UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Agronomía

Tema:

DETERMINACIÓN DE LA HABILIDAD COMBINATORIA DE TRES CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.), MEDIANTE LA POLINIZACIÓN ARTIFICIAL EN LA PARROQUIA FEBRES CORDERO.

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero/a Agrónomo/a otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agronomía.

Autor:

Oscar Abel Ortega Vallejo

Tutor:

Ing. Marcelo Remigio Rojas Arellano MSc.

Guaranda – Ecuador

2025

DETERMINACIÓN DE LA HABILIDAD COMBINATORIA DE TRES CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.), MEDIANTE LA POLINIZACIÓN ARTIFICIAL EN LA PARROQUIA FEBRES CORDERO.

REVISADO Y APROBADO POR:



.....

Ing. Marcelo Remigio Rojas Arellano MSc.

TUTOR



.....

Ing. Deysi Guanga Chunata Msc.

PAR LECTORA



.....

Ing. Jorge Washington Donato Ortiz MSc

PAR LECTOR

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Oscar Abel Ortega Vallejo, con cédula de ciudadanía 230069082-9, certifico que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

Oscar Abel Ortega Vallejo
Autor
CI: 230069082-9

Ing. Marcelo Remigio Rojas Arellano MSc.
Tutor
CI: 0200892164

Notaría Tercera del Cantón Guaranda
Msc.Ab. Henry Rojas Narvaez
Notario

....rio

Nº ESCRITURA 20250201003P01352

DECLARACION JURAMENTADA

OTORGADA POR:

OSCAR ABEL ORTEGA VALLEJO

INDETERMINADA

DI: 2 COPIAS L.L

Factura: 001-001-000017658

En la ciudad de Guaranda, capital de la provincia Bolívar, República del Ecuador, hoy día veintiuno de mayo del dos mil veinticinco, ante mi Abogado HENRY ROJAS NARVAEZ, Notario Público Tercero del Cantón Guaranda, comparece el señor OSCAR ABEL ORTEGA VALLEJO casado, con número de celular 0998958134, domiciliada en el Cantón Montalvo y de paso por esta ciudad de Guaranda, correo electrónico es oscarortegavallejo07@gmail.com, por sus propios derechos, obligarse a quien de conocerlo doy fe en virtud de haberme exhibido sus documentos de identificación y con su autorización se ha procedido a verificar la información en el Sistema Nacional de Identificación Ciudadana; bien instruido por mí el Notario con el objeto y resultado de esta escritura pública a la que procede libre y voluntariamente, advertido de la gravedad del juramento y las penas de perjurio, me presenta su declaración Bajo Juramento declaramos lo siguientes Previo a la obtención del Titulo de Ingeniero Agrónomo, de la carrera de Agronomía, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar, manifestó que los criterios e ideas emitidas en el presente proyecto de investigación con el tema: DETERMINACIÓN DE LA HABILIDAD COMBINATORIA DE TRES CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.), MEDIANTE LA POLINIZACIÓN ARTIFICIAL EN LA PARROQUIA FEBRES CORDERO. es de mi exclusiva responsabilidad en calidad de autor. Es todo cuanto puedo declarar en honor a la verdad, la misma que la hago para los fines legales pertinentes. HASTA AQUÍ LA DECLARACIÓN JURADA. La misma que queda elevada a escritura pública con todo su valor legal. Para el otorgamiento de la presente escritura pública se observaron todos los preceptos legales del caso, leída que le fue al compareciente por mí el Notario en unidad de acto, aquel se ratifica y firma conmigo se incorpora al protocolo de esta Notaria la presente escritura, de todo lo cual doy fe.-

OSCAR ABEL ORTEGA VALLEJO
C.C. 2300630823

ABOGADO HENRY ROJAS NARVAEZ
NOTARIO PUBLICO TERCERO DEL CANTON GUARANDA

Oscar Abel Ortega Vallejo

TESIS_OSCAR_11.docx

Universidad Estatal de Bolivar

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::3117:460823837

Fecha de entrega
20 may 2025, 7:47 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
20 may 2025, 7:56 a.m. GMT-5

Nombre de archivo
TESIS_OSCAR_11.docx

Tamaño de archivo
5.7 MB

77 Páginas

13.925 Palabras

76.404 Caracteres

8% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Cited Text
- Small Matches (less than 14 words)
- Internet sources

Ing. Marcelo Remigio Rojas Arellano MSc.

Tutor

CI: 0200892164

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios por haberme dado vida,salud,sabiduría e inteligencia a lo largo de esta etapa.

A mis padres Francisco Ortega y María Vallejo por su apoyo incondicional con mucho esfuerzo y valentía, por enseñarme el valor del compromiso y la perseverancia sin el apoyo de ellos no hubiese sido posible llegar a culminar una de mis grandes metas.

A mi esposa, compañera de vida Marjorie Núñez gracias por estar a mi lado con su apoyo constante incluso en los momentos difíciles.

Me dedico este logro a mí mismo, por no rendirme, por confiar en mi esfuerzo y por demostrar que toda perseverancia, tarde o temprano, encuentra su recompensa.

Oscar

AGRADECIMIENTO

Especialmente agradezco a Dios por ser fortaleza en aquellos momentos de dificultad,por permitirme alcanzar mi anhelado sueño.

A mis padres por su amor, trabajo y sacrificio a lo largo de estos años, es gracias a ustedes y sus enseñanzas que me he convertido en lo que soy hoy en día.

A mi esposa por sus palabras de aliento, y por celebrar conmigo cada pequeño avance en este camino.

Agradezco a la Universidad Estatal de Bolivar por haberme permitió formar parte de esta emblemática institución, a mi tutor Ing Marcelo Rojas, miembros de la unidad de integración curricular por su guía, sus enseñanzas a lo largo de este proyecto.

Finalmente, y sobre todo quedo agradecido conmigo a pesar de los obstáculos que me haya encontrado a lo largo de esta carrera he sabido sobrellevarlos y sobretodo aprender de cada uno de ellos formándome como un excelente profesional.

Oscar

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO **Pag.**

CAPÍTULO I..... 1

1.1. INTRODUCCIÓN..... 1

1.2. PROBLEMA..... 3

1.3. OBJETIVOS..... 4

- Objetivo General..... 4
- Objetivos Específicos..... 4

1.4. HIPÓTESIS..... 5

CAPÍTULO II..... 6

2. MARCO TEÓRICO..... 6

2.1. Origen..... 6

2.2. Taxonómia..... 6

2.3. Genotipos de cacao en el mundo..... 6

2.3.1 Grupo de cacao forasteros..... 7

2.3.2 Grupo de cacao trinitario..... 7

2.3.4 Cacao nacional..... 7

2.4. Requerimiento edafoclimático..... 8

2.4.1 Precipitación..... 8

2.4.2 Temperatura..... 8

2.4.3 Altitud..... 8

2.4.4 Luminosidad..... 8

2.4.5 Viento..... 9

2.4.6 Suelo y pH..... 9

2.5. Descripción botánica..... 9

2.5.1 Sistema radicular..... 9

2.5.2 Tamaño y forma..... 10

2.5.3 Hojas..... 10

2.5.4 Semillas..... 10

2.6. Manejo del cultivo..... 10

2.6.1 Preparación de terreno..... 10

2.6.2 Trazado 10
2.6.3 Dimensiones del hoyo 11
2.6.4 Siembra y distrubución 11
2.6.5 Control de malezas 11
2.6.6 Poda 11
2.7. Biología del cacao 12
2.8. Morfología de la flor 12
2.8.1 Pedúnculo 13
2.8.2 Sépalos (cáliz) 13
2.8.3 Pétalos (corola) 13
2.8.4 Estambres (androceo) 13
2.8.5 Polen 14
2.8.6 Ovario 14
2.8.7 Pistilo 14
2.8.8 Estilo 14
2.9. Fenología de la flor 15
2.9.1 Floración 15
2.9.2 Cuajado 15
2.9.3 Madurez 15
2.10. Factores genéticos. 16
2.10.1 Polinización 16
2.10.2 Polinización efectiva 17
2.10.3 Polinización controlada 17
2.10.4 Auto-compatibilidad 17
2.10.5 Auto-incompatibilidad 17
2.10.6 Inter-incompatibilidad 18
2.10.7 Inter-compatibilidad 18
2.11. Mejoramiento genético 18
2.12. Técnicas de hibridación 18
2.12.1 Hibridación intraespecífica 18
2.12.2 Hibridación interespecífica 19
2.12.3 Retrocruzamiento (cross-back) 19

2.13. Compatibilidad 19
2.14. Cruzamientos dialélicos 20
2.14.1 Habilidad combinatoria general. 20
2.14.2 Habilidad combinatoria específica. 20
CAPÍTULO III 22
3. MARCO METODOLÓGICO 22
3.1. Ubicación de la investigación 22
- Localización de la investigación 22
- Situación geográfica y edafoclimática 22
- Zona de vida 22
3.2. Metodología 23
3.2.1 Material en estudio 23
3.2.2 Factores en estudio 23
3.2.3 Tratamientos 23
3.2.4 Tipo de diseño estadístico 23
3.2.5 Manejo del experimento en campo 23
- Distribución de la unidad experimental 23
- Identificación de cojines florales 24
- Control de malezas 24
- Poda fitosanitaria 24
- Poda de mantenimiento 24
- Control de plagas 24
- Control de enfermedades 24
- Inducción de floración 25
- Cruzamientos a realizar 25
- Procedimiento para realizar la polinización artificial 25
3.2.6 Métodos de evaluación (Variables respuesta) 26
- Porcentaje de las flores fecundadas artificialmente (PFFA) 26
- Capacidad de cruzamiento (CC) 26
- Grado de compatibilidad (GC) 27
- Número de flores cuajadas (NFC) 27

- Longitud de mazorca (LM) 27
- Número de cojinetes florales (NCF) 27
- Número de botones florales (NBF) 27
- Número de flores semi abiertas (NFSA) 28
- Número de flores abiertas (NFA) 28

3.2.7 Tipos de análisis. 28

CAPÍTULO IV 29

4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 29

4.1.1 Porcentaje de las flores fecundadas artificialmente (PFFA) 29

4.1.2 Capacidad de cruzamiento (CC) 31

4.1.3 Grado de compatibilidad (GC) 32

4.1.4 Número de flores cuajadas (NFC) 34

4.1.5 Longitud de mazorca (LM) 35

4.1.6 Variables agronómicas 37

4.1.7 Análisis de correlación y regresión lineal 41

4.2. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS 43

CAPÍTULO V 44

5.1. CONCLUSIONES 44

5.2. RECOMENDACIONES 46

BIBLIOGRAFÍA 47

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Detalle	Pag.
1	Resultados de los análisis estadísticos para comparar los promedios de los tratamientos en relación al porcentaje de flores fecundadas artificialmente durante la primera y la segunda polinización.	29
2	Resultados de los análisis estadísticos para comparar los promedios de los tratamientos en relación a la capacidad de cruzamiento (CC) durante la primera y la segunda polinización.	31
3	Resultados de los análisis estadísticos para comparar los promedios de los tratamientos en relación a los grado de compatibilidad (GC) durante la primera y la segunda polinización	32
4	Resultados de los análisis estadísticos para comparar los promedios de los tratamientos en relación al número de flores cuajadas (NFC) durante la primera y la segunda polinización.	34
5	Resultados de los análisis estadísticos para comparar los promedios de los tratamientos en relación a la longitud de mazorca durante la primera y la segunda polinización.	35
6	Resultados de los análisis estadísticos para comparar los promedios de los tratamientos en relación a al número de cojinetes florales (NCF), número de botones florales (NBF); número de flores semi abiertos (NFSA); número de flores abiertas (NFA) antes de realizar las polinizaciónes.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Detalle	Pag.
1	Promedios para el porcentaje de flores fecundadas artificialmente (PFFA)	29
2	Promedios para la capacidad de cruzamiento (PFFA)	31
3	Promedios para los grados de compatibilidad (GC)	33
4	Promedios para número de flores cuajadas (NFC)	34
5	Promedios para la longitud de mazorca (LM)	36
6	Promedios para el número de cojinetes florales (NCF) antes de realizar las polinizaciónes.	37
7	Promedios para el número de botones florales (NBF), antes de realizar las polinizaciónes.	38
8	Promedios para el número de flores semi abiertas (NFSA), antes de realizar las polinizaciónes.	39
9	Promedios de la variable número de flores abiertas (NFA), antes de realizar las polinizaciónes.	40

ÍNDICE DE ANEXOS

N°	Detalle
1	Mapa de la ubicación del ensayo
2	Croquis del ensayo
3	Base de datos de las variables agronómicas evaluadas
4	Fotografías
5	Glosario de términos técnicos

RESUMEN

La polinización artificial es un mecanismo para mejorar el cultivo de cacao en el que interviene de manera directa el ser humano. El cacao es tradicional del Ecuador, y está expuesto a numerosos factores que limitan su producción, tales como: genéticos, fisiológicos, ecológicos, patogénicos y culturales. Esta investigación realizada se determinó la habilidad combinatoria de tres clones de cacao, mediante polinización artificial. Los objetivos planteados fueron: i) Identificar si los clones de cacao poseen habilidad combinatoria general. ii) Evaluar el porcentaje de prendimiento de las flores de cacao en los clones en estudio. iii) Determinar la capacidad de cruzamiento y grado de compatibilidad que tiene los clones. iiii) Determinar el índice de inter-compatibilidad de los clones. En esta investigación se aplicó estadística descriptiva e inferencial. Se utilizó tres tratamientos: T1(Autopolinizaciones), T2 (CCN51 + FA – 2003) y T3 (CCN51 + JHVH -10). Se utilizó una estadística descriptiva. El tipo de análisis, prueba de Fisher al 5%, prueba de Tuckey al 5% y análisis de correlación y regresión lineal. Se evaluó las variables: porcentaje de flores fecundadas artificialmente (PFFA), grados de compatibilidad (GC), capacidad de cruzamiento (CC), número de flores cuajadas (NFC), longitud de mazorca (LM), número de cojinetes florales (NCF), número de botones florales (NBF), número de flores semi-abiertas (NFSA) y número de flores abiertas (NFA). Los resultados estadísticos evidencian que los clones evaluados presentan habilidad combinatoria general positiva con los materiales cruzados CCN51, FA-2003 y JHVH-10, mostrando altos porcentajes de flores fecundadas artificialmente. Estos resultados reflejan una capacidad de cruzamiento superior al umbral del 30 %, lo cual indica una intercompatibilidad efectiva entre los parentales en ambas polinizaciones. El tratamiento T3 (CCN51 + JHVH-10) sobresalió por registrar los valores más altos de fecundación, lo que sugiere una fuerte afinidad genética entre los clones involucrados y un alto potencial como combinación híbrida. Asimismo, se observó un elevado grado de compatibilidad reproductiva, tanto en la primera como en la segunda polinización, de acuerdo con los parámetros establecidos. Este comportamiento se manifestó en un mayor número promedio de flores cuajadas, evidenciando diferencias estadísticas significativas en el número de frutos formados, lo cual resalta el impacto del componente genético bajo las condiciones de la zona agroecológica evaluada.

Palabras clave: CCN51, cruzamientos, intercompatibilidad, polinizaciones

SUMMARY

Artificial pollination is a mechanism for improving cacao cultivation in which humans directly intervene. Cacao is traditionally grown in Ecuador and is exposed to numerous factors that limit its production, such as genetic, physiological, ecological, pathogenic, and cultural factors. This research determined the combining ability of three cacao clones using artificial pollination. The objectives were: i) To identify whether the cacao clones possess general combining ability. ii) To evaluate the percentage of cacao flower bud set in the clones studied. iii) To determine the crossing capacity and degree of compatibility of the clones. iii) To determine the intercompatibility index of the clones. Descriptive and inferential statistics were applied in this research. Three treatments were used: T1 (self-pollination), T2 (CCN51 + FA - 2003), and T3 (CCN51 + JHVH -10). Descriptive statistics were used. The analysis type was Fisher's test at 5%, Tuckey's test at 5%, and correlation and linear regression analysis. The variables evaluated were: percentage of artificially fertilized flowers (PFFA), degrees of compatibility (DC), crossing ability (CC), number of set flowers (NFC), ear length (EL), number of flower buds (NBF), number of half-open flowers (NFSA), and number of open flowers (NFA). The statistical results show that the evaluated clones have a positive general combining ability with the crossed materials CCN51, FA-2003, and JHVH-10, showing high percentages of artificially fertilized flowers. These results reflect a crossing ability above the 30% threshold, indicating effective intercompatibility between the parents in both pollinations. Treatment T3 (CCN51 + JHVH-10) stood out for recording the highest fertilization rates, suggesting a strong genetic affinity between the clones involved and a high potential as a hybrid combination. Furthermore, a high degree of reproductive compatibility was observed in both the first and second pollination, in accordance with established parameters. This behavior was manifested in a higher average number of set flowers, demonstrating statistically significant differences in the number of fruits formed, which highlights the impact of the genetic component under the conditions of the agroecological zone evaluated.

Keywords: CCN51, crosses, intercompatibility, pollinations

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

El cacao *(Theobroma cacao* L.*)* se cultiva principalmente en África, América Central y del Sur, Asia y Oceanía. Aproximadamente el 68% de la producción mundial de cacao se produce en África, siendo los países líderes, Ghana, Nigeria y Camerún. Los países de América Central y del Sur representan un 15% de la producción mundial de cacao, siendo los principales proveedores Brasil y Ecuador. El resto se cultiva en Asia y Oceanía, donde Indonesia y Malasia ocupan los primeros lugares como productores en esta región (Moreno, 2020).

En Ecuador, el cultivo de cacao se concentra en un 80% en las provincias de Guayas, Los Ríos, Manabí, Esmeraldas, El Oro y Santa Elena, mientras que el resto se distribuye en las provincias de Chimborazo, Bolívar, Cotopaxi, Pichincha, Azuay, Sucumbíos, Orellana, Napo y Zamora Chinchipe (Vargas, 2021).

Es una planta de clima tropical que se puede cultivar a partir de las semillas o mediante partes vegetativas, siendo de gran importancia para el sector agrícola del País. En la actualidad se cultiva el cacao CCN-51 y Arriba Nacional. En el año 2021, el Ecuador produjo 244000 t. El 20% de la producción, es considerado como cacao fino y de aroma, con denominación sabor arriba (Areas, 2021)

La provincia de Los Ríos produce aproximadamente 35000 t al año, siendo el cantón Babahoyo el principal productor. Sin embargo, en los últimos años, la producción ha disminuido considerablemente debido a diversos factores como la incompatibilidad entre los genotipos de cacao (Gaibor, 2021).

La habilidad combinatoria en el cacao es importante para asegurar una polinización adecuada, reducir el riesgo de enfermedades, combinar características deseables, aumentar el rendimiento y estabilidad de la producción, así como mantener la diversidad genética. Algunas variedades pueden tener una mayor capacidad de combinación entre sí, mientras que otras pueden presentar menor habilidad combinatoria o incluso ser incompatibles. Para lograr el cruzamiento exitoso entre

diferentes variedades de cacao, es fundamental que las plantas posean una alta habilidad combinatoria, lo que facilita que los cruces generen descendencia mejorada. Si la mayoría de los materiales seleccionados presentan esta característica, permiten que las plantas descendientes puedan cruzarse libremente entre sí. Se considera que el éxito de prendimiento debe ser igual o superior al 30%, y si solo el 2% de sus flores logran fructificar, se clasifica como material autocompatible. Esto indica que las plantas deben compartir suficiente similitud genética para que la polinización cruzada sea exitosa (Cabrera, 2018).

Además, un factor clave para impulsar la mejora genética y el desarrollo de variedades con atributos deseados, como resistencia a enfermedades, mayor productividad, mejor calidad de sabor y aroma, es la compatibilidad genética entre las distintas variedades de cacao. Cabe destacar que el cacao incluye diversas variedades y subespecies, y algunas muestran mayor compatibilidad genética que otras. Por ejemplo, las variedades de cacao criollo suelen ser más compatibles entre sí debido a su cercanía genética, mientras que las variedades forastero y trinitario pueden presentar una compatibilidad genética variable, influenciada por su origen y sus características genéticas específicas (Cente, 2019).

La habilidad combinatoria en el cacao implica la capacidad de seleccionar y cruzar diferentes variedades para crear nuevas variedades con características específicas y con perfiles sensoriales únicos (Arévalo, 2019).

Polinización artificial es una técnica ampliamente utilizada en el mejoramiento genético del cacao, a través de la polinización controlada, es posible seleccionar las variedades que tienen características deseadas, resistentes a enfermedades, de mayor productividad y calidad del grano. El procedimiento consiste en recolectar el polen de la planta padre, usualmente una variedad deseada y aplicarlo a la flor de la planta madre otra variedad deseada. De esta manera, se asegura que la descendencia tenga las características anheladas de ambas plantas. La polinización artificial también permite la producción de híbridos F1, que son plantas que resultan del cruce entre dos líneas puras diferentes y que, en muchos casos, tienen un rendimiento superior al de sus padres (Barrón, 2022).

1.2. PROBLEMA

El cacao es un cultivo tradicional del Ecuador, el mismo que está expuesto a numerosos factores que limitan su producción, como son: genéticos, fisiológicos, ecológicos, patogénicos y culturales. En el factor genético existe una limitante, como es la incompatibilidad floral de las plantas de cacao, lo cual afecta a la producción reduciendo el rendimiento del cultivo. El uso de materiales genéticos, que no presentan resistencia a la inestabilidad que se presenta hoy en día, tiende afectar en los ingresos de los productores por bajos rendimientos del cultivo.

La mayor superficie sembrada corresponde al clon CCN-51 el mismo que tiene una producción que llega a superar los 50 qq/ha en fincas altamente tecnificadas, pero en los últimos años, la producción ha disminuido considerablemente debido a una combinación de factores, como la falta de compatibilidad entre diferentes genotipos. Mientras que el cacao Nacional, presenta una baja productividad, la cual esta dada por la genética de los árboles que mantiene mas de 50 años, incluso materiales nuevos y renovados, tambien es afectado por aspecto fitosanitario con la presencia de enfermedades como: monilia (*Moniliophthora roreri*) y escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*), por la incidencia del cambio climático que actualmente se muestran en el mundo.

Otra de las causas de la baja productividad es la forma de la flor de cacao que es compleja y están protegidas por una estructura llamada "capullo floral" lo que dificulta el acceso de los polinizadores; su posición expuesta en el tronco o ramas la hace susceptible a daños causados por condiciones climáticas adversas

Considerando la importancia de la habilidad combinatoria que posen los clones de cacao en el campo, se realizá la polinización artificial para obtener híbridos con resistencia a enfermedades, que no hereden el problema de incompatibilidad y no sean afectados por el cambio climático, Por ello nos lleva a realizar una investigación en donde se logre seleccionar los mejores genotipos individuales de la F1 para asi obtener individuos inter-compatibles y que a su vez presenten la capacidad de transmitir a las futuras generaciones el carácter de la resistencia o al menos tolerancia al cambio climático.

1.3. OBJETIVOS

- **Objetivo General**

Determinar habilidad combinatoria de tres clones de cacao, mediante polinización artificial.

- **Objetivos Específicos**

- Identificar la habilidad combinatoria general de los clones de cacao.
- Evaluar el porcentaje de prendimiento de las flores de cacao en los clones en estudio.
- Determinar la capacidad de cruzamiento y grado de compatibilidad que tiene los clones.
- Determinar el índice de inter-compatibilidad de los clones.

1.4. HIPÓTESIS

Ho. La habilidad combinatoria de los clones de cacao no depende de la polinización artificial.

Ha. La habilidad combinatoria de los clones de cacao depende de la polinización artificial.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Origen

El cacao es originario de los trópicos húmedos de América del Sur. Su centro de origen está situado en el noroeste de América del Sur, en la zona alta amazónica. La evidencia apunta que fue llevada de zonas tropicales de Centroamérica a regiones de Sudamérica mediante la migración de poblaciones nómadas indígenas que usaban las semillas como alimento. A pesar de que el cacao es originario en el continente americano, los principales productores de cacao se encuentran fuera de este territorio, consinderando que los 3 países con mayores exportaciones de cacao al año son Costa de Marfil, Ghana e Indonesia (Villena, 2021)

2.2. Taxonómia

Reino:	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Malvales
Familia:	Sterculiaceae
Género:	Theobroma
Especie:	cacao
Nombre Científico:	*Theobroma cacao* L.

Fuente: (Quevedo, 2020)

2.3. Genotipos de cacao en el mundo

Las poblaciones de cacao provenientes de la Amazonía han sido denominadas Forastero. Los tipos criollos y forasteros han sido considerados como dos subespecies distintas y se pensó que eran originarias de Centro y Sur América, respectivamente. Un tercer grupo fue identificado como Trinitario y fue descrito como híbrido entre criollo y forastero (Cunin & García, 2022).

2.3.1 Grupo de cacao forasteros

Es de origen Amazonas (Venezuela, Guayana, Brasil), Alto Amazonas (Ecuador, Perú y Colombia), estos son árboles fuertes, con un amplio follaje, capaces de soportar enfermedades. La mazorca es gruesa, tiene un mesocarpio lignificado, en su interior sus almendras son semi-aplandas, redondeadas, su cotiledón es de color violeta. Las características que lo destacan son: muy fuerte, con connotaciones amargas, levemente ácido y astringente, razones por las cuales es utilizado en las industrias para mezclar y dar cuerpo a los chocolates (Requelme, 2020).

2.3.2 Grupo de cacao trinitario

Proveniente de Trinidad, este tipo de cacao surge de la hibridación entre las variedades criollo y forastero en distintas proporciones. La mayoría de las variedades de cacao conocidas y cultivadas en todo el mundo pertenecen a este grupo, ya que combinan las características robustas de los forasteros, como la resistencia a enfermedades, con las cualidades destacadas de los criollos, como su calidad y aroma distintivos (Areas, 2021).

2.3.3 Grupo cacao criollo

Esta variedad representa los cacaos originales, cuyas plantaciones más antiguas se remontan al siglo XVII. Cultivada al principio en Venezuela y en América central Ecuador, Nicaragua, Guatemala y Sri Lanca. Considerado como el “príncipe de los cacaos”, Criollo es famoso por su finura y sus aromas poderosos. Representa sólo el 5 % de la producción mundial, debido a su fragilidad frente a las enfermedades y frente a los insectos. Principalmente es destinado a la chocolatería de alta gama. La raza Criollo tiene frutos de cáscara suave con semillas redondas, blancas o violetas, y de un agradable sabor dulce (Franco, 2020).

2.3.4 Cacao nacional

Durante mucho tiempo, se ha creído que la variedad Nacional o "arriba" pertenece al grupo de forasteros, aunque se la considera un tipo distintivo debido a sus cualidades de calidad y aroma, que se parecen a las de los criollos. Esta variedad de

cacao se considera nativa de la región y ha sido cultivada durante siglos, este tipo de cacao es conocido por producir algunos de los chocolates más finos del mundo, gracias a su sabor y aroma floral, que se combinan con notas de frutas y otros sabores. Sin embargo, en los últimos años, el cultivo y la preservación del cacao nacional se han enfrentado a desafíos, como la amenaza de enfermedades que afectan a las plantas de cacao, La preservación del cacao nacional es importante tanto desde un punto de vista cultural como económico, ya que su cultivo sostenible puede beneficiar a las comunidades locales (Areas, 2021).

2.4. Requerimiento edafoclimático

2.4.1 Precipitación

Es una planta que necesita un adecuado suministro de agua para efectuar sus procesos metabólicos, la precipitación óptima para el cacao es de 1600 a 2500 mm distribuido durante todo el año, precipitaciones que excedan los 2600 mm, puede afectar la producción del cultivo de cacao (Mindiola, 2021).

2.4.2 Temperatura

Prefiere climas cálidos y húmedos. La temperatura óptima para el crecimiento del cacao se encuentra entre los 21°C y 32°C. Las temperaturas extremas, ya sean muy altas o muy bajas, pueden afectar negativamente el crecimiento de la planta y la producción de frutos (Merino, 2018).

2.4.3 Altitud

El cacao crece mejor en las zonas tropicales cultivándose desde el nivel del mar hasta los 800 metros de altitud. Sin embargo, en latitudes cercanas al Ecuador las plantaciones desarrollan normalmente en mayores altitudes que van del orden de los 1000 a 1400 msnm (Nogales, 2021).

2.4.4 Luminosidad

La luz es otro de los factores ambientales de importancia para el desarrollo del cacao especialmente para la fotosíntesis, la cual ocurre a baja intensidad aún cuando la planta este a plena exposición solar en la etapa de establecimiento del cultivo de

cacao es recomendable la siembra de otras plantas para hacer sombra, debido a que las plantaciones jóvenes de cacao son afectadas por la acción directa de los rayos solares la luminosidad es variable dependiendo del ciclo productivo en el que se encuentre siendo del 40 al 50% para el cultivo en formación y del 60 al 75% para plantación adulta (Ramos, 2019).

2.4.5 Viento

El cultivo del cacao requiere estar libre de vientos fuertes persistentes a lo largo del ciclo productivo, mayores a 14 km/h aumentan la pérdida excesiva de agua y caída prematura de las hojas (defoliación), el cacao es muy sensible al viento especialmente en sistemas de cultivo a cielo abierto (López, 2021).

2.4.6 Suelo y pH

Para la producción de cacao en cuanto a las características físicas del suelo se requieren suelos aluviales, francos y profundos de entre 1.0 a 1.5 metros, no compactos, con buen drenaje y estructura granular, con subsuelo permeable para facilitar la fijación de la planta y el crecimiento de la raíz principal (Morante, 2018).

En cuando al pH, el cacao se puede producir en suelos con un rango de pH de 5.5 a 7 siendo óptimo niveles de entre 6 a 6.5 aunque el cacao se adapta a suelos alcalinos (hasta 8.5) y a suelos ácidos (hasta 4.5), se requiere el desarrollo de medidas correctivas o enmiendas porque su producción será deficiente por la poca disponibilidad de nutrientes (Soto, 2022).

2.5. Descripción botánica

2.5.1 Sistema radicular

El sistema radicular del cacao se compone de una raíz principal pivotante con muchas raíces secundarias, la mayoría de las cuales se encuentran en los primeros 30 cm de suelo. El cual beneficia la recolección de nutrientes y de un amplio sistema superficial de raíces literales distribuidas alrededor de 15 cm abajo del área del suelo (Vélez, 2019)

2.5.2 Tamaño y forma

Es un árbol que puede alcanzar alturas de hasta 1 a 4 metros, aunque en condiciones óptimas puede llegar a ser más alto. Tiene un tronco recto y ramificado en la parte superior, con una corteza áspera y de color grisáceo (Merino, 2018).

2.5.3 Hojas

Las hojas son perennes, mide 20 cm. Las hojas están colocadas en dos filas una en cada lado de la rama las cuales están alternada, la forma es grandes, simples, elípticas u ovaladas, de 20 a 35 cm de largo por 4 a 15 cm de ancho, punta larga, levemente gruesas, orilla lisa, color verde oscuro en el haz y más pálidos en el envés, cuelgan de un peciolo (Carpio, 2022).

2.5.4 Semillas

Las semillas de cacao, también conocidas como "almendras de cacao" o "granos de cacao", son las partes comestibles del fruto. Son de forma ovalada y están cubiertas por una cáscara dura. Las semillas son el ingrediente principal para la producción de chocolate y otros productos derivados del cacao (Carpio, 2022).

2.6. Manejo del cultivo

2.6.1 Preparación de terreno

Es importante preparar adecuadamente el terreno, incluyendo la limpieza de malezas, el arado y la nivelación del suelo. Esto ayuda a crear un entorno propicio para el crecimiento de las plantas jóvene (INIAP, 2023).

2.6.2 Trazado

Es determinar la distribución espacial y fijar los lugares donde se sembrará el cacao permanentemente, obteniéndose las siguientes ventajas:

- Circulación del aire.
- Facilidad para transportar la cosecha.
- Señalizar con unas estaquillas los setos donde se abrirán hoyos para el cacao y sombra temporal (Lamilla, 2022).

2.6.3 Dimensiones del hoyo

Para el desarrollo del sistema radicular, se debe realizar hoyos con dimensiones de 30 x 30x 30 o 25 x 40 x 30cm (largo, ancho y profundidad) (Mendoza, 2019).

2.6.4 Siembra y distrubución

La distancia de siembra en plantaciones de cacao establecidas varía según el sistema de cultivo y las condiciones locales. Sin embargo, generalmente se recomienda una distancia de aproximadamente 2.5 a 3 metros entre plantas, lo que resulta en un total de 1000 plantas por hectárea (Pazmiño, 2018).

2.6.5 Control de malezas

Es importante mantener el control de malezas en la plantación de cacao, ya que las malezas compiten por nutrientes, agua y luz solar con las plantas de cacao jóvenes. El desmalezado manual y la aplicación de herbicidas selectivos son métodos comunes de control de malezas. Este manejo eficaz es esencial, ya que las plantas de cacao pueden aprovechar los nutrientes y la humedad del suelo sin enfrentar competencia, lo que resulta en una menor incidencia de plagas (Parco, 2022).

2.6.6 Poda

La poda se lleva a cabo en las plantas de cacao que hayan cumplido el año y medio en campo, implicando eliminar ramas muertas, enfermas o dañadas para mejorar la salud general de la planta, promover una buena circulación de aire y penetración de luz en la planta, reducir la densidad de la copa para facilitar las labores de manejo y estimular el crecimiento de nuevas ramas y brotes que producirán frutos.

A continuación, se detalla los tipos de poda que existen:

- **Poda de formación:** Este tipo de poda se lleva a cabo en el primer año de vida de la planta de cacao y tiene como objetivo principal dar forma y estructura al árbol. Se selecciona un solo tallo principal y se dejan alrededor de cuatro ramas principales que formarán la futura copa del árbol (Rios, 2019).

- **Poda de mantenimiento:** Se realiza en plantaciones de cacao que tienen de 2 a 3 años. Su objetivo es eliminar ramas improductivas y poco productivas, así como brotes o ramas muertas. Esto ayuda a mejorar la producción y la salud general de la planta (Peréz, 2017).

- **Poda fitosanitaria:** Se centra en la eliminación de partes de la planta que están enfermas, débiles o defectuosas, así como en la remoción de frutos enfermos por monilla y escoba de bruja para prevenir la propagación de enfermedades. Es una práctica importante para mantener la salud de la plantación y prevenir la aparición de enfermedades (Pazmiño, 2018).

- **Poda de regeneración:** Esta poda drástica se realiza en plantaciones de cacao viejas con el objetivo de renovar el área de producción. Consiste en realizar un corte a una altura de 1.5 o 2.5 metros, lo que estimula el crecimiento de nuevos brotes y ramas productivas (Galeas, 2019).

2.7. Biología del cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.*)* es una planta perenne y diploide, lo que significa que su número cromosómico es 2n=20. Esto indica que cada célula del cacao contiene 20 cromosomas organizados en pares, uno proveniente del progenitor paterno y otro del progenitor materno (Cente, 2019) .

Además, el cacao presenta un sistema de reproducción alógamo, es decir, requiere polinización cruzada entre individuos genéticamente diferentes. Esta característica favorece la variabilidad genética. Los programas de mejoramiento genético en cacao se enfocan en combinar rasgos como: productividad, resistencia a enfermedades y calidad del grano, utilizando técnicas de cruzamiento selectivo y selección asistida por marcadores moleculares (Barrón, 2018).

2.8. Morfología de la flor

Las flores del árbol del cacao son pequeñas, de color blanco o rosa pálido, y emergen directamente del tronco o de las ramas del árbol. Los primordios florales nacen endógenamente del floema. El período desde el momento que emerge el

botón floral, sobre la corteza, hasta la apertura de la flor, es de aproximadamente 30 días y este fenómeno está altamente influido por el ambiente. La inflorescencia es del tipo definido. Las flores están presentes como una cima monocasial, aunque algunas veces se puede observar como dicasial (MPCEIP, 2022).

2.8.1 Pedúnculo

En el transcurso del tiempo el fruto del cacao se convierte en una drupa bastante grande con tamaños que oscilan de 10 – 42 cm, se origina del crecimiento del pedicelo de la flor, la cual lo sostiene un pedúnculo no muy largo pero robusto (Barrón, 2018).

2.8.2 Sépalos (cáliz)

Suelen ser pequeños y sirven para proteger el botón floral en desarrollo y proporcionar soporte estructural para las partes florales. Durante la polinización, los sépalos de la flor de cacao también ayudan a facilitar la transferencia de polen de los estambres al estigma, lo que permite una fertilización exitosa (Pintado, 2020).

2.8.3 Pétalos (corola)

Son típicamente de color blanco, amarillo o rosado y son más largos que los sépalos. La corola de la flor del cacao sirve para proteger los órganos reproductores y atraer polinizadores. Durante la polinización, los pétalos de la flor de cacao juegan un papel importante al facilitar la transferencia de polen de los estambres al estigma y permite la formación de frutos (Gaibor, 2021).

2.8.4 Estambres (androceo)

En cada flor de cacao, hay varios estambres que rodean el pistilo, que es la parte femenina de la flor. Cada estambre está compuesto por un filamento delgado y alargado que sostiene la antera en su extremo. La antera es la parte del estambre que contiene los sacos polínicos, que a su vez contienen los granos de polen (Cabrera, 2018).

2.8.5 Polen

En conservaciones artificiales el grano de polen ha durado hasta 300 días, son muy pequeños (16 a 23 μ) y esferoidales. Contiene cientos de granos, estos granos son transportados por un número reducido de insectos, en general sale del saco en forma de grúmulos y el grano del polen es pegajoso (Quevedo, 2020).

2.8.6 Ovario

Contiene de 35 – 50 óvulos está ubicado en la base de la flor y forma parte del órgano reproductor femenino. El ovario es el lugar donde se desarrollan los óvulos que, tras la polinización, se convierten en semillas. Este órgano está rodeado por cinco pétalos y estambres. Una vez que ocurre la fecundación, el ovario se transforma en el fruto, conocido como mazorca, que contiene las semillas de cacao, o granos (Scheltema, 2022).

2.8.7 Pistilo

Es el órgano reproductor femenino de la planta. Está compuesto por tres partes principales: estigma, estilo y ovario. Cabe mencionar que es importante la longitud del pistilo siendo el primer caso que impide la fecundación por incompatibilidad morfológica entre las estructuras sexuales femeninas y masculinas (Villena, 2021).

2.8.8 Estilo

Es una estructura alargada y delgada que conecta el estigma, donde llega el polen, con el ovario de la flor. El estilo es una parte fundamental en el proceso de polinización, ya que facilita el transporte del polen desde el estigma hasta el ovario, donde ocurre la fecundación y comienza el desarrollo del fruto. La disposición de la flor, con su pequeño tamaño y forma compleja, requiere polinizadores específicos, como la mosca forcipomyia, para que la polinización sea efectiva. estilo termina en cinco estigmas que se adhieren más o menos entre sí y es tubular (MPCEIP, 2022).

2.9. Fenología de la flor

2.9.1 Floración

Las flores se desarrollan en agrupaciones llamadas cojines florales, los cuales contienen entre 4 y 8 flores. En su estado inicial, las flores no están abiertas, ya que los botones florales tardan aproximadamente 30 días en abrirse. Este proceso ocurre durante la noche, y al amanecer las flores están completamente abiertas. Permanecen en esta condición durante dos o tres días, pero si enfrentan problemas de incompatibilidad genética o no son polinizadas, se marchitan y caen. Es importante destacar que no todas las flores de un cojín floral se abren simultáneamente (Dorantes, 2017).

2.9.2 Cuajado

El cuajado de los frutos es un proceso que ocurre desde la polinización mediante el cual el polen, que es el gameto masculino de las plantas, se cubrirá a los estigmas de otra flor, permitiendo así la fertilización del óvulo y la producción de un nuevo fruto. La flor del cacao parece estar diseñada para dificultar la polinización, ya que su polen no es accesible para los insectos que se alimentan de ella, como la mosca *forcipomyia* (Zambrano, 2017).

2.9.3 Madurez

En un período de seis meses, una planta de cacao puede producir en promedio 4554 ± 687 flores. Sin embargo, solo un porcentaje de entre el 5% y el 10% de estas flores es polinizada efectivamente y formarán un fruto. Los árboles que no lograron desarrollar mazorcas pueden presentar esterilidad masculina, esterilidad femenina e incompatibilidad. La esterilidad masculina puede deberse al fracaso en el desarrollo del grano de polen, la ausencia del mismo o una formación incorrecta de la flor. Por otro lado, la esterilidad femenina puede ser causada por el aborto del óvulo o por una estructura floral con características morfológicas inadecuadas (Cente, 2019).

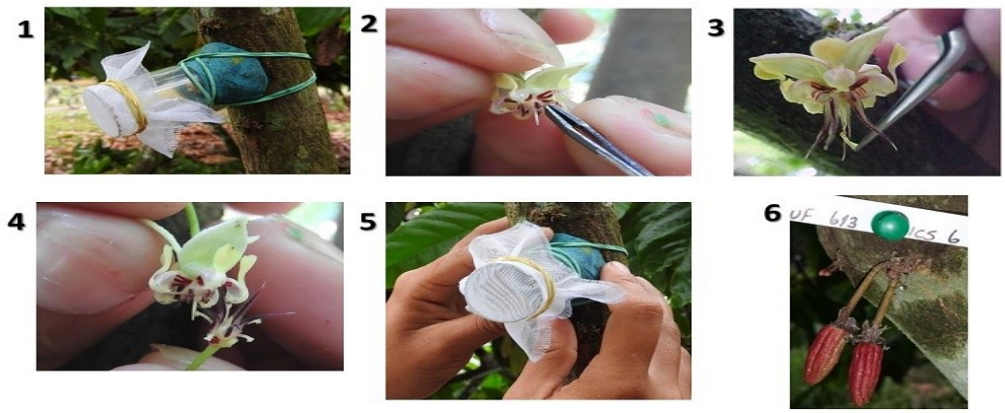
2.10. Factores genéticos

2.10.1 Polinización

La polinización en plantaciones de cacao es un proceso fundamental para la formación de los frutos, y debido a que las flores del cacao son de tamaño pequeño y tienen una estructura compleja, la polinización no es fácilmente realizada por viento o grandes insectos. Los principales agentes polinizadores del cacao son pequeños insectos, de la familia Ceratopogonidae, que logran acceder a las diminutas flores y transportar el polen entre ellas. Dado que el cacao es una planta autoincompatible, es necesario que haya polinización cruzada, lo que significa que el polen de una planta debe ser transferido a las flores de otra planta para que ocurra la fertilización y se desarrollen los frutos (Dorantes, 2017).

Las flores fecundadas pierden los pétalos, sépalos y estambres, el óvario inicia su crecimiento; muchos de los óvarios fecundados caen por diversas causas y sólo muy pocos llegan a la maduración. Poco se ha dicho sobre polinización adecuada a nivel de flor individual o sobre el mínimo de granos de polen que se requieren para cuajar una fruta o para que se aborte. Pero conociendo el número promedio de semillas por fruta, se menciona que se necesitan por lo menos unos 60 granos de polen por flor para cuajar el número mayor de semillas por fruta (Arévalo, 2019).

El proceso de polinización manual la cual se evidencia en la imagen, consiste en el aislamiento de los botones florales con tubos transparentes que completaron su desarrollo a su apertura o antesis, con el objetivo de que no exista la polinización natural.



Proceso de polinización manual en cacao. (Ríos, 2018)

El momento adecuado para realizar polinizaciones manuales en el cacao durante la época de floración es desde las 06h00 am hasta las 10h30 am, además, depende de varios fáctores, como la fenología de la variedad de cacao, las condiciones climáticas locales y la disponibilidad de flores progenitoras masculinas y femeninas en el cultivo (Cabrera, 2018).

2.10.2 Polinización efectiva

Se necesita presencia de polinizadores naturales, como las mosca *forcipomyia* y las abejas permitiendo el proceso de transferencia exitosa de polen desde los órganos masculinos a los órganos femeninos de las flores, lo que resulta una fertilización adecuada y formación de frutos y semillas viables en el cacao (Morante, 2018).

2.10.3 Polinización controlada

Es una técnica utilizada en la reproducción y mejoramiento genético de la planta. Consiste en el control y la dirección específica de la transferencia de polen entre los árboles de cacao seleccionados con características deseables (Barrón, 2018).

2.10.4 Auto-compatibilidad

Se produce cuando las flores de un árbol de cacao pueden fecundarse a sí mismas o a otras flores del mismo árbol, el sistema de compatibilidad constituye para el cacao una medida de la tendencia de los genótipos de una población a diferenciarse, los individuos de una misma especie no son idénticos, si bien, son reconocibles como pertenecientes a la misma especie con un comportamiento, favorable cuando se requiere la adaptación rápida (Moreno, 2020).

2.10.5 Auto-incompatibilidad

Es la incapacidad de un árbol de cacao para ser fertilizado mediante su propio polen. La auto incompatibilidad se manifiesta cuando el tubo polínico se ha desarrollado y no hay fusión de los núcleos masculinos y femeninos (incompatibilidad gametofítica) o por falta de desarrollo del tubo polínico (incompatibilidad esporofítica) (Scheltema, 2022).

2.10.6 Inter-incompatibilidad

El polen de las flores de un árbol de cacao no puede fecundar a las flores de otro árbol, puede ser definida como la incapacidad fisiológica y morfológica de las plantas (Diaz, 2018).

2.10.7 Inter-compatibilidad

Se reconoce que es un cruce intercompatible cuando las flores de una planta son fecundadas con polen de otra planta en porcentaje mayor o igual al 30% (INIAP, 2022).

2.11. Mejoramiento genético

En el cacao es un proceso mediante el cual se busca desarrollar nuevas variedades con características deseadas, como resistencia a enfermedades, plagas, mayor productividad, calidad del grano y adaptación a diferentes condiciones ambientales (Rios, 2019).

2.12. Técnicas de hibridación

En el cacao son utilizadas para crear nuevas variedades o cultivares con las características deseadas. La hibridación implica cruzar árboles parentales seleccionados con diferentes mutaciones genéticas para producir una descendencia que posea rasgos superiores (Solórzano, 2019).

2.12.1 Hibridación intraespecífica

La obtención de híbridos en las especies alógamas implica, habitualmente el cruzamiento de varias líneas endógamas seleccionadas, todas diferentes entre sí, pero puras y muy homogéneas, obtenidas por autofecundaciones sucesivas. Existen varios tipos de híbridos: si se cruzan dos líneas endógamas homocigóticas se forma un híbrido simple; si se cruzan dos híbridos simples se obtiene un híbrido doble; para obtener un híbrido triple se necesita cruzar un híbrido simple con una línea endógama (MAG, 2020).

2.12.2 Hibridación interespecífica

En el cacao puede tener diferentes objetivos, como la introducción de nuevas características genéticas, la mejora de la resistencia a enfermedades o la adaptación a diferentes condiciones ambientales (Rios, 2019).

Esta técnica, consiste en cruzar plantas de especies diferentes. En las plantas alógamas, todo individuo es un híbrido, de suerte que muchos de sus genes son heterocigóticos. La instauración de la homocigosis por autofecundación artificial es acompañada por el efecto “imbreeding” o de endogamia: los descendientes son mucho menos vigorosos y menos productivos que la planta madre (Pintado, 2020).

2.12.3 Retrocruzamiento (cross-back)

El objetivo principal del retrocruzamiento es transferir un rasgo deseado de la planta parental original conocida como "donante" a la planta híbrida resultante del cruce conocida como "receptora". Al realizar sucesivos retrocruzamientos, se busca obtener una descendencia que conserve las características genéticas del progenitor donante, pero con la introducción del rasgo deseado (INIAP, 2022).

2.13. Compatibilidad

Es un aspecto importante en la reproducción sexual del cacao, ya que determina la eficacia de la polinización y la formación de frutos y semillas viables. Si dos genótipos son compatibles, los granos de polen pueden germinar en el estigma de la flor receptora, crecer a través del estilo y alcanzar el óvulo para fertilizarlo. Esto resulta en la formación de semillas que pueden desarrollarse y producir una nueva generación de plantas (Moreno, 2020).

Sin embargo, en algunos casos, puede ocurrir incompatibilidad entre genótipos de cacao. Esto puede deberse a varios factores, como diferencias genéticas en los sistemas de reconocimiento entre el polen y el pistilo, barreras físicas o químicas en el pistilo que impiden la germinación del polen o incompatibilidad en la formación de los tejidos reproductivos (Ramirez, 2019).

Aunque existe diferencias en la germinación entre el polen de un árbol autocompatible y otro autoincompatible por la ausencia de cuajamiento de frutos en un árbol, fenómeno que se debe a:

- Inhabilidad del grano de polen para germinar.
- Desarrollo lento del tubo polínico.
- Falla de los gametos para fertilizar el óvulo.
- Falta del núcleo masculino y/o femenino para emerger dentro del citoplasma del huevo.
- Acción subsecuente de factores letales (Arévalo, 2019).

2.14. Cruzamientos dialélicos

Es una técnica utilizada en la mejora genética del cacao para evaluar y seleccionar las mejores combinaciones de parentales en términos de rendimiento y calidad de los granos. Este enfoque implica cruzar todas las combinaciones posibles entre un grupo de genótipos seleccionados. Su empleo actual tiene su origen en los conceptos de habilidad combinatoria general y habilidad combinatoria específica (Castro, 2020).

2.14.1 Habilidad combinatoria general.

El comportamiento promedio de un progenitor en combinaciones híbridas diferentes, es decir, refiere a la capacidad de un genótipo para transmitir características favorables a sus descendientes sin importar si se cruza otro genótipo (Cente, 2019).

2.14.2 Habilidad combinatoria específica.

Es el comportamiento de un progenitor en ciertas combinaciones y que resultan ser mejores o peores de acuerdo a lo que podría esperarse sobre el comportamiento promedio de los padres involucrados (Rivera, 2021).

La técnica que involucra cruces dialélicos ha sido usada en problemas concernientes a herencias cuantitativa y permite investigar las propiedades genéticas de líneas

homocigotas tal como medir la varianza aditiva y dominante, así como detectar interacción genética no alélica (Cente, 2019).

El método experimental utilizando cruzas dialélicas puede variar, dependiendo de si se incluye o no a los padres y las cruzas recíprocas originando cuatro métodos:

- Método 1: comprende los padres, las cruzas F1 y las recíprocas, resultando un total de p2 combinaciones.
- Método 2: incluye a los padres y a las cruzas F1, para un total de p(p+1)/2 combinaciones.
- Método 3: evalúa las cruzas simples y las recíprocas sin incluir a los padres. El total de combinaciones esta dado por p(p-1).
- Método 4: se evalúan únicamente las cruzas simples, para un total de p(p-1)/2 combinaciones (MAG, 2020).

La interacción entre el ambiente y el genotipo en el cruce dialélico es relevada por la heterogeneidad de las varianzas dentro de padres y familias F1 (Zambrano, 2017)

Las cruzas dialélicas son una manera de estimar la habilidad combinatoria, concepto que ha tomado importancia creciente en mejoramiento de plantas (Villena, 2021).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación de la investigación

- **Localización de la investigación**

Se realizó en la provincia Los Ríos, cantón Babahoyo, parroquia Febres Cordero, recinto Tigrillo Bajo.

- **Situación geográfica y edafoclimática**

Descripción	**Valor**
Altitud:	175 msnm
Latitud:	$1^0$57” 19” S
Longitud:	$79^0$14” 17” W
Temperatura máxima:	30^0C
Temperatura mínima:	21^0C
Temperatura media anual:	25^0C
Helifanía promedio anual:	900 hora/1uz/ año
Precipitación media anual:	850 mm
pH:	6.7
Tipo de suelo:	Franco arcilloso
Humedad relativa media anual:	77 %

Fuente: (Meteobox, 2022)

- **Zona de vida**

La localidad de acuerdo a la zona de vida de Holdridge, L, se encuentra ubicada en el bosque seco montano bajo (bs-MB) (Holdridge, 1979).

3.2. Metodología

3.2.1 Material en estudio

Se utilizó plantas de cacao de 5 años de edad.

3.2.2 Factores en estudio

Habilidad combinatoria, mediante los cruzamientos dialélicos incompletos de las polinizaciones.

3.2.3 Tratamientos

Se consideró un diseño de cruzamiento dialélico incompleto de clones de cacao según el siguiente detalle

♂ / ♀	CCN51 (a)	FA-2003 (b)	JHVH - 10 (c)
T1 CCN51 (a)	X		
T2 CCN51(a)	-	a x b	
T3 CCN51 (a)	-	-	a x c

Simbología: combinación de letras cruzamiento directo incompleto.

3.2.4 Tipo de diseño estadístico

Estadística descriptiva e inferencial

3.2.5 Manejo del experimento en campo

Para la implementación del experimento, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- **Distribución de la unidad experimental**

Se realizó de acuerdo al mapa de campo, dividido en tres tratamientos donde cada uno de los tratamientos constó de 50 plantas con un distanciamiento de 3 x 3 m entre planta.

- **Identificación de cojines florales**

La identificación de los cojinetes florales evaluados se realizó mediante tarjetas fomix con sus respectivas numeraciones, fueron colocadas en cada una de las plantas.

- **Control de malezas**

El control de malezas se efectuó de forma manual cuatro veces, durante los seis meses de la investigación sin dañar las raíces de los cacaotales, ya que estas se encuentran muy superficial.

- **Poda fitosanitaria**

Se llevó a cabo eliminando todas aquellas partes que estaban enfermas de *Moniliophthora perniciosa* y de *Phytophthora sp.*

- **Poda de mantenimiento**

Se realizó el deschuponamiento cada mes, de todos los brotes tiernos que salen en el tallo principal, se utilizó una tijera de podar la misma que fue desinfectada con alcohol al pasar de planta a planta

- **Control de plagas**

Se realizó con la ayuda de una bomba a motor aplicando insecticida agrícola de nombre comercial bala 55: (Clorpirifos 500g + Cipermetrina 50g) a una dosis de 0.4 l/ha. La aplicación se efectuó mediante aspersión en toda la planta con el objetivo de controlar plagas en el cultivo de cacao.

- **Control de enfermedades**

Se realizó con una bomba a motor nebulizando toda la planta con la aplicación de Daconil 720, fungicida que combate la incidencia de la monilla, con una dosis de 35 ml /20 l.

- **Inducción de floración.**

El trabajo se inició cuando no hubo precipitaciones, utilizando un estimulante de floración a base de fitohormonas, Rey bestia con una dosis de 10 ml /20 l de agua, mediante aplicación directa sobre los tallos.

- **Cruzamientos a realizar**

Para realizar los cruzamientos se utilizó el método de cruzamiento dialélico incompleto. En este caso, se llevaron a cabo 10 polinizaciones por árbol, 100 polinizaciones por tratamiento, dando un total de 300 polinizaciones, el mismo precedimiento se realizó a los 30 días llegando a realizar 600 polinizaciones artificiales en todo el ensayo obteniendo datos mas representativos.

- **Procedimiento para realizar la polinización artificial**

En un cojinete floral identificado se seleccionó una flor que estaba lista para abrir al día siguiente y se reconoció por su apariencia abultada.

Día 1. Aislamiento de botones florales

En horas de la tarde se realizó estimulaciones manuales, que consistieron en presionar levemente los botones florales, femeninos y masculinos que estén listos para su próxima apertura o antésis, para posteriormente proceder al aislamiento de los mismos con un tubo eppendorf fijándola en el árbol con un poco de plastilina y ligas.

Día 2. Constatación de botones que se han convertido en flores

En la mañana de 06:00 a 07:00, se constataron aquellos botones que se han abierto completamente hasta convertirse en flor.

- Luego de constatar aquellos botones que se abrieron completamente; se procedió a hacer las polinizaciones a partir de 07:00 hasta las 11:00 de la mañana.

- Se realizó los cruzamientos, con la ayuda de una pinza punta fina y curva tomando los estambres de las flores provenientes del árbol padre (aisladas el día anterior) y se frotaron sobre el estilo-estigma de la flor madre (también aislada el día anterior).
- La emasculación (eliminación de los estambres) fue obligatoria para estos cruzamientos.La flor polinizada se cubrió inmediatamente con un tubo eppendorf, para evitar la contaminación con polen foráneo o insectos. Esta protección se mantuvo durante los 15 días posteriores.
- Cada flor polinizada fue debidamente identificada. Al trascurrir 15 días desde la polinización, se observó que la flor se ha transformado en un pequeño fruto, donde se retiró el tubo de eppendorf, para que la mazorca continúe con su desarrollo normal.

3.2.6 Métodos de evaluación (Variables respuesta)

- **Porcentaje de las flores fecundadas artificialmente (PFFA)**

Dato que fue evaluado a los 3 días de haber realizado las polinizaciones artificiales en 10 plantas seleccionas al azar por tratamiento, para hallar el porcentaje se dividió las flores prendidas, por las flores polinizadas por el cien por ciento y se expresó en porcentaje.

$$PPFFA = \frac{\text{Número de flores prendidas de cada combinación}}{\text{Número de flores polinizadas de cada combinación}}\ x\ 100$$

- **Capacidad de cruzamiento (CC)**

Para que un clon posea capacidad de cruzamiento debe ser mayor al 30 % según el INIAP (2022). Variable que fue registradá a los 7 días después de realizar las polinizaciones para hallar la capacidad de cruzamiento se divide el número total de flores cuajadas de los tratamientos para el número de flores polinizadas, por cien y se expresó en porcentaje.

$$CC = \frac{\text{Número de flores cuajadas de las combinaciónes}}{\text{Número de flores polinizadas de las combinaciónes}}\ x\ 100$$

- **Grado de compatibilidad (GC)**

Variable que se evaluó a los 15 días en cada una de las polinizaciones, tomando en cuenta un mínimo de seis polinizaciones exitosas como altamente compatible en las 20 plantas seleccionadas al azar por tratamiento. Para su valoración se empleó las escalas de 0 a 6 propuesta por el (INIAP, 2022).

ESCALAS 0-6	DESCRIPCIÓN
0	Incompatible
2	Poco compatible
4	Compatible
6	Altamente compatible

- **Número de flores cuajadas (NFC)**

Esta variable fue registrada a los 15 días después de las polinizaciones de los 10 cojinetes florales, se tomó en las 10 plantas seleccionas al azar por tratamiento tomando en cuenta que las flores de sus pétalos se encuentren secos.

- **Longitud de mazorca (LM)**

Dato que fue registrado en centímetros con la ayuda de un instrumento (pie de rey), medidos desde la parte basal hasta el ápice de la mazorca en 10 plantas tomadas al azar después de realizar las polinizaciones artificiales, a los 30 días.

- **Número de cojinetes florales (NCF)**

Se evaluó por conteo directo toda las inflorecencias, en 10 plantas seleccionadas al azar por tratamiento, antes de las polinizaciones.

- **Número de botones florales (NBF)**

Dato que fue registrado por conteo directo en 10 plantas seleccionas al azar a los 2 días antes de las polinizaciones para luego eliminar los botones florales no deseados de los cojinetes florales.

- **Número de flores semi abiertos (NFSA)**

Variable que fue evaluada a los 2 días antes de las polinizaciones, para lo cual se tomaron 10 plantas seleccionas al azar por tratamiento teniendo en cuenta que el 50% de pétalos se encuentren cerrados.

- **Número de flores abiertas (NFA)**

Se evaluó por conteo directo en 10 plantas seleccionas al azar a los 2 días antes de las polinizaciones, observando que todas aquellas flores tengan sus pétalos abiertos.

3.2.7 Tipos de análisis.

- Prueba de Fisher al 5% y 1%
- Prueba de Chi Cuadrado
- Prueba del Tukey al 5%
- Análisis de correlación y regresión lineal simple

CAPÍTULO IV

4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.1 Porcentaje de las flores fecundadas artificialmente (PFFA)

Tabla 1

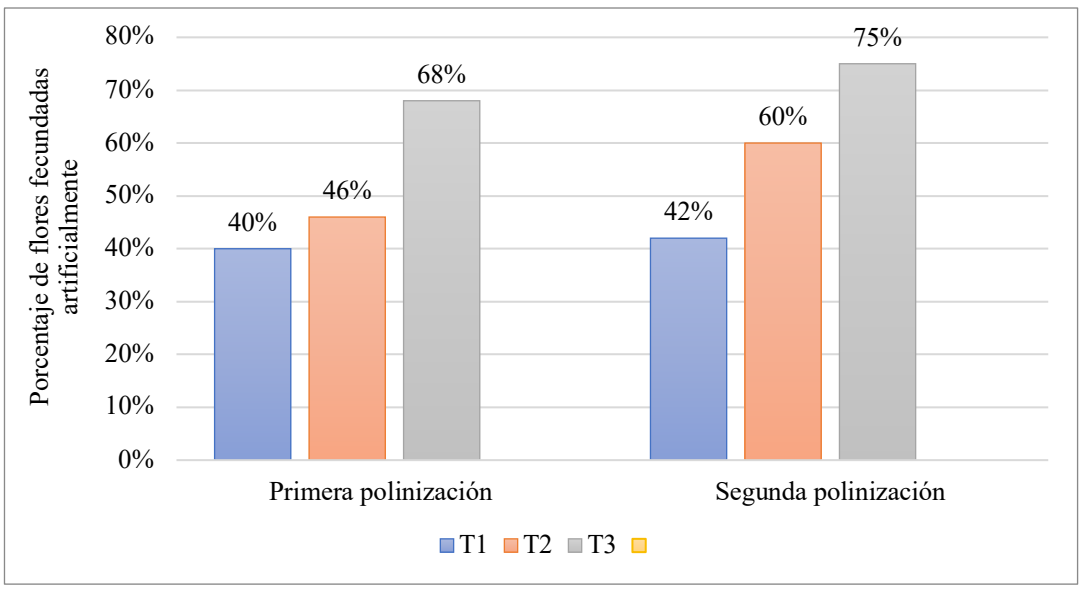
Resultados de los análisis estadísticos para comparar los promedios de los tratamientos en relación al porcentaje de flores fecundadas artificialmente durante la primera y la segunda polinización.

Tra	Primera polinización (*)		Segunda polinización (**)	
No,	**Promedios**	**Rango**	**Promedios**	**Rango**
1	40	B	42	B
2	46	B	60	AB
3	68	A	75	A
F	5.75		6.82	
MG:	51.33		59	

Nota: ** =Altamente significativo; Letras indican las diferencias estadísticas significativas o altamente significativas; MG = Media general.

Figura 1

Promedios para el porcentaje de flores fecundadas artificialmente (PFFA)



La determinación de la habilidad combinatoria de tres clones de cacao, en cuanto al porcentaje de flores fecundadas artificialmente (PFFA), mostró diferencias estadísticamente significativas en la primera polinización se obtuvo un promedio general del 51,33 % de flores fecundadas y altamente significativas en la segunda polinización este valor se incrementó significativamente a un 59 %.

Durante la primera polinización, el T3 (CCN51 + JHVH-10) presentó el mayor porcentaje de fecundación artificial con un 68 %, seguido del tratamiento T2 (FA-2003) con 46 %. El T1 (autopolinización) registró el menor porcentaje con un 40 %. En la segunda polinización, T3 mantuvo un desempeño con un 75 % de flores fecundadas, seguido de T2 con 60 %, mientras que T1 volvió a mostrar el valor más bajo, con un 42 %.

Estos resultados indican que en ambas polinizaciones reflejan la existencia de variabilidad genética en cuanto a la habilidad combinatoria, el T3 evidenció una alta capacidad para la fecundación artificial, lo que sugiere una fuerte compatibilidad genética entre los parentales involucrados. Este desempeño sobresaliente puede estar relacionado con una mayor viabilidad del polen, receptividad estigmática y sincronización fenológica entre los componentes del cruzamiento.

Mientras que el T1, autopolinización, demostro una respuesta coherente debido a los efectos negativos de la endogamia en el cacao, incluyendo menor vigor y viabilidad reproductiva. La autoincompatibilidad parcial o total en algunos clones también podría estar limitando la eficiencia de este tipo de polinización.

Además, el aumento del porcentaje de fecundación en la segunda polinización podría estar asociado a una mejora en las condiciones ambientales (como humedad relativa y temperatura) o a una mayor experiencia del operario en la técnica de fecundación manual.

4.1.2 Capacidad de cruzamiento (CC)

Tabla 2

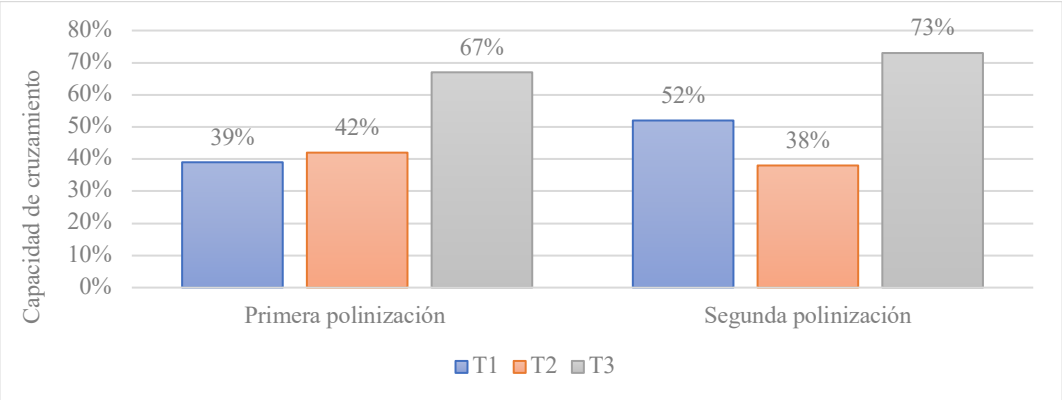
Resultados de los análisis estadísticos para comparar los promedios de los tratamientos en relación a la capacidad de cruzamiento (CC) durante la primera y la segunda polinización.

Tratamientos	Primera polinización (**)	Segunda polinización (**)
1	39	52
2	42	38
3	67	73
MG	49	54

Nota: P = Promedios

Figura 2

Promedios para la capacidad de cruzamiento (CC)



La determinación de la habilidad combinatoria de tres clones de cacao, en cuanto a la capacidad de cruzamiento (CC), se determinaron estadísticas altamente significativas en la primera y segunda polinización con un promedio del 49 % en la primera polinización y un 54 % en la segunda polinización de los tratamientos.

Durante la primera polinización, el T3 (CCN51 + JHVH-10) presentó el mayor porcentaje de capacidad de cruzamiento con un 67 %, seguido del T2 (FA-2003)

con 42 %. El T1 (autopolinización) registró el menor porcentaje con un 39 %. En la segunda polinización, T3 mantuvo un desempeño con un 73 % de flores fecundadas, seguido de T1 con 52 %, mientras que T2 mostro el valor más bajo, con un 38 %.

Estos resultados indican que la capacidad de cruzamiento entre los clones evaluados, superó el umbral del 30 % establecido para considerar un cruce como intercompatible. En ambas polinizaciones, el T3 destacó con los valores más altos de fecundación, lo que sugiere una fuerte afinidad genética entre los parentales involucrados y un alto potencial como combinación híbrida. El T1, basado en autopolinización, mostró un desempeño relativamente bajo pero aún dentro del rango de intercompatibilidad.

Estos datos refuerzan la importancia de seleccionar combinaciones parentales con alta afinidad reproductiva para maximizar el éxito en programas de mejoramiento genético del cacao. Se reconoce que es un cruce intercompatible cuando las flores de una planta son fecundadas con polen de otra planta en porcentajes mayores o iguales al 30% (INIAP, 2022).

4.1.3 Grado de compatibilidad (GC)

Tabla 3

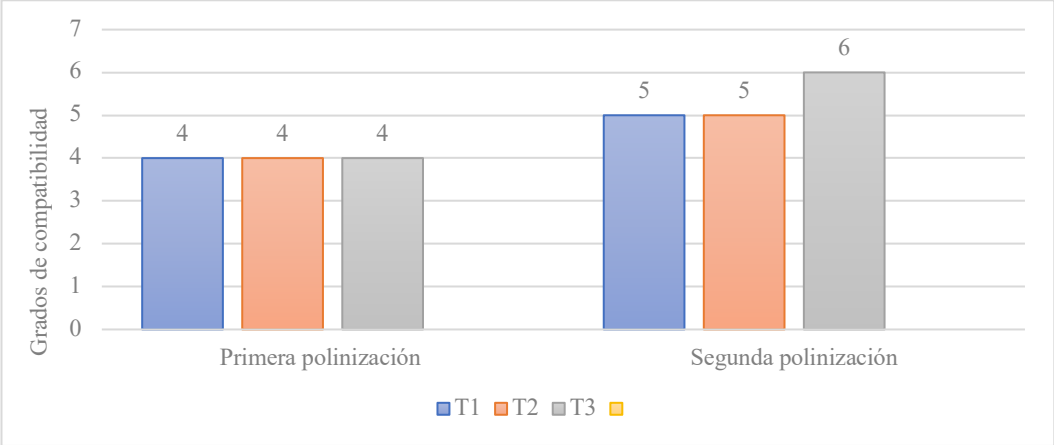
Resultados de los análisis estadísticos para comparar los promedios de los tratamientos en relación a los grado de compatibilidad (GC) durante la primera y la segunda polinización

Tra	**Primera polinización** (ns)		**Segunda polinización** (**)	
No,	**Promedios**	**Rango**	**Promedios**	**Rango**
1	4	A	5	B
2	4	A	5	AB
3	4	A	6	A
F	0.13		3.36	
MG:	4		5	

Nota: ** =Altamente significativo; ns= No significativo; Letras indican las diferencias estadísticas significativas o altamente significativas; MG = Media general.

Figura 3

Promedios para los grados de compatibilidad (GC)



En cuanto a los grado de compatibilidad (GC), no se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos durante la primera polinización, registrando una media general de 4 grados de compatibilidad. Sin embargo, en la segunda polinización se detectaron diferencias altamente significativas, con un incremento en el promedio general a 5 grados de compatibilidad

Con la prueba de Tukey al 5% se registró compatibilidad en los tratamientos T1 (Autopolinizaciones), T2 (FA - 2003) y T3 (CCN51 + JHVH-10) durante la primera polinización. En la segunda polinización, estos mismos tratamientos alcanzaron niveles de alta compatibilidad.

Los datos obtenidos revelan un incremento en el grado de compatibilidad entre polinizaciones, lo cual se debe a una mejor sincronización floral. El cumplimiento del umbral de compatibilidad propuesto por el INIAP en los tratamientos especialmente en T3 y T2 respalda su potencial como material genético altamente compatible.

Se considera como altamente compatible a un clon que registra un mínimo de seis fecundaciones exitosas, sirviendo como un referente confiable para evaluar el potencial reproductivo de los clones en programas de mejoramiento genético (INIAP, 2022).

4.1.4 Número de flores cuajadas (NFC)

Tabla 4

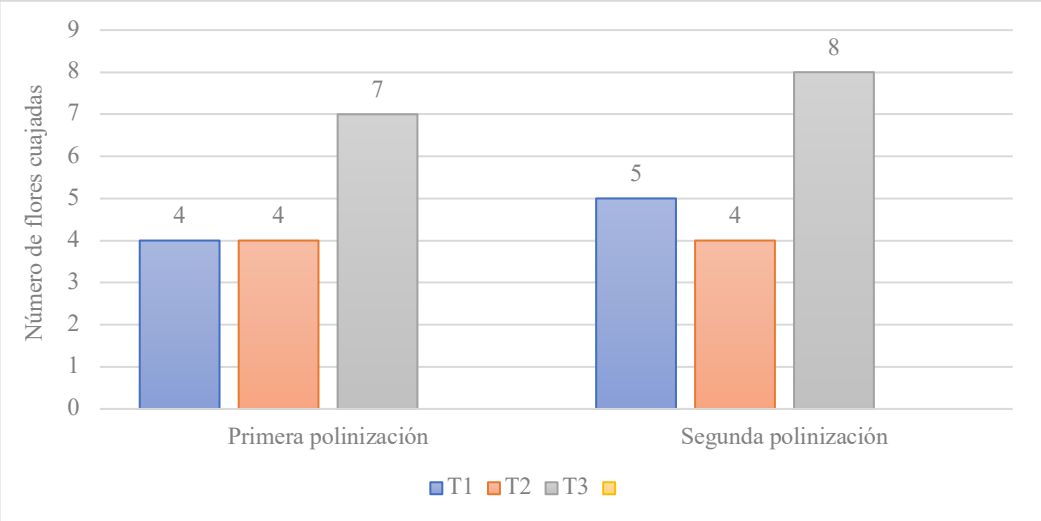
Resultados de los análisis estadísticos para comparar los promedios de los tratamientos en relación al número de flores cuajadas (NFC) durante la primera y la segunda polinización.

Tra	Primera polinización (*)		Segunda polinización (*)	
No,	**Promedios**	**Rango**	**Promedios**	**Rango**
1	4	B	5	B
2	4	B	4	B
3	7	A	8	A
F	4.29		10	
MG:	5		6	

Nota: * = Significativo; Letras indican las diferencias estadísticas significativas o altamente significativas; MG = Media general.

Figura 4

Promedios para número de flores cuajadas (NFC)



En el número de flores cuajadas (NFC), se determinaron estadísticas significativas en la primera y segunda polinización con un promedio general de 5 frutos cuajados en la primera y en la segunda polinización registró un promedio general de 6 frutos cuajados de las polinizaciones a los 15 días.

Con la prueba de Tukey al 5% en la primera polinización el T3 (CCN51 + JHVH - 10) registró el promedio más altos, con 7 frutos, mientras que el T2 y T1 tuvieron los promedios más bajos, con solo 4 frutos, en la segunda polinización el T3 mantuvo un alto promedio de frutos cuajados con 8, seguido por T1 con 5, estos tratamientos se destacaron en comparación con el T2 que presentó el menor promedio, con 4 frutos cuajados de las polinizaciones a los 15 días.

Lo que permite deducir que este comportamiento sugiere una alta eficiencia reproductiva, probablemente asociada a una mayor viabilidad del polen, buena receptividad estigmática y compatibilidad genética entre los parentales utilizados.

Debido al aborto de frutos jóvenes en sus primeras semanas, fenómeno común en el cacao que presumiblemente ayuda a equilibrar los recursos de la planta, solo una pequeña fracción de los frutos polinizados eventualmente se convertirán en frutos cosechables (Dessauw, 2021).

4.1.5 Longitud de mazorca (LM)

Tabla 5

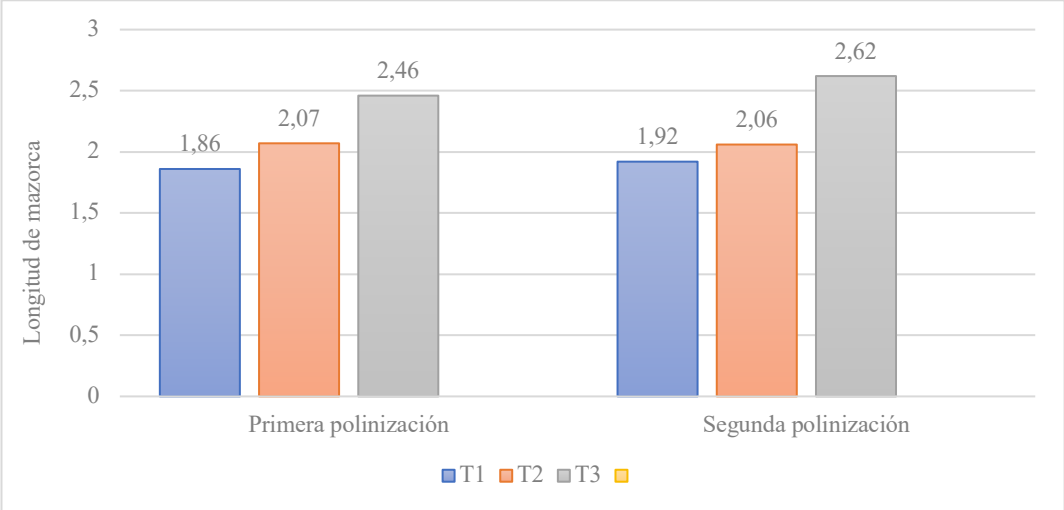
Resultados de los análisis estadísticos para comparar los promedios de los tratamientos en relación a la longitud de mazorca durante la primera y la segunda polinización.

Tra	**Primera polinización** (**)		**Segunda polinización** (**)	
No,	**Promedios**	**Rango**	**Promedios**	**Rango**
1	1.86	B	1.92	B
2	2.07	AB	2.06	AB
3	2.46	A	2.62	A
F	6.53		13	
MG:	2.13		2.20	

Nota: ** = Altamente significativo; Letras indican las diferencias estadísticas significativas o altamente significativas; MG = Media general.

Figura 5

Promedios para la longitud de mazorca (LM)



En cuanto a la longitud de mazorca (LM), se determinaron diferencias estadísticas altamente significativas en la primera y segunda polinización registrando un promedio general de 2.13 cm durante la primera y con 2.20 cm en la segunda polinización.

Con la prueba de Tukey al 5% en la primera polinización siendo el T3 (CCN51 + JHVH – 10) el que registró el mayor promedio, con 2.46 cm, el menor promedio se registró en el T1 con 1.86 cm de largo, en la segunda polinización el T3 mantuvo un alto promedio en el largo de mazorca, con 2.62 cm, mientras que el T2 con 2.06 cm, que nuevamente destacaron en comparación con el T1 (Autopolinizaciones) que continuó registrando el menor promedio, con 1.92 cm de largo del fruto.

Lo que permite deducir que la longitud de mazorca en ambas polinizaciones, el tratamiento T3 mostró los promedios más altos, lo cual sugiere una mayor expresión genética favorable para esta característica, posiblemente asociada a la combinación de parentales con buen potencial. El T1 autopolinización registró sistemáticamente los valores más bajos de longitud de mazorca, lo que podría atribuirse a una menor vigorosidad genética o a efectos de depresión endogámica que limitan el desarrollo óptimo del fruto.

Estos resultados resaltan la importancia de incluir criterios morfológicos como la longitud de mazorca en la evaluación integral de la habilidad combinatoria, ya que este rasgo tiene implicaciones directas en la productividad y aceptación comercial del cultivo de cacao. Un mayor largo es relacionado con una mayor capacidad de albergar semillas (Rivera, 2021).

4.1.6 Variables agronómicas

Tabla 6

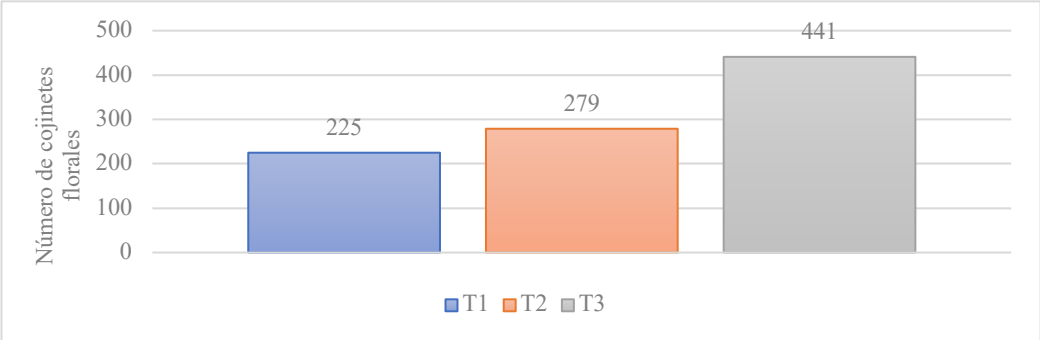
Resultados de los análisis estadísticos para comparar los promedios de los tratamientos en relación a al número de cojinetes florales (NCF), número de botones florales (NBF); número de flores semi abiertos (NFSA); número de flores abiertas (NFA) antes de realizar las polinizaciónes.

VARIABLES	T1		T2		T3		MG
	P	R	P	R	P	R	
NCF (**)	225	B	279	AB	441	A	315
NBF (**)	491	A	532	AB	759	A	594
NFSA (**)	123	B	133	AB	190	A	149
NFA (**)	187	A	202	B	289	AB	226

Nota: ** = Altamente significativo; Letras indican las diferencias estadísticas significativas o altamente significativas; MG = Media general; P = Promedios; R = Rango.

Figura 6

Promedios para el número de cojinetes florales (NCF) antes de realizar las polinizaciónes.



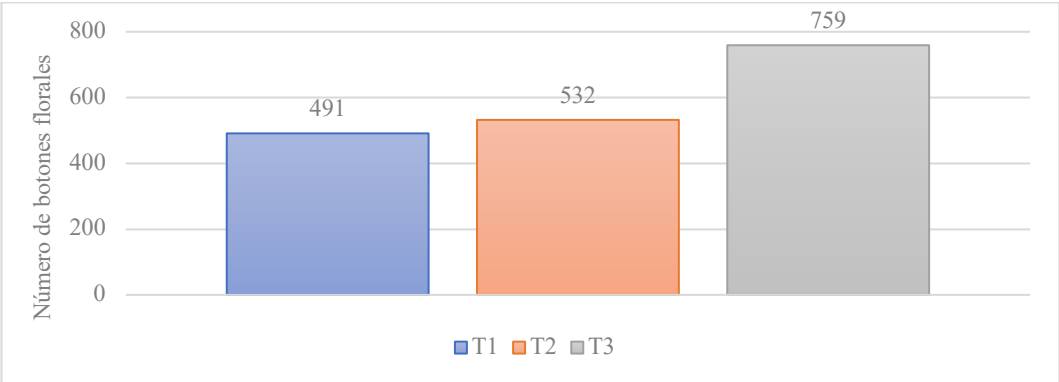
Para el número de cojinetes florales (NCF), se determinaron diferencias altamente significativas entre los diferentes tratamientos los valores oscilaron entre un máximo de 441 y un mínimo de 225 cojinetes florales, con una media general de 315 cojinetes florales.

Con la prueba de Tukey al 5% el T3 mostró el promedio más alto en el número de cojinetes florales con 441, mientras que el T2 con 279 cojinetes, el promedio más bajo se registró en T1 con 225 cojinetes florales.

El número de cojinetes florales es un indicador útil en la selección de materiales promisorios, ya que se relaciona directamente con la capacidad del clon para sostener una mayor carga floral, y eventualmente, una mayor producción de frutos (Pintado, 2020).

Figura 7

Promedios para el número de botones florales (NBF), antes de realizar las polinizaciónes.



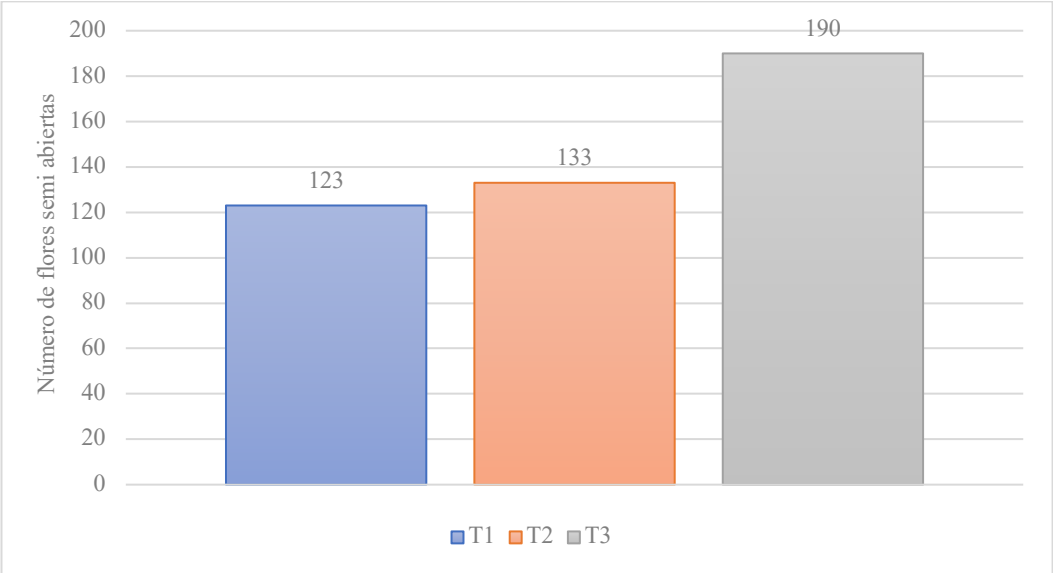
La determinación de la habilidad combinatoria de cacao, en el número de botones florales (NBF), fue altamente significativa, se registró un promedio general de 594 botones florales, con un rango de promedios que va de 491 a 759 botones florales antes de la polinización.

Con la prueba de Tukey al 5% el T3 el que registró el mayor promedio de botones florales con 759, seguido del T2 con 532, el menor promedio se registró en el T1 con 491 botones florales.

Estos resultados confirman lo mencionado por la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao - Ecuador, que el cacao florece a lo largo de todo el año, especialmente cuando no está bajo sombra y si mantiene un nivel adecuado de humedad. Los meses en que las plantas tienen mayor incremento de la floración son; enero, febrero y mayo; Sin embargo, es importante tener en cuenta que las lluvias intensas provocan la caída de flores.

Figura 8

Promedios para el número de flores semi abiertas (NFSA), antes de realizar las polinizaciónes.



La determinación de la habilidad combinatoria de cacao, en el número de flores semi abiertas (NFSA), fue altamente significativa, se registró un promedio general de 149 flores semi abiertas, con un rango de promedios que va de 123 a 190 flores semi abiertas antes de la polinización.

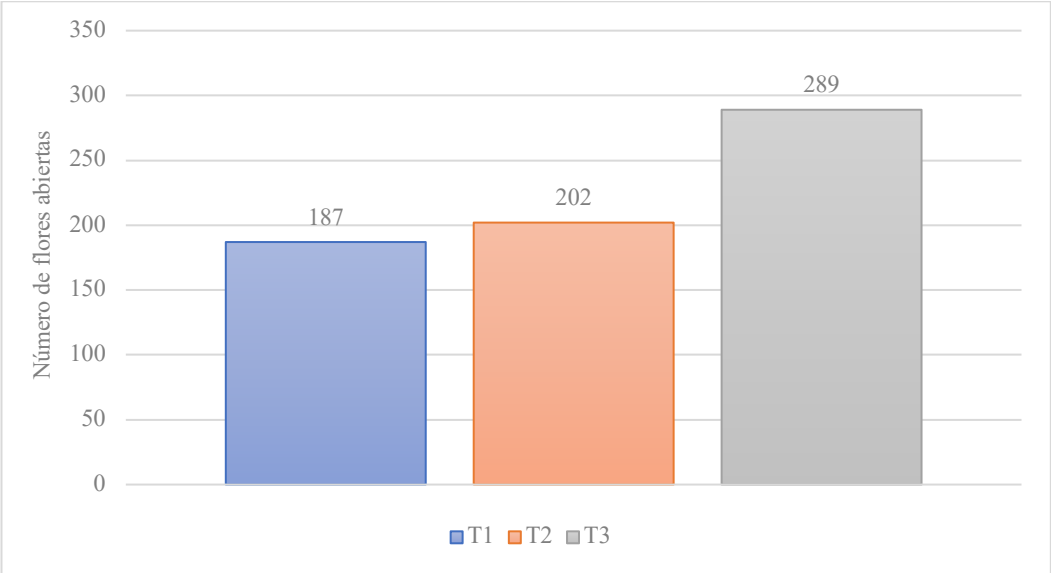
Con la prueba de Tukey al 5% el T3 el que registró el mayor promedio de flores semi abiertas con 190, seguido del T2 con 133, el menor promedio se registró en el T1 con 123 flores semi abiertas.

Estos resultados permiten deducir lo manifestado por Diaz (2018), que es importante tener en cuenta que la floración del cacao no está exclusivamente

influenciada por la nutrición de la planta, ya que está directa o indirectamente controlada por factores climáticos. En regiones donde la precipitación pluvial y la temperatura siguen patrones bien definidos, la floración tiende a disminuir durante los períodos secos y lluviosos.

Figura 9

Promedios de la variable número de flores abiertas (NFA), antes de realizar las polinizaciónes.



La variable número de flores abiertas (NFA), fue altamente significativa, se registró un promedio general de 226 flores abiertas, con un rango de promedios que va de 187 a 289 flores abiertas antes de la polinización.

Con la prueba de Tukey al 5% el T3 el que registró el mayor promedio de flores abiertas con 289, seguido del T2 con 202, el menor promedio se registró en el T1 con 187 flores abiertas.

Estos resultados confirman lo mencionado por la Asociación Nacional de Exportadores de Cacao – Ecuador, Anecacao, solo el 0.1% del total de flores producidas por un árbol de cacao logra ser fecundado con éxito. Además, qué condiciones climáticas desfavorables pueden provocar que la flor no logre cuajar y, en consecuencia, se desprenda del árbol.

4.1.7 Análisis de correlación y regresión lineal

Tabla 7

Resultados del análisis de correlación y regresión lineal de la (variable independiente Xs) que tuvieron una estrechez significativa sobre la capacidad de cruzamientos (variable dependiente Y) en las polinizaciones.

Variables independientes (Xs) componente capacidad de cruzamiento (R).	Coeficiente de correlación (r)	Coeficiente de regresión (b)	Coeficiente de determinación (R^2) %
GC	0.94 **	0.88	88.36
NFC	0.99 **	0.99	98.01
LM	0.86 **	0.73	73.96
NCF	0.83 **	0.69	68.89
NBF	0.88 **	0.78	77.44
NFSA	0.88 **	0.78	77.44
NFA	0.88 **	0.71	77.44

Nota: **= Altamente significativo

Coeficiente de correlación (r)

En esta investigación, se observó que, dentro de los componentes capacidad de cruzamiento, existieron correlaciones altamente significativas y positivas en los: grados de compatibilidad (GC), número de flores cuajadas (NFC), longitud de mazorca (LM), número de cojinetes florales (NCF), número de botones florales (NBF), número de flores semi-abiertas (NFSA) y número de flores abiertas (NFA).

Coeficiente de regresión (b)

Las variables que incrementaron el capacidad de cruzamiento, fueron: grados de compatibilidad con un coeficiente de regresión de 0.88, número de flores cuajadas 0.99, longitud de mazorca 0.73, número de cojinetes florales 0.69, número de botones florales 0.78, número de flores semi-abiertas 0.78 y número de flores abiertas 0.71.

Coeficiente de determinación (R^2)

El mayor incremento en la capacidad de cruzamiento, se obtuvo en la variable número de flores cuajadas con un valor de coeficiente de (R^2) de 98.01%, esto quiere decir que en un 98.01 % de incremento, en la capacidad de cruzamiento se debe, al número de flores cuajadas.

4.2. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo con los resultados estadísticos obtenidos en esta investigación, se evidenció que en la mayoría de las variables analizadas existieron diferencias altamente significativas entre los tratamientos. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, dado que no se encontró la evidencia suficiente para respaldar la hipótesis nula. Esto permite concluir que la habilidad combinatoria medida por la capacidad de cruzamientos entre los clones de cacao, está determinada por la polinización artificial.

CAPÍTULO V

5.1. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que los clones posee habilidad combinatoria general con los clones cruzados CCN51; FA – 2003; y JHVH – 10.

- Los cruzamientos que presentaron un buen porcentaje de flores fecundadas artificialmente corresponden a los cruces del CCN51 + JHVH -10 y CCN51 + FA- 2003.

- Los clones de cacao en esta investigación en su habilidad combinatoria en la capacidad de cruzamiento (CC), superó el umbral del 30 % establecido indicando que los materiales son intercompatible en ambas polinizaciones, el T3 destacó con los valores más altos de fecundación, lo que sugiere una fuerte afinidad genética entre los parentales involucrados y un alto potencial como combinación híbrida.

- En base a los análisis estadísticos realizados, se concluye que existieron diferencias significativas en los promedios de los tratamientos para la variable grado de compatibilidad, tanto en la primera como en la segunda polinización. Se observó una alta compatibilidad en los tratamientos T3 (CCN51 + JHVH-10) y T2 (CCN51 + FA-2003), mientras que en el T1 (autopolinización), los cruzamientos fueron compatibles según los criterios establecidos en la escala del INIAP, la cual fue utilizada como referencia para evaluar los grados de compatibilidad.

- El número promedio de flores cuajadas obtenidas de las polinizaciones fue de 5 en la primera polinización y 6 en la segunda, determinado que hubo diferencias estadísticas en el número de frutos en la zona agroecológica en estudio.

- Se determinó que dentro de los componentes que constituyeron, a la capacidad de cruzamiento, existieron correlaciones altamente significativas y positivas en los: grados de compatibilidad (GC), número de flores cuajadas (NFC), longitud de mazorca (LM), número de cojinetes florales (NCF), número de botones florales (NBF), número de flores semi-abiertas (NFSA) y número de flores abiertas (NFA).

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda priorizar los cruzamientos CCN51 + JHVH-10 y CCN51 + FA-2003 en futuros programas de mejoramiento genético del cacao, ya que demostraron una alta capacidad combinatoria general, así como un elevado porcentaje de fecundación. Estos materiales presentan fuerte compatibilidad genética e intercompatibilidad, lo cual garantiza un mayor éxito en la polinización dirigida y una mayor eficiencia en la generación de nuevas variedades con alto potencial productivo.

- Los resultados estadísticos evidenciaron que el tratamiento T3 superó el umbral de 30% en capacidad de cruzamiento, mostrando una correlación positiva con variables agronómicas clave como el número de flores cuajadas y longitud de mazorca. Por tanto, se sugiere su inclusión como referente en la selección de parentales para la producción de híbridos elite.

BIBLIOGRAFÍA

Areas, A. (2021). Manejo integrado cultivo de cacao (*Theobroma Cacao* L.): enmiendas edáficas, efecto en la floración y cuajado de fruto. Universidad Tecnica de Machala.

Arévalo, A. (2019). Evaluación de cuatro métodos de polinización artificial en cacao (*Theobroma cacao* L.). Costa Rica: IICA, San José (Costa Rica). Recuperado de https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/1 922

Barrón, Y. (2018). INIFAP. Recuperadode Metodología adaptada para la formación de híbridos F1 de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco: Recuperado https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/viw/900

Cabrera, V. (2018). Evaluación de tres métodos de polinización artificial en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51. Scielo, 3.

Carpio, J. (2022). MAG. Recuperadode Boletín situacional cultivo de cacao: Recuperado: https://fliphtml5.com/ijia/conp/Bolet%C3%ADn_Situacional_Cacao_2022

Castro, S. (2020). "Inter-compatilidad genética de seis genotipos seleccionados como parentales en un programa de Mejoramiento Genético de cacao (*Theobroma cacao* L.)". Recuperado de Universidad Técnica Estatal de Quevedo: https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/5344/1/T-UTEQ-0254.pdf

Cente, F. (2019). Preferencia y daño del Carmenta spp, relacionado al crecimiento del fruto de *Theobroma cacao* L. CCN-51 en dos épocas de producción, Pichari, Cusco, 2015. Recuperado de Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga: http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/3528/1/T ESIS%20AF05_Cce.pdf

Cunin, C., & García, E. (2022). Universidad Estatal de Bolívar. Recuperado de Evaluación de la floracion y formación de frutos en el cultivo de cacao

clonal (*Teobroma cacao* L) Aplicando dos tipos de fertilizantes foliares con tres dosis, en el Cantón Ventanas: Recuperado: https://dspace.ueb.edu.ec /bitstream/123456789/4545/1/proyecto%20de%20investigacion%20garcia %20adrian-cunin%20carmen.pdf

Diaz, E. (2018). Universidad Nacional Autonóma de Nicaragua, Managua Facultad Regional Multidisciplinaria. Recuperado de Estudio sobre la auto-intercompatibilidad de 5 clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), en el Centro de Desarrollo Tecnológico del INTA El Recreo, El Rama, RAAS: Recuperado: https://repositorio.unan.edu.ni/794/1/10418.pdf

Dorantes, M. (2017). Polinización artificial en Pistacho (*Pistacia vera* L.) y su efecto en el desarrollo del fruto. Recuperado de Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro: http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/12 345678 9/42184

Franco, K. J. (2020). Efecto de la micro fermentación de cacao (*Theobroma cacao* L.), variedad nacional y CCN51, en cajas de maderas no convenciales sobre la calidad física y sensorial del licor de cacao. Mocache, Los Ríos, Ecuador: https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0d125083-5f6a-4393-b794-c264248b4108/content.

Gaibor, A. (2018). El cultivo del cacao. Recuperadode http://canales.hoy.es/c analagro/datos/herbaceos/industriales/cacao.htm

INIAP. (2022). Estación Experimental Litoral Sur. Recuperadode Potencial genético de los materiales de cacao del INIAP.: Recuperado: https://www.worldcocoafoundation.org/wpcontent/uploads/files_mf/1473869418FieldTripJ.Quiros.pdf

Lamilla. (2022). Control químico de Monilia (*Moniliophthora roreri*) en el cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.). http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/13087/e-utb-faciag-ing%20agron000409.pdf?sequence=1&isallowed=y:universidad técnica de babahoyo.

MAG. (2020). Ministerio de agricultura y Ganadería. Recuperado de MAG impulsa proyecto de reactivación del cacao fino y de aroma: Recuperado: https://www.agricult ura.gob.ec/magap-impulsa-proyecto-de-reactivacion-del-cacao-fino-y-de-aroma/

Meteobox. (2022). Meteobox. Recuperado de Tiempo San Carlos, Los Ríos: Recuperado: https://m eteobox.es/ecuador/san-carlos-3/

Morante, J. (2018). Importancia de la mosquilla forcipomyia spp. En la polinización y producción del cultivo de cacao (Vol. 11). Colombia: Dialnet.

Moreno, D. (2020). Universidad de Investigación Avaladora. Recuperado de "Determinación de la habilidad combinatoria de 11 materiales de cacao (*Theobroma cacao* L.) de tipo criollo: Recuperado: https://digi.usac.edu.g t/bvirt ual/informes/puirna/INF-2016-44.pdf

MPCEIP. (2022). Boletín Productivo Zona 6. Recuperadode Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca: https://www.produc cion.gob.ec/wp-content/uploads/2022/11/Boletin-Productivo-Zona-6.pdf

Pintado, M. (2017). Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Recuperado de Caracterización morfológica de la flor de cacao CCN -51 (*Theobroma cacao* L.) en la finca "La Chavelita" del Cantón Valencia: https://es.scribd.co m/document/380191829/Caracterizacion-Morfologica-de-La-Flor-de-Caca o-Ccn-51-Theobroma-Cacao-1

Quevedo, L. (2020). Clasificacion taxonomica del cacao. Recuperado de UTB: http://repositorio.utmachala. edu.ec/bitstream/48 000/16142/1/ttuaca-2020-ia-de00025.pdf

Ramirez, O. (2019). "Compatibilidad sexual de Cultivares de cacao para desarrollar propuestas de plantaciones con arreglos polinacionales". Recuperado de FHIA: http://apps.iica.int/pccmca/docs/MT%20Frutales%20y%20Cafe/Lu nes%2029%20abril/7-%20Compatibilidad%20Sexual%20en%20Caca o.pdf

Requelme, E. (2020). Evaluación de los parámetros de calidad mediante la identificación de las características organolépticas del cacao de exportación en el Ecuador. Machala, El Oro: http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16312/1/e-11740_diaz%20requelme%20denis%20est efany.pdf.

Ríos, D. (2018). Universidad Católica del Ecuador. Recuperado de Descripción de la diversidad entomológica asociada a la flor de *Theobroma cacao*: Recuperado:http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8660/monografia% 20polinizadores%20del%20cacao.pdf;sequence=1

Rios, L. (2019). La polinización en los sistemas de producción agrícola: revisión sistemática de la literatura. Scielo, 18. Recuperado de la polinización en los sistemas de producción agrícola: revisión sistemática de la literatura: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292016000300008

Rivera, J. (2021). Universidad de Guayaquil. Recuperado de Análisis dialético incompleto con materiales de Cacao (*Theobroma cacao* L.) Nacional centenario de alta poroducción: Recuperado: http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/r edug/56318/1/Rivera%20Gonzalez%20Jamilex%20Juleisi.pdf

Scheltema, T. (2022). La auto-incompatibilidad en los híbridos de cacao del CATIE: un estudio en la finca La Lola, Zona Atlántica de Costa Rica. Costa Rica: CATIE. Recuperadode https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2646

Solórzano, G. (2019). Hibridación en cacao. Recuperado de INIAP: https://repositor io.iniap.gob.ec/handle/41000/3404

Vargas, E. (2021). Impacto socieconómico de la producción y comercialización del cacao de los pequeños productores del cantón Quevedo. Revista Científica Ecociencia, 2-18.

Villena, O. (2021). Origen del cacao. Recuperado de Cacao móvil: https://cacaomovil.com/site/guide/el-cacao-en-sistemas-agroforestales-df638640-b491-4be2-a0e0-479d7b616e5f/9/cual-es-el-origen-del-cacao

Zambrano, M. (2017). Universidad Tecnica Estatal De Quevedo Facultad De Ciencias Agrarias. Recuperado de Evaluación productiva y sanitaria de siete clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Hda Rio Lindo En la zona de Quevedo: Recuperado: https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2dbb 59b3-d032-4261-a413-11866cbca7c0/content

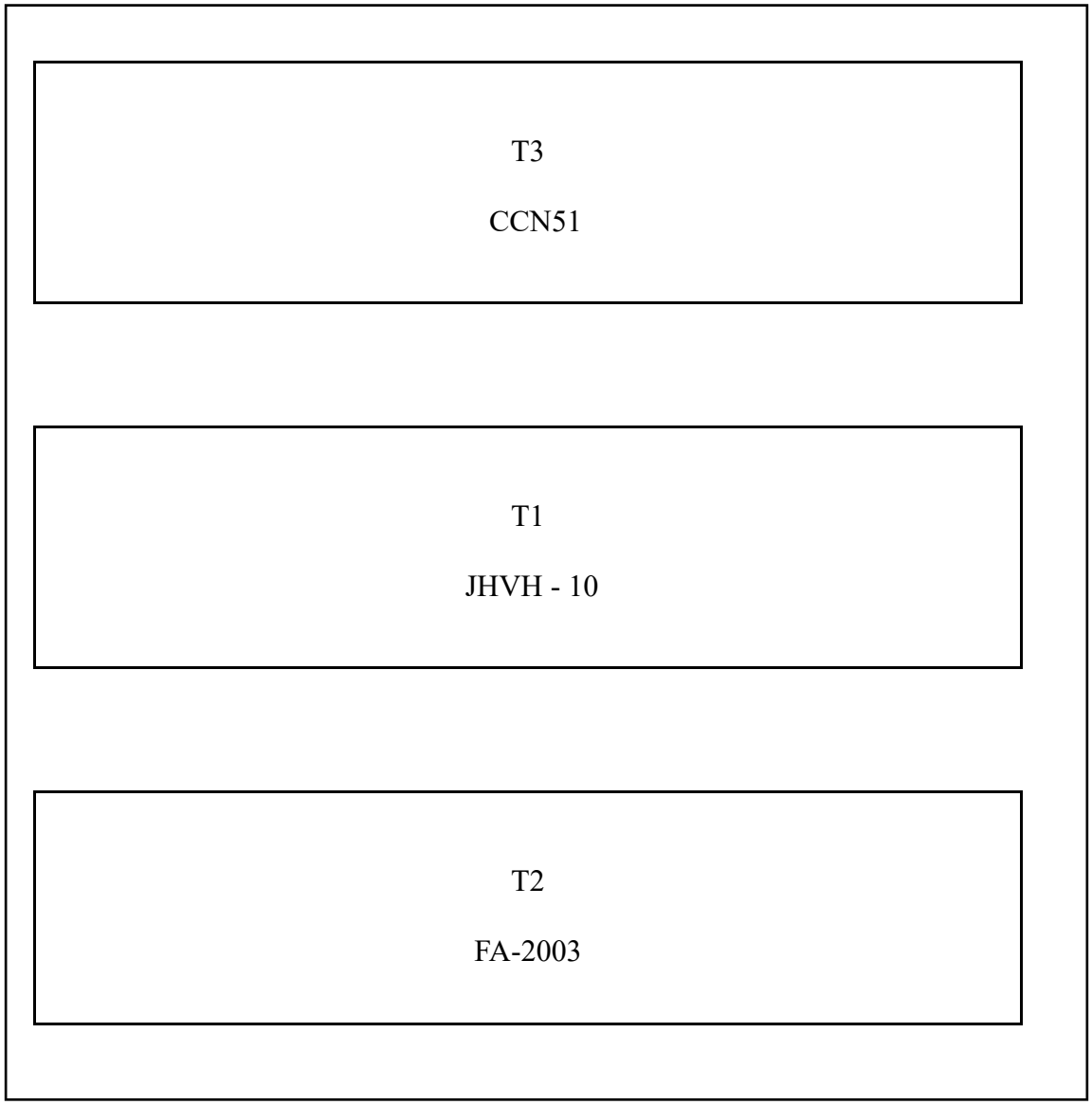
Anexos

Anexo 1. Mapa de la ubicación del ensayo.



Anexo 2. Croquis del ensayo

TRATAMIENTOS



Total de tratamientos: 3 **Área de los tratamientos:** 450 m^2

Área total del ensayo: 1350 m^2 **Número de plantas/tratamiento:** 50

Anexo 3. Base de datos de las variables agronómicas evaluadas

Porcentaje de flores fecundadas artificialmente (PFFA)						
	Primera polinización			Segunda polinización		
NP	**T1**	**T2**	**T3**	**T1**	**T2**	**T3**
1	30	20	30	40	20	30
2	50	30	70	60	80	90
3	20	40	80	50	60	80
4	30	80	70	60	80	90
5	30	20	60	30	90	60
6	50	30	80	50	30	90
7	40	70	80	40	70	90
8	70	80	50	40	80	50
9	60	40	70	30	40	80
10	20	50	90	20	50	90
$\sum$ =	400	460	680	420	600	750
μ =	40	46	68	42	60	75

Grado de compatibilidad (GC)						
	Primera polinización			Segunda polinización		
NP	**T1**	**T2**	**T3**	**T1**	**T2**	**T3**
1	4	2	4	4	4	6
2	4	2	4	4	6	6
3	2	6	6	6	6	4
4	4	6	6	4	2	6
5	6	6	4	4	6	6
6	6	2	2	4	6	6
7	2	4	6	4	6	6
8	6	6	2	6	4	6
9	4	6	4	4	4	6
10	6	2	2	6	6	6
$\sum$ =	44	42	40	46	50	58
μ =	4	4	4	5	5	6

Capacidad de cruzamiento (CC)						
Primera polinización				Segunda polinización		
NP	T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	41	42	67	52	38	78
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

	Número de cojinetes florales (NCF)			Número de botones florales (NBF)			Número de flores semi abiertos (NFSA)		
No.	**T1**	**T2**	**T3**	**T1**	**T2**	**T3**	**T1**	**T2**	**T3**
1	376	270	884	384	478	748	96	120	187
2	415	260	398	446	694	678	112	173	170
3	205	200	266	213	294	849	53	74	212
4	119	182	494	563	458	327	141	115	82
5	258	193	848	567	576	856	142	144	214
6	293	358	177	447	479	790	112	120	198
7	201	360	272	374	756	756	94	189	189
8	119	200	383	878	790	909	220	198	227
9	129	280	223	564	536	789	141	134	197
10	134	484	465	478	257	891	120	64	223
$\sum$ =	2249	2787	4410	4914	5318	7593	1229	1329	1898
μ =	225	279	441	491	532	759	123	133	190

	Número de flores abiertas (NFA)		
No.	**T1**	**T2**	**T3**
1	146	182	284
2	169	264	258
3	81	112	323
4	214	174	124
5	215	219	325
6	170	182	300
7	142	287	287
8	334	300	345
9	214	204	300
10	182	98	339
$\sum$ =	1867	2021	2885
μ =	187	202	289

Número de flores cuajadas (NFC)						
	Primera polinización			**Segunda polinización**		
NP	**T1**	**T2**	**T3**	**T1**	**T2**	**T3**
1	2	3	9	7	2	9
2	3	3	3	5	5	4
3	5	1	7	9	6	8
4	9	9	5	6	7	9
5	3	4	5	1	4	6
6	4	3	8	7	3	9
7	6	7	5	3	2	10
8	2	5	9	5	5	6
9	2	5	7	5	3	9
10	5	2	9	4	1	8
$\sum$ =	41.00	42.00	67.00	52.00	38.00	78.00
μ =	4	4	7	5	4	8

Longitud de mazorca (LM)						
	Primera polinización			Segunda polinización		
NP	T1	T2	T3	T1	T2	T3
1	2.46	1.55	2.28	2.1	1.78	2.28
2	2.21	2.16	2.98	2	1.87	2.76
3	2.37	1.78	2.28	2.17	2.03	2.72
4	2.41	1.87	2.48	1.5	1.58	2.67
5	1.58	2.16	2.89	1.98	2.35	2.91
6	1.08	1.78	2.28	1.76	2.5	2.43
7	1.56	2.19	2.48	2.03	1.95	2.46
8	1.45	2.91	2.28	2.48	2.89	2.56
9	1.68	2.18	2.39	1.97	1.87	2.65
10	1.78	2.13	2.28	1.23	1.78	2.8
$\sum$ =	18.58	20.71	24.62	19.22	20.6	26.24
μ =	1.86	2.07	2.46	1.92	2.06	2.62

Anexo 4. Fotografías

Distribución de la unidad experimental



Control de maleza



Poda





Identificación de las plantas y cojines florales





Aislamiento de botones florales del padre





Aislamiento de botones florales madre





Se tomó los estambres (con la ayuda de pinzas punta fina y curva) de las flores provenientes del árbol padre y se frotarán sobre el estilo-estigma de la flor madre (también aislada el día anterior).





Anexo 5. Glosario de términos técnicos

Alógamas: También llamada polinización cruzada, es el tipo de polinización que ocurre entre flores distintas de la misma planta.

Aploide: Plantas con un solo conjunto de cromosomas (n). Son útiles en programas de mejoramiento genético para obtener variedades puras.

Autocompatible: Describe la capacidad de una planta para autofertilizarse o ser fecundada por su propio polen. Una planta autocompatible puede generar semillas y frutos sin necesitar la polinización de otra planta de la misma especie.

Autofecundación: Es el proceso de reproducción en el que los gametos masculinos y femeninos provienen del mismo individuo (o planta), sin que se mezcle material genético externo.

Autógama: Plantas que se autopolinizan, es decir, el polen de una flor fertiliza su propio óvulo.

Autoincompatible: Se refiere a la imposibilidad de una planta para autofertilizarse con su propio polen, lo que significa que no puede producir semillas viables si utiliza su propio polen para fecundarse.

Clon: Se refiere a un grupo de plantas genéticamente idénticas obtenidas a partir de un único progenitor, generalmente mediante propagación vegetativa, como esquejes o injertos.

Compatibilidad: Se refiere a la capacidad de diferentes plantas para crecer juntas sin interferir negativamente en su desarrollo o producción.

Dialélico: Relacionado con estudios genéticos, se utiliza en cruzamientos entre diferentes líneas o variedades para evaluar la combinación de características genéticas.

Dioica: Plantas que tienen flores masculinas y femeninas en individuos separados.

Diploide: Organismos o plantas que poseen dos conjuntos de cromosomas (2n), uno heredado de cada progenitor.

Endógamas homocigóticas: Son individuos generados mediante apareamiento o selección artificial dentro de una misma población, que presentan homocigosis en gran parte de su genoma debido a la endogamia.

Entomófila: Es la característica de una flor que es polinizada por insectos, como abejas y mariposas, que transportan el polen mientras buscan alimento.

Habilidad combinatoria: Se refiere a la capacidad de diferentes genotipos de plantas para generar descendencia con mejores características, como mayor rendimiento, resistencia a enfermedades o calidad de fruto.

Heterocigóticos: Son aquellos organismos que poseen dos alelos diferentes para un gen específico en su genoma.

Heteromórfico: Hace referencia a cromosomas sexuales que tienen tamaños y formas diferentes.

Híbridos F1: Son el resultado del cruce entre dos líneas puras distintas, produciendo un híbrido de primera generación.

Homocigosis: Es la condición en la que un organismo posee dos copias idénticas de un gen determinado.

Homomórfico: Se refiere a cromosomas sexuales que son morfológicamente similares a los autosomas.

Incompatibilidad esporofítica: Mecanismo donde las células del embrión de la flor presentan genes de incompatibilidad que impiden el crecimiento del tubo polínico en la misma flor, evitando así la fertilización.

Incompatibilidad gametofítica: Es un mecanismo genético que previene la autofecundación en plantas y promueve la polinización cruzada.

Monoica: Dos sexo en un mismo pie de planta.

Monógama: Se refiere a especies donde las flores producen tanto polen como óvulos funcionales, facilitando la autopolinización o polinización cruzada.

Mosca *forcipomyia:* Insecto del orden Díptera, de la familia Ceratopogonidae, reconocido por su importante rol como polinizador en la planta de cacao.

Proterandria: Lo opuesto a la proteroginia; los órganos masculinos maduran antes que los femeninos, favoreciendo también la polinización cruzada.

Proteroginia: Fenómeno donde los órganos femeninos de una flor maduran antes que los masculinos, promoviendo la polinización cruzada.

Súpero: Se refiere a un tipo de ovario vegetal que se desarrolla por encima del cáliz.