



UNIVERSIDAD TECNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA PESCA Y
VETERINARIA
CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACION

Componente practico del examen de carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como
requisito previo para obtener el título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

TEMA:

Importancia del mejoramiento genético en el cultivo de cacao
(*Theobroma cacao*).

AUTORA:

Maoli Vanessa Alarcón Suarez

TUTORA:

Ing. Agr. Emma Lombeida García, PhD.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

2024

RESUMEN

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) tiene gran importancia socioeconómica a nivel mundial, ya que es uno de los principales productos de exportación, sea como materia prima o elaborados. Esta investigación tiene como propósito caracterizar la importancia del mejoramiento genético en el cultivo de cacao también se planteó una metodología de manera investigativa de sitios web, libros y revistas dando como resultados obtenidos las técnicas de mejora genética en el cacao, como la selección clonal y el uso de marcadores moleculares, son fundamentales para desarrollar variedades mejoradas en productividad, calidad y resistencia. La propagación asexual asegura la conservación de rasgos genéticos favorables, aunque está sujeta a influencias ambientales que pueden afectar la calidad y supervivencia de las plantas. La propagación sexual es la estrategia más común y sencilla para reproducir el cacao, y se puede realizar mediante la siembra directa de las semillas en el campo o mediante la siembra en un vivero temporal utilizando bolsas plásticas. La comprensión detallada de estas técnicas permite optimizar la producción de cacao y adaptarse a condiciones específicas del cultivo. La reproducción sexual y asexual son métodos comunes para propagar el cacao, con la siembra directa en el campo y el uso de semilleros como opciones principales. Con esto se concluye que las técnicas de mejoramiento genético son de mucha utilidad ya que esto ha ayudado mucho a los agricultores a aumentar la producción y a ser más resistentes a enfermedades como a plagas esto abre paso a nuevas oportunidades en el mercado.

Palabras clave: cultivo, cacao, técnica, enfermedad.

SUMMARY

The cultivation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) has great socioeconomic importance worldwide, since it is one of the main export products, either as raw material or processed. The purpose of this research is to characterize the importance of genetic improvement in cocoa cultivation. A methodology was also proposed in an investigative manner from websites, books and magazines, with the results obtained being that genetic improvement techniques in cocoa, such as clonal selection and the use of molecular markers are essential to develop varieties improved in productivity, quality and resistance. Asexual propagation ensures the conservation of favorable genetic traits, although it is subject to environmental influences that can affect the quality and survival of the plants. Sexual propagation is the most common and simplest strategy to reproduce cocoa, and can be done by directly sowing the seeds in the field or by sowing in a temporary nursery using plastic bags. Detailed understanding of these techniques allows cocoa production to be optimized and adapted to specific crop conditions. Sexual and asexual reproduction are common methods for propagating cocoa, with direct sowing in the field and the use of seedbeds as the main options. This concludes that genetic improvement techniques are very useful since this has greatly helped farmers increase production and be more resistant to diseases and pests, opening the way to new opportunities in the market.

Keywords: cultivation, cocoa, technique, disease.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	II
SUMMARY	III
1.CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Líneas de investigación.....	4
2.DESARROLLO	5
2.1 Marco conceptual.....	5
2.1.1 Origen del cacao	5
2.1.2. Taxonomía	5
2.1.3. Morfología del cacao	5
2.1.3.1. Sistema radicular	5
2.1.3.2. Planta	6
2.1.3.3. La Raíz.....	6
2.1.3.4. Hojas.....	7
2.1.3.5. Fruto.....	8
2.1.4. Condiciones edafoclimáticas	9
2.1.4.1. Temperatura.....	9
2.1.4.2. Agua	9
2.1.4.3. Viento.....	9
2.1.4.4. Sombreamiento.....	9
2.1.4.5. Riego.....	10
2.1.4.6. Drenaje.....	10
2.1.4.7. Condiciones de suelo.....	10
2.1.5. Fases fenológicas del cacao	11
2.1.5.1. Brotamiento floral	11
2.1.5.2. Floración.....	11
2.1.5.3. Fructificación	11
2.1.5.4. Maduración	11

2.1.6. Genotipos obtenidos por mejoramiento genético con sus respectivas características.....	12
2.1.7. Material genético de cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.).....	13
2.1.7.1 Colecciones nacionales de germoplasma de cacao	13
2.1.7.2. clones comerciales registrados en Colombia.....	13
2.1.7.3 Clones comerciales registrados en Ecuador	14
2.1.8. Técnicas usadas en el mejoramiento genético en el cultivo de cacao.	14
2.1.8. 1. Genoma	14
2.1.8.2. Selección de germoplasma	14
2.1.8.3 Marcadores moleculares	15
2.1.8.4 Cultivo in vitro	15
2.1.8.5. Mejoramiento participativo	15
2.1.8.6. Secuenciación del genoma	15
2.1.8.7. Polinización artificial en cacao.....	16
2.1.8.8. Presión de aire provocada con bombas neblinadoras.....	16
2.1.8.9. Polinización manual.....	17
2.1.8.10. Hibridaciones.....	17
2.1.8.11. Mutagénesis	17
2.1.8.12. Propagación sexual.....	17
2.1.8.13. Propagación asexual.....	18
2.1.8.14. Poliploidía inducida	19
2.1.9. Incompatibilidad	20
2.1.10. Importancia del mejoramiento genético en el cacao.	20
2.2. Marco metodológico	22
2.3. Resultados	23
2.4 Discusión de resultados	25
3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	27
3.1. Conclusiones	27
3.2. Recomendaciones	28
4.REFERENCIAS Y ANEXOS	29
4.1. Referencias bibliográficas.....	29
4.2. Anexos.....	38

1.CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. Introducción

El cacao, científicamente *Theobroma cacao* L., es un producto agrícola crucial de origen tropical, cultivado principalmente por pequeños agricultores y esencial en la producción de chocolate y otros derivados. Considerado el alimento de los dioses, era cultivado por indígenas precolombinos para rituales y bebidas. Dos teorías principales sobre su origen: la dispersión norte-sur sugiere América Central como origen, propagándose hacia el sur con migraciones indígenas. La ubicación exacta del origen del cacao sigue siendo incierta debido a la dispersión y evolución del cultivo (Ribas 2019).

Muchas familias dependen del cacao como principal medio de sustento, y la cadena de valor del cacao genera empleo en diversas etapas, desde la siembra hasta el procesamiento. En 2022, la superficie plantada de cacao a nivel nacional fue de 591.557 hectáreas. Las zonas productoras de cacao se encuentran en Los Ríos, Guayas, Manabí y Esmeraldas, la mayor producción se concentra en la provincia de Los Ríos con el 30,9 % (INEC 2022).

En los años cuarenta, en Colombia se llevaron a cabo las primeras expediciones destinadas a la recolección de material genético de *Theobroma cacao*. Durante este período, se crearon las primeras colecciones de germoplasma, identificadas como la selección cacao Palmira (scp), selección cacao Cauca (scc) y selección cacao Tuluá (sct). Estas colecciones fueron establecidas en lo que anteriormente se conocía como la Estación Experimental de Palmira, ubicada en el Valle del Cauca (Rodríguez *et al.* 2023).

El mejoramiento genético en el ámbito agrícola de Ecuador tuvo sus inicios en las décadas de 1960 y 1970, siendo retomado por el Programa Nacional de Cacao del INIAP en 1995. Este esfuerzo se enfocó en sistematizar la información acumulada durante 25 años de investigación en cacao, priorizando rendimiento, características agronómicas y resistencia a enfermedades. En 1996, se

identificaron genotipos élite como clones o progenitores en esquemas de cruzamiento dirigidos, diseñados para mezclar cualidades comerciales. Entre los seleccionados se encuentran EET-103, EET-233, EET-387, EET-400, EET-416, EET-426, EET-445, EET-446, EET-450, EET-451, EET-452, EET-454, EET-462, EET-534, EET-547, EET-574, EET-577 y EET-578. El clon CCN-51 se utilizó como punto de referencia y progenitor en cruces específicos con los clones mencionados (Sornoza *et al.* 2022).

El mejoramiento genético resulta fundamental ya que posibilita al productor adquirir variedades de cacao de alta calidad, con una productividad considerable, resistencia ante plagas y enfermedades, además de adaptabilidad a las condiciones específicas de su entorno. Mediante la optimización genética de sus cultivos de cacao, el productor experimenta un aumento significativo en la cantidad de cosecha, una mejora sustancial en la calidad del producto y, en consecuencia, logra incrementar sus ingresos y elevar su estándar de vida (Progresar Caribe 2014).

La identificación y aplicación de técnicas de mejoramiento genético en el cultivo de cacao son esenciales para aumentar rendimientos y calidad del grano, así como para desarrollar resistencia a enfermedades y plagas. Estas técnicas permiten adaptar las variedades a condiciones ambientales cambiantes, diversificar perfiles de sabor y acelerar el proceso de mejora genética. Además, contribuyen a la sostenibilidad al conservar recursos y mejorar las condiciones socioeconómicas de los agricultores. En resumen, el mejoramiento genético en el cultivo de cacao es crucial para un sector más productivo, resistente y sostenible, con impactos positivos tanto a nivel económico como ambiental (Gallegos 2013).

1.2. Planteamiento del problema

Debido a la alta complejidad genética del cacao, es difícil identificar genes específicos asociados con un rasgo de interés, lo que requiere herramientas genómicas y bioinformáticas avanzadas. El proceso de desarrollo y validación de nuevas variedades mejoradas mediante técnicas como la cría selectiva requiere mucho tiempo y puede limitar la capacidad de los agricultores para adoptar rápidamente innovaciones genéticas.

El mejoramiento genético del cacao, aunque prometedor, enfrenta desafíos significativos. La prolongada duración del proceso de desarrollo de variedades mejoradas puede retardar la implementación de soluciones urgentes. Los altos costos asociados con la investigación y desarrollo pueden excluir a pequeños productores y países con recursos limitados. Consideraciones éticas y sociales sobre la aceptación de alimentos modificados genéticamente también influyen en la adopción de estas variedades. La necesidad de mantener la diversidad genética y la adaptabilidad a diversas condiciones locales plantea preocupaciones adicionales. Además, existe la inquietud ambiental sobre posibles impactos a largo plazo. La participación comunitaria y marcos legales sólidos son esenciales para el éxito y la aceptación generalizada del mejoramiento genético en la industria del cacao.

1.3. Justificación

Las técnicas de mejora genética en el cultivo del cacao son fundamentales para impulsar la industria cacaotera creando variedades más resistentes y productivas con granos de mayor calidad. La hibridación selectiva, que implica el mejoramiento de variedades con rasgos deseables, contribuye al mejoramiento genético al producir descendencia con rasgos mejorados como resistencia a enfermedades y mayor rendimiento. La selección clonal asegura la replicación de genotipos específicos que exhiben resistencia y productividad mediante la identificación y el mejoramiento de plantas superiores.

El mejoramiento genético en el cacao es esencial para abordar desafíos críticos y asegurar la viabilidad a largo plazo de esta industria. Frente a amenazas como enfermedades y condiciones climáticas variables, el desarrollo de variedades genéticamente mejoradas busca fortalecer la resistencia de las plantas y su capacidad de adaptación. Esto no solo protege la salud de los cultivos, sino que también contribuye a la seguridad alimentaria y económica de las comunidades agrícolas. Además, ante la creciente demanda mundial de productos de cacao, el

mejoramiento genético ofrece la oportunidad de mejorar la productividad, garantizar la eficiencia en el uso de recursos y elevar los estándares de calidad. Al enfocarse en características organolépticas, como el sabor, se promueve la competitividad en el mercado global, brindando beneficios económicos y sostenibilidad a la cadena de suministro del cacao.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- ✚ Caracterizar la importancia del mejoramiento genético en el cultivo de cacao.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✚ Describir genotipos obtenidos por mejoramiento genético con sus respectivas características.
- ✚ Detallar las técnicas usadas en el mejoramiento genético en el cultivo de cacao.

1.5. Líneas de investigación

Dominio: Recursos Agropecuarios, ambiente, biodiversidad y Biotecnología.

Líneas: Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable.

Sublínea: Agricultura sostenible y sustentable.

2.DESARROLLO

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Origen del cacao

Se piensa que la raíz primordial del cacao se encuentra en el noroeste de América del Sur, específicamente en los trópicos húmedos de la elevada región amazónica. Su propagación alcanzó América Central, donde civilizaciones autóctonas como los Olmecas y los Mayas lo incorporaron a su dieta, otorgándole un estatus especial como "el alimento de los dioses". Este árbol, originario de las exuberantes tierras altas amazónicas, gradualmente se convirtió en un elemento vital para las culturas mesoamericanas, desempeñando un papel crucial en sus prácticas y creencias (Espinoza y Mosquera 2012).

2.1.2. Taxonomía

Según Avendaño (2011), la taxonomía del cacao es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Malvales

Familia: Malvaceae

Género: *Theobroma*

Especies: *cacao*

2.1.3. Morfología del cacao

2.1.3.1. Sistema radicular

El sistema radicular del cacao incluye una raíz principal que se extiende a una profundidad de más de 2 metros, lo que facilita la absorción de nutrientes, junto con un extenso sistema de raíces superficiales que se distribuyen aproximadamente a 15 cm debajo de la superficie del suelo (Montes 2016).

La configuración y evolución de las raíces del cacao están mayormente condicionadas por las características de textura, estructura y consistencia del suelo. En terrenos profundos bien aireados, las raíces pueden extenderse hasta una profundidad de dos metros; en suelos pedregosos, su crecimiento tiende a ser más irregular. En presencia de un suelo con una estructura granular uniforme y una textura predominantemente arcillosa, la raíz se desarrolla de manera vertical (Bastidas 2006).

La configuración y crecimiento de las raíces del cacao están mayormente determinados por las características del suelo, como su textura, estructura y consistencia, así como por el método de reproducción. En suelos profundos y bien ventilados, las raíces pueden extenderse hasta los 2 metros de profundidad, mientras que en suelos pedregosos su desarrollo es más irregular (Oroche 2021).

2.1.3.2. Planta

Es un árbol de estatura mediana, generalmente oscilando entre 5 y 8 metros, aunque puede llegar a alturas de hasta 20 metros en condiciones de sombra intensa durante un crecimiento rápido. La corona se caracteriza por ser densa y redondeada, con un diámetro que va de 7 a 9 metros. Su tronco es recto y puede adoptar diversas formas dependiendo de las condiciones ambientales Cruz (2020).

El cacao es un árbol de tamaño pequeño que prospera en climas tropicales. Por lo general, produce entre 15 y 20 frutos, conocidos como vainas, cada una conteniendo entre 20 y 60 semillas de cacao. Para un adecuado desarrollo de los granos de cacao, la planta requiere temperaturas elevadas durante todo el año, precipitaciones regulares y cuidados constantes (VEREMA 2024).

Su copa es densa y redondeada, con un diámetro de aproximadamente 7 a 9 metros. El tronco suele ser recto, aunque su forma puede variar considerablemente dependiendo del entorno ambiental (Info Agro 2020).

2.1.3.3. La Raíz

El crecimiento del tronco y la formación del sistema radicular comienzan en el cuello de la raíz, donde se desarrolla la raíz pivotante en plantas reproducidas por semillas. Esta raíz principal crece recta hacia abajo, con raíces secundarias que

se extienden horizontalmente desde ella hasta 5 o 6 metros del tronco. En plantas reproducidas por medios vegetativos, no hay raíz pivotante, pero sí raíces primarias y secundarias de crecimiento horizontal (Peñate 2020).

Tiene dos variedades de raíces para sostener la planta, con la capacidad de penetrar hasta 2 metros en suelo propicio; y las secundarias, localizadas en los primeros 30 centímetros de profundidad, responsables de absorber agua y nutrientes esenciales del suelo para el crecimiento óptimo de la planta (Benjamín *et al.* 2021).

2.1.3.4. Hojas

Las hojas del cacao presentan una textura coriácea o cactácea y exhiben un color verde. Estas hojas están dispuestas de manera alternada a lo largo de la rama. El peciolo, que sostiene la hoja, está cubierto de pequeños pelos densos y simples, lo que le confiere una apariencia tomentosa o pubescente. Estos pelos están notablemente engrosados (Peñaloza 2020).

Las hojas del cacao son persistentes y miden alrededor de 20 cm de longitud. Están dispuestas en dos filas a lo largo de la rama, alternándose entre sí. Tienen forma grande, simple, elíptica u ovalada, con dimensiones de 20 a 35 cm de largo y 4 a 15 cm de ancho. Poseen una punta alargada, ligeramente gruesa, con bordes lisos y un color verde oscuro en el haz, más claro en el envés. Las hojas cuelgan de un peciolo (Montes 2016).

Durante el proceso de formación, crecimiento y madurez, se observa la aparición del nervio central y una punta afilada en las hojas. A medida que la planta alcanza la madurez, las hojas adoptan un tono verde oscuro, presentan una estructura delgada y de tamaño mediano, manteniendo su estabilidad. Estas hojas están conectadas a las ramas a través de un peciolo que cuenta con un abultamiento llamado yema, el cual se utiliza para llevar a cabo el proceso de trasplante (Torres 2012).

2.1.3.5. Fruto

El fruto del cacao es el resultado de la maduración del ovario tras la fecundación, transformándose en una baya que no se abre espontáneamente, con dimensiones que van desde los 10 cm hasta los 42 cm. Su forma puede variar, incluyendo oblonga, elíptica, ovada, esférica y oblata, mientras que su superficie puede ser lisa o rugosa, y su color puede ser rojo o verde cuando está inmaduro, dependiendo del genotipo. El número de semillas por fruto es muy variable y parece estar influenciado significativamente por el entorno (Cortez 2021).

El fruto del cacao es como en otras especies, el resultado de la maduración del ovario una vez fecundado, este fruto está sostenido por un pedúnculo leñoso, que es el resultado de la maduración de los pedicelos de la flor. Cada fruto puede tener un número muy variable de semillas, pues esto está en dependencia de la fecundación de cada ovario, aunque cada árbol sólo puede tener un máximo, debido al número de óvulos que es constante en cada uno (Tecnoagro 2022).

Su color puede ser rojo, amarillo o Vinotinto, y presenta una pared gruesa y resistente. Internamente, se divide en cinco celdas y contiene una placenta blanca donde se adhieren los granos de cacao. Cada baya puede contener entre 20 y 40 semillas, las cuales pueden ser planas o redondeadas y tienen un color que puede ser blanco, café o morado, con un sabor dulce o amargo dependiendo del clon (Peñaoloza 2020).

Se identifican como 'mazorcas o bayas', compuestas por una cáscara que alberga almendras, rodeada de una sustancia viscosa o pulpa con un sabor agridulce. El mucílago crea el entorno propicio para la fermentación y la generación de precursores que contribuyen al sabor y aroma del chocolate. La morfología de los frutos varía significativamente entre las distintas variedades en función de su genotipo (Álvarez *et al.* 2002).

2.1.4. Condiciones edafoclimáticas

2.1.4.1. Temperatura

Controlar el desarrollo de las plantas, especialmente el crecimiento de los tallos es crucial para favorecer la expansión y fortalecimiento de la estructura, fundamental en la formación de frutos. Para lograr una producción óptima, los árboles de cacao requieren condiciones climáticas específicas, como una precipitación anual que oscile entre 1.150 y 2.500 mm, así como temperaturas que se sitúen entre los 21° y 32° C (León *et al.* 2016).

2.1.4.2. Agua

El estrés hídrico puede manifestarse de diversas maneras, y en este contexto nos enfocamos en la escasez de agua, en contraposición al exceso, como ocurre en inundaciones. Es esencial aclarar que los términos "sequía" y "déficit hídrico" pueden generar confusiones conceptuales. La sequía se vincula con la falta de precipitaciones, una condición meteorológica que algunas plantas pueden tolerar. En cambio, el déficit hídrico se refiere a la disminución del contenido de agua en tejidos o células por debajo de su nivel máximo de hidratación (Yépez y Silveira 2011).

2.1.4.3. Viento

La presencia constante de vientos puede ocasionar deshidratación, pérdida masiva de hojas e incluso resultar letal para las plantas, influyendo significativamente en la velocidad de evapotranspiración en la superficie del suelo. En plantaciones con escasa sombra y una velocidad de viento de 4 m/seg, se observa una intensa defoliación. Este fenómeno demuestra la importancia del factor viento en el bienestar de las plantas, afectando no solo su hidratación, sino también su capacidad para retener follaje (AGROCALIDAD 2012).

2.1.4.4. Sombreamiento

El cacao, por lo general, se cultiva en ambientes sombreados. La intención de proporcionar sombra al inicio de la plantación es disminuir la cantidad de radiación solar que llega al cultivo, reduciendo así la actividad de la planta y protegiéndola contra posibles daños causados por los vientos. Una vez que el cultivo está establecido, es posible disminuir gradualmente el porcentaje de sombreado a alrededor del 25-30%. Durante los primeros cuatro años de vida de las plantas, se recomienda mantener una luminosidad cercana al 50% para favorecer un desarrollo óptimo y limitar el crecimiento de malezas (Zambrano 2010).

2.1.4.5. Riego

Es una planta que no resiste la escasez de agua y requiere alrededor de 1500 a 2500 mm en todo el año, un sistema de riego adecuado permite un buen desarrollo vegetativo y una buena producción. El riego debe ser en el momento oportuno garantiza la realización plena de las funciones fisiológicas de crecimiento, producción y óptimo resultado económico del cultivo de cacao. El exceso ocasiona pudrición en las raíces por lo que se recomienda un buen drenaje (Noles 2020).

2.1.4.6. Drenaje

Es crucial elegir áreas libres de problemas de encharcamiento para el cultivo de arroz. En caso de que se presenten tales problemas, se requerirá la construcción de sistemas de drenaje adecuados. Además, es imprescindible garantizar la disponibilidad de agua para el riego, especialmente durante períodos de sequía. La viabilidad de estas acciones dependerá de las condiciones edafoclimáticas locales, la topografía del terreno, la propensión del área a inundaciones y la capacidad del suelo para retener humedad y permitir una adecuada aireación (Andrade *et. al* 2022).

2.1.4.7. Condiciones de suelo

El cacao requiere suelos muy ricos en materia orgánica, profundos, francos arcillosos, con buen drenaje y topografía regular. El factor limitante del suelo en el desarrollo del cacao es la delgada capa húmica. Esta capa se degrada muy rápidamente cuando la superficie del suelo queda expuesta al sol, al viento y a la lluvia directa. Por ello es común el empleo de plantas leguminosas auxiliares que

proporcionen la sombra necesaria y sean una fuente constante de sustancias nitrogenadas para el cultivo (AGROSAVIA 2021).

2.1.5. Fases fenológicas del cacao

Las plantas florecen y producen la cosecha. Luego las plantas dejan de crecer y producir recuperando y reponiendo sus reservas. A estas etapas, se les llamamos etapas fenológicas del cacao (Ávila *et al.* 2013).

2.1.5.1. Brotamiento floral

La etapa de floración se extiende a lo largo de dos días debido a la viabilidad del polen, que tiene una duración de 48 a 72 horas (DIGERA 2023).

2.1.5.2. Floración

La flor del cacao, una vez polinizada y fecundados sus óvulos, requiere un período de seis meses para que la mazorca alcance la madurez adecuada antes de poder ser cosechada y sometida al proceso de postcosecha. La aceleración de este proceso puede lograrse según las condiciones térmicas del entorno (Arvelo *et al.* 2017).

2.1.5.3. Fructificación

Los frutos del árbol de cacao se obtienen después de que la planta alcanza los 4 o 5 años de vida, momento en el cual ha alcanzado la madurez suficiente para producir. Una vez maduros, se puede cosechar un mínimo de 50 mazorcas por año. El tiempo de desarrollo del fruto, desde la fecundación hasta la madurez, puede variar considerablemente entre distintas mazorcas y árboles, siendo influenciado principalmente por los factores genéticos de origen. En términos generales, este período oscila típicamente entre 5 y 7 meses, dependiendo de las características genéticas específicas de los árboles de cacao (López y Carmona 2012).

2.1.5.4. Maduración

Presentan diversas formas y tamaños, los cuales varían según la variedad. Tienen dimensiones que oscilan entre 15 y 30 centímetros de longitud, y de 7 a 10 centímetros de ancho. Estas mazorcas son puntiagudas y cuentan con surcos a lo

largo de su estructura. Existen mazorcas con cáscaras lisas y arrugadas, con formas tanto redondas como alargadas, y se presentan en una amplia gama de colores, incluyendo tonalidades como rojo, amarillo, verde, morado o café (Ávila *et al.* 2013).

2.1.6. Genotipos obtenidos por mejoramiento genético con sus respectivas características.

El Centro de Cacao de Aroma Tenguel (CCAT) alberga 3,970 accesiones genéticas de cacao, siendo el segundo más importante en Ecuador. Facilita la selección de variedades con alta productividad y resistencia a enfermedades. El Programa Nacional de Cacao, iniciado por el INIAP en 1940, desarrolló clones como EET-19, EET-48, EET-62, EET-95, EET-96, EET-103 (Nacionales) y EET-111, EET-275 (Trinitarios). Se amplió con clones de la serie 500 recolectados en zonas como Tenguel y Porvenir (Sornoza *et al.* 2022).

Los clones EET-544 y EET-558 son recomendados para la región Peninsular, caracterizada por suelos arcillosos y calcáreos, con alta luminosidad. Los clones EET-559, EET-576 y EET-577 fueron entregados a Organizaciones Cacaoteras de la Zona Central como alternativas de mercado en la industria del chocolate, destacándose por su aroma distintivo. El clon EET-575, que muestra un buen desempeño en Esmeraldas, se destaca por su adaptabilidad a zonas de alta precipitación. Junto con el EET-103, conforma el policlon recomendado para esta área (Sornoza *et al.* 2022).

En Los Ríos, Ecuador, se seleccionaron genotipos resistentes a la escoba de bruja para tres poblaciones de cacao. La población A incluye genotipos de las colecciones "Allen" y "Chalmers", y CCN 51. La población B utiliza clones como EET 58, EET 233, EET 387, SIL 1 y CCN 51 junto con genotipos de poblaciones híbridas antiguas. La población C emplea genotipos de fincas en Manabí y genotipos de colecciones de Cacao Nacional y Nacional Arriba. La mayoría de los genotipos parentales están disponibles en el banco de germoplasma de cacao de la EET-Pichilingue (Tarqui *et al.* 2017).

2.1.7. Material genético de cacao (*Theobroma cacao* L.)

Durante el estudio, se observó que los clones CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6, CC-137, ICS-95 T1 y PMCT-58 (Anexo 1) mantuvieron consistentemente niveles de producción y resistencia a la enfermedad de Monilia. Es relevante destacar que estos materiales demostraron resistencia a la enfermedad, si bien no son inmunes, lo que implica que pueden ser afectados por Monilia, pero con menor severidad (Hidalgo 2015).

Nuevo Cacao INIAP EET 802, esta nueva variedad liberada por INIAP, presenta promedio de producción más de 2700 Kg con posibilidad de presentar hasta 4000 Kg por hectárea que puede ser cacao fermentado y seco, a diferencia de otros clones evaluados en la investigación, incluidos los materiales INIAP-EETP Aroma Pichilingue 800 e INIAP-EETP Fino Pichilingue 801. Para los agricultores cacaoteros esta nueva variedad permitirá favorecer por su excelencia en calidad de las categorías de cacaos finos y de aroma. Caracterizado por presentar alto rendimiento, precocidad y presentar buenas propiedades para exportación, favoreciendo en su competitividad e ingresos mejorados por la siembra comercial de este nuevo material (INIAP 2023).

2.1.7.1 Colecciones nacionales de germoplasma de cacao

El material genético básico incluyó 4 clones ICS (ICS 1, ICS 6, ICS-39 e ICS 48); 2 clones SCA (SCA 6 y SCA 12), originarios de Trinidad; 3 clones EET (EET 59, EET 61 y EET 82) provenientes de Ecuador; y 2 clones UF (UF-2 y UF-613). Estos representan una diversidad de recursos genéticos del cacao, que incluyen variedades como "Criollo", "Forasteros del Alto y Bajo Amazonas" y "Nacional". En 1955, se amplió la colección de germoplasma con clones introducidos de Jaén, La Convención, y material genético recolectado de los bosques cercanos al río Huallaga. Entre 1957 y 1958, se continuó añadiendo germoplasma de Colombia y Costa Rica (M & O CONSULTING S.A.C. 2008).

2.1.7.2. clones comerciales registrados en Colombia

En 2014, Corpoica (ahora Agrosavia) registró los clones TCS 01 y TCS 06, mientras que Fedecacao inscribió ocho tipos de cacao para áreas montañosas y

transición hacia los llanos. En 2017, Agrosavia añadió los clones TCS 13 y TCS 19, y Fedecacao agregó FSV 155. En 2021, la Compañía Nacional de Chocolates presentó CNCh 12 y CNCh 13, y Fedecacao registró cinco nuevos materiales: FSV 1, FGI 4, FMA 7, FBO 1, FCHI 8 (Rodríguez *et al.* 2023).

2.1.7.3 Clones comerciales registrados en Ecuador

Los clones EET-544 y EET-558 son recomendables para la región Peninsular, donde predominan los arcillosos y calcáreos, con una gran luminosidad. Los clones EET-559, EET-576 y EET-577” fueron entregados a Organizaciones Cacaoteras de la Zona Central el clon EET-575, que tiene un buen desempeño en Esmeraldas como material de alta adaptabilidad a el EET-103 conforma el poli clon recomendado para esta zona se liberarán los clones “INIAP-EETP 800 Aroma Pichilingue e INIAP-EETP-801 Fino Pichilingue, clones de alto rendimiento (Vélez *et. al* 2022).

2.1.8. Técnicas usadas en el mejoramiento genético en el cultivo de cacao.

2.1.8. 1. Genoma

El genoma del cacao es relativamente pequeño y se encuentra organizado en diez cromosomas; es decir, que su tamaño es aproximadamente del doble que el de *Arabidopsis thaliana*, un modelo ecotipo de dicotiledónea utilizado ampliamente en estudios de genética aplicada el genoma de la variedad de cacao más cultivada en el mundo; el clon de *T. cacao* Matina 1-6, posee un tamaño aproximado de 445 Mpb (millones de pares de bases), el cual es considerablemente más grande que el genoma de la variedad criolla (Rodríguez *et. al* 2018).

2.1.8.2. Selección de germoplasma

La selección es un método ancestral y fundamental en cualquier plan de mejora de plantas, ya que permite identificar las mejores plantas dentro de una

población específica. Su efectividad se destaca especialmente en poblaciones que exhiben una amplia diversidad genética (Ramírez *et al.* 2007).

2.1.8.3 Marcadores moleculares

Los métodos de selección se consideran una estrategia efectiva con el propósito de mejorar diferentes aspectos en *T. cacao*. Los marcadores moleculares aplicados en este contexto están dirigidos a varios objetivos, como la minimización de la duplicación de datos y la corrección de etiquetados erróneos en bancos de germoplasma. Además, se emplean para analizar la diversidad genética tanto en colecciones *ex situ* como en plantaciones activas, así como para rastrear la ascendencia genética y construir mapas de ligamiento que permitan identificar regiones genómicas asociadas a características cuantitativas (López *et al.* 2021).

2.1.8.4 Cultivo in vitro

La técnica "in vitro" en cacao implica la manipulación y cultivo de tejidos vegetales en condiciones controladas de laboratorio. Permite experimentos precisos, controlando factores como luz, temperatura, nutrientes y humedad. Es fundamental en el mejoramiento genético del cacao, facilitando la propagación rápida de plantas seleccionadas por resistencia a enfermedades y calidad de granos (Garate y Delgado 2020).

2.1.8.5. Mejoramiento participativo

El mejoramiento participativo se centra en fortalecer los sistemas locales de semillas mediante la introducción de diversidad genética y la participación activa de los productores en la selección de variedades que se ajusten a sus realidades biofísicas y socioeconómicas. Esta práctica implica una colaboración estrecha entre el Fito mejorador y el agricultor, donde ambos comparten la responsabilidad de seleccionar nuevas variedades con adaptación específica a las condiciones existentes en los sistemas de producción agrícola de los agricultores (Avedaño 2013).

2.1.8.6. Secuenciación del genoma

La secuenciación del genoma del cacao ha sido un importante proyecto científico que ha permitido entender mejor la biología y la genética de esta planta.

El cacao, la planta de la cual se obtiene el chocolate, es de gran importancia económica y cultural en muchas partes del mundo. El proyecto de secuenciación del genoma del cacao ha sido llevado a cabo por diversos equipos de investigación en todo el mundo. La primera secuenciación del genoma del cacao se completó en el año 2010. Este esfuerzo ha permitido identificar los genes responsables de diferentes características de la planta, como su resistencia a enfermedades, la calidad del grano de cacao y otros rasgos importantes para los agricultores y los productores de chocolate (Guerrero 2010).

2.1.8.7. Polinización artificial en cacao

La polinización artificial es el método empleado para obtener árboles de semilla que presentan notables características en términos de producción, precocidad, calidad y resistencia a enfermedades o plagas. Este enfoque de polinización estratégica facilita la reproducción sexual de genotipos que han dado origen a individuos superiores, como es evidente en los cruces interclonales reconocidos como híbridos. Este procedimiento planificado permite la replicación de manera controlada de los rasgos deseables que se manifiestan en los individuos parentales (Vera 2018).

2.1.8.8. Presión de aire provocada con bombas neblinadoras.

En Ecuador llevó a cabo un estudio centrado en analizar los efectos de la presión de aire generada por las bombas neblinadoras de espalda, dirigida hacia el suelo, específicamente a la hojarasca de una plantación comercial del clon ICS – 95 en la Hacienda San Antonio, ubicada en el cantón Naranjito, Provincia del Guayas. Los resultados obtenidos por este investigador indicaron que esta práctica estimula la actividad de los insectos polinizadores, como la mosquilla *Forcipomyia* al obligarlos a posarse sobre las flores. Este fenómeno conduce a una polinización forzada de las flores, según las conclusiones del autor (Vera 2018).

2.1.8.9. Polinización manual

Para llevar a cabo la polinización manual, se realizaron suaves frotaciones, aproximadamente dos o tres veces, de la antera de la flor donante (padre) sobre el pistilo de la flor receptora (madre). Este procedimiento tenía como objetivo depositar el polen contenido en las anteras. Mediante el uso de una lupa, se verificó que el pistilo quedara completamente cubierto con el polen de tonalidad amarilla. En situaciones de precipitación o en días con temperaturas bajas, se optó por esperar hasta que las condiciones climáticas mejoraran (Ríos *et al.* 2023).

2.1.8.10. Hibridaciones

Las plantas derivadas de semillas que surgen de la cruce entre dos clones de cacao y exhiben características heredadas de sus progenitores son conocidas como híbridos (INIAP 2010).

2.1.8.11. Mutagénesis

La mutación, que implica un cambio heredable en la composición genética de un organismo, conduce a la aparición de nuevas características que se transmiten de generación en generación, impulsando así el proceso evolutivo. En la naturaleza, estas mutaciones suelen originarse a partir de errores durante la replicación del ácido desoxirribonucleico (ADN). Asimismo, la exposición a radiaciones naturales del entorno también puede provocar modificaciones en este material genético. Un organismo que resulta modificado debido a estos procesos se conoce como mutante espontáneo (Spencer *et al.* 2021).

2.1.8.12. Propagación sexual

La propagación sexual es la estrategia más común y sencilla para reproducir el cacao, y se puede realizar mediante la siembra directa de las semillas en el

campo o mediante la siembra en un vivero temporal utilizando bolsas plásticas. Aunque la siembra directa en el campo reduce los costos de transporte de material, presenta desafíos en el control de enfermedades, plagas y pestes. Por otro lado, el uso de semilleros resulta más económico, facilita la irrigación durante períodos secos y permite una gestión más eficiente al eliminar fácilmente las plantas pobres o débiles (Paredes 2003).

La propagación sexual implica la generación de nuevas plantas a partir del desarrollo de embriones, resultado del proceso de fecundación. Estos embriones se encuentran dentro de las semillas, y las plantas que surgen de un mismo fruto pueden haber sido polinizadas por uno o varios árboles, lo que da lugar a una gran diversidad entre ellas (Garate y Delgado 2020).

La propagación sexual, aunque históricamente común para establecer plantaciones de cacao, no se recomienda debido a la gran variabilidad de los árboles resultantes. Este método fue ampliamente utilizado hasta el año 2000, pero actualmente se prefieren las plantaciones clonadas. En la actualidad, la propagación sexual se reserva principalmente para la producción de patrones o porta injertos (Valenzuela 2021).

2.1.8.13. Propagación asexual

En el método de propagación asexual o vegetativa, no se produce la unión de gametos a través del cruzamiento sexual entre un árbol madre y un padre. En su lugar, se emplean partes vegetativas de la planta, como varas yemeras, estacas, ramas o flores, para generar una nueva planta, sin que esto conlleve alteraciones en su composición genética. La propagación asexual del cacao es una práctica crucial, ya que la calidad del material vegetativo utilizado influye de manera significativa en el proceso productivo. No obstante, factores ambientales como el tipo de suelo, drenaje, contenido de materia orgánica, humedad, temperatura,

intensidad lumínica, densidad de siembra, entre otros, pueden influir en la apariencia y supervivencia de la planta (Garate y Delgado 2020).

La propagación sexual es la forma más generalizada y fácil de reproducir el cacao. Consiste en utilizar la semilla seleccionada de los árboles que han sido elegidos como los mejores. A estos árboles se les llama árboles élites, árboles madres o árboles productores de semillas porque tienen mejores cualidades en cuanto a su vigor y forma de desarrollo, producción y resistencia a enfermedades y plagas (Cacao móvil 2024).

Las plantas de cacao que se propagan de manera asexual son altamente uniformes en todos sus rasgos morfológicos y fisiológicos debido a su idéntico genotipo, formando lo que se conoce como un "clon". Un clon consiste en un material genéticamente uniforme derivado de un único individuo y que se reproduce exclusivamente por métodos vegetativos. Los métodos como el injerto de parche, yema lateral, yema terminal, acodo y estaca son utilizados para reproducir los rasgos deseables con mínimas modificaciones, siendo las prácticas de injertación las más viables, comunes y recomendadas en la actualidad (Valenzuela 2021).

2.1.8.14. Poliploidía inducida

La poliploidía es un proceso natural que ocurre con mayor frecuencia en las plantas que en los animales, y se reconoce como un mecanismo crucial en la evolución de nuevas especies. Aproximadamente el 40% de las especies de plantas con flores y entre el 70% y 80% de las hierbas son poliploides. Además, muchas de las plantas que se cultivan y se utilizan para la alimentación a nivel mundial también exhiben este fenómeno de poliploidía (Morelo *et al.* 2018).

La poliploidía inducida en el cacao es una técnica utilizada para desarrollar variedades mejoradas con características deseables, pero su efecto específico

puede depender de varios factores y requiere un análisis detallado en cada caso particular (Pino 2023).

La inducción de poliploidía en cacao también puede ser utilizada como una herramienta para estudiar la biología de las plantas, incluyendo los efectos de la poliploidía en el crecimiento, desarrollo y metabolismo de la planta con el objetivo de desarrollar variedades de cacao más resistentes, productivas y con características de calidad mejoradas (Arciniegas 2021).

2.1.9. Incompatibilidad

La incompatibilidad en cacao es de tipo esporofítico, o sea que se debe a la interacción entre el genoma de la planta donadora de polen ($2n$) y el genoma del pistilo ($2n$). Este mecanismo de esta, involucrado a un locus simple con cinco alelos múltiples y Estudio sobre la auto- incompatibilidad de 5 clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), en el Centro de Desarrollo Tecnológico del INTA El Recreo, El Rama, RAAS, en el periodo 2014-2015 Díaz, E.; Urbina, J.; 2015 Página 12 con el siguiente grado de dominancia: $S1 > S2 = S3 > S5$ y posteriormente un último alelo $S6$ recesivo a los otros, independiente de un precursor de incompatibilidad (Díaz y Urbina 2015).

El citoplasma asociado con los gametos masculinos y femeninos contienen un precursor de incompatibilidad que es el grado por el alelo dominante S antes de la meiosis (control esporofítico), de tal manera por conjugarse el alelo dominante ($S2 = S3$), el precursor tiene grabaciones específicas y al conjugarse alelos similares determinan la no fusión (50%). Cuando ocurre la no fusión del 100% de los óvulos, se presume la existencia de un genotipo homocigoto para el alelo S (Díaz y Urbina 2015).

2.1.10. Importancia del mejoramiento genético en el cacao.

El INIAP ha liderado el mejoramiento genético del cacao en Ecuador, enfocándose en la selección de clones prometedores para cruzamientos dirigidos. Estos programas buscan fusionar cualidades como productividad y resistencia a enfermedades. El objetivo es desarrollar nuevos clones finos y de aroma para

impulsar la industria del cacao nacional. Estos esfuerzos prometen aumentar la producción y la calidad del cultivo en el país. (Quiroz *et al.* 2022).

La mejora genética desempeña un papel crucial al posibilitar que los agricultores obtengan cacao de alta calidad, con una productividad excepcional y una resistencia sólida ante plagas y enfermedades, adaptándose de manera óptima a las condiciones específicas de su ubicación. El proceso de mejorar genéticamente las plantaciones de cacao se traduce en cosechas más abundantes para el productor, así como en una notable mejora en la calidad del producto final. Estos beneficios combinados no solo incrementan los ingresos del agricultor, sino que también contribuyen significativamente a elevar su nivel de vida (Progresar Caribe 2024).

El desarrollo y utilización de variedades o clones mejorados de cacao se considera una estrategia altamente eficaz para asegurar la sostenibilidad y el futuro de la industria cacaotera. A pesar de la existencia de una amplia diversidad genética en la región y la necesidad de abordar los desafíos que limitan la producción, los avances recientes han sido limitados. Se estima que solo el 30% del cacao producido mundialmente proviene de variedades mejoradas, y menos del 1% de los clones más destacados se ha generado en los últimos 30 años (Mata *et al.* 2021).

El objetivo principal del uso de material genético es convertir las plantaciones de cacao en un rubro lucrativo a largo plazo para el productor y su familia, asegurar al productor la disponibilidad de material genético de calidad en términos de productividad, adaptación a diferentes regiones, resistencia a plagas y enfermedades, asegurar material genético adecuado para poder responder a futuros retos en el cultivo de cacao que resulten de cambios de las condiciones climáticas, la llegada de nuevas enfermedades y nuevas tendencias y demandas del mercado, Así como mantener la posición del cacao de Nicaragua en el mercado de cacao finos y de aroma (Progresar Caribe 2021).

Estas tecnologías ofrecen la ventaja de potenciar las características deseables de las especies cultivadas, con el objetivo de mejorar la producción agrícola y satisfacer las demandas de la humanidad. El propósito de las técnicas de mejoramiento genético de los cultivos es diversificar la base genética, lo que permite una selección más amplia de especies para el cultivo (AgroSpray Blog 2021).

La selección y el mejoramiento genético de patrones de cacao pueden mejorar la calidad del cultivo y aumentar la resistencia a enfermedades y plagas. La tecnología moderna, como la secuenciación del genoma, puede ayudar a identificar los rasgos deseables y acelerar el proceso de mejoramiento genético. Los resultados son muy importantes para los programas de mejoramiento genético del cacao nacional en Ecuador y hoy se están empleando en la propagación clonal mediante injertos (Del Monte AG 2023).

2.2. Marco metodológico

Para la elaboración del presente documento se recopiló información actualizada como lo son artículos científicos, sitios web y bibliotecas virtuales que aporten opiniones e ideas de autores que permitirán estudiar el proceso de la presente investigación. Se especificó la temática relevante sobre la Identificación de las técnicas de mejoramiento genético en el cultivo de cacao. El presente trabajo se desarrolló como una investigación no experimental de carácter bibliográfico, mediante el uso de síntesis, análisis, y resumen de la información que se recopiló.

2.3. Resultados

El centro de cacao de aroma Tenguel (CCAT) alberga una importante diversidad genética de cacao, con accesiones que incluyen clones de tipo Nacional y Trinitarios desarrollados por el Programa Nacional de Cacao del INIAP. Entre los clones destacados se encuentran EET-19, EET-48, EET-62, EET-95, EET-96, EET-103, EET-111 y EET-275, recomendados para diferentes áreas de siembra. Además, la introducción de la serie 500 en el año 2000 amplió la colección, con énfasis en considerar las condiciones locales para su cultivo. Recientemente, el nuevo Cacao INIAP EET 802 ha sido liberado, mostrando altos niveles de producción y calidad, lo que promete mejorar la competitividad y los ingresos para los agricultores cacaoteros, especialmente en la categoría de cacaos finos y de aroma.

En Colombia, se ha avanzado en el registro de clones comerciales como parte del fortalecimiento del sector cacaotero. Corpoica (ahora agrosavia) y Fedecacao han inscrito una variedad de clones, como TCS 01, TCS 06, FEAR 5, FLE 2, FLE 3, FEC 2, entre otros, adaptados a diferentes regiones y condiciones climáticas del país. En 2021, se presentaron nuevos clones como CNCh 12 y CNCh 13 mostrando un compromiso continuo con la mejora genética del cacao en Colombia. Además, las colecciones nacionales de germoplasma de cacao han sido enriquecidas con variedades provenientes de diferentes países como Trinidad, Ecuador, y Colombia, lo que contribuye a la diversidad genética y al desarrollo de nuevas variedades con características deseables para la industria cacaotera.

Las técnicas de mejoramiento genético en el cacao, como la selección clonal, hibridación y el uso de marcadores moleculares, son herramientas esenciales para desarrollar variedades con características mejoradas. La importancia del mejoramiento genético en el cacao se refleja en sus múltiples beneficios, desde el aumento de la productividad y la resistencia hasta la mejora de la calidad del grano y la adaptación a condiciones específicas.

La identificación de técnicas clave de mejora genética ha permitido una comprensión más detallada de los cambios que sufre la fruta desde las primeras etapas hasta la madurez. El cultivo del cacao implica el mejoramiento genético para obtener árboles con características superiores en términos de productividad, calidad, maduración temprana y resistencia a plagas y enfermedades. La polinización artificial se utiliza estratégicamente para generar genotipos superiores, como híbridos, que exhiben rasgos deseables. Este método se puede realizar utilizando presión de aire generada por una bomba de nebulización, que estimula la actividad de los insectos polinizadores.

Otro hallazgo importante en el cultivo de cacao es la reproducción sexual se presenta como la estrategia más común y sencilla para propagar el cacao. Este proceso puede llevarse a cabo de dos maneras principales: la siembra directa de las semillas en el campo o la siembra en un vivero temporal mediante bolsas plásticas. Aunque la siembra directa en el campo reduce los costos de transporte de material, presenta desafíos en el control de enfermedades, plagas y pestes. Por otro lado, el uso de semilleros resulta más económico, facilita la irrigación durante períodos secos y permite una gestión más eficiente al eliminar fácilmente las plantas pobres o débiles.

2.4 Discusión de resultados

Actualmente los clones sugeridos tienen una amplia capacidad de adaptación a las variadas condiciones edáfico-climáticas que predominan, así como lo menciona Sánchez *et al.* (2022) cultivar comercial CCN-51 tiene la menor frecuencia de escoba de bruja y menor proporción de mazorcas afectadas. Los clones experimentales L18-H58 (Anexo 3) y L21-H43 mostraron el menor índice de escobas de bruja y menor prevalencia de enfermedades, respectivamente, lo cual los posiciona como candidatos prometedores para programas de mejoramiento genético debido a su resistencia ante la escoba de bruja y la moniliasis.

El mejoramiento genético del cacao ha sido un área de interés importante para la industria del chocolate debido a la búsqueda de variedades que sean más productivas, resistentes a enfermedades y capaces de producir granos de cacao de alta calidad como lo menciona Quiroz *et al.* (2022) el proceso de mejoramiento genético del cacao se reconoce como un proceso en constante evolución y adaptación. Esta variedad es el resultado de cruzamientos entre cacaos Criollos, cacaos Forasteros y cacaos Trinitarios. El CCN-51 es conocido por su alta productividad, resistencia a enfermedades y condiciones adversas del suelo, así como por su rápido crecimiento. Sin embargo, su calidad de sabor es a menudo considerada inferior a otras variedades debido a su perfil de sabor más ácido y menos aromático.

Las técnicas de mejoramiento genético utilizadas en el cacao se incluyen la selección de clones superiores, la hibridación dirigida para combinar características deseables, la mutagénesis para inducir variabilidad genética y la biotecnología para la obtención de variedades transgénicas con características específicas. según lo menciona Sornoza *et al.* (2022) la selección de germoplasma permite identificar las mejores plantas dentro de una población específica, lo que ayuda a conservar y utilizar la diversidad genética del cacao así mismo Marcadores moleculares: Ayudan a minimizar la duplicación de datos, corregir etiquetados erróneos y

analizar la diversidad genética del cacao el cultivo in vitro permite la propagación rápida de plantas.

La utilización del material genético valioso a través de la hibridación posibilita la producción de genotipos destacados con un alto rendimiento agronómico. Este proceso puede realizarse mediante la polinización artificial controlada como lo menciona Barrón *et al.* (2014) las variedades obtenidas a través de cruzamientos y selecciones se prueban en diferentes condiciones de cultivo y en diferentes regiones para evaluar su desempeño en términos de rendimiento, calidad del grano y resistencia a enfermedades.

3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

El mejoramiento genético ha permitido desarrollar nuevas variedades con características mejoradas resistentes a enfermedades. Los genotipos de cacao han permitido desarrollar resistencia a enfermedades y a condiciones ambientales esto también abre paso a nuevas oportunidades en el mercado.

Se concluye que los clones EET 802, CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6, CC-137, ICS-95 T1 y PMCT-58 tienen resistencias a enfermedades como es la monilla cabe recalcar que esta enfermedad ataca, pero con menor severidad, rentabilidad, calidad y un cacao fino y de su aroma.

Se sugieren los clones EET-544 y EET-558 (Anexo 3) para la zona Peninsular, caracterizada por suelos arcillosos y calcáreos, con alta luminosidad.

Además, estas técnicas de "in vitro" en el cacao nos permite la manipulación en los tejidos vegetales en un entorno de laboratorio separado del organismo original.

3.2. Recomendaciones

Reforzar las investigaciones en el mejoramiento genético de cacao con el objetivo de optimizar la sostenibilidad y la calidad en la industria cacaotera a nivel mundial.

Se recomienda investigar y fomentar la diversificación de genotipos de cacao para utilizar nuevas oportunidades.

Implementar investigaciones de nuevos genotipos resistentes para abrir nuevas oportunidades y fuentes de empleo.

4.REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. Referencias bibliográficas

AGROCALIDAD, Agencia de Regulación y Control Fito y Zoo Sanitario 2012. Guía de buenas prácticas agrícolas para cacao resolución técnicas. Issue 183 (en línea) Consultado 12 enero. 2024. Disponible en <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2022/02/Gui%CC%81a-de-BPA-para-cacao.pdf>

AGROSAVIA Corporación colombiana de investigación agropecuaria. 2021. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de cacao (en línea) Consultado 13 marzo. 2024. Disponible en <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/36857>

AgroSpray Blog 2021. (en línea) Consultado 13 de marzo Mejoramiento genético de cultivos: Ventajas del fitomejoramiento de precisión 2024. Disponible en <https://agrospray.com.ar/blog/mejoramiento-genetico-de-cultivos/#:~:text=Las%20t%C3%A9cnicas%20de%20mejoramiento%20gen%C3%A9tico,variability%20desde%20la%20cual%20seleccionar.>

Andrade, N; Monteros, A; Lima; Caicedo, C; Fernández, F; Vargas, Y; Pico, J; Subía, C. 2022. manual del cultivo de cacao sostenible para la Amazonía ecuatoriana. (en línea) Consultado 13 de marzo Disponible en [file:///C:/Users/johnn/Downloads/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20CACAO%20SOSTENIBLE%20PARA%20LA%20AMAZONIA%20ECUATORIA%20N%C2%B0125%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/johnn/Downloads/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20CACAO%20SOSTENIBLE%20PARA%20LA%20AMAZONIA%20ECUATORIA%20N%C2%B0125%20(1).pdf)

Álvarez, C; Pérez, E; Lares, M. 2002. Morfología de los frutos y características físico-químicas del Mucílago del cacao de tres zonas del Estado Aragua. Revista Agronomía Trop. 52(4): 497-506. (en línea) Consultado 11 de enero 2024 Disponible en https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000400006&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Arvelo, M; Delgado, T; Maroto, S; Rivera, J; Higuera, I; Navarro, A. 2016 Estado actual sobre la producción y el comercio del cacao en américa (en línea) Consultado 10 enero. 2024. Disponible en <https://repositorio.iica.int/handle/11324/2793>

Arciniegas, A. 2021. Mejoramiento Genético para selección de variedades en siembras comerciales experiencia en Costa Rica (en línea) Consultado 13 marzo. 2024. Disponible en <https://sicacao.info/wp-content/uploads/2021/10/PP-Mejoramiento-genetico-seleccixn-de-variedades-en-siembras-comerciales.pdf>

Ávila, A; Campos, M; Guharay, F; Camacho, A. 2013. Aprendiendo e innovando sobre el cacao en sistemas agroforestales. (en línea) Consultado 12 de enero 2024 Disponible en <https://canacacao.org/wp-content/uploads/Guia-1-Agroforestry-1.pdf>

Avendaño, C; Mendoza, A; Hernández, E; López, G; Martínez, M; Caballero, J. 2013 mejoramiento genético participativo en cacao (*Theobroma cacao* L.). From: AGRO Productividad(Vol. 6, Issue 5) Publisher: Colegio de Postgraduados (en línea) Consultado 4 de febrero. 2024. Disponible en <https://go.gale.com/ps/i.do?p=IFME&u=googlescholar&id=GALE|A382430311&v=2.1&it=r&sid=IFME&asid=41ee3b7a>

Avendaño, C; Villareal, J; Campos, E; Gallardo, R; Mendoza, A; Aguirre, J; Sandoval, A; Espinosa, S. Diagnóstico del Gcacao en México (en línea). Consultado 28 dic. 2023. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232186/Diagnostico_del_cacao_en_mexico.pdf

Avendaño, C; Villareal, J; Campos, E; Gallardo, R; Mendoza, A; Aguirre, J; Sandoval, A; Espinosa, S. Diagnóstico del Gcacao en México (en línea). Consultado 28 dic. 2023. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232186/Diagnostico_del_cacao_en_mexico.pdf

- Ávila, A; Campos, M; Guharay, F; Camacho, A. 2013. Aprendiendo e innovando sobre el cacao en sistemas agroforestales (en línea) Consultado 12 de enero 2024 Disponible en <https://canacacao.org/wp-content/uploads/Guia-1-Agroforestry-1.pdf>
- Batista, L. 2006. Guía técnica del cultivo de cacao Santo Domingo, República Dominicana. CEDAF (en línea) Consultado 11 de enero 2024 Disponible en <https://libreria latina.co/wp-content/uploads/2022/10/cacao.pdf>.
- Barrón, Y; Morales, A; López, P; F Mirafuentes, F. 2014. Metodología adaptada para la formación de híbridos F1 de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco. (en línea) Consultado 5 febrero. 2024. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000500004#:~:text=El%20mejoramiento%20gen%C3%A9tico%20de%20cacao,condiciones%20clim%C3%A1ticas%20y%20es%20variable
- Benjamín, A; Buriticá, A; Vega, F; Urrego, J; Bautista; J; Puerta, J; Yepes, J; Herrán, L; López, M; Ardilla, N; Hincapié, O; Hernández, P; Martínez, S; Gallo, Y. Compañía nacional de chocolate modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) origen, botánica y generalidades Colombia (en línea). Consultado 29 dic. 2023. Disponible en <https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2021/12/AF-FOLLETO-ORIGEN-BOTANICA-Y-GENERALIDADES-1.pdf>
- Caco móvil. Formas de propagación del cacao. 2024. (en línea). Consultado 28 dic. 2023. Disponible en <https://cacaomovil.com/site/guide/produccion-de-plantas-de-cacao-en-vivero/19/formas-de-propagacion-del-cacao-738792f1-a787-4210-9a6a-004e62790da3#:~:text=%C2%BFC%C3%B3mo%20se%20propaga%20el%20cacao,de%20estacas%20acodos%20y%20yemas>.
- Cortez, R. 2021. Características fenotípicas del cacao, influenciadas por la aplicación de algas marinas en el Ecuador. (en línea). Consultado 13 de marzo. 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/9283/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000124.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cruz, D; 2020 Morfología y taxonomía (en línea). Consultado 28 dic. 2023. Disponible en <https://es.scribd.com/document/463246760/MORFOLOGIA-Y-TAXONOMIA-DEL-CACAO>

Del Monte AG 2023. Producción de cacao en Ecuador y su impacto económico. (en línea) Consultado 11 de enero 2024 Disponible en <https://delmonteag.com.ec/produccion-de-cacao-en-ecuador-y-su-impacto-economico/#:~:text=La%20selecci%C3%B3n%20y%20el%20mejoramiento,r%20resistencia%20a%20enfermedades%20y%20plagas.>

Díaz, E; Urbina, J. 2015. Estudio sobre la auto- intercompatibilidad de 5 clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), en el Centro de Desarrollo Tecnológico del INTA El Recreo, El Rama, RAAS, en el periodo 2014-2015 (en línea) Consultado 12 enero. 2024. Disponible en [file:///C:/Users/johnn/Downloads/10418%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/johnn/Downloads/10418%20(2).pdf)

DIGERA, Dirección general de riesgos agropecuarios 2023. Guía de cultivo cacao. (en línea) Consultado 12 enero. 2024. Disponible en <https://digeragob.gob.do/wp-content/uploads/2023/07/Guia-de-Cultivo-Cacao.pdf>

Espinosa, C; Mosquera, D. 2012. Estudio de factibilidad para la producción de cacao en el cantón San Lorenzo provincia de Esmeraldas. Quito: UCE. (en línea). Consultado 28 dic. 2023. Disponible en <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0536fed2-4d63-4e3b-8e56-f180bb581bf8/content>

Garate, M; Paz, J; Delgado, H. 2020 Técnicas de propagación de cacao (*Theobroma cacao* L.) Ampliación y Mejoramiento de los Servicios de Apoyo al Desarrollo Productivo de la Cadena del Cacao a los Productores en la Región San Martín". (en línea) Consultado 12 enero. 2024. Disponible en [file:///C:/Users/johnn/Downloads/T%C3%89CNICA%20DE%20PROPAGACI%C3%93N%20DE%20CACAO%20\(Theobroma%20cacao%20L.\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/johnn/Downloads/T%C3%89CNICA%20DE%20PROPAGACI%C3%93N%20DE%20CACAO%20(Theobroma%20cacao%20L.)%20(1).pdf)

Gisela, L. Cacao morfología y taxonomía (en línea). Consultado 29 dic. 2023. Disponible en <https://es.scribd.com/document/370469191/Cacao-Morfologia-y-Taxonomia>

Guerrero, T. La secuenciación del genoma del árbol del cacao mejorará la calidad del chocolate (en línea). Consultado 30 enero. 2024. Disponible en <https://www.elmundo.es/elmundo/2010/12/27/ciencia/1293452781.html#:~:text=La%20secuenciaci%C3%B3n%20del%20genoma%20del%20C3%A1rbol%20del%20cacao%20permitir%C3%A1%20crear,hacer%20de%20mayas%20y%20aztecas>

INIAP, Instituto Nacional Autónomo de investigaciones Agropecuarias Estación Experimental Portoviejo. (en línea) Consultado 13 enero. 2024. Disponible en <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3404/1/iniapeppd405.pdf>

INIAP Lanzamiento de Nuevo Cacao INIAP EET 802 de alto rendimiento, precoz y de exportación. 2023. (en línea) Consultado 10 enero. 2024. Disponible en <https://www.iniap.gob.ec/lanzamiento-de-nuevo-cacao-iniap-eet-802-de-alto-rendimiento-precoz-y-de-exportacion/>

Info Agro 2020. El cultivo de cacao. (en línea) Consultado 10 enero. 2024. Disponible en <https://infoagro.com/herbaceos/industriales/cacao.htm>

León, F; Calderón, J; Mayorga, E. 2016. Estrategias para el cultivo, comercialización y exportación del cacao fino de aroma en Ecuador. Revista Ciencia Unemi, p.45. (en línea) Consultado 10 enero. 2024. Disponible en <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/303>

López, P; Avedaño, C; Iracheta, L; Ojeda, M. pcr-srap/itap para la caracterización molecular del género theobroma 2021. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 44 (1): 3 – 13 (en línea) Consultado 3 febrero. 2024. Disponible en <https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/44-1/1a.pdf>

López, E; Carmona, A. 2012. Estudio del cacao y propuesta gastronómica. Tesis, Ing.Gastr. Quito, Ecuador, Universidad Internacional del Ecuador.30-31p. (en línea) Consultado 10 enero. 2024. Disponible en

<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2dbb59b3-d032-4261-a413-11866cbca7c0/content>

Mata, A; Brito, E; Cerda, R. 2021. Mejoramiento genético de cacao y uso de clones resistentes a enfermedades Santo Domingo, República Dominicana. (en línea) Consultado 10 enero. 2024. Disponible en <https://bpp.org.do/wgp-content/uploads/2022/12/Guia-Mejoramiento-Genetico-Cacao.pdf>

Montes, M. 2016. efectos del fosforo y azufre sobre el rendimiento de mazorcas, en una plantación de cacao (theobroma cacao l.) ccn-51, en la zona de Babahoyo. Tesis. (en línea) Consultado 13 de marzo. 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/3358/E-UTB-FACIAGING%20AGROP-000009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Morelo, T; Viloría, M; Viloría, E. 2018. Inducción de poliploidía con clochicina en vitroplantas de Aloe vera (L.) . (en línea) Consultado 15 febrero. 2024. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v20n1/0123-3475-biote-20-01-97.pdf>

M &O CONSULTING S.A.C. 2008. Estudio de caracterización del potencial genético del cacao en el Perú. (en línea) Consultado 15 febrero. 2024. Disponible en https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/direccionesyoficinas/dgca/estudio_caracterizacion.pdf

Mundo cacao 2021. Compañía nacional de chocolate (en línea). Consultado 13 marzo. 2024. Disponible en <https://www.mundocacao.com.co/noticias/c/0/i/57147083/compania-nacional-de-chocolates-primera-empresa-privada-en-colombia-en-registrar-nuevas-variedades-de-cacao>

Noles, M. 2020. evaluación de enmiendas orgánicas: efectos en la producción y fitosanidad del cacao (theobroma cacao l.) cultivar ccn-51 (en línea). Consultado 13 enero. 2024. Disponible en <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16142/1/TTUACA-2020-IA-DE00025.pdf>

- Paredes, M. 2003. Manual del cultivo del cacao. Lima Perú (en línea). Consultado 13 enero. 2024. Disponible en [file:///C:/Users/johnn/Downloads/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20CACAO%20SOSTENIBLE%20PARA%20LA%20AMAZONIA%20ECUATORIA%20N%C2%B0125%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/johnn/Downloads/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20CACAO%20SOSTENIBLE%20PARA%20LA%20AMAZONIA%20ECUATORIA%20N%C2%B0125%20(2).pdf)
- Peñaloza, E. 2020. Evaluación del desarrollo radicular y la producción del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) clon CCN51 utilizando dos sistemas de fertiriego en la Hacienda Maquencal -Municipio de La Jagua de Ibirico – Cesar (en línea) Consultado 13 de marzo 2024 Disponible en http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/6183/1/Pe%C3%B1aloza_2020_TG.pdf
- Peñate 2020. Morfología del cacao. (en línea). Consultado 13 marzo. 2024. Disponible en <https://es.scribd.com/document/449525747/MORFOLOGIA-DEL-CACAO-1>
- Pino, A. 2023 Características morfológicas (en línea). Consultado 13 marzo. 2024. Disponible en <https://es.scribd.com/document/630682047/3021-Article-Text-3056-2-10-20201222-1>
- PROGRESA CARIBE, Programa de Gestión Rural Empresarial, Sanidad y Medio Ambiente Mejoramiento genético (en línea) Consultado 17 de enero 2024 Disponible en <https://progresacaribe.info/>
- PROGRESA CARIBE, Programa de Gestión Rural Empresarial, Sanidad y Medio Ambiente Importancia del mejoramiento genético (en línea) Consultado 13 de marzo 2024 Disponible en <https://progresacaribe.info/que-es-el-mejoramiento-genetico/>
- Oroche, J. 2021. Efecto de dos sistemas de fertilización (por goteo y edáfica) sobre el cultivo de cacao (*theobroma cacao* l.) clon ccn51 en la localidad el milagro, distrito de irazola, región Ucayali (en línea) Consultado 17 de enero 2024 Disponible en

http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4858/UNU_AGRONOMIA_2021_T_JUAN-OROCHES.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quiroz, J; Mestanza Velasco, S; Parada Vera, N; Pesantez, A. 2022. Características morfológicas de clones de cacao finos y de alto rendimiento generadas para la zona peninsular por parte del INIAP. Yaguachi, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Litoral Sur, Programa de Cacao. (Boletín divulgativo No. 450). (en línea) Consultado 20 de febrero 2024 Disponible en <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5860>

Ramírez, S; López, O; Espinosa, S; Hernández, I; García, S. 2007. Implementación de la metodología de selección participativa de Cacao en el municipio de Tecpatán, Chiapas- México (en línea) Consultado 17 de enero 2024 Disponible en <https://www.espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/article/view/46/132>

Ríos, D; Rodríguez, F; Salazar, J; Ramírez, A. 2023. Factores asociados a la polinización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.)¹ (en línea) Consultado 17 de enero 2024 Disponible <file:///C:/Users/johnn/Downloads/52280-Article%20Text-246506-1-10-20230712.pdf>

Rodríguez, R; Prado, J; Vásquez, E; Romero, E. 2018. El estudio genómico del cacao (*theobroma cacao* l.); breve recopilación de sus bases conceptuales (en línea) Consultado 13 de marzo 2024 Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/249321059.pdf>

Rodriguez, C; Sounigo, O; Yockteng, R; Romero, G; Monsalve, D. 2023. Programa de Mejoramiento Genético de Cacao: una propuesta para aunar esfuerzos a nivel nacional en beneficio del productor de cacao colombiano. (en línea) Consultado 16 de febrero 2024 Disponible <https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/download/341/360/1957-1?inline=1>

Spencer, M; Lopes, B; Forster, B; Jankowski, L. 2021. Manual de Mejoramiento por Mutaciones Viena, Austria Sub Programa de Mejoramiento de Plantas y Genética División Conjunta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en

Alimentación y Agricultura (en línea) Consultado 19 de enero 2024 Disponible en <https://www.fao.org/3/i9285es/I9285ES.pdf>

Sornoza, L; Valencia, L; Corozo, L; Sánchez, F; Salas, G; Peña, G. 2022. Recursos genéticos de cacao tipo Nacional en Ecuador: una revisión sistemática. (en línea) Consultado 12 de febrero 2024 Disponible en [file:///C:/Users/johnn/Downloads/Dialnet-RecursosGeneticosDeCacaoTipoNacionalEnEcuador-8791928%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/johnn/Downloads/Dialnet-RecursosGeneticosDeCacaoTipoNacionalEnEcuador-8791928%20(3).pdf)

Tarqui, O; Sotomayor, I; Casanova, T; Rodríguez, G; Plaza, L; Flores, F. 2017. Selección de genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) con resistencia a escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*) en Los Ríos, Ecuador (en línea) Consultado 19 de enero 2024 Disponible en <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/197/196>

Tecnoagro 2022. Cacao. (en línea) Consultado 13 de marzo 2024 Disponible en <https://tecnoagro.com.mx/no.-154/cacao>.

Torres, G; LA. 2012. Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico. Cuenca: Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias (en línea) Consultado 11 de enero 2024 Disponible en <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3250/1/TESIS.pdf>

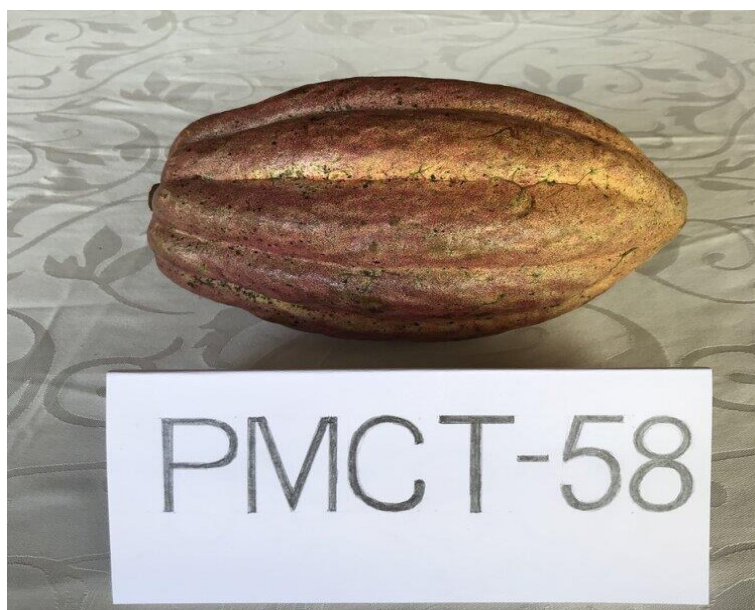
Valenzuela, J. 2021. Modelo productivo para el cultivo de cacao (*theobroma cacao* l.) material vegetal y propagación. (en línea) Consultado 13 de marzo. 2024. Disponible en <https://chocolates.com.co/wp-content/uploads/2021/08/PDF-WEB-FOLLETO-MATERIAL-VEGETAL.pdf>

Vélez, L; Valencia, L; Corozo, L; Sánchez, F; Salas,C; Peña, G. 2022. Recursos genéticos de cacao tipo Nacional en Ecuador: una revisión sistemática (en línea) Consultado 13 de marzo. 2024. Disponible en <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/download/582/733?inline=1>

VERENA 2024. La planta de cacao y sus tipos. (en línea) Consultado 13 de marzo. 2024. Disponible en <https://www.verema.com/blog/productos-gastronomicos/1129360-que-cacao-donde-produce>

4.2. Anexos

Anexo1: PMCT - 58



Resistente a monilla

Anexo 2: CCN – 51



Tiene la menor frecuencia de escoba de bruja.

Anexo 3: EET 544 y EET 558



Sugieren los clones para la zona Peninsular, caracterizada por suelos arcillosos y calcáreos, con alta luminosidad.

Anexo 4: L18-H58



Mostro el menor índice a escoba de bruja y menor prevalencia a enfermedades.