila, A. (2013). *Aprendiendo e innovando sobre el cacao en sistemas agroforestales: guía N° 1*.
- Baker, R., Hasenstein, K., y Zavada, M. (1997). Hormonal changes after compatible and incompatible pollination in *Theobroma cacao* L. *HortScience*, 32(7), 1231-1234.
- Barrón, Y., Azpeitia, A., Andrade, L., Alejandro, P., y Mirafuentes-Hernández, F. (2014). Metodología adaptada para la formación de híbridos F1 de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 765-777.

- Bartra J. (2009). *Caracterización preliminar morfológica y de reproductividad de 42 genotipos promisorios de cacao (Theobroma cacao L.) colectados en la cuenca del Huallaga San Martín.*
- Batista, L. (2009). *El cultivo de cacao. Santo Domingo: Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal.*
- Brewbaker, J. (1957). Pollen cytology and self-incompatibility systems in plants. *Journal of Heredity*, 48(6), 271-277.
- Byers, D. y Meagher, T. (1992). Mate availability in small populations of plant species with homomorphic sporophytic self-incompatibility. *Heredity*, 68(4), 353.
- Cope, F. (1958). Incompatibility in *Theobroma cacao*. *Nature*, 181(4604), 279.
- Cope, F. (1962). The mechanism of pollen incompatibility in *Theobroma cacao* L. *Heredity*, 17(2), 157.
- Córdoba, C., Cerda Bustillos, R., Deheuvels, O., Hidalgo, E., y DeClerck, F. (2013). *Polinizadores, polinización y producción potencial de cacao en sistemas agroforestales de Bocas del Toro, Panamá.* Agroforestería en las Américas.
- Córdoba, C. T. (2011). *Efecto de la estructura de sistemas agroforestales de cacao y de su contexto local, sobre las poblaciones de dípteros polinizadores del cacao y su relación con la producción en Bocas del Toro, Panamá.* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Cronquist, A. (1981). *An integrated classification system for flowering plants.* Columbia University Press. Cambridge, Nueva York.
- Dávalos J. (2016). *Grado de compatibilidad de clones seleccionados de cacao chuncho (Theobroma cacao L.) en el CAT Sahuayaco La Convención – Cusco.* Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Da Silva, M., Clément, D., Gramacho, K. P., Monteiro, W. R., Argout, X., Lanaud, C., y Lopes, U. (2016). Genome-wide association mapping of sexual incompatibility genes in cacao (*Theobroma cacao* L.). *Tree genetics & genomes*, 12(3), 62.
- De Jesus Branco, S. M., da Silva, D. V., Lopes, U. V., y Corrêa, R. X. (2018). Characterization of the Sexual Self-and Cross-Compatibility in Genotypes of Cacao. *American Journal of Plant Sciences*, 9(09), 1794.

- De Nettancourt, D. (1997). Incompatibility in angiosperms. *Sexual plant reproduction*, 10(4), 185-199.
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M. I., y Weigend, M. (2011). *Factsheet: Datos botánicos de cacao*.
- Enríquez, G. (1999). *La incompatibilidad en el cacao (No. Boletín Divulgativo EET/70-05)*. INIAP. Quevedo, Ecuador.
- Enríquez, G. (1985). *Curso sobre el cultivo del cacao (No. 22)*. Bib. Orton IICA/CATIE.
- Estrada, W., Romero, X. y Moreno, J. (2011). *Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas*. http://biblioteca.catie.ac.cr/descargas/Estrada_et_al_Guia_Tecnica_Cacao.pdf.
- Estrada, W., Romero, X. y Moreno, J. (2011). *Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas*. San Salvador, El Salvador, 1-6.
- Falque, M., Lesdalons, C. y Eskes, A. B. (1996). Comparison of two cacao (*Theobroma cacao* L.) clones for the effect of pollination intensity on fruit set and seed content. *Sexual Plant Reproduction*, 9(4), 221-227.
- Fins, L., Somarriba Chávez, E., Quesada Chaverri, F., Villalobos Rodríguez, M. y Orozco Estrada, S. (2013). *La historia del cacao y del chocolate*. CATIE, Turrialba (Costa Rica).
- Flores H. (2011). *Capacidad productiva e incidencia de enfermedades de ocho clones de Cacao (Theobroma cacao L.) en una parcela policlonal en Alto Limón, Tocache*.
- Franklin-Tong, V. (2008). Self-incompatibility in flowering plants. *Evolution, diversity, and mechanisms*, 305.
- García, C. (2010). *Catálogo de cultivares de cacao del Perú*. Ministerio de Agricultura-DEVIDA. Lima-Perú, 111.
- García, Y., Morales, A. A., Andrade, P. A. L. y Hernández, F. M. (2014). *Metodología adaptada para la formación de híbridos F1 de cacao (Theobroma cacao L.) en Tabasco*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 765-777.
- Godoy, P., Souza, M. M., Roza, F. A., Lawinsky, P. R., Araújo, I. S., & Ahnert, D. (2009). Pollen performance in self-compatible and self-incompatible cacao trees (*Theobroma cacao* L.). *Brazilian Journal of Botany*, 32(3), 617-620.

- Godoy, P., Esteves, D. S., Amaral, R. F., Lawinsky, P. R., Araújo, I. S., y Ahnert, D. (2009). Performance polínica em cacauzeiros (*Theobroma cacao* L.) autocompatíveis e autoincompatíveis. *Revista Brasileira de Botânica*, 32(3), 617-620.
- Goldberg, E., Kohn, J. R., Lande, R., Robertson, K. A., Smith, S. A., y Igić, B. (2010). Species selection maintains self-incompatibility. *Science*, 330(6003), 493-495.
- Gómez, M. y Rivero, J. (2005). La historia del cacao. Agricultura Orgánica (Cuba).
- Haring, V., Gray, J. E., McClure, B. A., Anderson, M. A., y Clarke, A. E. (1990). Self-incompatibility: a self-recognition system in plants. *Science*, 250(4983), 937-941.
- ICT (Instituto de Cultivos Tropicales). *Manual de Caracterización de Clones Elite de Cacao (Theobroma cacao L.). Colectados en la cuenca del Huallaga*. Tarapoto, Perú.
- Jiménez, D., y Cruz, G. (2011). Incompatibilidad sexual, un mecanismo genético que evita la autofecundación y contribuye a la diversidad vegetal. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(1), 1-9.
- Knight, R. y Rogers, H. (1955). Incompatibility in *Theobroma cacao*. *Heredity*, 9(1), 69.
- Kubo, K., Entani, T., Takara, A., Wang, N., Fields, A. M., Hua, Z. y Kao, T. H. (2010). Collaborative non-self recognition system in S-RNase-based self-incompatibility. *Science*, 330(6005), 796-799.
- López-Hernández, J.G.1; López-Hernández, L.E.1; Avendaño-Arrazate, C.H.*2; Aguirre-Medina, J.F.1; Espinosa-Zagarosa, S.1; Moreno-Martínez, J.L.1; Mendoza-López, A.2; Suárez-Venero, G.M. (2018). Biología floral de cacao (*Theobroma cacao* L.); criollo, trinitario y forastero en México. *Agro Productividad*. 11(9), 129-135.
- Matton, D., Nass, N., Clarke, A. E. y Newbigin, E. (1994). Self-incompatibility: how plants avoid illegitimate offspring. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(6), 1992-1997.
- Mendoza C. (2015). *Compatibilidad genética de 64 clones élites de cacao (Theobroma cacao L.) tipos nacional y trinitario*. Quevedo: UTEQ.
- Motamayor, J. C., Lachenaud, P., e Mota, J. W. D. S., Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S., y Schnell, R. J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L.). *PloS one*, 3(10).

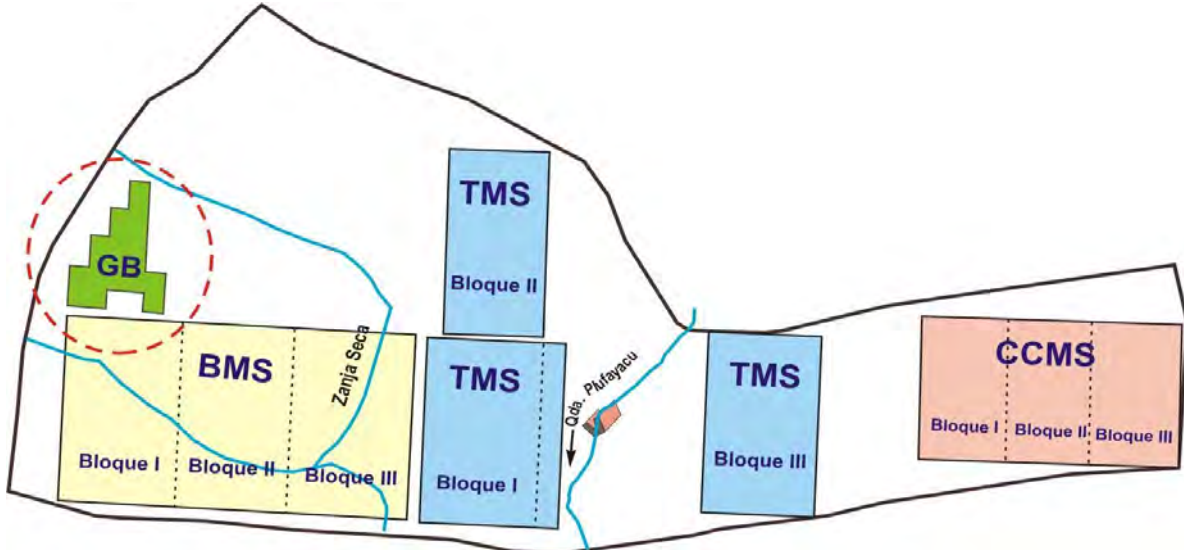
- Navarro, M. y Mendoza, I. (2006). *Cultivo del cacao en sistemas agroforestales. Guía técnica para promotores*. Río San Juan.
- Nasrallah, J. y Nasrallah, M. (1993). Pollen Stigma Signaling in the Sporophytic Self-Incompatibility Response. *The Plant Cell*, 5(10), 1325.
- Newbiggin, E., Anderson, M. A. y Clarke, A. E. (1993). Gametophytic self-incompatibility systems. *The Plant Cell*, 5(10), 1315.
- Noriega De la Cruz, C. (2012). *Determinación de la habilidad combinatoria de 14 clones de cacao (Theobroma cacao L.) de tipo Nacional Seleccionados por el INIAP en la Estación Experimental Litoral Sur*.
- Pandey, K. (1960). Incompatibility system in *Theobroma cacao* L. *The American Naturalist*, 94(878), 379-381.
- Pantoja, A. (2014). *Principios y avances sobre polinización como servicio ambiental para la agricultura sostenible en países de Latinoamérica y el Caribe*.
- Pineda, M. (1953). Problemas de incompatibilidad en el cacao. *Acta Agronómica*, 3(1), 65-88.
- Pinzón, J. O. y Rojas, J. (1998). *Guía técnica para el cultivo del cacao*.
- Quinaluisa, M. (2010). *Estudio de la compatibilidad de arboles seleccionados por productividad y sanidad en un grupo de progenies híbridas provenientes de cruces entre cacao (theobroma cacao L.) nacional y otros orígenes genéticos*. Los Ríos.
- Quiroz, V., Vera, B. y Enríquez, C. (1992). *Determinación de genotipos de compatibilidad de algunos clones de cacao (Theobroma cacao L.)*. Boletín Técnico No. 71.
- Rondón, J. y Cumana, C. (2005). Revisión taxonómica del género *Theobroma* (Sterculiaceae) en Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*, 28(1), 113-134.
- Seavey, S. y Bawa, K. (1986). Late-acting self-incompatibility in angiosperms. *The Botanical Review*, 52(2), 195-219.
- Segovia, V. (2017). *Relación de la morfología floral con la compatibilidad genética en 13 clones élites de cacao (Theobroma cacao L.)*. Quevedo: UTEQ.
- Soria, S. (1971). *La polinización del cacao por las mosquitas Forcipomyia spp. en Palmira, Colombia*. *Acta Agronomica*, 6.

- Soria, V. (1970). *Las teorías genéticas sobre la incompatibilidad en cacao*. IICA, Turrialba (Costa Rica).
- Sousa, V., Driessnack, M., & Costa, I. A. (2007). Revisión de diseños de investigación resaltantes para enfermería. Parte1: Diseño de investigación cuantitativa. *Revista Latinoamericana Enfermagem*, 15(3), 6.
- Stone, S., Arnoldo, M., y Goring, D. (1999). A breakdown of Brassica self-incompatibility in ARC1 antisense transgenic plants. *Science*, 286(5445), 1729-1731.
- Takayama, S. y Isogai, A. (2005). Self-incompatibility in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 56, 467-489.
- Takayama, S., Shimosato, H., Shiba, H., Funato, M., Che, F. S., Watanabe, M. y Isogai, A. (2001). Direct ligand–receptor complex interaction controls Brassica self-incompatibility. *Nature*, 413(6855), 534.
- Téllez, D., Yubari, E., y Espino, 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.
- Trujillo, H. (1953). Germinación del polen de cacao, crecimiento del tubo polínico y cuajamiento. *Acta Agronómica*, 3(1), 10-39.
- Vásquez, E. (2013). *Compatibilidad sexual de cinco genotipos de cacao (Theobroma Cacao L.) en el distrito de la Banda de Shilcayo*.
- Vera-Chang, J., Cabrera-Verdezoto, R., Morán-Morán, J., Neira-Rengifo, K., Haz-Burgos, R., Vera-Barahona, J. y Cabrera-Verdesoto, C. (2016). Evaluación de tres métodos de polinización artificial en clones de cacao (*Theobroma cacao L.*) CCN-51. *Idesia*, 34(6), 35-40.
- Warren, J. y Misir, S. (1995). Isozyme markers for self-compatibility and yield in *Theobroma cacao L* (cacao). *Heredity*, 74(4), 354.
- Wittmann S. y Agnol D. (2002). Auto-incompatibilidade em plantas. *Ciência Rural*, 32(6).
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., y Solorzano, R. L. (2018). The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon. *Nature ecology & evolution*, 2(12), 1879-1888.

Zhang, D. y Motilal, L. (2016). Origin, dispersal, and current global distribution of cacao genetic diversity. In *Cacao diseases* (pp. 3-31). Springer, Cham.

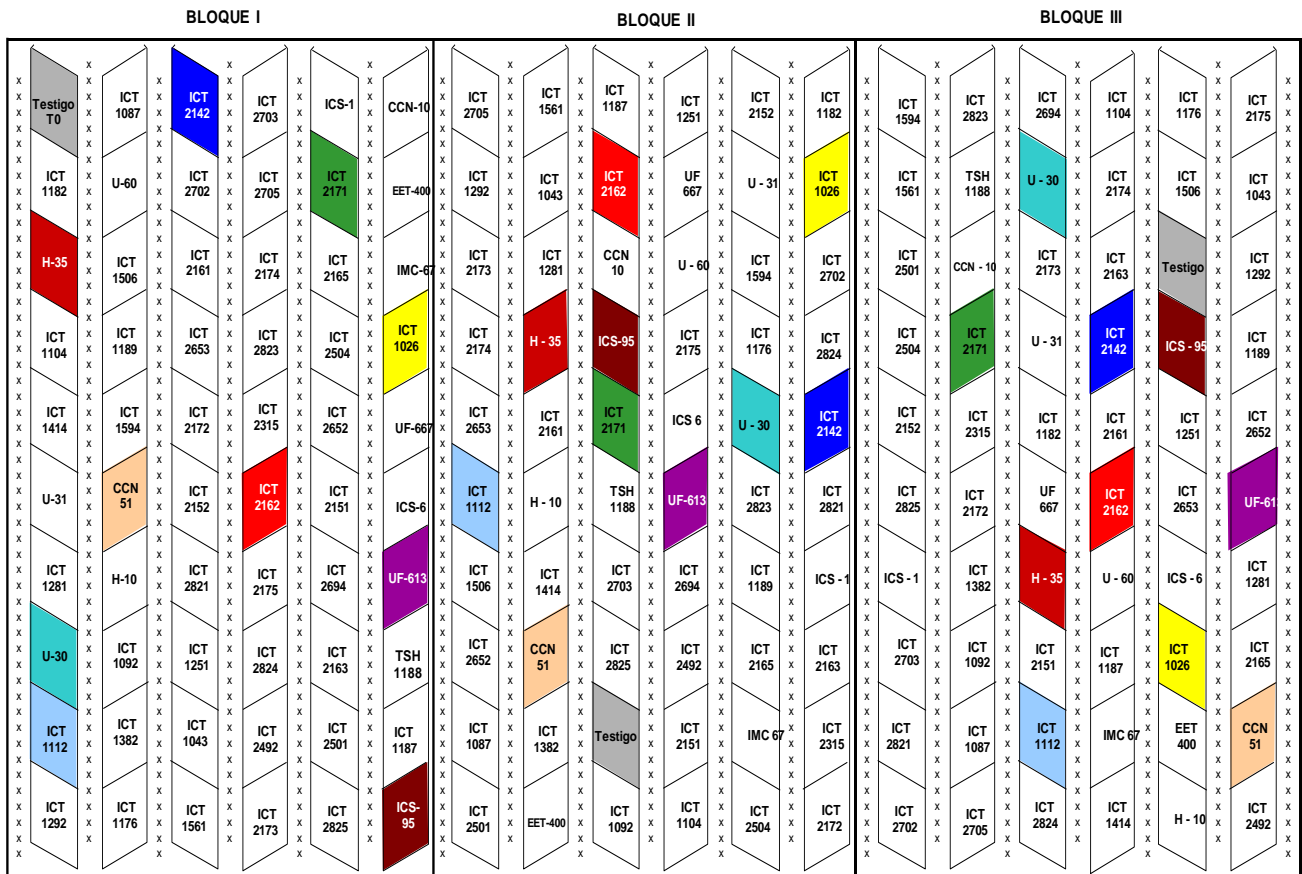
IX Anexos

Anexo 1 Croquis de la parcela de la estación experimental el Choclino.



BMS: Improved Native Agroforestry System (INAS), TMS: Improved Traditional Agroforestry System (ITAS) y CCMS: Sistema de Manejo con Cultivos de Cobertura

Anexo 2 Croquis de la parcela estudio INAS e ITAS (bloque I, II y III)



Anexo 3 Fotografía de los genotipos de cacao utilizados para el experimento.



Genotipo ICT-1112



Genotipo ICT-1176



Genotipo ICT-2174



Genotipo ICT-2315



Genotipo ICT-2501



Genotipo ICT-2825



Genotipo TSH-565



Genotipo IMC-67



Genotipo CCN-51

Anexo 4 Proceso de polinización.



Identificación de flores en estadio de antesis



Limpieza de flores e insectos



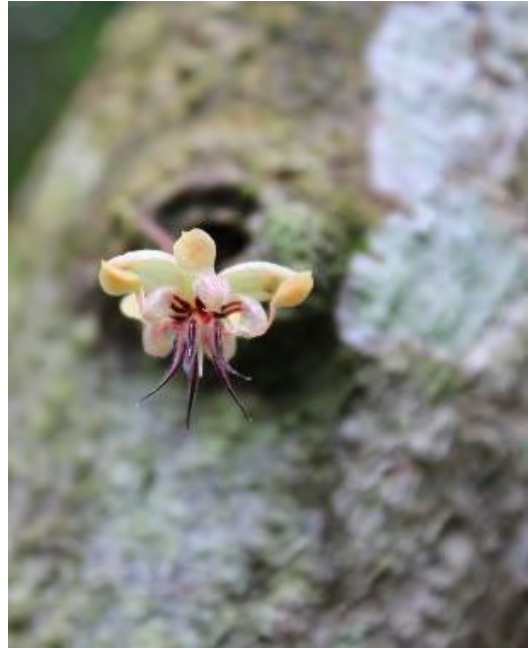
Aislamiento de las flores



Apertura de flores listas para ser polinizadas



Retiro de la cubierta y cosecha de flores padre



Retiro de la cuebierta en flores madre



Eliminación de pétalos y estambres en flores madre



Eliminación de pétalos y estaminodios en flores padre y polinización



Polinización y cubierta de flores polinizadas



Clones de cacao polinizadas y evaluación de resultados



Desarrollo de los frutos a los tres, quince y treinta días

Anexo 5 Frutos afectados por insectos.



Frutos dañados en pleno desarrollo