



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**AUTOCOMPATIBILIDAD E INTERCOMPATIBILIDAD
DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) PARA LA
SELECCIÓN DE ÁRBOLES PROMISORES EN
PRODUCCIÓN Y ESTADO FITOSANITARIO**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Keyla Alejandra De La A Saavedra

LA LIBERTAD, AGOSTO 2026



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**AUTOCOMPATIBILIDAD E INTERCOMPATIBILIDAD
DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) PARA LA
SELECCIÓN DE ÁRBOLES PROMISORES EN
PRODUCCIÓN Y ESTADO FITOSANITARIO**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor/a: Keyla De La A Saavedra

Tutor: Ing. Marlon Alexis Mena Montoya, Mgr

LA LIBERTAD, AGOSTO 2026

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **Keyla Alejandra De La A Saavedra** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero/a Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 11/Agosto/2026

Ing. Verónica Andrade Yucailla, PhD.
DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Lourdes Ortega Maldonado, Msc.
PROFESORA ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Marlon Mena Montoya, Mgtr
PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD.
PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Washington Perero Vera, Msc.
ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por su amor infinito, fidelidad y misericordia. Gracias por ser mi fortaleza en los momentos de dificultad y por brindarme sabiduría para tomar las mejores decisiones y por sostenerme con su gracia lo largo de este camino.

Expreso mi más sincero agradecimiento al Ing. Marlon Alexis Mena, por su orientación, paciencia, compromiso y valiosos conocimientos compartidos durante el desarrollo de esta investigación. Sus enseñanzas y consejos fueron fundamentales para esta tesis y para mi formación profesional

Agradezco a la familia Tomalá Rosales por abrirme las puertas de su finca y brindarme la confianza, colaboración y todas las facilidades necesarias para la ejecución del experimento que dio origen a esta investigación. Su apoyo fue indispensable para alcanzar los objetivos propuestos.

Mi gratitud también se extiende a mis compañeros y amigos de la universidad, quienes hicieron que esta etapa estuviera llena de aprendizajes y momentos de alegría.

Finalmente, agradezco de todo corazón a mi mamá y a mi hermana, quienes estuvieron presentes en cada paso de mi formación universitaria. Gracias por acompañarme día a día. Este logro también les pertenece, porque sin ustedes esta meta no habría sido posible.

Keyla

DEDICATORIA

Dedico este logro, fruto de años de esfuerzo, dedicación y perseverancia a las personas que han sido mi apoyo a lo largo de este camino.

A mi Mamá Matilde Saavedra, a mi hermanita Doménica y a mi familia, por acompañarme en cada etapa de mi vida, por creer siempre en mí, impulsarme a perseguir mis sueños y sentirse orgullosos de cada uno de mis logros. A quienes han estado a mi lado y a quienes, aun encontrándose a la distancia, me han brindado su amor, apoyo y palabras de aliento, demostrando que la distancia nunca ha sido un impedimento para hacerme sentir acompañada. Su amor, confianza y apoyo incondicional han sido el motor que me permitió llegar hasta aquí.

A Daniel, mi enamorado, por estar a mi lado durante este proceso, por brindarme su paciencia, comprensión y palabras de aliento en los momentos más difíciles. Gracias por motivarme a seguir adelante y celebrar conmigo cada pequeño avance hacia esta meta.

De manera muy especial, dedico este logro a mi abuelita Mercedes, quien hoy me acompaña desde el cielo. Fue ella quien sembró en mí, desde muy pequeña, el amor por el campo y por el agro. Sin saberlo, dejó en mí la semilla de un sueño que con el tiempo se convirtió en mi profesión. Hoy, al culminar esta etapa, sé que este logro también es suyo, porque fue parte del inicio de este camino y una de las razones por las que este sueño pudo hacerse realidad. Espero se sientas orgullosa de mí.

Y, finalmente, me dedico este logro a mí misma, por no rendirme en los momentos difíciles, por cada esfuerzo, cada sacrificio y cada vez que decidí seguir adelante a pesar de las dudas y el cansancio. Me reconozco por haber creído en mí, por haber enfrentado cada desafío con perseverancia y por llegar hasta aquí sin olvidar el propósito que me impulsó a comenzar. Hoy abrazo con orgullo a la persona que fui, a la que soy y a la que estoy construyendo, porque este logro es también el resultado de mi valentía, dedicación y constancia.

Con profundo amor y gratitud, dedico esta tesis a cada uno de ustedes.

Keyla

RESUMEN

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) constituye una de las principales actividades agrícolas del Ecuador, sin embargo, su productividad se encuentra limitada por la baja eficiencia reproductiva, la incompatibilidad entre árboles y problemas fitosanitario, factores que dificultan la selección de materiales con alto potencial productivo. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar los niveles de autocompatibilidad e intercompatibilidad para la selección de árboles promisores en producción y estado fitosanitario. el estudio se desarrolló en la finca homero, ubicada en la Parroquia Colonche mediante un diseño experimental con tres tratamientos: polinización natural, autocompatibilidad e intercompatibilidad, distribuido en siete bloques, evaluando un total de 84 árboles. Se determinaron el índice y la curva de floración la receptividad estigmática, el estado fitosanitario y el prendimiento de frutos, el desarrollo inicial de las mazorcas y la selección de árboles promisores. Los resultados evidenciaron que el índice de floración fue similar entre tratamientos, mientras que la receptividad estigmática alcanzó su máxima expresión durante las primeras horas del día. El estado fitosanitario permitió identificar árboles con condiciones favorables para la evaluación reproductiva. La intercompatibilidad presentó una mayor eficiencia en el prendimiento de frutos respecto a la autocompatibilidad y la polinización natural. En contraste, el desarrollo inicial de las mazorcas mostró un comportamiento similar entre los métodos de polinización una vez establecido el fruto. Se concluye que la evaluación conjunta de variables fenológicas, reproductivas y fitosanitarias constituye una herramienta eficaz para la selección de árboles promisores y aporta información útil para programas de manejo y mejoramiento del cultivo de cacao.

Palabra claves: Fenología, polinización, receptividad, compatibilidad sexual

ABSTRACT

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is one of Ecuador's main agricultural crops; however, its productivity is limited by low reproductive efficiency, incompatibility among trees, and phytosanitary problems, factors that hinder the selection of plant materials with high productive potential. In this context, the objective of this research was to evaluate the levels of self-compatibility and intercompatibility for the selection of promising trees based on productivity and phytosanitary status. The study was conducted at Homero Farm, located in Colonche Parish, using an experimental design with three treatments: natural pollination, self-compatibility, and intercompatibility, distributed in seven blocks, evaluating a total of 84 trees. The flowering index, flowering curve, stigma receptivity, phytosanitary status, fruit set, initial pod development, and selection of promising trees were evaluated. The results showed that the flowering index was similar among treatments, whereas stigma receptivity reached its highest level during the early hours of the day. The phytosanitary evaluation made it possible to identify trees with favorable conditions for reproductive assessment. Intercompatibility showed greater efficiency in fruit set than self-compatibility and natural pollination. In contrast, the initial development of cocoa pods showed a similar pattern among pollination methods once fruit set had occurred. It is concluded that the integrated evaluation of phenological, reproductive, and phytosanitary variables is an effective tool for the selection of promising trees and provides useful information for cocoa crop management and improvement programs.

Keywords: Phenology; Pollination; Stigma receptivity; Sexual compatibility

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “**AUTOCOMPATIBILIDAD E INTERCOMPATIBILIDAD DEL CULTIVO DE CACAO** (*Theobroma cacao* L.) **PARA LA SELECCIÓN DE ÁRBOLES PROMISORES EN PRODUCCIÓN Y ESTADO FITOSANITARIO**” y elaborado por **Keyla De La A Saavedra**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

Firma del estudiante

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Problema Científico.....	2
Objetivos.....	4
1.1.1 Objetivo General:.....	4
1.1.2 Objetivos Específicos:	4
Hipótesis	4
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
1.2 Origen del cacao	5
1.3 Taxonomía	5
1.4 Morfología del cacao	5
1.4.1 Copa y hojas.....	6
1.4.2 Flor.....	6
1.4.3 Frutos	6
1.4.4 Semillas.....	6
1.4.5 Sistema radicular.....	7
1.4.6 Tronco y ramificación.....	7
1.5 Fisiología reproductiva del cacao	7
1.5.1 Floración.....	7
1.5.2 Polinización	8
1.6 Métodos de polinización.....	8
1.6.1 Polinización natural	8
1.6.2 Principales insectos polinizadores	9
1.6.3 Limitaciones de la polinización natural	9
1.7 Polinización asistida	10
1.7.1 Fundamentos de la polinización asistida	10
1.7.2 Procedimiento de polinización asistida	11
1.7.3 Ventajas de la polinización asistida.....	11
1.8 Fecundación y desarrollo inicial del fruto	11
1.9 Prendimiento o cuajado de frutos	12
1.10 Compatibilidad sexual en cacao	12
1.10.1 Autocompatibilidad	14
1.10.2 Intercompatibilidad	14
1.10.3 Incompatibilidad sexual.....	15
1.11 Evaluación de la compatibilidad sexual	16
1.11.1 Métodos de evaluación	16
1.11.2 Matrices de compatibilidad.....	17
1.12 Selección de árboles promisoros.....	18
1.12.1 Características de un árbol promisoros	18
1.12.2 Importancia en programas de mejoramiento genético	19
1.13 Investigaciones relacionadas	19
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
2.1 Caracterización del área.....	21
2.2 Materiales, equipos y reactivos	21
2.2.1 Material biológico.....	21

2.2.2	Material de campo para colecta de muestras	21
2.3	Tipo de investigación	22
2.4	Diseño de investigación.....	22
2.4.1	Diseño experimental	22
2.4.2	Croquis.....	23
2.5	Manejo del experimento	23
2.5.1	Instalación del experimento	23
2.5.2	Procedimiento de polinización asistida.....	24
2.5.3	Manejo fitosanitario	24
2.5.4	Frecuencia de riego	25
2.6	Parámetros evaluados	25
2.6.1	Índice de floración	25
2.6.2	Receptividad floral.....	26
2.6.3	Estado fitosanitario.	26
2.6.4	Curva de floración	27
2.6.5	Prendimiento de frutos.....	27
2.6.6	Crecimiento inicial del fruto	27
2.7	Análisis estadístico de los resultados	28
3	CAPÍTULO 3.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
3.1	Selección de árboles promisoros con base en floración, receptividad y estado fitosanitario.....	29
3.1.1	Índice de floración	29
3.1.2	Receptividad estigmática	30
3.1.3	Estado fitosanitario	31
3.2	Selección de árboles promisoros.....	33
3.3	Curva de floración y su influencia en la producción de frutos	35
3.4	Prendimiento de frutos bajo los diferentes métodos de polinización	38
3.5	Desarrollo de la mazorca inicial obtenidos mediante polinización controlada	39
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
	Conclusiones.....	41
	Recomendaciones	42
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
	ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica del cacao.....	5
Tabla 2 Autopolinización	17
Tabla 3 Interpolinización.....	17
Tabla 4 Análisis de varianza (ANOVA) utilizado para evaluar el efecto de los tratamientos y bloques en el experimento.....	22
Tabla 5 Descripción de los tratamientos de polinización evaluados en árboles de cacao.	22
Tabla 6 Escala de clasificación del índice de floración de árboles de cacao según el número de flores.	25
Tabla 7 Escala de clasificación del estado fitosanitario de los árboles de cacao según el puntaje obtenido.	26
Tabla 8 Índice de floración promedio de árboles de cacao bajo polinización natural, autocompatibilidad e intercompatibilidad.	30
Tabla 9 Receptividad estigmática (%) de flores de cacao en diferentes horas del día bajo los tratamientos de polinización evaluados.	31
Tabla 10 Distribución porcentual del estado fitosanitario de los árboles de cacao evaluados según las categorías establecidas.	32
Tabla 11 Árboles promisorios de cacao seleccionados según floración, estado fitosanitario y efectividad de la polinización.....	34
Tabla 12 Promedio de cojinetes florales y botones florales de árboles de cacao bajo polinización natural, autocompatibilidad e intercompatibilidad.	37
Tabla 13 Efectividad de la polinización y porcentaje de prendimiento de frutos de cacao bajo los diferentes tratamientos de polinización.	39
Tabla 14 Crecimiento inicial de las mazorcas de cacao (cm) durante cuatro semanas de evaluación bajo polinización natural, autocompatibilidad e intercompatibilidad.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista satelital del área experimental en la parroquia Colonche, provincia de Santa Elena	21
Figura 2. Distribución de los tratamientos y bloques de los experimentos de cacao bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA)	23
Figura 3 Curva de floración de árboles de cacao bajo polinización natural (T0), autocompatibilidad (T1) e intercompatibilidad (T2) durante el periodo de evaluación.	36

ÍNDICE DE ANEXOS

Figura1A 1	Análisis a la varianza del índice de floración	50
Figura1A 2	Curva de floración.....	50
Figura1A 3	Prendimiento de frutos bajo los diferentes métodos de polinización.....	52
Figura1A 4	Aplicación de Zn,Mgo,, B, N.....	52
Figura1A 5	Apertura de la flor etiqueda.....	52
Figura1A 6	Polinización manual	53

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia económica, social, ambiental a nivel mundial, debido a su participación en la industria chocolatera y al sustento que proporciona a millones de familias productoras. El cacao fino de aroma representa entre el 6 y el 8% de la producción mundial, siendo América Latina la principal región productora. En este contexto, Ecuador se destaca como el mayor proveedor mundial de cacao fino de aroma, aportando aproximadamente el 54% de la producción global de esta categoría, reconocida por sus características sensoriales y calidad diferenciada (Zapata, 2023).

A nivel nacional, el cacao constituye uno de los principales productores agrícolas de exportación. Ecuador ocupa el tercer lugar entre los productores mundiales, con una producción superior a las 345.000 toneladas. La variedad CCN-51 domina gran parte de la superficie cultivada debido a su alta productividad, mientras que el cacao Nacional Fino de Aroma se mantiene como una alternativa de gran valor comercial por su calidad. Aunque se han implementado programas de tecnificación y renovación de plantaciones para fortalecer la producción, aún existen limitaciones relacionadas con la productividad, la adaptabilidad genética y la sostenibilidad de los sistemas productivos (Paredes *et al.*, 2022)

La productividad del cacao depende en gran parte medida de su eficiencia reproductiva. Aunque cada árbol puede producir miles de flores al año, solo una pequeña proporción se desarrolla hasta convertirse en frutos maduros. Esta baja eficiencia está asociada a factores como la disponibilidad de polinizadores, las condiciones ambientales y la compatibilidad sexual entre materiales genéticos (García y Guzmán 2022).

Entre los aspectos de mayor interés para los programas de mejoramiento genéticos se encuentra el estudio de la autocompatibilidad e intercompatibilidad, debido a que la fecundación exitosa depende de la interacción entre materiales genéticamente compatibles. El desconocimiento de estas relaciones puede generar bajos porcentajes de cuajado de frutos y limitar la productividad de las plantaciones. Por ello, la identificación de materiales compatibles constituye una herramienta fundamental para la selección de árboles promisoros, la planificación de cruzamientos dirigidos y la obtención de genotipos con mejores características agronómicas y sanitarias (Erazo *et al.*, 2023).

La polinización natural del cacao es realizada principalmente por insectos perteneciente al género *Forcipomyia*, reconocidos como los principales polinizadores de esta especie a nivel mundial. Estos insectos que pertenecen a la familia *Ceratopogonidae*, tienen una relación muy cercana con las condiciones ambientales del cultivo; por lo tanto, elementos como el clima pueden influir en su cantidad y en su capacidad de polinización, especies como *Dasyhelea scissurae* y miembros del género *Clinodiplosis* se involucran en el transporte de polen y ayudan a que las plantas tendrán éxito en su reproducción (Guzmán y García, 2022). Con el objetivo de mejorar la producción y eficacia de los programas de selección genética, es esencial entender los mecanismos reproductivo debido a esta dependencia biológica.

Pese a que la compatibilidad sexual en cacao es importante, hay escasa información acerca de cómo se comportan distintos materiales genético al reproducirse bajo las condiciones agroecológicas en la provincia de Santa Elena. Este hecho hace más difícil la identificación de combinaciones que sean compatibles y ayuden a optimizar la fecundación y el saturado de frutos, limitando el uso eficaz de los recursos genéticos y la formulación de estrategias de mejoramiento que se adapta a las circunstancias locales (García y Cedeño 2022)

La presente investigación se lleva a cabo este estudio es la necesidad de generar información científica sobre la compatibilidad sexual de materiales de cacao, contribuyendo a la comprensión de los procesos reproductivos que influyen en la productividad del cultivo. Los resultados servirán como base para la selección de progenitores en programas de mejoramiento genéticos y beneficiaran a productores, técnicos e investigadores, aportando herramientas para optimizar los cruzamientos, fortalecer la producción de material vegetal y mejorar la sostenibilidad y competitividad del sector cacaotero (Rodríguez *et al.*, 2024).

Problema Científico

La producción de cacao depende en gran medida de la polinización realizada por insectos específicos como la mosquilla *Forcipomyia spp.*, ya que la estructura de las flores

y la autoincompatibilidad genética dificulta la autopolinización. Factores como el clima desfavorable, el uso excesivo de agroquímicos y la falta de sombra reducen la población de estos polinizadores, limitando la fecundación y por ende la productividad del cultivo.

En condiciones naturales, solo entre el 2 y 4% de las flores de cacao logran convertirse en frutos debido a la baja eficiencia de la polinización natural. La polinización manual puede aumentar considerablemente este porcentaje, lo que evidencia la importancia de implementar prácticas que favorezcan la presencia y actividad de los polinizadores para mejorar el rendimiento del cacao. Antes este contexto, tenemos la siguiente interrogante.

¿Qué influencia tienen la floración, la receptividad floral, el estado fitosanitario y los métodos de polinización en la selección de árboles promisorios de cacao (*Theobroma cacao* L.)?

Objetivos

1.1.1 Objetivo General:

- ❖ Evaluar los niveles de autocompatibilidad e intercompatibilidad del cacao (*Theobroma cacao* L.) como método de selección de árboles promisores con alto rendimiento y buen estado fitosanitario.

1.1.2 Objetivos Específicos:

1. Identificar árboles promisores de *Theobroma cacao* L. con base en floración, receptividad y estado sanitario.
2. Analizar las curvas de floración y su influencia en la producción de frutos a partir de los métodos de polinización.
3. Determinar el porcentaje de prendimiento bajo polinización natural y asistida (auto e intercompatibilidad).

Hipótesis

- H1: Al menos uno de los métodos de polinización (auto e intercompatibilidad) producirá un mayor porcentaje de prendimiento de flores en cacao.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.2 Origen del cacao

Theobroma cacao L. tiene su origen en la Alta Amazonía, específicamente en la región fronteriza entre Ecuador y Perú. Evidencias arqueológicas basadas en la presencia de Teobromina en cerámicas pertenecientes a la cultura Mayo-Chinchipe-Marañón, con una antigüedad entre 5450 y 5300 años, sugieren que esta región constituye uno de los primeros centros de domesticación del cacao (Valdez, 2021).

Según Díaz *et al.* (2020), investigaciones recientes han demostrado que el uso del cacao se originó en Sudamérica y posteriormente se expandió hacia Mesoamérica. Estos hallazgos han permitido reconocer la importancia de Ecuador y Perú en la historia evolutiva y cultural del cultivo.

1.3 Taxonomía

El cacao pertenece a la familia Malvaceae y presenta características morfológicas particulares en su sistema radicular, tallo, hojas, flores y frutos, las cuales influyen directamente en su desarrollo, producción y adaptación a diferentes condiciones ambientales (Sanchez, 2012). La clasificación taxonómica del cacao se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1 Clasificación taxonómica del cacao.

Categoría	Clasificación
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Malvales
Familia	Malvaceae
Género	<i>Theobroma</i>
Especie	<i>Theobroma cacao</i> L.

(Mancheno, 2022)

1.4 Morfología del cacao

El árbol de cacao es un arbusto de tamaño moderado, con hojas que permanecen verdes todo el año, y que en cultivo suele alcanzar entre 4 y 7 metros de altura, según la

variedad. Sin embargo, cuando crece en su estado natural, puede sorprender al superar los 20 metros de altura (Jean *et al.*, 2022).

1.4.1 *Copa y hojas.*

El árbol de cacao tiene una copa baja, densa y extendida. Sus hojas son grandes y están dispuestas de forma alterna y colgante, con una forma elíptica u oblonga, miden entre 20 y 35 cm de largo, aunque pueden variar entre 15 y 50 cm, y tienen un ancho de 4 a 15 cm. Son de textura algo gruesa, con bordes lisos, y presentan un color verde oscuro en el haz y más claro en el envés. Están unidas al tallo por un pecíolo, lo que les da un aspecto elegante y distintivo (Vera *et al.*, 2021).

1.4.2 *Flor*

Estos crecen en racimos sobre cojinetes florales que se encuentran en el tronco y las ramas principales. Son pequeñas, con diámetro entre 0.5 y 1 cm, y estas presentan colores variables entre blanco, rosado y púrpura. La estructura floral está formada por cinco pétalos, cinco sépalos, estambres y pistilo, constituyendo flores hermafroditas adaptadas a la polinización entomófila (Avendaño, 2018).

1.4.3 *Frutos*

El fruto del árbol de cacao, comúnmente llamado mazorca, es una baya grande y carnosa. Su forma puede variar entre oblonga y ovoide, midiendo entre 15 y 30 cm de largo y 7 a 10 cm de grosor. Tiene una punta marcada y surcos longitudinales que recorren su superficie. El color de la mazorca puede ir desde el amarillo hasta el púrpura, lo que la hace muy atractiva. En su interior, se encuentran entre 30 y 40 semillas dispuestas axialmente, rodeadas por una deliciosa pulpa que se genera a partir de las capas externas de la testa. Esta pulpa es dulce y jugosa, lo que la hace un complemento perfecto para las semillas, que son las que se utilizan para producir el cacao (Sacoto *et al.*, 2022)

1.4.4 *Semillas*

Las semillas del cacao, similares en tamaño a una almendra, miden entre 2 y 3 cm de largo y tienen un color chocolate o púrpura intenso. Aunque tienen un sabor amargo, están cubiertas por una pulpa blanca y mucilaginosa que es dulce con un toque ácido, lo que las hace muy atractivas. Estas semillas están formadas casi en su totalidad por los dos

cotiledones del embrión y son conocidas popularmente como "habas" o "granos" de cacao. Son ricas en almidón, proteínas y grasas, lo que las hace altamente nutritivas y valiosas para la producción de cacao (García *et al.*, 2021).

1.4.5 Sistema radicular

El sistema de raíces del árbol de cacao es bastante eficiente. Incluye una raíz principal o pivotante que, en condiciones adecuadas, puede profundizar más de 2 metros en la tierra, lo que permite absorber nutrientes del subsuelo de manera efectiva. Además, cuenta con muchas raíces laterales que se distribuyen cerca de la superficie, a unos 15 cm de profundidad, lo que ayuda a capturar nutrientes de la capa superior del suelo. Esta combinación de raíces profundas y superficiales asegura que el árbol tenga acceso a una amplia variedad de nutrientes, lo que es esencial para su crecimiento saludable (Jaimez *et al.*, 2021).

1.4.6 Tronco y ramificación

El tronco presenta crecimiento ortotrópico mediante brotes verticales denominados chupones. Las ramas laterales se desarrollan de forma plagiotrópica formando estructuras conocidas como molinillos. Una característica distintiva de la especie es la cauliflora, fenómeno mediante el cual las flores se desarrollan directamente sobre el tronco y ramas viejas (Mancheno, 2022).

1.5 Fisiología reproductiva del cacao

1.5.1 Floración

Esto ocurre durante gran parte del año, aunque suele presentar períodos de mayor intensidad asociados a determinadas condiciones ambientales. Las flores se desarrollan sobre cojines florales localizados en el tronco y ramas principales, características típicas de la especie (Avendaño, 2018). Según Garay *et al.* (2024), un árbol de cacao puede producir entre 5000 y 125000 flores por año. Sin embargo, la intensidad de floración está influenciada por factores ambientales como la precipitación, temperatura e intensidad lumínica.

Las flores inician su apertura durante la tarde y alcanza su máxima receptividad durante las primeras horas de la mañana. Aunque el cacao presenta una elevada producción floral, únicamente una pequeña proporción de flores logran desarrollarse hasta convertirse en frutos maduros (Sánchez, 2020).

La floración representa una de las etapas fenológicas más importantes del cultivo de cacao, debido a que condiciona el potencial reproductivo de la planta y la posterior formación de frutos. La evaluación de la floración, conjuntamente con variables de producción y estado fitosanitario, constituye en criterio técnico para identificar materiales con mejor comportamiento agronómico y mayor potencial productivo (Balón, 2015).

1.5.2 Polinización

La polinización es un proceso fundamental en la reproducción sexual del cacao, ya que permite transferencia del polen desde las anteras hasta el estigma de la flor, dando lugar a la fecundación y al desarrollo del fruto. Este proceso es complejo debido a la morfología de la flor, la cual dificulta la transferencia natural del polen. Como resultado, existe una marcada diferencia entre la gran cantidad de flores producidas por el árbol y el reducido número de frutos que finalmente se desarrollan (Garzón, 2020).

La polinización del cacao es realizada principalmente por insectos pertenecientes a la familia Ceratopogonidae, especialmente especies del género *Forcipomyia*. Estos insectos transportan polen entre flores durante sus actividades de alimentación, favoreciendo la fecundación y formación de frutos. Estos insectos ingresan al interior de la flor en busca de néctar y, al desplazarse entre los estaminoides y las bolsas petaloides, facilitan el traslado del polen hacia el estigma. La presencia de estos polinizadores depende de condiciones ambientales favorables, como ambientes húmedos y abundancia de materia orgánica (García y Guzmán, 2022; Montero *et al.*, 2019).

1.6 Métodos de polinización

1.6.1 Polinización natural

La polinización natural es el mecanismo principal de reproducción sexual del cacao en condiciones de campo. Este proceso ocurre cuando el polen es transferido desde las anteras hacia el estigma de una flor mediante la acción de agentes bióticos, principalmente insectos polinizadores, permitiendo la fecundación de los óvulos y el posterior desarrollo de frutos. La eficiencia de este proceso determina en gran medida el rendimiento de cultivo, ya que de una adecuada polinización depende el porcentaje de cuajado de frutos y, por ende, la productividad de la plantación (Montero *et al.*, 2019).

1.6.2 Principales insectos polinizadores

Debido a las características de sus flores la polinización natural de cacao depende de insectos, ya que las flores presentan estructuras complejas que dificultan la autopolinización y limita el transporte del polen por el viento. Por esta razón, la especie es considerada de polinización entomófila, siendo los insectos los responsables de la transferencia de polen entre flores receptivas. Diversos estudios han identificados a los dípteros de la familia Ceratopogonidae como los principales agentes polinizadores del cacao (Vásquez *et al.*, 2020).

Dentro de la familia Ceratopogonidae, el género *Forcipomyia* es reconocido como el principal polinizador del cacao debido a su reducido tamaño y a las abundantes setas presentes en su cuerpo, que facilitan la adhesión y el transporte de los granos de polen durante el desplazamiento entre flores. Asimismo, se ha documentado la participación de otros géneros, como *Dasyhelea* y *Atrichopogon*, los cuales también contribuyen al proceso de polinización. El objetivo de estos insectos es mover el polen desde las anteras al estigma de flores que están listas para ser fecundadas, lo que ayuda a la fecundación y al desarrollo posterior de los frutos. También, algunos dípteros de la familia Cecidomyiidae se han documentado como polinizadores florales del cacao y podrían jugar un papel complementario en este proceso; sin embargo, su aporte es considerado inferior al de los ceratopogonidos (Cañarte y Navarrete, 2021).

La abundancia y actividad de los polinizadores esta influenciada por factores ambientales como la humedad relativa, la disponibilidad de agua en el suelo, la presencia de sombra y la acumulación de materia orgánica en descomposición. Cuando estas condiciones son favorables, las poblaciones de polinizadores aumentan y mejoran la eficiencia de la polinización, excepto en ambientes secos o alterados que pueden reducir su presencia y limitar la producción de frutos (Cañarte *et al.*, 2021).

1.6.3 Limitaciones de la polinización natural

La polinización natural del cacao tiene muchas limitaciones que impactan el desarrollo de los frutos. La polinización debe tener la intensidad apropiada para que el cultivo tenga éxito en su reproducción. Esto se debe a que las flores que no reciben polen mueren dentro de 24 horas después de la antesis y no llegan a producir frutos. la eficacia de la polinización natural, y por ende el rendimiento del cultivo, está determinada por

elementos genéticos como la medida de autoincompatibilidad y la presencia de insectos polinizadores, sobre todo los de la familia Ceratopogonidae (Dani & Rokhmah, 2022)

La distribución de los árboles dentro de las plantaciones puede afectar la transferencia efectiva del polen entre individuos compatibles. Estas limitaciones han impulsado el desarrollo de técnicas de polinización asistida que permitan incrementar el porcentaje de fecundación y evaluar la compatibilidad sexual de los materiales genéticos (López *et al.*, 2021).

Montero *et al.* (2019) observaron que las parcelas donde se incorporó la cáscara de cacao como sustrato registraron mayores porcentajes de polinización y fecundación floral. Este resultado evidencia que la conservación de materia orgánica y hábitat para los polinizadores pueden contribuir significativamente al éxito reproductivo del cacao y al incremento del rendimiento de las plantaciones.

1.7 Polinización asistida

Esta es una herramienta ampliamente utilizada en estudios de biología reproductiva y programas de mejoramiento genético. Este procedimiento consiste en transferir manualmente el polen desde una flor donadora hacia una flor receptora previamente seleccionada, permitiendo controlar los cruzamientos y evaluar las relaciones de compatibilidad sexual entre diferentes genotipos (Bailón *et al.*, 2025).

Su aplicación permite reducir la influencia de factores externos asociados a la polinización natural y obtener resultados más precisos sobre la capacidad reproductiva de los materiales evaluados. La polinización asistida es una metodología fundamental en investigaciones relacionadas con autocompatibilidad e intercompatibilidad (López *et al.*, 2021).

Según Pérez *et al.* (2017), la polinización manual es una estrategia fundamental para la obtención de híbridos y para la selección de materiales con características agronómicas superiores.

1.7.1 Fundamentos de la polinización asistida

Esta polinización se basa en la manipulación controlada del proceso reproductivo con el fin de asegurar la transferencia del polen entre individuos específicos. Esta metodología

permite evaluar la respuesta reproductiva de la variedad de materiales genéticos bajo condiciones controladas y determinar la existencia de relaciones de autocompatibilidad e intercompatibilidad sexual. Su importancia radica en la posibilidad de identificar materiales con elevada capacidad de fecundación, información indispensable para la selección de árboles promisoros (Zapata, 2023).

1.7.2 Procedimiento de polinización asistida

La polinización asistida incluye la recolección de polen de flores recién abiertas, la extracción de anteras, el retiro manual del polen y su posterior transferencia al estigma de flores receptoras. Una vez realizadas las polinizaciones, las flores son protegidas para evitar contaminación con polen externo y asegurar la validez de los resultados experimentales (Vera *et al.*, 2016).

1.7.3 Ventajas de la polinización asistida

Entre las principales ventajas de la polinización asistida se encuentra las posibilidades de controlar los cruzamientos, incrementar la precisión experimental y evaluar directamente la compatibilidad sexual entre materiales genéticos. Facilitando la obtención de híbridos y la identificación de genotipos con elevada eficiencia reproductiva. También permite reducir la dependencia de los polinizadores naturales, especialmente en condiciones donde su población son limitadas o presentan baja actividad (Morán *et al.*, 2021).

1.8 Fecundación y desarrollo inicial del fruto

La fecundación ocurre cuando un grano de polen viable es depositado sobre un estigma receptivo y desarrolla un tubo polínico que crece a través del estilo hasta alcanzar el ovario. Durante este proceso se produce la unión de los gametos masculinos y femeninos, dando origen al cigoto y posteriormente al embrión. Esta fecundación depende de factores como la viabilidad del polen, la receptividad estigmática y la compatibilidad genética entre los materiales involucrados (García y Guzmán, 2022).

Una vez completada la fecundación, se procede al inicio del desarrollo de la mazorca mediante la división celular y diferenciación de tejidos. Durante las primeras semanas ocurre una intensa actividad fisiológica donde el fruto joven demanda altas cantidades de nutrientes. En esta etapa temprana, una proporción importante de frutos puede abortar debido a limitaciones fisiológicas, estrés ambiental o intercompatibilidad genética. La formación exitosa del fruto constituye a un indicador directo del éxito reproductivo del cacao, por lo

que la fecundación representa una de las etapas más importantes dentro de los programas de mejoramiento genético y selección de materiales promisorios (Rodríguez *et al.*, 2024)

1.9 Prendimiento o cuajado de frutos

El prendimiento o cuajado corresponde al porcentaje de flores polinizadas que logran desarrollarse hasta formar un fruto. Esta variable es ampliamente utilizada para evaluar la eficiencia del cacao y determinar el éxito de los procesos de polinización y fecundación (Morán *et al.*, 2021).

Aunque un árbol puede producir miles de flores al año, solamente una mínima proporción alcanza la etapa de fruto maduro. Diversos estudios indican que menos del 5% de las flores producidas llegan a convertirse en mazorcas cosechables debido a factores fisiológicos, genéticos y ambientales que afectan el proceso reproductivo. El porcentaje de prendimiento constituye uno de los principales indicadores utilizados en estudios de autocompatibilidad e intercompatibilidad, debido a que permite cuantificar la capacidad de un genotipo para formar frutos después de una polinización controlada. Por esta razón, es una variable frecuentemente empleada en programas de mejoramiento genético y selección de árboles superiores (Barrón García *et al.*, 2014).

1.10 Compatibilidad sexual en cacao

La compatibilidad sexual en el cacao constituye uno de los mecanismos biológicos que regulan el éxito de la reproducción de la especie, al determinar la capacidad que tiene el polen y el tejido reproductivo femenino para completar el proceso de fecundación y originar frutos viables (Solís Bonilla *et al.*, 2015). Según Villavicencio (2023), la compatibilidad se define como la capacidad que representan dos gametos compatibles para interactuar de manera adecuada, permitiendo el crecimiento del tubo polínico, la fecundación de los óvulos y el posterior desarrollo de semillas y frutos. Este proceso representa un factor determinante en la productividad del cultivo, ya que de esto depende el porcentaje de flores que logran transformarse en mazorcas.

Este mecanismo comprende una serie de procesos fisiológicos y genéticos que se inician una vez que el polen es depositado sobre el estigma de una flor receptiva. Posteriormente, el polen debe germinar y formar un tubo polínico que crece a través del estilo hasta alcanzar el ovario, donde ocurre la fecundación de los óvulos. Para que este

proceso se complete exitosamente es indispensable que exista reconocimiento y afinidad genética entre el polen y el pistilo; de lo contrario, el crecimiento del tubo polínico puede detenerse o la fecundación no llegar a concretarse, dando lugar a fenómenos de incompatibilidad que limitan la formación de frutos (Sánchez, 2019; Villavicencio, 2023).

La compatibilidad se encuentra estrechamente relacionada con la polinización natural, debido a que la transferencia de polen depende principalmente de pequeños insectos del género *Forcipomyia*. Sin embargo, la llegada del polen al estigma no garantiza la fecundación, ya que esta solo ocurre cuando existe compatibilidad entre los gametos. Diversas investigaciones indican que un árbol de cacao puede producir miles de flores durante un ciclo productivo, pero únicamente una pequeña proporción llega a convertirse en fruto, debido tanto a la limitada eficiencia de la polinización como a la existencia de mecanismo de compatibilidad e incompatibilidad entre los diferentes materiales genéticos (Montero *et al.*, 2019).

Este mecanismo está influenciado por diversos factores, entre ellos la constitución genética de cada clon, la viabilidad del polen, la receptividad del estigma, la sincronía de la floración y las condiciones ambientales que favorecen la actividad de los insectos polinizadores. Asimismo, factores como la humedad, la temperatura, la disponibilidad de sombra y el manejo agronómico del cultivo inciden indirectamente sobre el éxito reproductivo. De igual manera, el mantenimiento de ambientes con abundante materia orgánica favorece el desarrollo de los insectos polinizadores, incrementando las probabilidades de una polinización efectiva. En consecuencia, el éxito reproductivo del cacao no depende únicamente del polen, sino de la interacción entre factores genéticos y ambientales (Peralta y Calzada, 2022).

Desde el punto de vista agronómico, el conocimiento de la compatibilidad sexual constituye una herramienta fundamental para los programas de mejoramiento genético y para el establecimiento de plantaciones comerciales. La evaluación de estas características permite identificar materiales con mayor capacidad reproductiva, seleccionar árboles promisorios y diseñar combinaciones de clones que favorezcan una mayor fecundación y un incremento en el porcentaje de cuajado de frutos (Mena, 2016).

1.10.1 Autocompatibilidad

La autocompatibilidad es la capacidad de una planta para fecundar sus propias flores utilizando polen procedente del mismo individuo. En cacao, esta característica presenta una gran viabilidad entre genotipos, existiendo materiales capaces de producir frutos mediante autopolinización y otros que requieren obligatoriamente polen de plantas diferentes (Mancheno, 2022).

El sistema de compatibilidad genética del cacao, que controla como interactúan el polen y el pistilo, determina principalmente esta condición. En los materiales autocompatibles, el polen tiene la capacidad de germinar sobre el estigma, formar el tubo polínico y fertilizar los óvulos, lo cual posibilita que se forme el fruto. Por otro lado, en genotipos autoincompatibles hay barreras genéticas que evitan este proceso, lo cual causa la interrupción del desarrollo de las flores y disminuye de manera significativa la creación de mazorcas (Villavicencio, 2023).

Esto constituye a una característica de gran importancia en los programas de mejoramiento genético, ya que los materiales autocompatibles presentan mayor estabilidad en la producción, incluso cuando la actividad de los insectos polinizadores es limitada o las condiciones ambientales restringen la polinización cruzada. Por esta razón, la evaluación de la autocompatibilidad permite identificar genotipos con mayor potencial reproductivo y productivo, facilitando la selección de clones destinados al establecimiento de plantaciones comerciales y a programas de mejoramiento (Mena, 2016).

Sin embargo, la autocompatibilidad no garantiza por si sola altos rendimientos, ya que el éxito reproductivo también depende de factores como la viabilidad del polen, la receptividad del estigma, la morfología floral, las condiciones climáticas y la presencia de insectos polinizadores, especialmente dípteros de la familia Ceratopogonidae, responsable de la mayor parte de la polinización natural del cacao (Montero *et al.*, 2019).

1.10.2 Intercompatibilidad

La intercompatibilidad corresponde a la capacidad de dos genotipos diferentes para intercambiar polen y producir frutos viables. Esta característica resulta fundamental en plantaciones comerciales donde coexisten diversos clones o materiales genéticos, ya que permite garantizar una adecuada fecundación y producción de frutos (Vargas, 2022).

En el cultivo de cacao, la intercompatibilidad está estrechamente relacionada con el sistema de compatibilidad genética de cada clon. Cuando dos materiales presentan compatibilidad entre sí, el polen transferido desde una planta puede germinar sobre el estigma de otra, desarrollar el tubo polínico y completar la fecundación de los óvulos, favoreciendo el cuajado de frutos. En cambio, cuando existe intercomptibilidad, el crecimiento del tubo polínico es bloqueado por mecanismo genéticos, impidiendo la fecundación y ocasionando una disminución en la formación de mazorcas, aun cuando la polinización haya ocurrido (Villavicencio, 2023).

En plantaciones comerciales, la evaluación de la intercompatibilidad también contribuye a definir la distribución adecuada de los clones dentro del cultivo, favoreciendo el intercambio de polen entre materiales compatibles y mejorando la eficiencia reproductiva. De esta manera, se incrementa el porcentaje de flores fecundadas y el rendimiento del cultivo, especialmente en sistemas donde la producción depende de la polinización cruzada. Además, el éxito de este proceso no solo depende de la compatibilidad, sino también de la actividad de los insectos y de las condiciones ambientales que favorecen el transporte de polen entre plantas (Montero et al., 2019).

El conocimiento de las relaciones de intercompatibilidad facilita la planificación de cruzamientos dirigidos y la selección de combinaciones parentales que permitan obtener descendencias con características agronómicas superiores. Asimismo, contribuye al establecimiento de sistemas de siembra más eficientes y productivos (Mata *et al.*, 2021).

1.10.3 Incompatibilidad sexual

La incompatibilidad sexual se presenta como una paradoja biológica fascinante: mientras que un solo árbol puede producir hasta 125.000 flores al año, en condiciones naturales solo el 2% de estas logran transformarse en frutos maduros. Este fenómeno no es un simple error de la naturaleza, sino un complejo mecanismo genético heredable que actúa como una barrera reproductiva, limitando la formación de mazorcas para favorecer la polinización cruzada y la diversidad genética de las futuras generaciones (Mancheno, 2022).

Este proceso está regido por un sistema de tipo esporofítico, donde el pistilo de la flor tiene la capacidad bioquímica de reconocer y rechazar el polen de la misma planta o de parientes cercanos. Científicamente, este rechazo ocurre en un “Locus S” simple con alelos

múltiples (S1, S2, S3, S5 Y S6) que siguen un orden jerárquico de dominancia; si el polen y el pistilo comparten ciertos alelos, el tubo polínico es bloqueado en el ovario o el estigma, impidiendo la fecundación a pesar de que la polinización haya ocurrido con éxito (Peralta and Calzada, 2022; Villavicencio, 2023).

Los materiales se clasifican principalmente en dos grupos auto incompatibles, cuyo polen es incapaz de fecundar sus propios óvulos, y los inter – incompatibles, que no pueden intercambiar polen con otros genotipos específicos. Esta característica es particularmente marcada en el grupo genético de los cacaos “Criollos”. Sin embargo, la naturaleza no es absoluta y suele presentarse la pseudocompatibilidad, un nivel bajo de fecundación exitosa que permite cierta flexibilidad reproductiva en condiciones de cultivo (Villavicencio, 2023).

Para los agricultores, entender estas relaciones es la clave entre la pérdida económica y la rentabilidad. El uso de clones altamente autocompatibles, como el famoso CCN- 51 que alcanza índices de éxito hasta el 86%, asegura producciones estables. En programas de mejoramiento, se diseñan arreglos de siembra policlonales mezclando materiales intercompatibles para maximizar el cuajamiento de frutos, utilizando la polinización manual como una herramienta estratégica para potenciar el rendimiento del cultivo (Mancheno, 2022).

1.11 Evaluación de la compatibilidad sexual

1.11.1 Métodos de evaluación

La evaluación de la compatibilidad sexual en cacao se realiza principalmente mediante pruebas de polinización manual controlada. Estas pruebas consisten en transferir polen de un genotipo donador hacia flores previamente seleccionadas de un genotipo receptor, permitiendo determinar la respuesta reproductiva obtenida en cada combinación genética (Quintana *et al.*, 2018).

Los resultados se expresan generalmente mediante el porcentaje de prendimiento de frutos, indicador que permite clasificar los materiales como autocompatibles, intercompatibles o incompatibles. Este procedimiento constituye una herramienta fundamental para la identificación de genotipos promisoros y para el desarrollo de programas de mejoramiento genéticos (Vera *et al.*, 2021)

1.11.2 Matrices de compatibilidad

Las matrices de compatibilidad son herramientas utilizadas para representar gráficamente las relaciones de compatibilidad e incompatibilidad entre diferentes genotipos de cacao. Estas matrices permiten identificar las combinaciones que presentan mayores probabilidades de éxito reproductivo y facilitan la selección de parentales para programas de cruzamiento (Aleans *et al.*, 2023).

Su aplicación contribuye a optimizar los procesos de selección genética, reducir costos experimentales y mejorar la eficiencia de los programas de mejoramiento mediante la identificación de materiales compatibles con alto potencial productivo.

Tabla 2 Autopolinización

Materiales	A5	A17	A29	A41	A53	A65	A77
A5	x						
A17		x					
A29			x				
A41				x			
A53					x		
A65						x	
A77							x

Tabla 3 Interpolinización

Materiales	A12	A24	A36	A48	A60	A62	A84
A9	x						
A21		x					
A33			x				
A45				x			
A57					x		
A69						x	
A81							x

1.12 Selección de árboles promisorios

1.12.1 Características de un árbol promisorio

La selección y caracterización de árboles promisorios es un proceso técnico – científico integral cuyo objetivo es identificar y documentar individuos con rasgos superiores en términos de productividad, sanidad y calidad para su posterior propagación. Este proceso comienza con la selección individual, un método fitogenético que busca identificar árboles madres superiores dentro de la población heterogéneas para propagarlos asexualmente y asegurar su estabilidad genética. Para que la selección sea efectiva, se aplica criterios rigurosos de ubicación en la parcela: el árbol no debe estar en la orilla, debe estar rodeado de otros árboles (sin competencia externa) y debe encontrarse lejos de ríos, viviendas o depósitos de desechos orgánicos para asegurar que su rendimiento se deba a la genética y no a ventajas ambientales (Gutiérrez, 2020).

Según Drouet Candell *et al.*,(2019), la evaluación de indicadores agronómicos es una herramienta fundamental para definir cómo se comporta un cultivo e identificar materiales con cualidades superiores. En este escenario, se hace posible escoger arboles con mayor potencial de producción al incorporar variables como la floración, la eficacia de la polinización y el estado fitosanitario.

La identificación inicial en campo es denominada a la selección anterior, se realiza visualizando el número y tamaños de las mazorcas, el vigor de la planta y un estado sanitario optimo frente a enfermedades limitantes como la moniliasis y la escoba de bruja. Un elemento clave en esta etapa es el enfoque participativo, el cual incorpora a agricultores “expertos” para identificar árboles que mantengan una producción constante durante todo el año, aprovechando el potencial de los recursos genéticos conservados directamente en las parcelas de los productores (García, 2019).

Una vez identificado los candidatos, se procede a la caracterización morfológica, definida como el acto de describir la diversidad genética para facilitar la distinción entre muestras mediante rasgos morfológicos y fenológicos altamente heredables. Para ello, se emplea descriptores estandarizados, que son atributos del material genético fácilmente medibles y visibles, siendo la flor y la mazorca los componentes más críticos para la diferencia taxonómica. En esta fase se evalúan propiedades cualitativas y cuantitativas de

las diferentes estructuras de la planta, incluyendo el tronco, las hojas, las flores, el fruto y las semillas (Marcelino, 2025).

Según Rivas, (2016) la evaluación agronómica de materiales de cacao permite identificar individuos con características sobresalientes de adaptación, crecimiento, producción y estado fitosanitario, información indispensable para la selección de árboles promisorios y el establecimiento de programas de mejoramiento genético.

1.12.2 Importancia en programas de mejoramiento genético

La selección de árboles promisorios constituye una etapa fundamental en los programas de mejoramiento genético del cacao, ya que permite identificar materiales superiores que pueden ser utilizados como progenitores en cruzamientos dirigidos o como fuentes de propagación vegetativa (Rodríguez *et al.*, 2023).

La incorporación de genotipos con un alto potencial productivo, buen comportamiento fitosanitario y elevada compatibilidad sexual contribuye al desarrollo de nuevas variedades capaces de incrementar la productividad mejorar la calidad del grano y aumentar la sostenibilidad de los sistemas de producción de cacao (Agudelo *et al.*, 2023).

1.13 Investigaciones relacionadas

Morán *et al.* (2021) evaluaron 333 árboles pertenecientes a 71 linajes híbridos de cacao con el objetivo de identificar materiales autocompatibles y de alta productividad. Las investigaciones indicaron que solamente tres linajes mostraban niveles apropiados de autocompatibilidad, con porcentajes menores al 30%; no obstante, estos materiales no superaron de manera significativa a otros genotipos con rasgos agronómicos parecidos. En las primeras fases de producción, los escritores concluyeron que la autocompatibilidad es un elemento significativo, aunque el rendimiento final también depende de factores relacionados con la genética, medio ambiente y el manejo agronómico. Estos resultados resaltan la importancia de considerar la compatibilidad sexual como criterio de selección en actividades de mejoramiento genético.

Mancheno (2022) en la investigación titulada “Estudio de la autocompatibilidad de quince genotipos élitos de cacao (*Theobroma cacao* L.), establecidos en la estación experimental central de la Amazonía.”, evaluó la autocompatibilidad de 15 genotipos élitos de cacao mediante polinización artificial, con el propósito de identificar materiales con

mayor capacidad de autofecundación. Los resultados mostraron que los genotipos T7, T6 y T14 presentaron porcentajes de autocompatibilidad superior al 80%, mientras que T10, T9, T2, T1 y T11 fueron autoincompatibles. El autor concluyó que la evaluación de la autocompatibilidad es un criterio importante para la selección de materiales con mayor potencial productivo y recomendó realizar estudios en diferentes épocas del año para evaluar la influencia de las condiciones climáticas.

Garzón (2020), en la investigación titulada “Autocompatibilidad de seis genotipos seleccionados como parentales en un programa de mejoramiento genético de cacao (*Theobroma cacao* L.)”, evaluó la autocompatibilidad de seis genotipos de cacao y sus características morfológicas florales para identificar materiales con mayor potencial reproductivo. Los resultados evidenciaron que el clon CCN – 51 presentó el mayor índice de autocompatibilidad (0.86), además de destacar por sus características morfológicas floreales, las cuales favorecieron el proceso de polinización. El autor concluyó que la autocompatibilidad y la morfología de la flor constituyen criterios importantes para la selección de parentales en programas de mejoramiento genético del cacao.

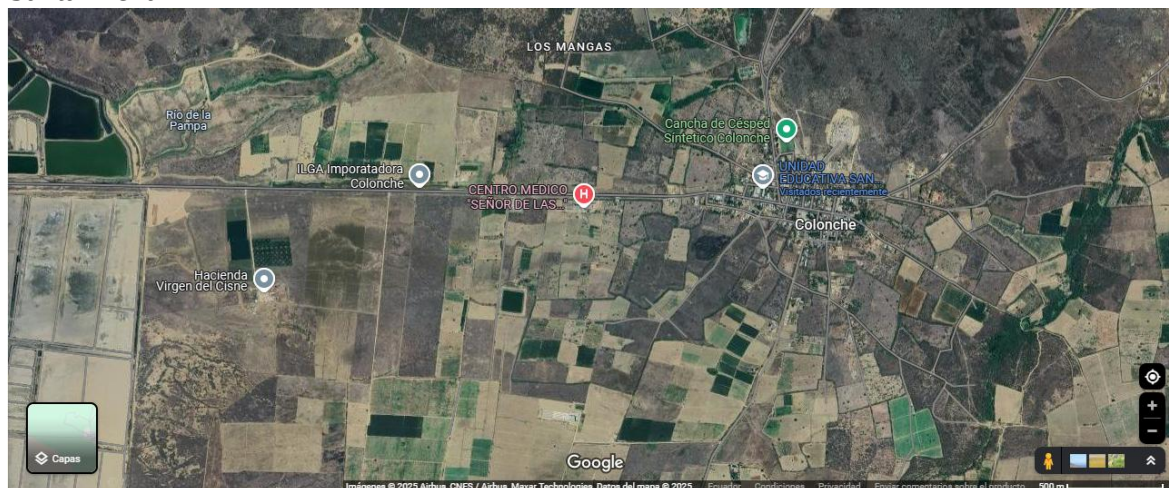
Villavicencio (2023) en la investigación titulada “Compatibilidad sexual de variedades de Cacao (*Theobroma cacao* L.) y su efecto en la producción de grano”, realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de determinar los factores que intervienen en la compatibilidad sexual del cacao y su influencia en la producción. Los resultados evidenciaron que la incompatibilidad sexual está estrechamente relacionada con la morfología floral, las deficiencias en la polinización y los mecanismos genéticos que limitan la fecundación, clasificándose en autoincompatibilidad e incompatibilidad cruzada. La autora concluyó que el conocimiento de la compatibilidad sexual es fundamental para implementar estrategias de manejo y mejoramiento genético que permitan incrementar la productividad de las plantaciones de cacao.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área

La investigación se llevó a cabo en la provincia de Santa Elena, parroquia Colonche. El sitio experimental está ubicado entre las coordenadas 2°01'738.2" latitud sur y 80°67'826.8" de longitud oeste. La parroquia Colonche se caracteriza por presentar un clima árido y predominante cálido durante el día, con temperaturas máximas promedio cercanas a 26°C. la humedad relativa alcanzó valores promedios de 85% durante los meses de agosto y septiembre. Las precipitaciones anuales oscilaron entre 700 y 800 mm. De acuerdo con la clasificación climática de la zona, el clima correspondió a un tropical seco. La ubicación del área experimental se presenta en la Figura 1.

Figura 1. Vista satelital del área experimental en la parroquia Colonche, provincia de Santa Elena



2.2 Materiales, equipos y reactivos

2.2.1 *Material biológico*

- Árboles de cacao
- Biofertilizantes

2.2.2 *Material de campo para colecta de muestras*

- Pinzas
- Tubos eppenderfor 1.5 mL
- Alfileres
- Plastilina
- Cinta
- Esfero

- Hojas para toma de datos

2.3 Tipo de investigación

La investigación desarrollada fue de tipo descriptiva y experimental, debido a que combinó características de la investigación cuantitativa y cualitativa mediante la evaluación de árboles de cacao y la aplicación de diferentes métodos de polinización, siendo estas la polinización natural y asistida.

2.4 Diseño de investigación

2.4.1 Diseño experimental

Se empleó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) conformado por tres tratamientos y siete bloques. El modelo matemático utilizado fue el siguiente:

$$\gamma_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

γ_{ij} Variable dependiente o variable independiente

μ Efecto de la media general

τ_i Efecto del i-ésimo tratamiento

β_j Efecto del j-ésimo bloque

ϵ_{ij} Error experimental del tratamiento

Tabla 4 Análisis de varianza (ANOVA) utilizado para evaluar el efecto de los tratamientos y bloques en el experimento

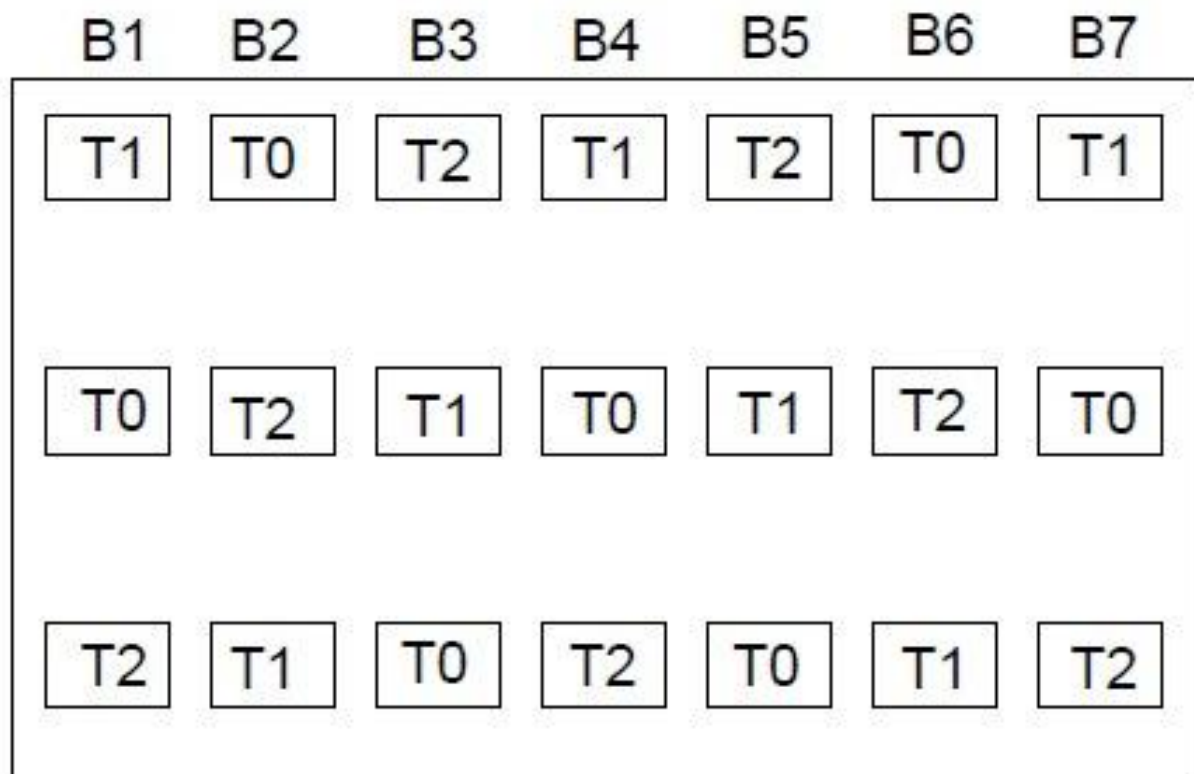
Fuentes de variación		Grados de libertad
Bloques	b-1	6
Tratamientos	t-1	2
Error experimental	(t-1) (b-1)	12
Total	bt-1	20

Tabla 5 Descripción de los tratamientos de polinización evaluados en árboles de cacao.

Tratamiento:	Detalle
T0 (Testigo)	Polinización natural
T1	Autocompatibilidad
T2	Intercompatibilidad

2.4.2 Croquis

Figura 2. Distribución de los tratamientos y bloques de los experimentos de cacao bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA)



2.5 Manejo del experimento

El experimento se desarrolló en la finca “Homero”, ubicada en la parroquia de Colonche, provincia de Santa Elena, bajo condiciones de clima tropical seco. La fase experimental se ejecutó entre los meses de diciembre de 2025 y junio de 2026.

2.5.1. Instalación del experimento

Se seleccionaron 84 árboles de cacao (*T. cacao*) distribuidos en siete bloques. Cada bloque estuvo conformado por 12 árboles, correspondiente a los tres tratamientos evaluados. Los árboles fueron previamente identificados mediante etiquetas plásticas numeradas para facilitar su seguimiento (Quiroz *et al.*, 2022).

Los tratamientos evaluados fueron:

T0: Polinización natural (testigo)

T1: Autocompatibilidad: Polinización manual utilizando polen proveniente del mismo árbol.

T2: Intercompatibilidad: Polinización manual utilizando polen procedente de otro árbol.

2.5.2. Procedimiento de polinización asistida

El procedimiento inicio con la selección de flores recién abiertas por la tarde, etiquetándolas para poder identificarlas al siguiente día en las primeras horas de la mañana cuando se encontraban receptivas. Posteriormente, se extrajo el polen de forma manual utilizando pinzas esterilizadas, almacenándolo en caja petris debidamente etiquetados (Alvarado *et al.*, 2017).

El polen fue aplicado sobre el estigma de flores del mismo árbol para evaluar la autocompatibilidad o sobre flores de árboles diferentes para evaluar la intercompatibilidad. Una vez realizada la polinización, las flores fueron protegidas con tubos eppendorf 1.5 mL junto con plastilina o cinta plástica para evitar contaminación externa. Finalmente, se registró el número de flores polinizadas, fecha de polinización, tratamientos aplicados (Vera *et al.*, 2016).

2.5.1 Manejo fitosanitario

Se implementó un manejo fitosanitario preventivo mediante la aplicación de biofertilizante foliar líquido concentrado en base a nitrógeno, magnesio, boro y zinc. Al igual que se realizaron inspecciones semanales para detectar la presencia de enfermedades como moniliasis *Moniliophthora roreri* y escoba de bruja *Moniliophthora perniciosa*. Cuando se detectaron síntomas de infección, se efectuó la eliminación manual de frutos y ramas afectadas, completándose con aplicación de extractos vegetales naturales. No se utilizaron pesticidas químicos con el propósito de evitar efectos negativos sobre los insectos polinizadoras (Zugaib *et al.*, 2022).

El mantenimiento de un adecuado estado fitosanitario constituye uno de los principales factores para conservar el potencial productivo del cacao. Según Ramírez prácticas como la poda sanitaria, el manejo de la sombra, la fertilización y el monitoreo permanente de plagas y enfermedades favorecen el desarrollo vegetativo de las plantas, incrementan la floración y contribuyen a una mayor producción de frutos

2.5.2 Frecuencia de riego

El riego se realizó mediante un sistema de riego por goteo, condicionando la apertura del agua para la disponibilidad de humedad en los árboles durante el proceso de evaluación. La frecuencia de riego fue ajustada según las condiciones climáticas tomando en cuenta el déficit como el exceso de humedad en el suelo, durante periodos con temperatura superior a 28°C o humedad relativas inferiores al 50 %, la frecuencia se incrementó a tres riegos semanales (Merchán *et al.*, 2017)

2.6 Parámetros evaluados

Para cumplir con los objetivos de la investigación se evaluaron variables según la selección de árboles promisoros, la biología reproductiva y la compatibilidad sexual del cacao, estas observaciones registradas durante el tiempo de la investigación por medio de observaciones directas y registros de campo

2.6.1 Índice de floración

El índice de floración se obtuvo mediante un conteo para poder localizar arboles la mayor capacidad reproductiva en los árboles seleccionados, teniendo en cuenta los números de cojinetes florales, botones florales y flores abiertas, tomando datos específicamente de los meses de diciembre, febrero y abril, con una muestra de 84 árboles experimentales, distribuido en 7 bloques.

Los datos obtenidos fueron establecidos en una base de datos en la cual se promediaba cada tratamiento para poder identificar los árboles con mayor disponibilidad floral para la realización de las polinizaciones controladas y seleccionar los árboles con mayor potencial reproductivo. Estos evaluándolos en la cantidad de flores por medio de una tabla de valores.

Tabla 6 Escala de clasificación del índice de floración de árboles de cacao según el número de flores.

Escala	Categoría	flores
4	Muy bajo	0–25
3	Bajo	26–50
2	Medio	51–75
1	Alto	≥76

2.6.2 Receptividad floral

La receptividad del estigma de la flor fue evaluada una hora después de la apertura de la flor hasta 12 horas después, realizando observaciones cada 3 horas (07h00, 09h00, 12h00, 15h00 y 18h00). Se registraron datos de cuáles son los horarios óptimos para poder realizar las polinizaciones manuales y estas tengan más probabilidades de ser efectivas

2.6.3 Estado fitosanitario.

El estado fitosanitario fue evaluado mediante una ficha de observación donde se considerando seis indicadores relacionados con la condición sanitaria y el vigor de cada árbol

Estado de las hojas

Estado del tronco y ramas

Estado de flores

Estado de mazorcas

Presencia de plagas

Vigor general del árbol

Cada indicador fue calificado utilizando una escala de 0 a 2 puntos, donde:

2 puntos: condición favorable.

1 punto: condición intermedia.

0 puntos: condición deficiente.

Tabla 7 Escala de clasificación del estado fitosanitario de los árboles de cacao según el puntaje obtenido.

Puntaje	Estado fitosanitario	Valor
9–10	Excelente	1
7–8	Bueno	2
5–6	Regular	3
0–4	Deficiente	4

Esta evaluación permitió seleccionar únicamente árboles con condiciones sanitarias adecuadas para realizar los ensayos de compatibilidad sexual, minimizando la influencia de enfermedades o plagas sobre la respuesta reproductiva.

2.6.4 Curva de floración

Durante el periodo experimental se registraron una toma de datos en los siguientes meses: Diciembre, febrero y abril. Estos registros permitieron construir la curva de floración y establecer la relación entre la intensidad floral y el éxito de la polinización.

- Número de cojinetes florales
- Número de botones
- Número de flores

Con esta información se construyó la curva de floración para cada tratamiento, permitiendo identificar los períodos de mayor intensidad floral y relacionarlos con el éxito de la polinización y el posterior cuajado de frutos. Esta variable permitió analizar la sincronización entre la producción floral y la disponibilidad de flores aptas para la polinización asistida.

2.6.5 Prendimiento de frutos

En cada árbol se registró el número de flores polinizadas y el número de flores que cuajaron. El prendimiento fue determinado mediante la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de prendimiento} = \frac{\text{Número de frutos cuajados}}{\text{Número de flores polinizadas}} \times 100$$

La variable fue evaluada para:

- Polinización natural
- Autocompatibilidad
- Intercompatibilidad

2.6.6 Crecimiento inicial del fruto

Los frutos obtenidos mediante las polinizaciones efectivas fueron identificados inmediatamente después del cuajado. Adicional se seleccionaron dos frutos por árbol para realizar el seguimiento de su crecimiento durante cuatro semanas consecutivas desde el mes de junio, registrando semanalmente su longitud en centímetro.

2.7 Análisis estadístico de los resultados

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias significativas entre tratamientos. Cuando se detectaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.005$), las medias fueron comparadas mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Los análisis estadísticos se realizaron para las variables porcentajes de promedio de frutos, compatibilidad sexual y demás parámetros evaluados durante la investigación.

3 CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Selección de árboles promisoros con base en floración, receptividad y estado fitosanitario

3.1.1 Índice de floración

En la tabla 8 se evidencian resultados del índice de floración obtenidos en los tres tratamientos evaluados. El tratamiento de intercompatibilidad tuvo el promedio más alto, con un índice de floración del 0.84, polinización natural con 0.72, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre los tratamientos, reportando un coeficiente de variación de 30.61%.

Los resultados encontrados indican que el método de polinización no influyó significativamente en la tasa de floración del cultivo de cacao durante el periodo evaluados. Aunque el tratamiento de intercompatibilidad presentó la media más elevada, las diferencias observadas fueron solamente numéricas, lo que demuestra que los tratamientos demostraron un comportamiento similar en cuanto a la emisión de flores.

Los resultados muestran similitud con el estudio efectuado por Montero *et al.* (2019) que analizaron la floración y la variedad de insectos encargados de polinizar un sistema de monocultivo de cacao fino de aroma mediante tres clases de sustratos. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Montero *et al.* (2019), quienes evaluaron la floración de cacao fino de aroma bajo tres tipos de sustrato en Ecuador. Los autores registraron promedios de 63.4; 65.1 y 66.8 flores por árbol, sin encontrar diferencias estadísticas entre los tratamientos ($P > 0.05$). Concluyeron que las condiciones evaluadas no modificaron la capacidad de emisión floral del cultivo, aunque posteriormente observaron diferencias en el porcentaje de flores fecundadas. Este comportamiento es comparable con la presente investigación, donde el índice de floración osciló entre 0.72 y 0.84, sin diferencias estadísticas, lo que indica que la producción de flores permaneció estable independientemente del método de polinización empleado.

Un estudio realizado por Guzmán y García (2022) sobre el impacto que tienen los polinizadores sobre la fecundación de la flor del cacao realizado en Ecuador, se indicó que la producción de flores es el primer paso en el proceso reproductivo y está determinada sobre todo por las condiciones de manejo del cultivo, la cantidad de humedad disponible, la

nutrición de la planta y el clima. Los escritores argumentan que, aunque una floración apropiada no asegura automáticamente un incremento en la producción de frutos ya que después ocurren procesos como la fecundación y la polinización.

Los resultados demuestran que el método de polinización no modificó significativamente el índice de floración de los árboles evaluados. Esto sugiere que la emisión de flores estuvo determinada principalmente por las condiciones fisiológicas y agronómicas del cultivo, mientras que las diferencias entre tratamientos se manifestaron en etapas posteriores del proceso reproductivo, particularmente en la eficiencia del prendimiento de frutos.

Tabla 8 Índice de floración promedio de árboles de cacao bajo polinización natural, autocompatibilidad e intercompatibilidad.

Tratamientos	NA	IF
T0 (Polinización natural)	28	0.72 a
T1 (Autocompatibilidad)	28	0.79 a
T2 (Intercompatibilidad)	28	0.84 a
CV (%)		30.61
P>0.05		0.05

*NA=Número de árbol, *IF= Índice de floración *CV=Coeficiente de variación *P>0.05= Probabilidad de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

3.1.2 *Receptividad estigmática*

La Tabla 9 presenta el porcentaje de receptividad estigmática de las flores de cacao evaluadas en diferentes horas del día bajo los tres métodos de polinización. Esta variable permitió determinar el período de mayor viabilidad del estigma para identificar el momento más adecuado para realizar la polinización y favorecer el éxito reproductivo del cultivo

Los resultados evidenciaron que los tres tratamientos presentaron una receptividad estigmática del 100 % entre las 07h00 y 09h00, lo que indica que durante este intervalo las flores mantuvieron su máxima capacidad para recibir el polen. La receptividad empezó a bajar después de las 12h00, con porcentajes del 62% en la polinización natural, del 78% en la autocompatibilidad y del 62% en la intercompatibilidad. El promedio total fue de un 65.3%. Después a las 15h00, la receptividad siguió bajando hasta llegar al 14% en polinización natural e intercompatibilidad y al 28% en autocompatibilidad, con un promedio

de 18.67%. Para concluir, a las 18h00 horas ninguno de los tratamientos mostró receptividad estigmática, con un valor registrado del 0%.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo descrito por Armijos Vásquez *et al.*, (2020) quienes observaron que la mayor actividad de los insectos polinizadores del cacao se concentra durante las primeras horas de la mañana, período en el que ocurre la mayor probabilidad de transferencia de polen hacia flores receptivas. De igual manera, Paredes *et al.*, (2022) indican que la polinización manual debe realizarse entre las primeras horas del día, debido a que el estigma mantiene en ese intervalo sus mejores condiciones fisiológicas para la adhesión y germinación del polen, mientras que conforme avanza la jornada su capacidad receptiva disminuye progresivamente.

Las investigaciones señalan que el cacao tiene su mayor periodo de receptividad estigmática en las primeras horas de la mañana, independientemente del tratamiento al que se le haya sometido. Para realizar las polinizaciones controladas, estos datos son fundamentales ya que permite establecer el instante mas adecuado para incrementar la probabilidad de la fecundación y obtención de resultados fiables en estudios de autocompatibilidad e intercompatibilidad.

Tabla 9 Receptividad estigmática (%) de flores de cacao en diferentes horas del día bajo los tratamientos de polinización evaluados.

Horas de evaluación	0	3	6	9	12
Horas del día	7h00	9h00	12h00	15h00	18h00
T0= Polinización Natural	100	100	62	14	0
T1= Autocompatibilidad	100	100	78	28	0
T2= Intercompatibilidad	100	100	62	14	0
Porcentaje (%)	100	100	65.3	18.67	0

3.3 Estado fitosanitario

Se estableció el estado fitosanitario de los 84 árboles de cacao analizados a través de cuatro categorías en una escala ordinal: deficiente, regular, buena y excelente. Los resultados revelaron que la categoría de árboles con un estado fitosanitario bueno fue la más abundante, con 35 ejemplares con un 41.67, seguida por la categoría regular que contaba con 26 árboles 30.95. Al contrario, 11 árboles 13.10 fueron clasificados con un estado excelente y 12

individuos 14.29 mostraron un estado deficiente. En total, el 54.77 de los árboles analizados se situó en las categorías buena y excelente, lo cual demuestra que durante el periodo de evolución más de la mitad de la población tuvo condiciones fitosanitarias favorables.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Hidalgo *et al.*, (2022), quienes señalan que el buen estado fitosanitario del cacao depende de la aplicación de prácticas agronómicas preventivas, como la poda sanitaria, el monitoreo permanente del cultivo y el manejo oportuno de enfermedades como la moniliasis y la escoba de bruja, las cuales favorecen el vigor de las plantas y reducen las pérdidas productivas.

De igual manera, (Chimbo y Tapia, 2025) demostraron que la implementación de podas fitosanitarias junto con estrategias de manejo agroecológico disminuye la incidencia de enfermedades, mejora la ventilación de la copa y favorece el mantenimiento de árboles con mejores condiciones sanitarias. Estos planteamientos respaldan los resultados de la presente investigación, en la que predominó la categoría como Bueno (41.67 %), seguida de Regular (30.95 %) y Excelente (13.10 %), mientras que únicamente el (14.29 %) de los árboles fue clasificado como Deficiente, evidenciando que la mayoría de las plantas presentó condiciones fitosanitarias favorables para el desarrollo reproductivo y la selección de árboles promisorios.

Los resultados que se han obtenido indican que la población evaluada mostró un estado fitosanitario en su mayoría positivo, lo cual es un favor relevante para evaluar la autocompatibilidad e intercompatibilidad del cacao. La existencia de árboles saludables demuestra el desarrollo adecuado de los procesos reproductivos y fisiológicos, lo que conduce a obtener resultados más fiables en las valoraciones subsiguientes de la polinización, la floración y el desarrollo inicial de los frutos.

Tabla 10 Distribución porcentual del estado fitosanitario de los árboles de cacao evaluados según las categorías establecidas.

Estado fitosanitario	Frecuencia	Porcentaje (%)
Excelente	11	13.10
Bueno	35	41.67
Regular	26	30.95
Deficiente	12	14.29

Total	84	100.00
--------------	-----------	---------------

3.4 Selección de árboles promisorios

En la tabla 11 se observa la selección de árboles promisorios que se realizó mediante la evaluación conjunta del índice de floración, el estado fitosanitario y el porcentaje de efectividad de la polinización (PE). Se establecieron como criterios de selección un índice de floración clasificado como alto, un estado fitosanitario excelente o bueno y los mayores porcentajes de efectividad de la polinización registrada durante la evaluación

Los resultados permitieron identificar diez árboles que reunieron las mejores características reproductivas y sanitarias dentro de la población evaluada. Estos individuos presentaron simultáneamente una elevada intensidad de floración, un estado fitosanitario favorable y porcentajes de efectividad de la polinización superiores al promedio observado en la plantación. Entre ellos destacó el árbol 10, que alcanzó el mayor porcentaje de efectividad de la polinización 75.00 %, seguido del árbol 34 con 66.67 %. Los demás árboles seleccionados registraron valores comprendidos entre 50.00 y 58.33 %, manteniendo además estados fitosanitarios clasificados como excelentes o buenos, lo que evidencia un adecuado comportamiento reproductivo y sanitario, incrementando su potencial para ser considerados como árboles promisorios.

Con el propósito de establecer una comparación objetiva entre individuos de alto y bajo desempeño, se seleccionó además un grupo de ocho árboles no promisorios, los cuales presentaron los menores valores combinados de índice de floración, estado fitosanitario y efectividad de la polinización. Estos árboles registraron índices de floración clasificados como bajos o muy bajos, estados fitosanitarios deficientes y porcentajes de efectividad de la polinización comprendidos entre 0.00 y 25.00 %, características que reflejan una limitada capacidad reproductiva y un menor vigor fisiológico. En total se compararon 18 árboles, equivalentes al 21.43 % de la población total evaluada de 84 árboles. Esta selección permitió establecer una comparación entre los dos extremos de la población evaluada: los árboles con menor desempeño reproductivo y fitosanitario, considerados no promisorios, y aquellos que presentaron un comportamiento superior en las variables evaluadas, identificados como árboles promisorios.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Ma *et al.*, (2022) y Nawaz *et al.*, (2023), quienes señalan que la selección de árboles promisorios de *Theobroma cacao* L. debe fundamentarse en la evaluación conjunta de variables agronómicas, reproductivas y fitosanitarias, debido a que la interacción entre el vigor vegetativo, la floración, el estado sanitario, la eficiencia reproductiva y la productividad permite identificar individuos con mayor potencial productivo, estabilidad y adaptación para programas de conservación, mejoramiento y producción sostenible. Estos conceptos apoyan las conclusiones del presente estudios, en el que se llevó a cabo la selección de árboles promisorios a través de la evaluación conjunta de la eficacia de la polinización, el estado fitosanitario y el índice de floración posibilitando identificar a árboles con cualidades positivas para programas futuros de gestión y selección. Los resultados obtenidos muestran que la evaluación conjunta de las variables asociadas a la floración, el estado, la eficacia de la polinización y los aspectos fitosanitarios son instrumentos seguros para elegir árboles promisorios de cacao,

Los registros muestran que la evaluación combinada de factores asociados con la floración, el estado fitosanitario y la eficacia de la polinización es un instrumento fiable para elegir arboles de cacao promisorios

Tabla 11 Árboles promisorios de cacao seleccionados según floración, estado fitosanitario y efectividad de la polinización.

Árbol	Floración	Estado fitosanitario	Porcentaje de Efectividad (%)	Clasificación
10	Alto	Bueno	75,00	Promisores
34	Alto	Bueno	66,67	Promisores
60	Alto	Excelente	58,33	Promisores
72	Alto	Excelente	58,33	Promisores
82	Alto	Excelente	58,33	Promisores
35	Alto	Bueno	58,33	Promisores
45	Alto	Excelente	50,00	Promisores
57	Alto	Excelente	50,00	Promisores
69	Alto	Bueno	50,00	Promisores
83	Alto	Bueno	50,00	Promisores
74	Muy bajo	Deficiente	0,00	No Promisores

75	Muy bajo	Deficiente	0,00	No Promisores
76	Muy bajo	Deficiente	0,00	No Promisores
4	Bajo	Deficiente	8,33	No Promisores
6	Bajo	Deficiente	8,33	No Promisores
1	Muy bajo	Deficiente	16,67	No Promisores
5	Bajo	Deficiente	16,67	No Promisores
3	Bajo	Deficiente	25,00	No Promisores

3.5 Curva de floración y su influencia en la producción de frutos

La dinámica de la floración del cultivo de cacao fue parecida en los árboles que se evaluaron entre diciembre y abril. Empezando con niveles moderados en diciembre, la producción de flores aumentó gradualmente hasta llegar al pico máximo de floración en febrero, y luego fue disminuyendo hasta abril. Este comportamiento muestra un patrón estacional de floración que se distingue por una etapa de aumento, una fase de máxima emisión de flores y un decrecimiento progresivo al concluir el ciclo analizado

El análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey, se evidenció diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados durante los meses de diciembre, febrero y abril. Intercompatibilidad mostró la mayor producción floral con un promedio de 389 flores, mientras que la polinización natural, registró el menor valor con 270.50 flores, El tratamiento de autocompatibilidad presentó un comportamiento intermedio con 335.21 flores.

Jaimez *et al.* (2024) reportaron que la floración del cacao en Ecuador presentó su mayor emisión entre enero y febrero, con un promedio de 210 flores por árbol, disminuyendo a menos de 80 flores al finalizar la época lluviosa. En la presente investigación se observó un comportamiento similar, donde la polinización natural alcanzó aproximadamente 172 flores en febrero y descendió hasta 48 flores en abril, mientras que la intercompatibilidad registró el mayor pico de floración con cerca de 230 flores en febrero.

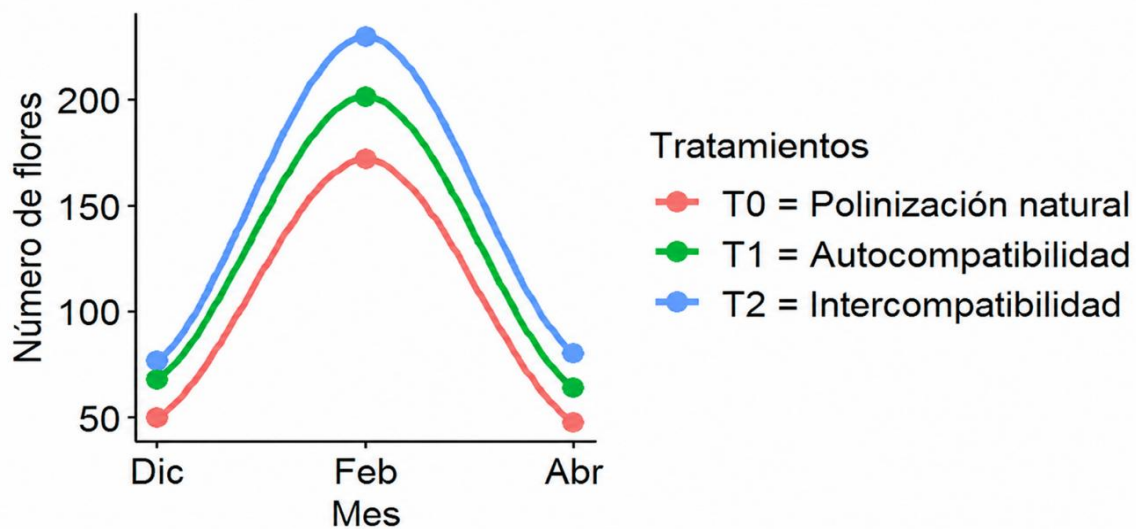


Figura 3 Curva de floración de árboles de cacao bajo polinización natural (T0), autocompatibilidad (T1) e intercompatibilidad (T2) durante el periodo de evaluación.

3.3.1. Botón y cojinete floral

De acuerdo a la tabla 12 se evidencian las diferencias estadísticas encontradas, obteniendo promedios comprendidos entre 12 – 25 botones, y 5 a 10 cojinetes florales. Los coeficientes de variación fueron de 48.73 y 58.47.

Los árboles de intercompatibilidad, con 85.11, presentaron el promedio más alto de cojinetes florales. Los de autocompatibilidad tuvieron un promedio de 75.32 y los de polinización natural, por último, alcanzaron un promedio de 54.71 ($P = 0.0260$). El número de botones florales también mostró variaciones muy significativas ($P = 0.0085$), siendo el grupo de intercompatibilidad el que tuvo la media más alta 317.39, después el de autocompatibilidad 276.39 y por último el de polinización natural 219.14. Los árboles del grupo de intercompatibilidad sostuvieron una producción más alta de flores a lo largo de todo el tiempo evaluado, en cambio los árboles del grupo de polinización natural mostraron los valores más bajos. Esta tendencia observada en la curva de floración fue coherente con estos resultados.

Estos datos son consistentes con lo informado por Wessel & Quist (2015), que, en su revisión sobre la producción y ecología del cacao, afirmaron que la floración de este cultivo se da en ciclos claramente establecidos durante el año y que la magnitud de dicha floración está determinada por el número de cojinetes florales y por la habilidad fisiológica de la planta

para generar nuevos botones. Los autores sostienen que el período más productivo de flores suele concentrarse en un tiempo determinado y es seguido por una reducción progresiva a medida que se desarrolla la reproducción. Este patrón coincide con lo observado en esta investigación actual.

Osorio *et al.* (2021) también indicaron que, durante el tiempo de diferenciación floral, la producción de flores en cacao depende, sobre todo, del estado fisiológico del árbol y de las condiciones ambientales favorables. Los escritores señalan que los árboles con más vigor estimulan los cojinetes florales en mayor medida, lo que produce una mayor cantidad de botones y flores. Esta propuesta es consistente con los resultados de la investigación actual, donde los árboles con más cojinetes, las cifras de botones fueron elevadas y la curva de floración fue marcada durante el Intervalo de tiempo analizado.

Los autores indican que los árboles con mayor vigor activan más los cojinetes florales, lo que resulta en una producción más alta de botones y flores. Este planteamiento concuerda con los hallazgos del presente estudio, en el que los árboles con más cojinetes florales también mostraron las cifras más altas de botones y una curva de floración más pronunciada a lo largo del período analizado.

Los resultados señalan que la evaluación conjunta de los cojinetes florales, los botones y la curva de floración es una herramienta eficaz para descubrir el comportamiento fenológico del cacao. Los árboles del grupo de intercompatibilidad, al tener una producción más alta de estructuras florales, muestran un potencial reproductivo más elevado. Esta información fue complementada después con las evaluaciones realizadas en el presente estudio sobre la receptividad estigmática, el prendimiento de frutos y la selección de árboles promisoros.

Tabla 12 Promedio de cojinetes florales y botones florales de árboles de cacao bajo polinización natural, autocompatibilidad e intercompatibilidad.

Tratamientos	NA	NCF	NBF
T0 (Polinización Natural)	28	54.71a	219.14a
T1 (Autocompatibilidad)	28	75.32ab	276.39ab
T2 (Intercompatibilidad)	28	85.11a	317.39a

CV (%)	58.47	42.73
P>0.05	0.0260	0.0085

*NA= Número de árbol *NCF= Numero de cojinete floral *NBF= Número de botón floral
 *CV=Coeficiente de variación *P>0.05= Probabilidad de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

3.6 Prendimiento de frutos bajo los diferentes métodos de polinización

Según la tabla 13 los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que la interpolinización permitió alcanzar la mayor eficiencia reproductiva, con 6.25 flores cuajadas por árbol y un porcentaje de polinización efectiva de 52.08 %, superando a la autopolinización y a la polinización natural. Este comportamiento evidencia que la transferencia dirigida de polen entre árboles compatibles favorece la fecundación floral y aumenta la probabilidad de formación de frutos en cacao.

Estos resultados presentan similitud con lo reportado por Fuentes & Vega, (2024) quienes evaluaron el efecto de diferentes dosis de ácidos húmicos y fúlvicos sobre la floración y formación de frutos en cacao. Los autores determinaron que el tratamiento con 6 kg ha⁻¹ de ácidos húmicos y fúlvicos incrementó la eficiencia del cuajado en 145.31 % respecto a la condición inicial evaluada, además de mejorar variables reproductivas como el número de botones florales y la formación de mazorcas. Aunque el factor evaluado fue diferente al presente estudio, ambos trabajos coinciden en que una mejora en las condiciones fisiológicas y reproductivas de la planta se refleja en un mayor porcentaje de flores que logran transformarse en frutos.

Arias Sanmartin, (2021) en un estudio sobre manejo integrado del cultivo de cacao y su efecto sobre la floración y cuajado de frutos, evaluó variables relacionadas con la producción inicial del cultivo y determinó que el manejo agronómico adecuado favorece la retención de frutos durante las primeras etapas de desarrollo.

Los resultados permiten concluir que la interpolinización fue el método más eficiente para favorecer el prendimiento de frutos bajo las condiciones del presente estudio. La efectividad alcanzada demuestra que la polinización dirigida incrementa significativamente el éxito reproductivo del cacao, constituyéndose en una herramienta importante para la selección de árboles promisoros y para mejorar la productividad del cultivo.

Tabla 13 Efectividad de la polinización y porcentaje de prendimiento de frutos de cacao bajo los diferentes tratamientos de polinización.

Tratamientos	NFP	NFC	EP (%)
T0 (Polinización natural)	12	1.93 c	16.08 c
T1 (Autocompatibilidad)	12	3.07 b	25.59 b
T2 (Intercompatibilidad)	12	6.25 a	52.08 a
CV (%)		38.00	38.00
P>0.05		0.00001	0.0001

*Nfp= Número de flores de polinizada*Nfc= Número de flores cuajadas *Ep (%)=Efectividad de polinización*CV=Coeficiente de variación *P>0.05= Probabilidad de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

3.7 Desarrollo de la mazorca inicial obtenidos mediante polinización controlada

Se analizó el desarrollo inicial de las mazorcas producidas a través de polinización controlada durante cuatro semanas seguidas, tomando como referencia un total de 20 mazorcas por cada tratamiento. Durante la primera semana (SFS1), las longitudes medias fueron de 7.10 cm en el tratamiento de polinización natural a diferencia de la autocompatibilidad que tuvo un promedio de 9.02 cm.

Las mazorcas continuaron creciendo en la segunda semana (SFS2), llegando a 7.56 cm de media para polinización natural y 9.50 cm para intercompatibilidad. En la tercera semana (SFS3), los promedios para polinización natural fueron 8.01 cm, y autocompatibilidad 9.95 cm. La cuarta semana (SFS4), los tratamientos de autocompatibilidad e intercompatibilidad alcanzaron una longitud promedio de 10.34 cm, mientras que la polinización natural registró 8.42 cm.

Los resultados concuerdan con lo indicado por Jaimez *et al.*, (2024), que afirmaron que el desarrollo de la mazorca de cacao tras la fecundación se debe a un patrón ininterrumpido de división y expansión celular, el cual es definido principalmente por las condiciones del cultivo, la disponibilidad de fotoasimilados y el estado fisiológico del árbol. Los escritores notaron que la longitud del fruto va en aumento de manera gradual a lo largo de las primeras semanas, sin importar cuándo ocurra la floración, siempre y cuando haya sido exitosa la fecundación.

De manera parecida, Babadele & Oyinkansola, (2024) observaron que el vigor fisiológico de la planta y la disponibilidad de nutrientes durante las primeras fases del crecimiento están vinculados con el desarrollo inicial de las mazorcas. En su investigación, los tratamientos que ayudaron a la formación del fruto propiciaron un desarrollo constante de las mazorcas, subrayando que la duración del fruto depende fundamentalmente de la disponibilidad de recursos por parte de la planta después de pasar el periodo de fecundación.

En los tres tratamientos analizados, el crecimiento de las mazorcas se fue produciendo de manera gradual a lo largo de las cuatro semanas que siguieron a la polinización. Sin importar el procedimiento de polinización utilizado, las mazorcas aumentaron su longitud de forma constante, lo que demuestra que, tras la formación del fruto, el crecimiento inicial mantuvo un patrón parecido en todos los tratamientos. Este resultado señala que la importancia del método de polinización fue más alta en el establecimiento del fruto que durante su crecimiento posterior.

Tabla 14 Crecimiento inicial de las mazorcas de cacao (cm) durante cuatro semanas de evaluación bajo polinización natural, autocompatibilidad e intercompatibilidad.

Tratamientos	NM	SFS1	SFS2	SFS3	SFS4
T0 (Polinización natural)	20	7.10 a	7.56 a	8.01 a	8.42 a
T1 (Autocompatibilidad)	20	9.02 a	9.54 a	9.95 a	10.34 a
T2 (Intercompatibilidad)	20	9.06 a	9.50 a	9.90 1 a	10.34 a
CV (%)		31.12	29.37	27.69	26.54
P>0.05		0.0314	0.0290	0.0311	0.0306

*NM= Número de mazorcas *SFS1= Seguimiento floral semana 1*SFS2= Seguimiento floral semana 2*SFS3= Seguimiento floral semana 3*SFS4= Seguimiento floral semana 4*CV=Coeficiente de variación
 *P>0.05= Probabilidad de acuerdo a la prueba estadística de Tukey

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Al evaluar la receptividad estigmática, el índice de floración y el estado fitosanitario, se lograron detectar árboles que contaban con rasgos positivos para ser elegidos como materiales prometedores. Esto demuestra que la mezcla de estas variables establece un criterio técnico para analizar el potencial reproductivo del cultivo.

El estudio de la curva de floración posibilitó entender cómo se comporta fenológicamente el cultivo y cómo se relaciona con la cantidad de flores disponibles para los procesos de polinización, útil para planear las actividades relacionadas con la reproducción del cacao.

Evaluar el prendimiento de frutos a través de la polinización natural, la autocompatibilidad y la intercompatibilidad posibilitó una comparación sobre la reacción reproductiva de los árboles analizados, lo que constituye un mecanismo o pauta para elegir individuos con un rendimiento reproductivo superior.

Recomendaciones

Realizar evaluaciones de compatibilidad reproductiva durante varios ciclos de floración y en distintas condiciones climáticas, con el objetivo de evaluar la estabilidad del comportamiento reproductivo de los árboles de cacao y reforzar los criterios para elegir materiales que tengan potencial.

Evaluar la compatibilidad reproductiva y su impacto en la producción, es necesario incluir en investigaciones futuras el monitoreo del desarrollo de las mazorcas hasta que se cosechen, incluyendo variables como el peso del fruto, el número de semillas, el índice de semillas y la productividad.

Con el objetivo de contar con materiales que tengan mejores propiedades agronómicas para establecer o renovar plantaciones de cacao, se diseñan programas para seleccionar y conservar árboles prometedores evaluando conjuntamente la receptividad estigmática, el estado fitosanitario, la floración y la conducta reproductiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, G., Antolinez, E., Báez, Y., Jaimes, Y., Romero, A., 2023. Nuevas variedades de cacao seleccionadas en Colombia. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 14, 315–326. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i3.3057>
- Aleans, V., Sarmiento, E., Poveda, A., 2023. Evaluación morfológica de materiales genéticos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en San Vicente de Chucurí, Santander. *CITECSA* 15, 56–68.
- Alvarado, D., Velásquez, M., Velásquez, G., Pérez, J., 2017. Manual de polinizaciones controladas en cacao.
- Arias, H., 2021. Manejo integrado cultivo de cacao (*theobroma cacao* l.): enmiendas edáficas, efecto en la floración y cuajado de fruto.
- Armijos, V., García, C., Vera, L., Castro, J., Martínez, M., 2020. insectos polinizadores en sistemas de producción de *Theobroma cacao* l. en la zona central del litoral ecuatoriano. *Cienc. Tecnol.* 13. <https://doi.org/10.18779/cyt.v13i2.389>
- Avendaño, C., 2018. Biología floral de cacao (*Theobroma cacao* L.); criollo, trinitario y forastero en México. *Agro Product.* 11. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i9.1225>
- Babadele, I., Oyinkansola, O., 2024. Performance of Cacao (*Theobroma cacao* L.) Varieties to Wood Ash and NPK Fertilizer on Flowering, Cherelle Wilt and Pod Yield | *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*.
- Bailón, J., Montero, S., Cañarte, E., Navarrete, J., 2025. Diversidad de polinizadores en cacao *Theobroma cacao* bajo distintos sistemas de producción y sustratos alimenticios en dos zonas de Manabí. Portoviejo, EC: INIAP-Estación Experimental Portoviejo, Departamento de Protección Vegetal, 2025.
- Barrón, P., Azpeitia, A., López, A., Mirafuentes, F., 2014. Metodología adaptada para la formación de híbridos F1 de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5, 765–777.

- Cañarte, E., Navarrete, J., 2021. Reconocimiento de artrópodos-plaga y controladores biológicos como herramienta para el manejo ecológico de plagas en cacao. Portoviejo, EC: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 2021.
- Dani, D., Rokhmah, D., 2022. A review of the role of pollination on the yield of cocoa plant. *Kultivasi* 21, 249–255. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v21i3.41513>
- Díaz, J., Santos, L., Aime, M., 2020. The History of Cacao and Its Diseases in the Americas | *Phytopathology®* [WWW Document]. URL <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PHYTO-05-20-0178-RVW> (accessed 6.19.26).
- Drouet, A. et al. (2019) «Promotores de sustentabilidad para sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Madre de Dios (Perú) y San Plácido (Ecuador)», *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 6(2 Dicbre.), pp. 76-81. Disponible en: <https://doi.org/10.26423/rctu.v6i2.478>.
- Erazo, C., Vera, J., Tuárez, D., Vásquez, L., Alvarado, V., Zambrano, C., Mindiola, K., Mora, R., Revilla, K., 2023. Caracterización fenotípica en flores de Cacao (*Theobroma cacao* l.) en 40 híbridos experimentales en la finca experimental La Represa.
- Fuentes García, M.J., Vega Ramírez, K.N., 2024. Efecto de la aplicación de cinco niveles de ácido húmico y fúlvico en floración, cuajado y formación de frutos del cultivo de cacao (*theobroma cacao* l.). Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agronomía.
- Garay, I., Villarruel, M., Díaz, A.L., Chávez, R., Herrera, J., 2024. Factores climáticos en el desarrollo y producción de cacao en Úrsulo Galván, Veracruz, México. *Agron. Mesoam*. 35. <https://doi.org/10.15517/am.2024.54337>
- García, L., 2019. Identificación Y selección de árboles promisorios de cacao (*Theobroma cacao* L.) con enfoque participativo en el distrito de Uchiza.

- García, V. y, Guzmán, Á., 2022. Incidencia de agentes polinizadores sobre la fecundación de la flor del cacao (*Theobroma cacao* L.). Rev. espamciencia 13, 1–12.
- García, R., Pico, F., Jaimez, R., 2021. La cadena de producción del Cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. Rev. Digit. Novasinergia 4, 152–172. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>
- Garzón, J., 2020. Auto compatibilidad de seis genotipos seleccionados como parentales en un programa de mejoramiento genético de cacao (*Theobroma cacao* L.).
- Garzón, J., 2020. Auto compatibilidad de seis genotipos seleccionados como parentales en un programa de mejoramiento genético de cacao (*Theobroma cacao* L.).
- Gutiérrez, A., 2020. Caracterización morfológica de tres genotipos criollos promisorios de *Theobroma cacao* L., en Panamá. Cienc. Agropecu. 150–169.
- Guzmán Á., García V., 2022. Incidencia de agentes polinizadores sobre la fecundación de la flor del cacao (*Theobroma cacao* L.). Rev. ESPAMCIENCIA 13. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v13i2.343
- Jaimez, R., Vásconez, G., Sotomayor, I., Quijano, G., Morante, J., Arteaga, F., Cedeño-García, G., 2021. Respuestas fisiológicas y morfológicas de raíces en diferentes combinaciones de patrones e injertos de cacao al déficit hídrico. Rev. Fac. Agron. Univ. Zulia 38, 631–651.
- Jaimez, E., Barragan, L., Fernández, M., Larreal J., Flores, B., 2024. Pod Production Dynamics and Pod Size Distribution of *Theobroma cacao* L. Clone CCN 51 in Full Sunlight. Int. J. Agron. 2024, 4242270. <https://doi.org/10.1155/2024/4242270>
- Jean, E., Jiang, W., Bereau, D., Robinson, J, 2022. *Theobroma cacao* and *Theobroma grandiflorum*: Botany, Composition and Pharmacological Activities of Pods and Seeds. Foods 11, 3966. <https://doi.org/10.3390/foods11243966>
- López, M., Ramírez, O., Dubón, A., Cherubino, T., Díaz, F., Chalfun, A., 2021. Sexual compatibility in cacao clones drives arrangements in the field leading to high yield. Sci. Hortic. 287, 110276. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110276>

- Ma, F., Brown, G., Kang, M., Baik, K., 2022. Allelic Variations in Phenology Genes of Eastern U.S. Soft Winter and Korean Winter Wheat and Their Associations with Heading Date. *Plants* 11, 3116. <https://doi.org/10.3390/plants11223116>
- Mancheno, J., 2022. Estudio de la autocompatibilidad de quince genotipos élitos de cacao (*Theobroma cacao* L.), establecidos en la estación experimental central de la Amazonía. [WWW Document]. URL <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/ecf86862-8c60-4d05-a025-e0d96964dde4> (accessed 6.19.26).
- Marcelino, P., 2025. Caracterización morfológica de cuatro clones promisorios de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el distrito de Imaza, Provincia de Bagua- Amazonas, 2024 [WWW Document]. URL <https://repositorio.une.edu.pe/entities/publication/4734a924-5f51-4c0e-bf1d-5fc77df7dd35> (accessed 6.26.26).
- Mata, A., Brito, E., Cerda, R., 2021. Mejoramiento genético de cacao y uso de clones resistentes a enfermedades [guía].
- Mena, M., 2016. "Flujo de polen y eficiencia reproductiva de cinco clones en etapa productiva de cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo nacional y dos trinitarios en la finca experimental La María.
- Merchán, M., Flores, E., Quiroz, J., 2017. Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) [WWW Document]. URL <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/items/7990f8a6-f7be-4929-8825-9f4557f60713> (accessed 6.21.26).
- Montero, S., Sánchez, P., Solórzano, R., Pinargote, A., Gonzalo, E., 2019. Floración y diversidad de insectos polinizadores en un sistema monocultivo de cacao 10.
- Montero L., Sánchez, P., Solórzano, R., Pinargote, A., Gonzalo, E., 2019. Floración y diversidad de insectos polinizadores en un sistema monocultivo de cacao. . pp 10.

- Morán, C., Schettini, G., Ochoa, D., González, A., Cantos, I., Jazayeri, S., 2021. Selection of self-compatible progenies of high productivity cocoa in the Ecuadorian coast. *Cienc. Tecnol.* 14, 11–21. <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i1.448>
- Nawaz, A., Chung, G., Golokhvast, S., 2023. The Genetics, Genomics, and Breeding of Cereals and Grain Legumes: Traits and Technologies for Future Food Security. *Agronomy* 13, 2065. <https://doi.org/10.3390/agronomy13082065>
- Osorio A., Castillo, A., Rodríguez, L., Terán, W., 2021. Cacao (*Theobroma cacao* L.) Response to Water Stress: Physiological Characterization and Antioxidant Gene Expression Profiling in Commercial Clones. *Front. Plant Sci.* 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.700855>
- Paredes, N., Monteros, Á., Lima, L., Caicedo, C., Tinoco, L., Fernández, F., Vargas, Y.B., Pico, J., Subía, C., Burbano, A., Chanaluiza, A., Sotomayor, D.A., Díaz, A., Intriago, J., Chancosa, C., Andrade, A., Enríquez, G., 2022. Manual del cultivo de cacao sostenible para la Amazonía Ecuatoriana. N°125.
- Peralta, R., Calzada, 2022. Evaluación de la compatibilidad sexual en clones de cacao (*Theobroma cacao* L) regional en Tumaco, Nariño [WWW Document]. URL <https://sired.udenar.edu.co/8118/> (accessed 6.26.26).
- Pérez, J., Alvarado, D., Velásquez, G., Velásquez, M., 2017. Manual de polinizaciones controladas en cacao.
- Quintana, L., García Berumen, A., Moreno, E., 2018. Perfil sensorial de cuatro modelos de siembra de cacao en Colombia. *Entramado* 14, 256–268. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.2.4756>
- Quiroz, J., Samaniego, I., Garzon, I., Morillo, E., 2022. Catálogo cultivares cacao Ecuador 2021 [WWW Document]. URL https://www.researchgate.net/publication/358249119_Catalogo_cultivares_cacao_Ecuador_2021 (accessed 6.21.26).

- Rodríguez, A., Derita, G., Andrada, R., Páez, V., Ponce, M., Martínez, O., Neira, A., Hernández, A., 2024. Glandular trichomes as a source of antifungal metabolites in a karyologically characterized population of *Argyrochosma flava*: Morphology and histochemistry. *Flora* 311, 152456. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2024.152456>
- Rodríguez, C., Sounigo, O., Yockteng, R., Romero, G., Monsalve, D., 2023. Programa de mejoramiento genético de cacao en Colombia: una propuesta para aunar esfuerzos a nivel nacional en beneficio del productor de cacao colombiano. Corporación colombiana de investigación agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7406498>
- Sanchez, C. (2012) Cultivo y producción del Cacao. Disponible en: https://bibliotecas.upse.edu.ec/cgi-bin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=12322&query_desc=an%3A13282
- Sánchez, J., 2020. Biología reproductiva del cacao blanco (*Theobroma bicolor* Humb. & Bonpl.) en Napo Ecuador (Thesis).
- Sánchez, W., 2019. Estudio de la compatibilidad genética de cuatro clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), en la provincia de Jaén.
- Solís, J., Zamarripa, A., Pecina, V., Garrido, E., Hernández, E., 2015. Evaluación agronómica de híbridos de cacao (*Theobroma cacao* L.) para selección de alto rendimiento y resistencia en campo a moniliasis. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6, 71–82.
- Valdez, F., 2021. El cacao fino de aroma, el cacao ancestral emblemático del Ecuador, in: *Patrimonios alimentarios en América Latina*. IRD Éditions, Institut français d'études andines, Marseille, Marseille, pp. 135–159. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.43132>
- Vargas, L., 2022. Evaluación de la compatibilidad e intercompatibilidad de cuatro clones promisorios de *Theobroma cacao* L. (cacao) para la formación de cultivares policlonales en la estación Tulumayo.
- Vásquez, V., Cruzatty, L., Olaya, J., Martínez, M., 2020. Insectos polinizadores en sistemas de producción de *Theobroma cacao* L. En la zona central del litoral ecuatoriano. *Cienc. Tecnol.* 13, 23–30. <https://doi.org/10.18779/cyt.v13i2.389>

- Vera, J., Cabrera, R., Morán, J., Neira, K., Haz, R., Vera, J., Molina, H., Moncayo, O., Díaz, E., Cabrera, C., 2016. Evaluación de tres métodos de polinización artificial en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51. Idesia Arica 34, 35–40. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016005000033>
- Vera, J., Mindiola, K., Vásconez, G., Godoy, L., Veliz, D., Álvarez, L., 2021. Autocompatibilidad y caracterización fenotípica de las flores de 40 cruces experimentales de cacao (*Theobroma cacao* L.).
- Vera, J.Q., Shiguango, B.D., Kallari, A., Andy, R.G., Kallari, A., Cianferoni, A., Proaño, A., 2021. REVISIÓN PAR EXTERNO.
- Villavicencio, D., 2023. Compatibilidad sexual de variedades de Cacao (*Theobroma cacao* L.) y su efecto en la producción de grano.
- Wessel, M., Quist-Wessel, P.M.F., 2015. Cocoa production in West Africa, a review and analysis of recent developments. NJAS - Wagening. J. Life Sci. 74–75, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2015.09.001>
- Wibaux, T., Lauri, P., Kacou, A., Pondo, O., Vezy, R., 2025. A spatial perspective on flowering in cauliflorous cacao: architecture defines flower cushion location, not its early activity. Ann. Bot. 136, 309–323. <https://doi.org/10.1093/aob/mcaf107>
- Zapata, C., 2023. Autocompatibilidad e intercompatibilidad en árboles de cacao (*Theobroma cacao* L.), tipo nacional, en la zona agrícola del cantón Durán-Guayas.
- Zugaib, M., Almeida, D., Santana, M., Macêdo M., Santana, O., Mangabeira, A., Souza, J., Pirovani, C., 2022. Pre-infection Mechanisms on the Phylloplane: The First Biochemical Battlefield Between the Cacao Tree and Witches' Broom Pathogen. Front. Agron. 4. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.871908>

o.

ANEXOS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Indice de floracion	84	0,20	0,12	30,61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,09	8	0,14	2,37	0,0251
Bloques	0,87	6	0,15	2,53	0,0275
Tratamientos	0,21	2	0,11	1,86	0,1626
Error	4,31	75	0,06		
Total	5,40	83			

Figura1A 1 Análisis a la varianza del índice de floración

Número de cojinete dic-feb- abr

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de cojinete dic-feb-..	84	0,23	0,15	58,47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	40265,29	8	5033,16	2,86	0,0078
Bloques	26786,64	6	4464,44	2,54	0,0272
Tratamientos	13478,64	2	6739,32	3,83	0,0260
Error	131883,86	75	1758,45		
Total	172149,14	83			

Número de botones dic-feb- abr

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de botones dic-feb-..	84	0,34	0,27	42,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	528453,57	8	66056,70	4,93	0,0001
Bloques	392099,98	6	65350,00	4,88	0,0003
Tratamientos	136353,60	2	68176,80	5,09	0,0085
Error	1005334,24	75	13404,46		
Total	1533787,81	83			

Figura1A 2 Curva de floración

Número de flor cuajada

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Número de flor cuajada	84	0,66	0,62	38,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	295,45	8	36,93	18,19	<0,0001
Bloque	14,67	6	2,44	1,20	0,3138
Tratamiento	280,79	2	140,39	69,14	<0,0001
Error	152,30	75	2,03		
Total	447,75	83			

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EP	84	0,66	0,62	38,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	20518,12	8	2564,77	18,19	<0,0001
Bloque	1018,65	6	169,77	1,20	0,3137
Tratamiento	19499,47	2	9749,74	69,14	<0,0001
Error	10575,92	75	141,01		
Total	31094,04	83			

Figura1A 3.Prendimiento de frutos bajo los diferentes métodos de polinización

Lng (cm) 1 semana

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Lng (cm) 1 semana	60	0,11	0,08	31,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	50,20	2	25,10	3,68	0,0314
Tratamientos	50,20	2	25,10	3,68	0,0314
Error	388,82	57	6,82		
Total	439,02	59			

Lng (cm) 2 semana

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Lng (cm) 2 semana	60	0,12	0,09	29,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	51,10	2	25,55	3,77	0,0290
Tratamientos	51,10	2	25,55	3,77	0,0290
Error	386,37	57	6,78		
Total	437,48	59			

Lng(cm)3 semana

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Lng(cm)3 semana	60	0,11	0,08	27,69

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	48,80	2	24,40	3,69	0,0311
Tratamientos	48,80	2	24,40	3,69	0,0311
Error	376,66	57	6,61		
Total	425,46	59			

lng(cm) 4 sem

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
lng(cm) 4 sem	60	0,12	0,08	26,54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	49,15	2	24,58	3,71	0,0306
Tratamientos	49,15	2	24,58	3,71	0,0306
Error	377,52	57	6,62		
Total	426,67	59			

Figura1A 3 Prendimiento de frutos bajo los diferentes métodos de polinización



Figura1A 4 Aplicación de Zn,Mgo,, B, N



Figura1A 5Apertura de la flor etiqueda



Figura1A 6 Polinización manual



Figura1A 7 Flor polinizada y luego cubiera con un tubo eppendorf para evitar la contaminación.

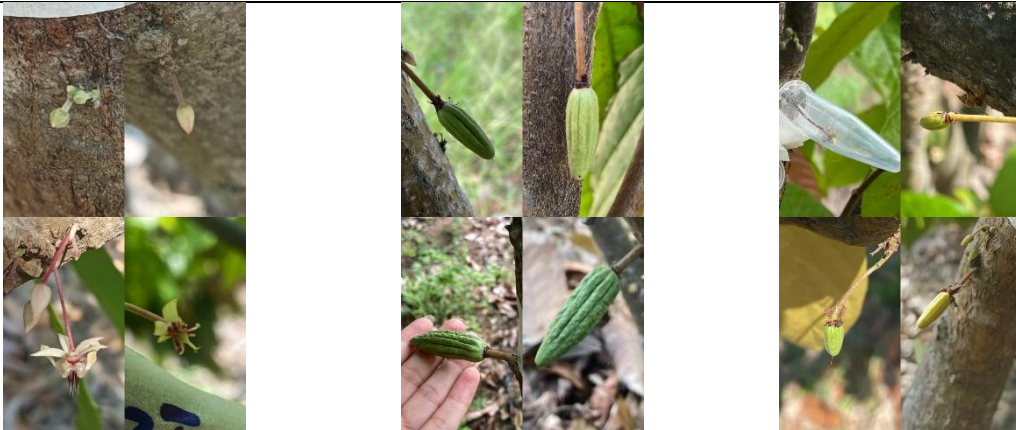


Figura1A 8 Seguimiento de la mazorca inicial