

CACAO

ANTIOQUEÑO

La selección de materiales finos con sabor y aroma para el beneficio del cultivador

Cacao antioqueño:

La selección de materiales finos con sabor y aroma para el beneficio del cultivador.



Sistema General de Regalías

https://www.sgr.gov.co/



GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA

Gobernación de Antioquia
Calle 42B No. 52-106
Teléfono: (604) 44099000
www.antioquia.gov.co/



UNIDOS



Universidad de Antioquia
Calle 67 No. 53 - 108
Teléfono: (604) 2195614
www.udea.edu.co



Unilasallista Corporación Universitaria
Carrera 51 No. 118 Sur-57
Teléfono: (604) 3201999
www.unilasallista.edu.co/



Federación Nacional de Cacaoteros
Calle 31 No. 17-27
Teléfono: (601) 3273000
https://www.fedecacao.com.co/

ISBN IMPRESO: 978-628-7519-71-8

ISBN DIGITAL: 978-628-7519-72-5

Palabras clave:

Índices de productividad, *Theobroma cacao*, calidad química, sensorial y sanitaria, suelo, *Moniliophthora roreri*, control biológico.

Textos

Martínez Álvarez O.L., Ardila Castañeda M.P., Ocampo Arango C.M., Alzate Tamayo L.M., Bedoya Vergara C., Monsalve Fonnegra Z.I., Rodríguez Cabal H.A., Ruiz Núñez F.I., Rendón Alzate J., Lizarazo Medina P.X.

Ilustraciones

Diego A. Zapata, Ana Raquel Hoyos

Diseño, edición y diagramación

Diego A. Zapata, Ana Raquel Hoyos

Impresión

Publicaciones ViD.
Obra de la Congregación Mariana

Interventoría Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural

Carlos Alberto Vásquez Silva

Cítese el libro como:

Martínez Álvarez O.L., Ardila Castañeda M.P., Ocampo Arango C.M., Alzate Tamayo L.M., Bedoya Vergara C., Monsalve Fonnegra Z.I., Rodríguez Cabal A., Ruiz Núñez F.I., Rendón Alzate J., Lizarazo Medina P.X. 2022., Gil Garzón M.A. Cacao antioqueño: La selección de materiales finos con sabor y aroma para el beneficio del cultivador. Universidad de Antioquia, Unilasallista Corporación Universitaria, Federación Nacional de Cacaoteros, Medellín, Colombia 40 p.

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, ni su préstamo, alquiler o cualquier otra cesión de uso del ejemplar con fines económicos o patrimoniales sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Contenido

páginas

Introducción

El suelo, base del desarrollo del cultivo
Análisis Físico Químicos y Microbiológicos

páginas

La planta, su biología, genética y la
producción de frutos

El fitopatógeno: *Moniliophthora roreri* y
el control biológico

páginas

Los frutos, la calidad
sensorial y química

páginas

Agradecimientos

AUTORES TEXTOS

4 - 15

Pilar Ximena Lizarazo-Medina
Coordinadora Grupo de Investigación en Ecología Microbiana y Bioprospección- EM&B.
Universidad de Antioquia - pilar.lizarazo@udea.edu.co

Pilar Ximena Lizarazo-Medina
Juliana Rendón Alzate
Grupo de Investigación en Ecología Microbiana y Bioprospección- EM&B. Universidad de Antioquia

Carolina Bedoya Vergara
Maritza Andrea Gil Garzón
Luz Maria Alzate - Coordinadora
Grupo de Investigación GRIAL.
Unilasallista Corporación Universitaria

16 - 28

Fernando Ruiz - FEDECACAO
Héctor Alejandro Rodríguez Cabal
Zulma Isabel Monsalve Fonnegra
Agrobiotecnología

Pilar Ximena Lizarazo-Medina
Juliana Rendón Alzate
Grupo de Investigación en Ecología Microbiana y Bioprospección- EM&B. Universidad de Antioquia

29 - 36

Olga Lucia Martínez Álvarez - Coordinadora
Grupo de Investigación en Ciencia Sensorial,
Universidad de Antioquia.
Carlos Mario Ocampo Arango
Maurem Paola Ardila Castañeda
Luis Danilo Porras Barrientos

Carolina Bedoya Vergara
Maritza Andrea Gil Garzón
Luz Maria Alzate
Grupo de Investigación GRIAL. Unilasallista
Corporación Universitaria

39

Coordinadores Grupos de Investigación

Diseño e ilustración

Diego A. Zapata

La selección de materiales finos con sabor y aroma

Las demandas del sector cacaotero incluyen la búsqueda de nuevos materiales de cacao, con características de calidad en cuanto al nivel de producción y el de tolerancia a enfermedades, para siembra de nuevos cultivos y para la renovación de árboles no productivos. La calidad de un árbol de cacao esta determinada por la genética de ese material, las condiciones edafoclimáticas, las actividades de manejo del cultivo, como el esquema de siembra, la fertilización y la poda, y la tolerancia a enfermedades. Otra demanda es la necesidad de alternativas para el control de los patógenos, una de las enfermedades que impacta en el detrimento de la producción en Colombia es el ataque por el hongo *Moniliophthora roreri*.

Desde el 2015 hasta el 2022, la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural del Departamento de Antioquia en alianza con la Universidad de Antioquia, Unilasallista Corporación Universitaria y FEDECACAO, ejecutaron el proyecto de Investigación Conformación de la colección elite de cacaos especiales para el Departamento de Antioquia. Esta investigación fue financiada por el Sistema General de Regalías y ejecutada por los grupos de investigación de Agrobiotecnología, en Ciencia Sensorial y en Ecología Microbiana y Bioprospección de la Universidad de Antioquia y el grupo Grial de Unilasallista Corporación Universitaria.

En este proyecto en las subregiones de Bajo Cauca, Urabá, Nordeste y Magdalena Medio se visitaron fincas de productores para seleccionar los mejores materiales de cacao. La selección se hizo no únicamente basada en el criterio de producción, sino que también se consideró la tolerancia a enfermedades, se evaluó la calidad sensorial y química de los frutos y los árboles se diferenciaron mediante parámetros genéticos. Los mejores materiales fueron sembrados en tres jardines clonales, uno en cada subregión, para a partir del desempeño de estos materiales en esas nuevas condiciones, agregar, seleccionar los mejores árboles en términos de producción, características químicas y sensoriales. En este proyecto también se estudio el fitopatógeno *M. roreri* causante de la moniliasis y se buscaron microorganismos nativos para contrarrestar y controlar este hongo, como una estrategia adicional, para evitar la pérdida de frutos y la disminución de la producción. En esta cartilla se presentan conceptos considerados en el proyecto para establecer variaciones entre los materiales de cacao, determinar la calidad e identificar una alternativa biocontroladora con el fin de evitar la disminución de frutos sanos por este fitopatógeno.



El suelo, base del desarrollo del cultivo Análisis Físico-Químicos y Microbiológicos

Comprender los diferentes aspectos que determinan la calidad del suelo es de gran importancia para el desarrollo adecuado del cultivo de cacao, ya que éste actúa como soporte y garantiza la nutrición de las plantas. En laboratorio, se realizan estudios para determinar el estado del suelo a nivel estructural, su composición química y su componente biológico, todos estos importantes para determinar la fertilidad del suelo y sanidad.

Los análisis físicos permiten establecer el tamaño y la proporción de las partículas, su disposición y su arreglo en el suelo para conformar la textura que es la matriz en la que se establecen compuestos orgánicos, inorgánicos y agua y determinan la capacidad para retener nutrientes. Los análisis químicos indican el potencial de nutrición de la planta al determinar la concentración de los nutrientes y su biodisponibilidad de acuerdo al pH. Las relaciones de los contenidos de los principales elementos permite establecer los criterios de fertilización para el correcto desarrollo del cultivo.

Suelos para el cultivo de cacao

El cultivo de cacao requiere para un buen desarrollo vegetativo y productivo suelos sueltos con una profundidad mínimo de 1,5 metros, evitando suelos compactados que no se encharquen, lo ideal que sean suelos

franco – arcillosos y con un buen drenaje. El cultivo de cacao requiere suelo que tenga buenos contenidos de materia orgánica (mínimo del 3%), sean moderadamente ácidos, cuyo pH oscile entre 5,5 y 6,5.

Según Cocoa Growers Bulletin, el cultivo de cacao requiere con mayor necesidad el potasio (K) en etapas de vivero, establecimiento y producción, seguido de elementos como el nitrógeno (N), el calcio (Ca) y el fósforo (P).

En estimaciones realizadas por Jaraba y colaboradores en 2021, los principales elementos requeridos en cacao son: nitrógeno (N) 30 Kg, Fósforo (P) 8 Kg, Potasio (K) 40 Kg, Calcio (Ca) 13 Kg y Magnesio (Mg) 10 Kg, para obtener una tonelada de cacao.

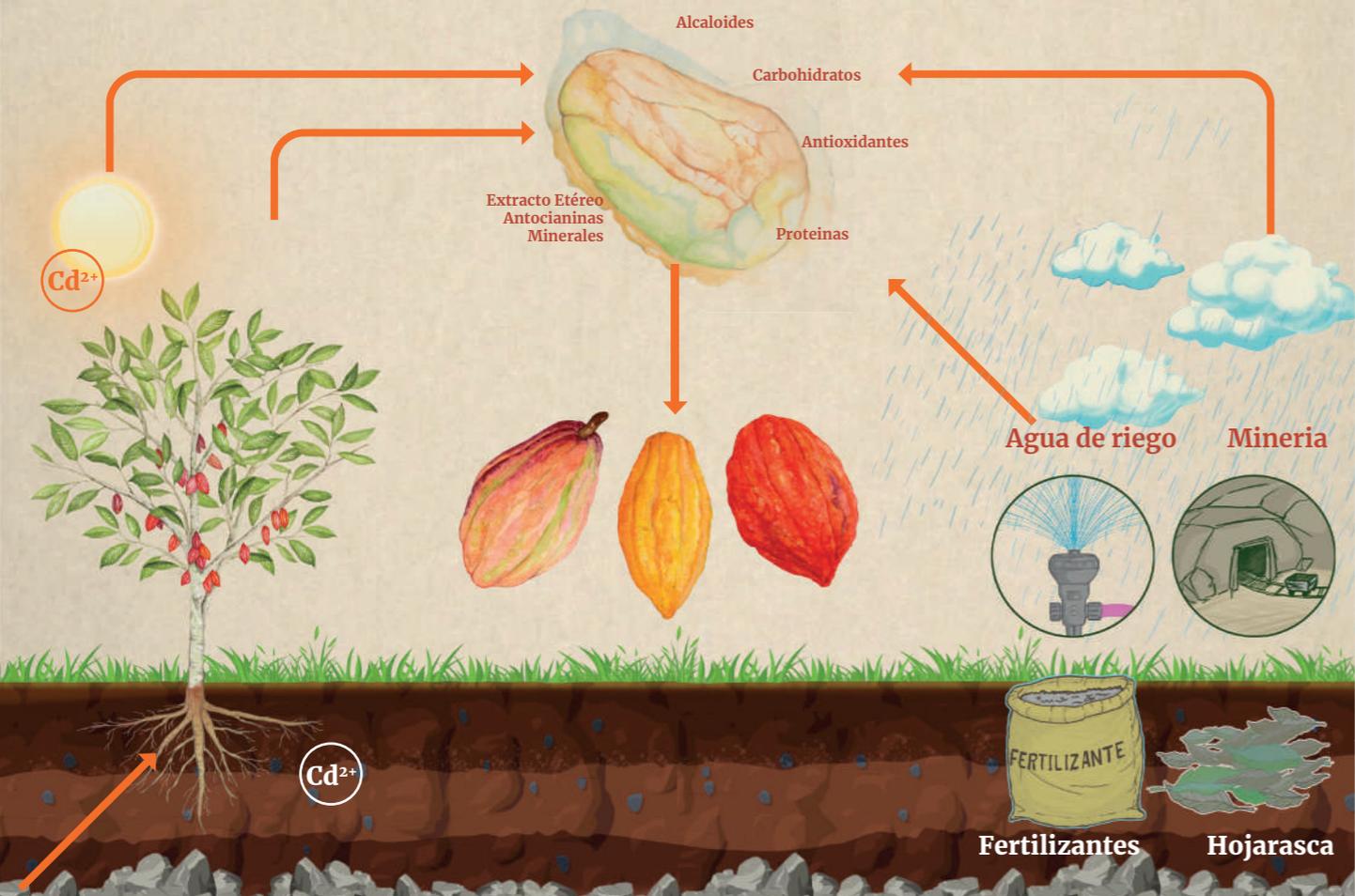
La planta de cacao también necesita en menor proporción de micronutrientes como B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn. La concentración de estos elementos, favorecen la nutrición del cacao, a partir de sus necesidades de abono y fertilización (Winowiecki, 2007). Las condiciones físicas y químicas de los suelos pueden variar según las diferentes zonas cacaoteras, por lo tanto, para una adecuada nutrición de la planta, se deberá tener en cuenta la utilización de análisis de suelos con su respectiva interpretación analítica.

El metal tóxico que más preocupa en el cultivo del cacao es el cadmio(Cd), el cual se encuentra en concentraciones muy pequeñas en la planta de cacao, pero es invasivo, altamente tóxico y se acumula fácilmente en las semillas del cacao, aumentando el riesgo de favorecer serios problemas de salud, como incidencia de cáncer, en caso de que estas concentraciones lleguen de manera frecuente a los consumidores de productos derivados del cacao. En este sentido, controlar el contenido de cadmio en los granos secos es necesario, en aras de minimizar los riesgos de toxicidad y, además, cumplir con las legislaciones de los países a los cuales se exporta (Romero-Estévez et al. 2019).

La determinación de la inocuidad en los alimentos, también se realiza cuantificando el contenido de sustancias químicas que puedan causar daño al consumidor. Un ejemplo de ello, son los metales pesados, nombrados así por su alto peso atómico y nivel de toxicidad

a concentraciones bajas, tales como: el cromo(Cr), cadmio(Cd), mercurio(Hg), níquel(Ni), plomo(Pb) y cobre(Cu), los cuales son elementos químicos que se acumulan en las plantas de forma natural, ya que estos hacen parte de las rocas que dieron origen a la cordillera y a los suelos donde están sembrados los cultivos migrando a la planta durante su crecimiento. Además, genera preocupación que muchas prácticas agrícolas ayudan a incrementar el contenido de estos metales pesados, como es el uso no controlado de agroquímicos, minería cercana al cultivo, las hojas secas que caen en los suelos, la quema de residuos y de combustibles, sumado al uso de fertilizantes fosfatados y nitrogenados, así como el agua de riego (Soledad et al. 2019).

En la figura, se muestran las diferentes fuentes que suman a la concentración de metales pesados en suelos empleados para cultivos y para las características químicas del grano.



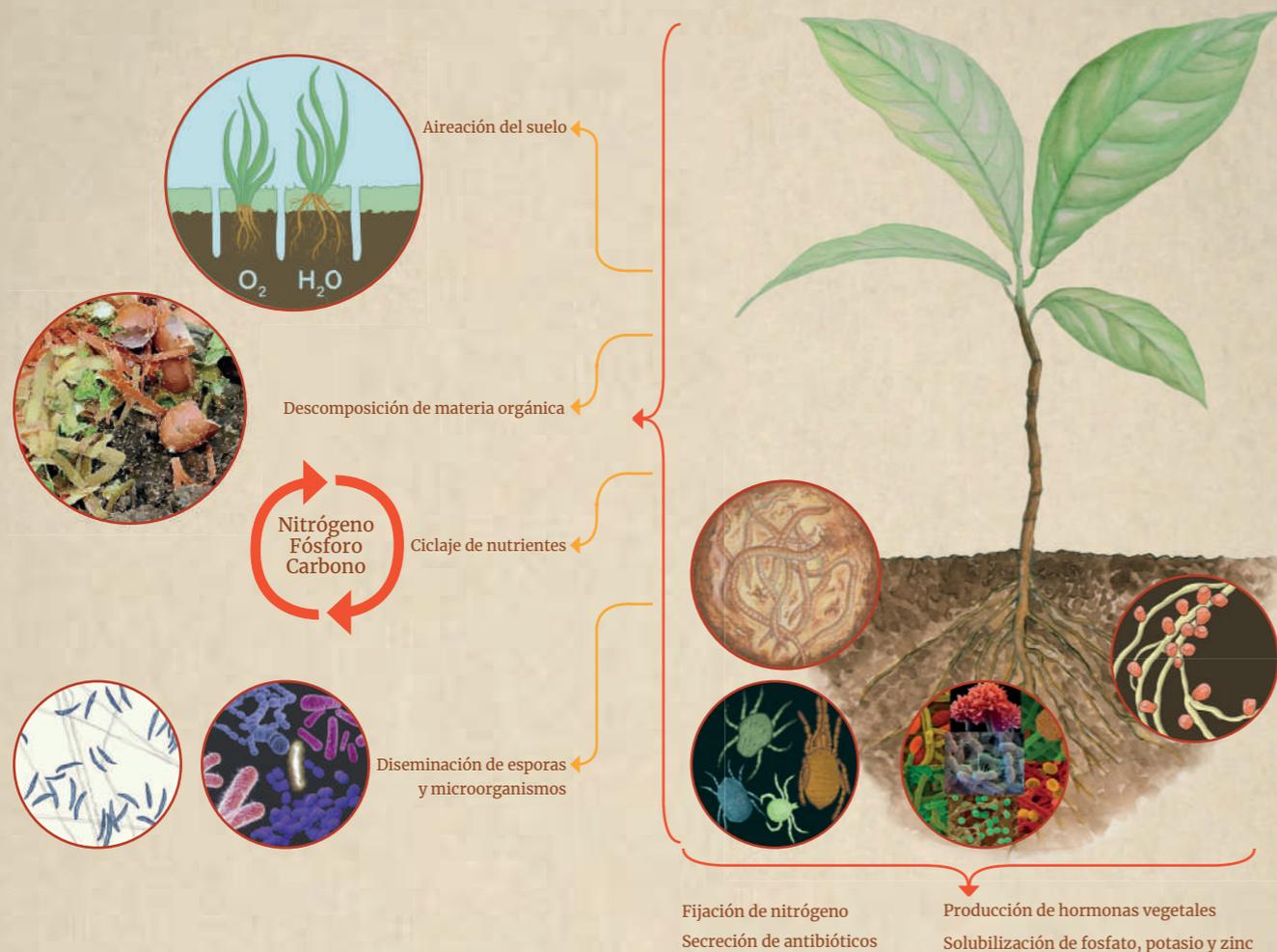
La biología del suelo

Los análisis biológicos-microbiológicos exploran conocer la diversidad de la edafofauna y de la microbiota del suelo. La palabra edafo proviene del griego edaphos y significa cimiento, suelo o tierra y esta constituida por animales pequeños, insectos, lombrices de tierra, entre otros. Estas poblaciones intervienen en la transformación de la materia orgánica, conllevando a una rápida mineralización de elementos como nitrógeno, fósforo y en el ciclaje de nutrientes. Además, pueden regular las características del suelo con el aporte de excretas y secreciones, con su movimiento airean el suelo permitiendo el ingreso de agua, oxígeno y nutrientes, y diseminan la microbiota.

La microbiota del suelo

La microbiota es una comunidad muy compleja constituida por arqueas, bacterias, hongos levaduriformes o filamentosos. Algunos hongos y bacterias pueden favorecer el desarrollo de las plantas y otros pueden causar daño al provocar enfermedades (Hannula et al. 2020). En este sentido los análisis microbiológicos permiten conocer los microorganismos presentes, su posible acción promoviendo el crecimiento vegetal, o su capacidad para la descomposición de materia orgánica, así como la biodisponibilidad de nutrientes del suelo como fósforo, nitrógeno, zinc, etc (Valliere et al. 2020). Estos análisis también son importantes para la detección de microorganismos patógenos para las plantas y realizar acciones para evitar o mitigar el daño.





El papel de la edafofauna y la microbiota en el suelo.

Algunas poblaciones microbianas son importantes en el control del estrés biótico y abiótico de la planta (Inbaraj, 2021). Estos microorganismos se pueden clasificar como promotores de crecimiento y desarrollo de las plantas. Algunos actúan como fijadores de nitrógeno entre los cuales se encuentran los géneros bacterianos: *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Azolla*; otros solubilizan fosfato y producen hormonas vegetales como *Bacillus*, *Burkholderia*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* y las micorrizas. Además, estos microorganismos pueden producir sustancias que no permiten el crecimiento de otros microorganismos e incluso de insectos que pueden ser potencialmente patógenos para la planta, entre estos se encuentran los géneros bacterianos *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Streptomyces* y los géneros fúngicos *Trichoderma* y *Clonostachys* (Mohamed et al. 2021).

El fitopatógeno: *Moniliophthora roreri* y el control biológico

Uno de los principales limitantes en cuanto al manejo del cultivo de cacao es su susceptibilidad a varias enfermedades, entre estas las causadas por hongos fitopatógenos responsables de importantes pérdidas económicas. La enfermedad que afecta en mayor medida los cultivos de *Theobroma cacao* (*T. cacao*) en Colombia y Antioquia es la moniliasis, ocasionada por el hongo basidiomicota *Moniliophthora roreri* (*M. roreri*), que causa la podredumbre de la vaina del cacao. Factores climáticos como la humedad y la temperatura juegan un papel decisivo en la aparición de esta enfermedad presentándose mayores pérdidas en las regiones cálido-húmedas (Cubillos, 2017).

En el árbol de cacao, el fruto es la estructura infectada por *M. roreri*. La penetración y desarrollo del patógeno puede ocurrir en cualquier estadio durante la maduración del fruto, siendo más susceptibles los frutos jóvenes.

Los síntomas observables externamente están bien documentados. En los estadios



tempranos de la enfermedad se observan (1) Gibas, estos son abultamientos o deformaciones de la mazorca. También se producen (2) lesiones con apariencia de puntos aceitosos circulares muy pequeños, los cuales con el tiempo se transforman en (3) manchas irregulares de color amarillo y marrón. Sobre estas se producen las esporas observándose como un polvo de color amarillo cremoso.

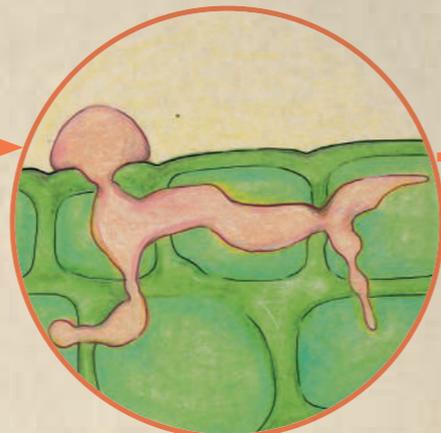
El proceso de penetración del hongo hasta la aparición de manchas se produce entre 50 a 70 días, dependiendo de la susceptibilidad del material vegetal de *T. cacao* y de las condiciones ambientales. Posteriormente, entre tres y cuatro días, se desarrolla un micelio blanco sobre las lesiones y las esporas le confieren un color crema a marrón al micelio. Estas esporas son los propágulos infectivos para otros frutos, ya que estas masas de esporas se desprenden de la mazorca por movimientos de aire o por lluvias y se propagan por corrientes de convección. La densidad de esporulación es aproximadamente de 44 millones de esporas/cm², en un fruto maduro se pueden producir hasta 7 billones de esporas; estas esporas pueden mantenerse durante 9 meses en las mazorcas que permanecen en el árbol y un mes en los frutos depositados en suelo (Bailey et al. 2018) (Torres-Palacios & Ramírez-Lepe, 2016)

Fruto sano (izquierda) y fruto enfermo (derecha)

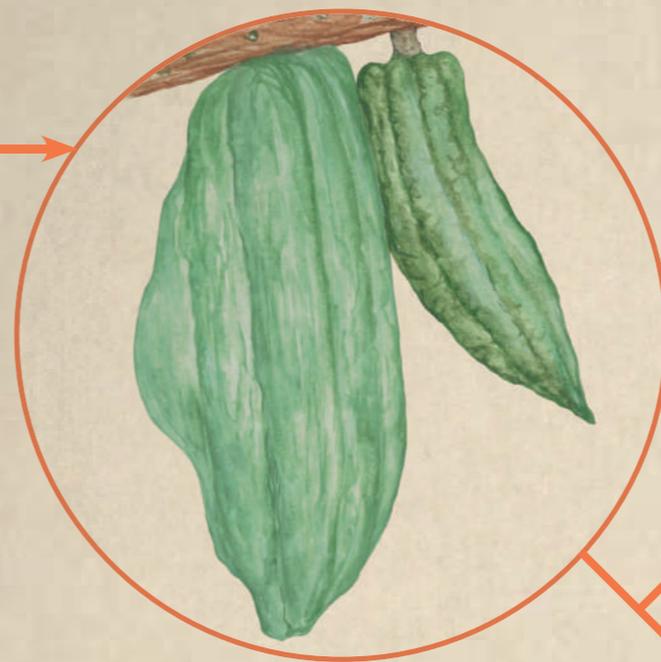




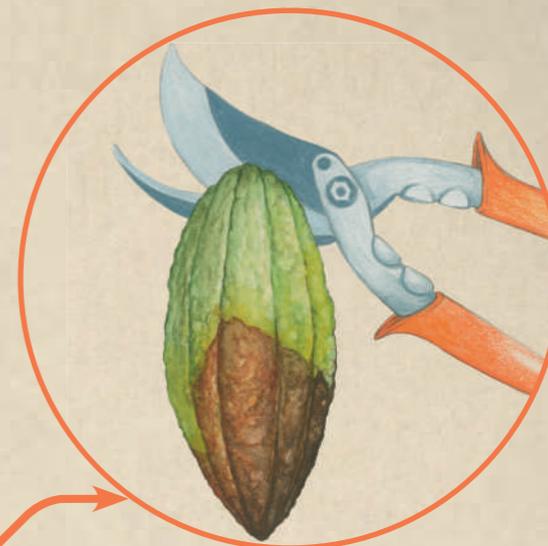
Esporas de *M. roleri* llegan a los frutos sanos



Penetración y colonización del hongo en el tejido vegetal



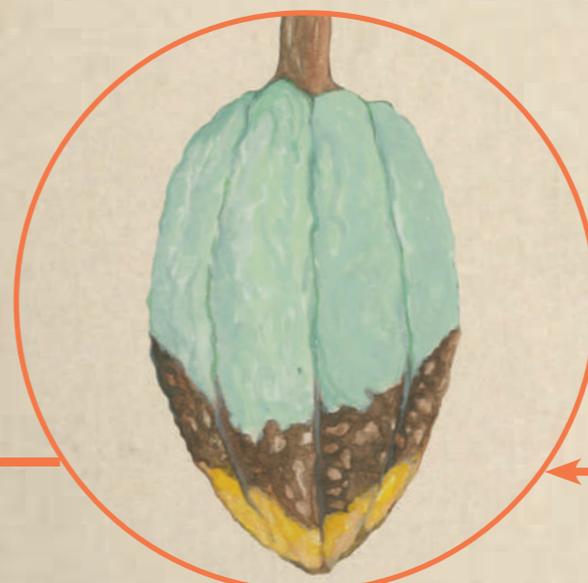
Frutos infectados presentan abultamientos/gibas 40+/-18 días



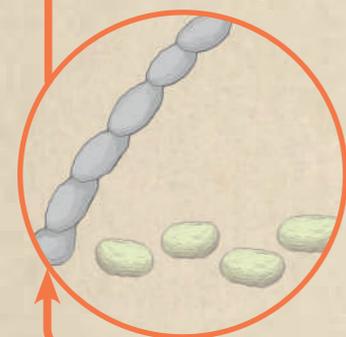
Momento para retirar frutos enfermos. Colocarlos en un lugar lejos del cultivo y cubrir con hojarasca.



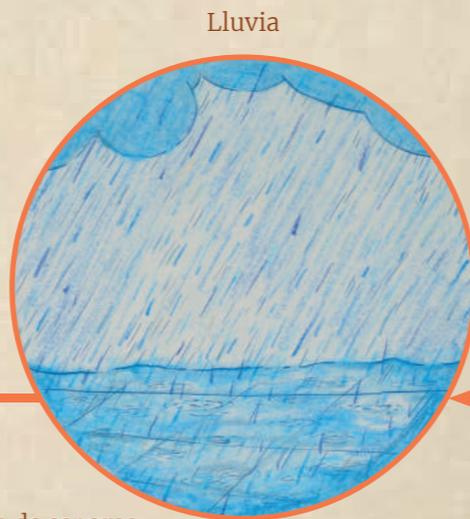
Frutos infectados presentan manchas aceitosas 63+/-8 días



Infección avanzada, lesiones con crecimiento de micelio 91+/-27 días



Viento



Lluvia

Diseminación de esporas mediante viento y/o agua

Esquema del desarrollo de la enfermedad

Gilba



Mancha



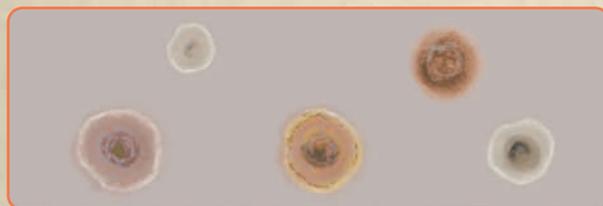
Micelio



En condiciones de laboratorio es posible recortar fragmentos de los frutos que presentan síntomas de enfermedad, como se observa en la figura de la izquierda, para aislar en medios de cultivo el hongo fitopatógeno. Los medios de cultivo son como gelatinas que contienen nutrientes como: azúcares, proteínas y microelementos que van a favorecer el crecimiento del hongo en el laboratorio.



Posteriormente es necesario confirmar la identidad del hongo como *Moniliophthora roreri*, para lo cual se hacen análisis de caracterización del aislado fúngico de acuerdo a su forma de crecimiento, color y apariencia a simple vista. También se identifica taxonómicamente por las formas celulares observadas en el microscopio. Además, los análisis de secuenciación del material genético permiten confirmar que corresponde al hongo causante de la patología.



El banco de aislados de diferentes frutos de cacao, son una herramienta importante para conocer la biología del hongo y poder estudiar estrategias para controlarlo sin afectar el árbol, la naturaleza y la salud humana.

El control de *Moniliophthora roreri*

En Colombia se ha establecido un plan de manejo integral de plagas y enfermedades (MIPE), pero aún no se logra la disminución o completa erradicación de la moniliasis. FEDECACAO promueve la estrategia RESE, la remoción semanal de frutos enfermos, los cuales se depositan en un lugar apartado del cultivo y se cubren con hojarasca (Alarcón et al. 2012).

Como estrategia para reducir las pérdidas, se ha difundido ampliamente el uso de árboles-clones tolerantes a la infección por *M. roreri* seleccionados a partir de su desempeño en campo y mejoramiento genético tradicional.

Adicionalmente, se hace necesario reforzar la siembra de material vegetal de *T. cacao* tolerante, con el objetivo de utilizar estrategias sostenibles y de bajo impacto ambiental en el control de *M. roreri*. Para este objetivo se ha considerado el uso de microorganismos biocontroladores (hongos y/o bacterias), como una herramienta segura y compatible con el control cultural y genético.

La estrategia de control biológico es un elemento valioso para el MIPE y entre los beneficios que aportan está el estímulo de la resistencia de la planta y la reducción del daño que ocasionan los fitopatógenos en los cultivos, logrando la disminución en las pérdidas económicas de los agricultores, además de ser una alternativa amigable con el ambiente.

Crecimiento de *M. roreri* individual



Representación de una colonia del hongo desarrollándose en agar extracto de malta

La selección de microorganismos con potencial de matar o inhibir el crecimiento e infección por *M. roreri* se realizó en este proyecto a partir de la microbiota obtenida del suelo, de la superficie del fruto sano (epífitos) y en algunos casos del interior de estos (endófitos, microorganismos que no causan enfermedad en su hospedero). Siendo estos hábitats fuente de una amplia diversidad de microorganismos, inclusive de aquellos que pueden establecerse y/o participar del proceso de fermentación espontánea (Mendoza & Lizarazo, 2021), donde la acción microbiana es indispensable para generar los precursores de aroma y sabor que van a caracterizar al chocolate (Mendoza et al. 2022)

Pruebas realizadas *in vitro* y en campo han permitido obtener aislados que muestran rangos aceptables de control sobre la incidencia de la enfermedad. Se han reportado hongos como *Trichoderma sp.* y *Gliocladium sp.*, y bacterias de los géneros *Bacillus*, *Streptomyces* y *Pseudomonas*. Entre las interacciones biológicas a las cuales se les atribuye la capacidad antagonista de estos microorganismos se encuentran: la competencia por espacio y/o nutrientes (A-B), la producción de antimicrobianos que inhiben el desarrollo de hongos o bacterias (C), y el micoparasitismo (D), que es un mecanismo mediante el cual el microorganismo biocontrolador reconoce, se adhiere sobre las hifas del patógeno, produce enzimas que degradan las paredes y de esta manera la hifa del biocontrolador penetra la hifa del patógeno.

Crecimiento de *M. roreri* individual



En la imagen es claro el alto crecimiento de *Moniliophthora roreri* desarrollándose sobre el agar, de forma individual, llenando para este momento toda la caja de Petri. En un experimento por enfrentamiento dual con microorganismos con potencial antagonista, el hongo *M. roreri* fue cultivado de lado derecho y el antagonista al izquierdo.



A.
Bacteria

En la imagen A. al comparar el tamaño del crecimiento del hongo se observa que por efecto de la presencia de la bacteria sembrada de lado izquierdo se disminuye el crecimiento y el tamaño de la colonia del hongo, lo que corresponde a una inhibición por espacio o nutrientes.



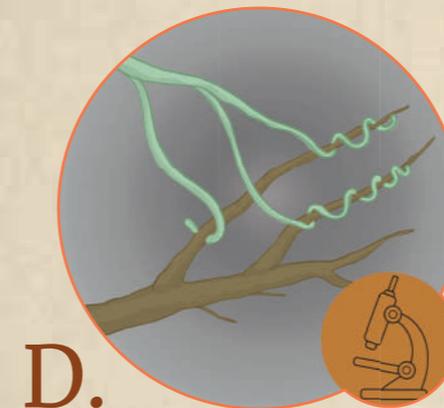
B.
Hongo

Esto también se observa en la caja de Petri del experimento B. en el que un hongo sembrado de lado izquierdo causa el mismo efecto sobre el desarrollo del fitopatógeno (a la derecha).



C.
Bacteria

En la imagen del experimento C. en la que una bacteria fue sembrada al lado izquierdo se observa que *M. roreri* sembrado de lado opuesto, no creció del mismo tamaño que de forma individual, que la bacteria no creció cercana al hongo, sino que hay una separación entre los dos y el hongo no se desarrolló hacia la bacteria y si hacia el lado opuesto. Este efecto se debe a la producción de antimicrobianos indicando que esta bacteria o las moléculas que produce podrían emplearse en el control del desarrollo de este fitopatógeno y evitar la presencia de la enfermedad, en condiciones de campo en el cultivo.



D.

La observación microscópica, representada al lado izquierdo demuestra el micoparasitismo en el que la hifa de un hongo (color verde) se enrolla sobre la hifa de otro hongo (color café) causando la muerte.

Estas interacciones competitivas ocurren de manera natural, bacterias como hongos pueden ser obtenidos de muestra de campo y aislados en condiciones de laboratorio y seleccionados para ser empleados como agentes biocontroladores.

La implementación de microorganismos antagonistas (hongos y/o bacterias) contra *M. roreri*, es una promisorio estrategia de control biológico que puede proporcionar protección a las plantas de *T. cacao* durante todo su desarrollo, además estos microorganismos son capaces de proporcionar nutrientes, modular los niveles hormonales y producir vitaminas para su hospedero.

Estas actividades tienen un efecto positivo sobre la planta beneficiando su crecimiento y resistencia al estrés. La capacidad de estos microorganismos para colonizar los tejidos de la planta, les confiere ventajas técnicas frente a algunas de las fallencias frecuentes en productos bioformulados, como la baja adherencia a la superficie del tejido vegetal, el número de aplicaciones necesarias y la tolerancia a las condiciones medio ambientales. Estos aspectos son de importante consideración en el desarrollo de nuevos bioformulados: -para un mercado agropecuario que cada día demanda más de este tipo de productos, -para implementar prácticas fitosanitarias alternativas sobre el control de la Monilia y -para disminuir los costos de sostenimiento de los cultivos, en pro de un manejo más amigable con el ambiente y para la producción de alimentos de tipo orgánico.

La planta, su biología, genética y la producción de frutos

Para el desarrollo tecnológico del subsector cacaotero es necesario tener en cuenta las características o los parámetros que determinan si un árbol de cacao puede ser considerado de alto rendimiento, los productores de cacao en el país disponen en sus fincas de materiales con características potencialmente sobresalientes, sin embargo, por el desconocimiento de estas variables no se presta mayor importancia a estos árboles y pasan desapercibidos. Con el desarrollo de este proyecto de investigación se buscó promover la identificación y la evaluación de materiales de cacao que tengan características productivas, químicas y sensoriales sobresalientes, las que permitan disponer de una oferta genética que pueda ser utilizada por los agricultores en el mejoramiento de las plantaciones de cacao.

La botánica

El árbol de cacao es leñoso, vigoroso que no corresponde a un arbusto pequeño. Esta taxonómicamente clasificado del genero *Theobroma* y epíteto cacao por lo que se nombra *Theobroma cacao* de la familia Malvaceae.

Si bien los árboles pertenecen a esta especie existen variaciones entre estos por lo que se han denominado clones o materiales vegetales de cacao.

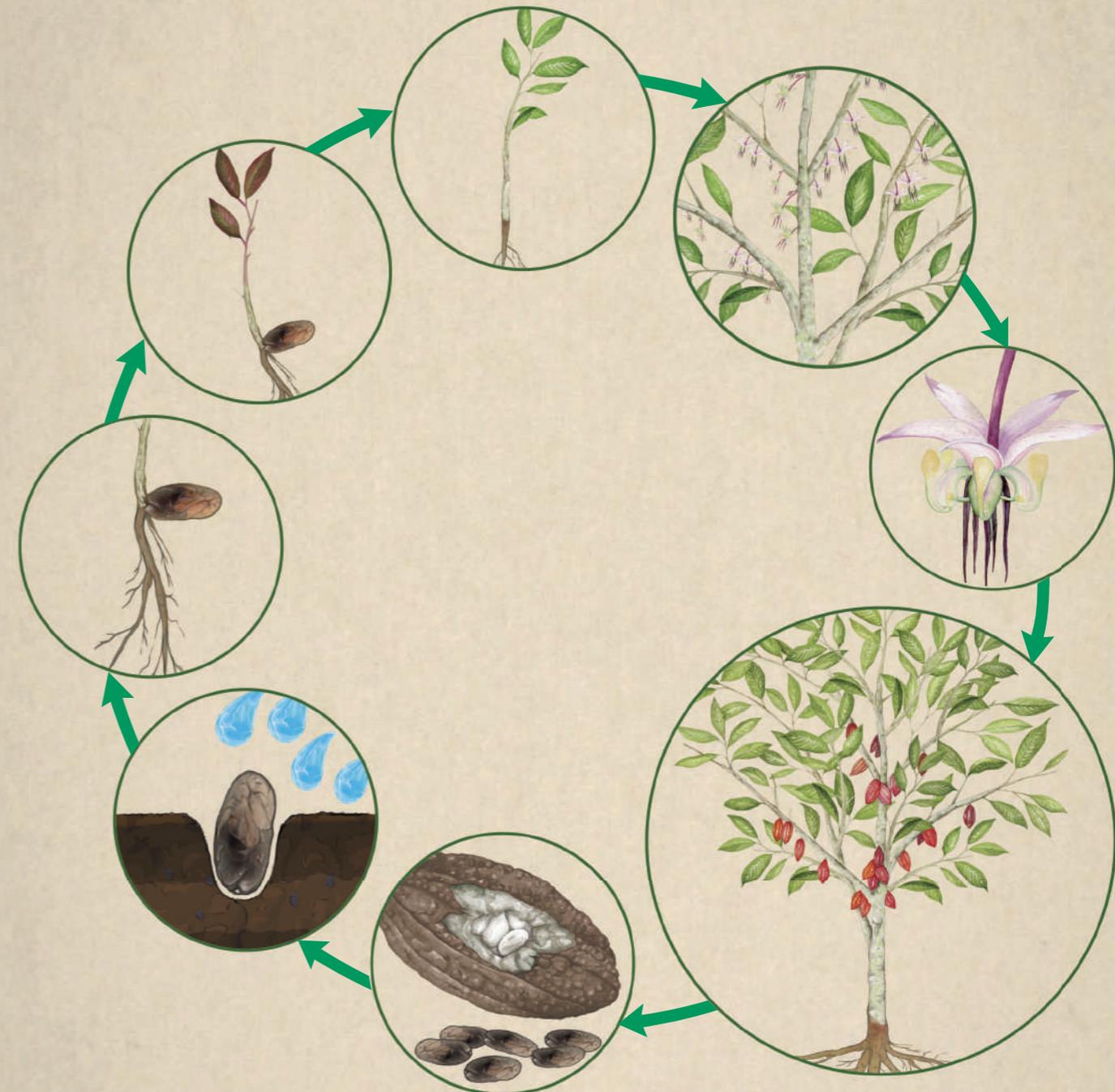
La raíz principal puede penetrar el suelo hasta dos metros de profundidad. Se caracteriza por presentar un tronco grueso del cual se desprenden ramas principales y secundarias.

Las hojas maduras son de color verde y las jóvenes presentan tonos rosa suave. Las hojas de acuerdo al material varían en su tamaño y/o en su forma, permanecen en el tiempo, no presenta alta defoliación y al tacto asemejan la textura del cuero.

Las flores son caulinares, es decir se distribuyen sobre la superficie del tronco y de las ramas. Están agrupadas en los denominados cojines florales. La polinización la realizan insectos.

El fruto de cacao o mazorca es una baya protegida por una cáscara, al interior están los granos unidos a la placenta. Los granos están cubiertos del mucilago el cual será posteriormente fermentado. El color de los frutos puede variar de tonalidad según su estado de madurez, por ejemplo, de verde a amarillo, de morado a rojo o de rojo a anaranjado.

Esquema del desarrollo de la planta





Esquema de los organos en diferentes estadios

Selección de Árboles sobresalientes

Para seleccionar y evaluar los materiales de cacao que pueden ser promisorios existen metodologías que se realizan en campo, algunas de ellas son las siguientes:

Índices de Producción

El potencial agronómico de un material de cacao puede ser evaluado a través del rendimiento, determinado el índices de grano y el de mazorca, estos dos son necesarios para establecer si un árbol de cacao se puede considerar de alta productividad.

Índice de grano

Este índice corresponde al peso promedio de un grano de cacao fermentado y seco. Este se calcula pesando 100 granos de cacao en las condiciones mencionadas y dividiendo el valor obtenido en 100. Para clasificar los índices de grano se puede tener como guía la siguiente relación.

Ejemplo: En finca se pesa 100 gramos de cacao y este peso da un valor de 170 gramos

Entonces se aplica la siguiente formula:

$$\text{Índice de grano: } \frac{\text{Peso de 100 gramos(gr)}}{100}$$

Índice de grano = 1.7 gramos por grano lo cual nos indica que es un material con un índice de grano de cacao muy bueno

Índice de mazorca (i.M.)

Es la cantidad de mazorcas que se necesitan para obtener un kilogramo de cacao fermentado y seco. Para calcularlo se beneficia el grano de un número determinado de mazorcas y luego se calculan los valores para un kilogramo, dando como resultado el número de mazorcas que hacen un kilo. Para clasificar los índices de mazorca se puede tener como guía la tabla de la izquierda.

El cálculo del Índice de mazorca se realiza de la siguiente manera:

Se pueden cosechar 20 frutos, abrirlos, extraer las semillas y pesarlas con mucílago, sin placenta. Para hallar el peso seco se realiza la siguiente operación:

$$\text{Peso total de granos húmedos} \times 0,38$$

Obtenido el peso seco, se procede a calcular el I.M. con la siguiente operación:

$$\frac{20 \text{ mazorcas} \times 1000}{\text{Peso seco de los granos}}$$

Como Ejemplo: se pesa el cacao en baba de 20 mazorcas, obteniendo un peso de 3500 gr. Para pasarlo a peso seco se multiplica por 0,38 y obtenemos un valor de 1330 gr/cacao seco.

De esta manera el cálculo del índice de mazorca es igual a:

$$\frac{20 \text{ mazorcas} \times 1000}{1.330 \text{ gr (peso seco de los granos)}}$$

Lo que equivale a un índice de mazorca 15, es decir que de este material de cacao se necesitan 15 mazorcas para obtener 1 k. de cacao seco, lo cual es un índice muy bueno.

Valor del índice de Grano(g/grano)

Mayor a

1,7

Muy bueno!!

Entre

1,3 y 1,6

Bueno

Inferior a

1,2

No recomendable

Interpretación



Valor del índice de Mazorca(# de mazorcas/1 kilo)

Menor a igual a

17

Muy bueno!!

Entre

18 y 20

Bueno

Mayor a

21

No recomendable

Interpretación



Número de granos por mazorca

Es el número de granos que puede llegar a tener un su interior una mazorca. Una cifra mayor a 46 es superior, de 36 a 45 es intermedia y menor de 35 es inferior. Para calcular el número de almendras por fruto, se puede tomar 5 frutos de cacao, contar el número de granos por cada uno, promediar y registrar el valor correspondiente.

Número de frutos por árbol

Es el número de frutos que produce un árbol al año. Este indicador es muy bueno si está por encima de 101, es intermedio si está entre 70 y 100 y no es recomendable si es inferior a 70 frutos año por árbol. En la finca, se puede registrar de manera mensual todo los frutos que produce un árbol de cacao, frutos sanos, frutos enfermos, al igual que frutos que sean afectados por animales o insectos.

Parámetros para realizar la caracterización morfo agronómica

Estos parámetros morfo agronómicos permiten identificar características de algunos órganos de la planta de cacao con el fin de tener un mayor conocimiento de los materiales que se tienen en las fincas cacaoteras.



Porcentaje de Monillia

Se refiere a la tolerancia a enfermedades como la Moniliasis. Los mejores materiales de cacao tienen porcentajes de Monilia al año, inferior al 5%, los que tienen entre 5% y 15% están en un nivel intermedio y los que superan este 15% tienen alta susceptibilidad a esta enfermedad.

Una de las formas para calcular este porcentaje consiste en registrar datos quincenales del número de mazorcas sanas y afectadas, durante un periodo determinado y dividirlo por el total de frutos enfermos encontrados durante este tiempo determinado, es decir que si en un año se recolectaron 150 mazorcas de las cuales 15 estaban enfermas su porcentaje de incidencia sería del 10%.

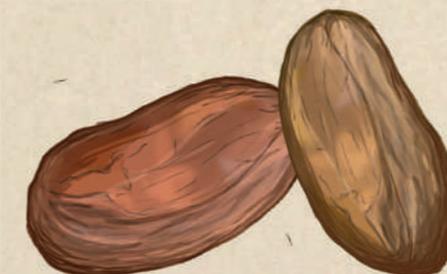
HOJA: Para este parámetro podemos conocer el tamaño y forma de la hoja de cacao.

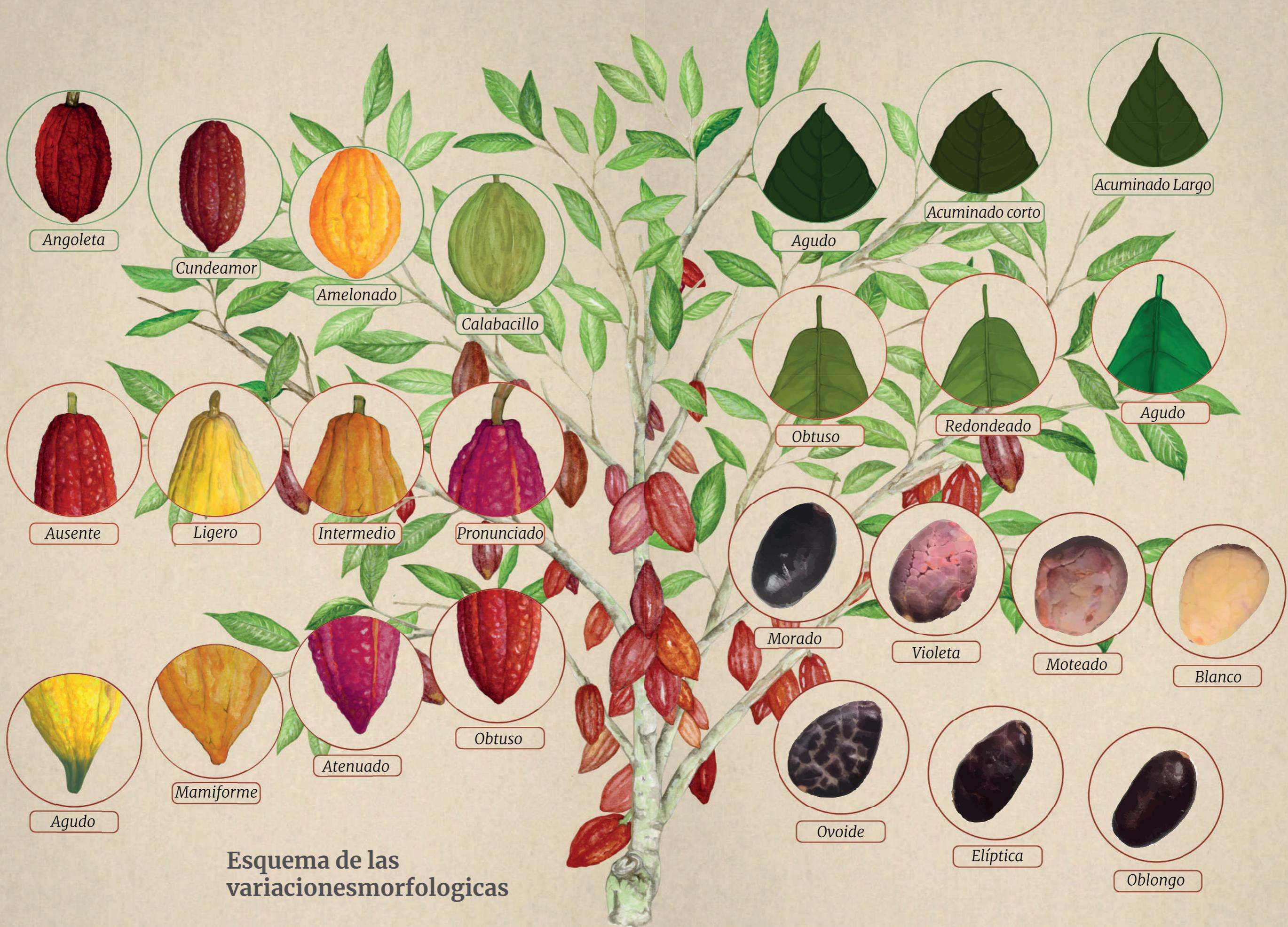


FRUTO, se puede identificar el color del fruto maduro e inmaduro, tamaño y formas del fruto.



SEMILLA, se puede conocer el peso húmedo de la semilla, número de semillas por fruto, forma de la semilla, índice de mazorca, índice de grano y color del cotiledón.





Angoleta

Cundeamor

Amelonado

Calabacillo

Agudo

Acuminado corto

Acuminado Largo

Ausente

Ligero

Intermedio

Pronunciado

Obtuso

Redondeado

Agudo

Morado

Violeta

Moteado

Blanco

Agudo

Mamiforme

Atenuado

Obtuso

Ovoide

Elíptica

Oblongo

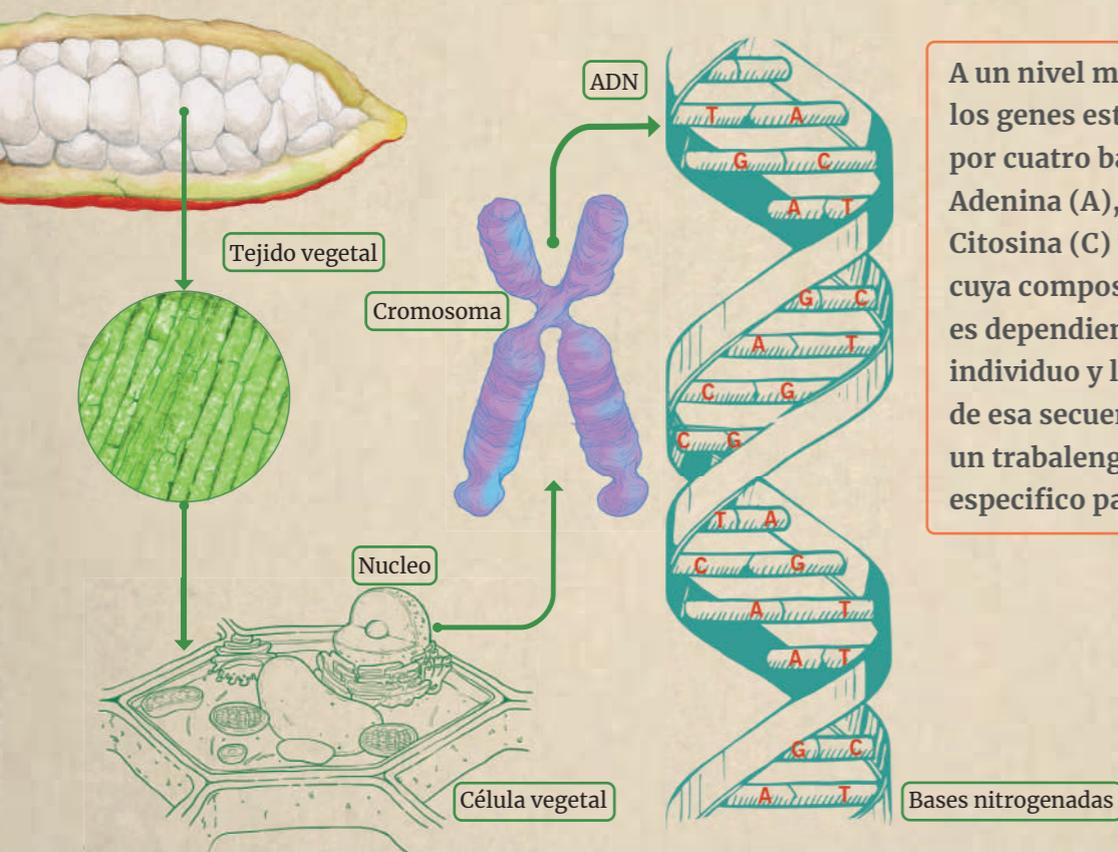
Esquema de las variaciones morfológicas

La planta, su genética y la producción de frutos

La genética de la planta

Los materiales de cacao presentan variaciones fenotípicas que son fácilmente observables y que los cultivadores de cacao reconocen y han empleado históricamente para seleccionar los materiales de cacao que siembran. Algunos frutos varían en la forma, coloración en maduración, tamaño del fruto, de la semilla, color de la semilla. Fig Planta anterior. Estas variaciones dependen de las condiciones ambientales, de la nutrición y de la genética de la planta. Al igual que en los seres humanos el intercambio genético entre gametos femeninos y masculinos generan las variaciones a nivel molecular. El ácido desoxirribonucleico conocido como ADN está localizado en el núcleo de Componentes del

ADN se ha descrito funcionalmente como genes y a cada una de las versiones del gen se les llama alelo (Watson et al., 2004). Es así como, un individuo hereda dos alelos o formas de cada gen, uno del padre y otro de la madre. Si los dos alelos son idénticos, el individuo es homocigoto para este gen (Watson et al., 2004). Mientras que, si los alelos son diferentes el individuo es heterocigoto, y eventualmente uno de los alelos resulta ser dominante (Watson et al., 2004). De esta forma las mismas variaciones que observamos en el tamaño de los animales, de las personas, color de ojos, color de piel, variaciones en el cabello, son las que genéticamente se reflejan en las plantas de cacao.



A un nivel más fino el ADN, los genes están constituidos por cuatro bases nitrogenadas Adenina (A), Guanina (G) Citosina (C) Timina (T) cuya composición y orden es dependiente de cada individuo y la heredabilidad de esa secuencia, formando un trabalenguas de lenguaje específico para cada individuo.

Estas variaciones o caracteres también permiten establecer parentescos o relaciones genéticas entre los individuos, padres, hijos, hermanos, primos, en la que los mismos marcadores se comparten.

En la búsqueda de materiales de cacao con características productivas, químicas y sensoriales de calidad se puede hacer la selección asistida por los cultivadores, la cual se ha empleado hace muchos años y también hacer el mejoramiento genético realizando cruces entre árboles que presenten características de interés.

Los árboles de cacao que se encuentran actualmente en las fincas de los cultivadores en su mayoría se originaron de procesos de selección colaborativa con cultivadores, que fueron seleccionados y evaluados por entidades en Colombia como Agrosavia o Fedecacao y se desconoce el parentesco con otros materiales tal es el caso de FEC2, y de FLE2. Para poder determinar estas relaciones genéticas en detalle no solo se emplean marcadores fenotípicos si no también variaciones al interior de la molécula de ADN.

Individuo 1: ATCTTCGTCATGCATGTACATGTA
Individuo 2: ATCGTCGTCATGCATGTACATGTA

Un cambio en una sola letra modifica la información y por tanto la genética del individuo.

Este cambio es llamado SNP que significa Polimorfismo de Nucleótido Único, por sus siglas en inglés y estos cambios tan finos son empleados para determinar variaciones entre individuos y establecer si son cercanos o no. Entre mayor sea el número de las diferencias menos emparentados están (Lodish et al., 2005). Es así que el marcador es esa característica que permite a nivel molecular reconocer si tiene o no esa variación. Podemos reconocer que cada marcador, o señal de reconocimiento es similar al color de los ojos en un animal, si son azules o cafés

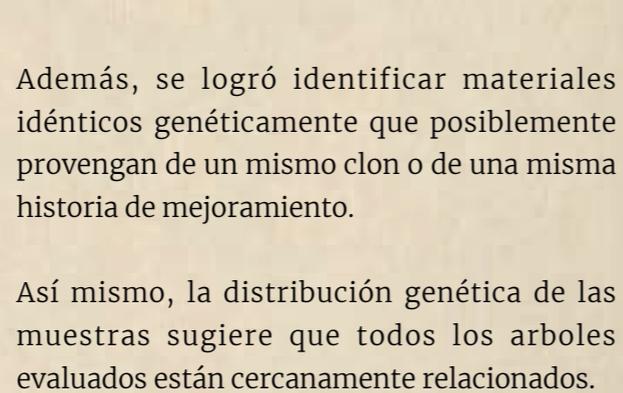
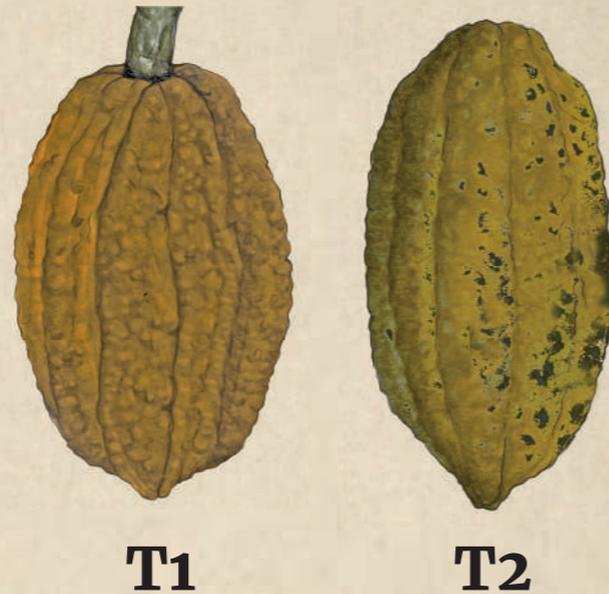
Los científicos han desarrollado métodos de laboratorio para identificación y caracterización basados en la información genética, estos

marcadores moleculares que han generado son independientes de los factores ambientales, pueden ser evaluados desde los primeros estados de desarrollo, y se pueden aplicar a cualquier tipo de material vegetal, con lo cual se obtiene una identificación más precisa de las variedades de árboles

Los marcadores moleculares que se han generado para cacao están situados en posiciones específicas en el genoma. Y se emplean para “señalar” la posición de un gen de concreto o la transmisión de una característica particular. Cuando se generan cruces de forma natural o asistida, las características de interés seguirán generalmente unidas a los marcadores moleculares. Por lo tanto, se pueden seleccionar individuos en los que el marcador molecular esté presente, teniendo la certeza de llevar la característica deseada.

En los últimos años, la diversidad genética y estructura del Cacao se ha determinado utilizando marcadores genéticos dando como resultado 10 agrupaciones genéticas: Amelonado, Contamana, Criollo, Curaray, Guayana, Iquitos, Marañón, Nacional, Nanay y Purús (Motamayor, et al., 2008). Actualmente, se emplean 96 marcadores moleculares de polimorfismo de nucleótido único (SNP), lo que permite asociar las plantas a sus orígenes geográficos y a características agronómicas (Quintero et al., 2015).

Con el trabajo que se realizó en este proyecto se pudieron obtener los perfiles genéticos para 70 materiales de cacao proveniente de Antioquia, mediante la caracterización de 93 marcadores de cacao asociados a características de importancia agrícola y económica tales como elevada productividad, resistencia a patógenos, y mejores contenidos químicos del fruto.



Ancestros → Materiales Actuales

Los frutos: Calidad Química y Calidad Sensorial

El cacao es un fruto apreciado en el mundo entero por sus características sensoriales de color, forma, tamaño y especialmente por sus cualidades de aroma y sabor; estos atributos se deben a factores como genética, cuidado del árbol, terreno, clima, altura sobre el nivel del mar, cosecha y composición química: azúcares, ácidos, proteínas, grasas, polisacáridos y polifenoles entre otros.

La calidad sensorial de este fruto es percibida por los sentidos humanos, los cuales se estimulan y deleitan al observar las diferentes formas, colores y percibir olores y sabores que se encuentran en él.

Estas características agradables del fruto se pueden perder por el manejo inadecuado del cacao durante la cosecha y posterior a ella apareciendo olores y sabores no deseados como: moho, madera húmeda, sensación astringente, combustible, parafina, fruta en descomposición, frutas sobremaduras, entre otros.

Todos estos atributos sensoriales de calidad y defecto en el cacao se pueden reconocer, memorizar y analizar con los cinco sentidos.

Inspeccionar visualmente que el fruto se encuentre sano y en estado de madurez adecuado para la evaluación sensorial.



En los frutos se observan tonalidades que estimulan la visión y alegran al productor, recolector y analista por la gran diversidad de colores como, amarillos, naranjas, verdes, rojos y violetas principalmente.

Durante la cosecha, la selección de los frutos debe ser de acuerdo al grado de madurez, el cual depende de cada material. Sensorialmente se determina mediante la visión, se debe evitar cosechar aquellos frutos que aún estén verdes, pintones, sobremaduros y enfermos, ya que darían características sensoriales poco agradables que pueden afectar más adelante los procesos de postcosecha.

Caracterización Sensorial del cacao

Los seres humanos con los sentidos (vista, olfato, gusto, tacto y oído), perciben las características sensoriales de apariencia, color, olor, sabor, sensación astringente, picante, texturas y sonidos de los alimentos. Cada persona puede aprender a utilizar sus sentidos para definir la calidad de los cacaos. En el caso de los jueces entrenados estos reciben capacitación bajo normatividad vigente para análisis sensorial, con el fin de apoyar al sector agroindustrial en cuanto a la definición de descriptores de calidad, defectos y las intensidades percibidas (ICONTEC, 2014-2017). Con los atributos sensoriales se puede definir si un cacao es fino de aroma y sabor, factor importante para la comercialización del fruto (Fadel et al. 2006; Portillo et al. 2006; Ramos et al. 2013).

Como se realiza la evaluación sensorial en las diferentes etapas.

1. Aguante o almacenamiento

Para que no ocurra el daño de las características sensoriales del fruto se debe controlar el tiempo, temperatura y condiciones del sitio de almacenamiento (espacios limpios, con estibas y libres de olores, roedores, insectos y humedad). Separe los frutos dañados de los buenos para no deteriorar la calidad.

2. Quiebre o apertura del fruto

En esta etapa debe utilizar la visión, el olfato y gusto para reconocer cada fruto. Para no contaminar el producto y lograr evaluar el olor y sabor del mucilago se debe tener presente la limpieza y desinfección de manos y herramientas como machete, cuchillos, mazos, entre otros y abrir los frutos sin dañar las almendras.



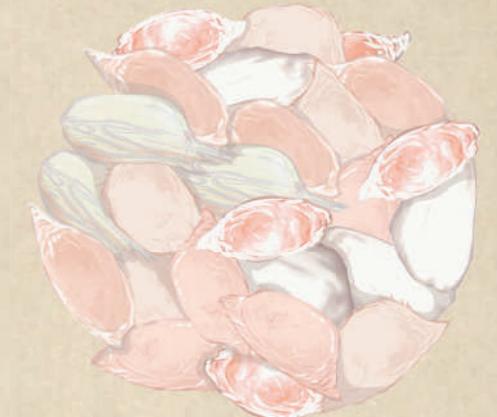
3. Vista



Ejemplo de la apariencia del mucilago



Características óptimas de Calidad al interior del fruto: el mucilago es de color blanco-crema, brillante, textura blanda, jugosa y húmeda. En este fruto, se perciben olores y sabores florales y frutales de acuerdo a la variedad y la región.



Color Marrón: este color da indicio de un fruto sobremaduro, acerque su nariz para que memorice olor y sabor del mucilago maderoso, amargo, frutas sobremaduras y sensación astringente. Los cuales son asociados a defectos de calidad. El color final de la fermentación es similar al tono de la canela o el arequipe.

4. Gusto y Olfato



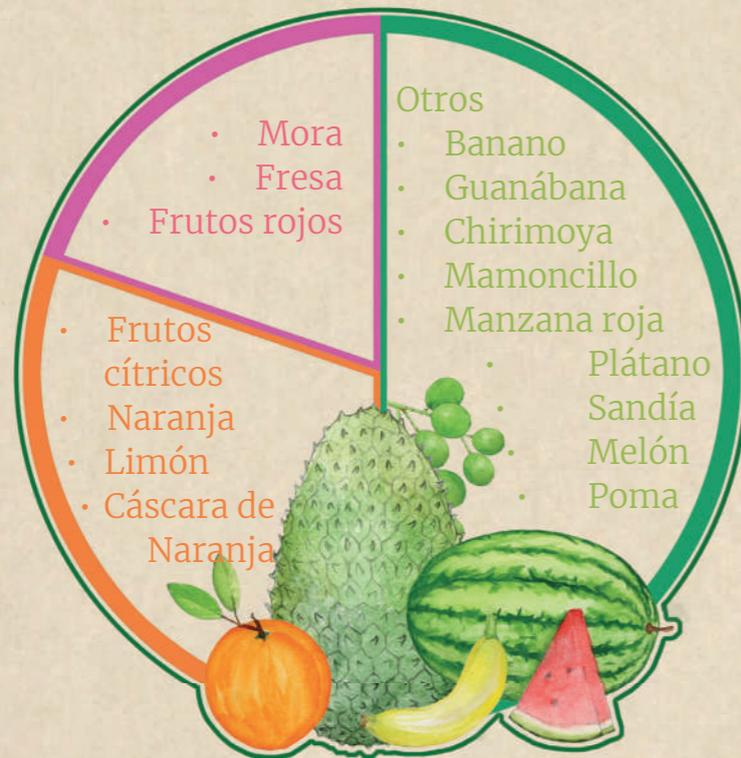
La nariz es estimulada por los deliciosos olores del mucilago o pulpa que recubre los granos contenidos en el interior del fruto, en el cual predominan los olores frutales y florales.

Una vez la mazorca este previamente limpia y seca, ábrala para percibir las sustancias volátiles (olores) realice inspiraciones, para reconocer que flores y frutas se encuentran, luego tome varias almendras cerca al ápice, base y centro del fruto, llévelas a la boca y saboréelas identificando sus variados y exquisitos sabores, además de recibir la información por vía retronasal (moviendo la lengua sobre el paladar).

Con el análisis sensorial a partir de un fruto sano se pueden encontrar sabores como: banano, guanábana, sandía, melón, poma, mamoncillo, chirimoya, naranja, manzana roja, pera y rosas entre otros. A continuación, se relacionan olores y sabores encontrados en el cacao.

<ul style="list-style-type: none"> • Acido • Dulce • Amargo • Salino 	<ul style="list-style-type: none"> • Frutal • Floral • Vegetal • Herbal 	<ul style="list-style-type: none"> • Maderoso • Verde • Sensación astringente
Gustos Básicos	Sabores y olores Específicos	

Activa y entrena tus sentidos del olfato y el gusto para analizar el cacao, estos son algunas de las notas frutales que se pueden percibir en el cacao.

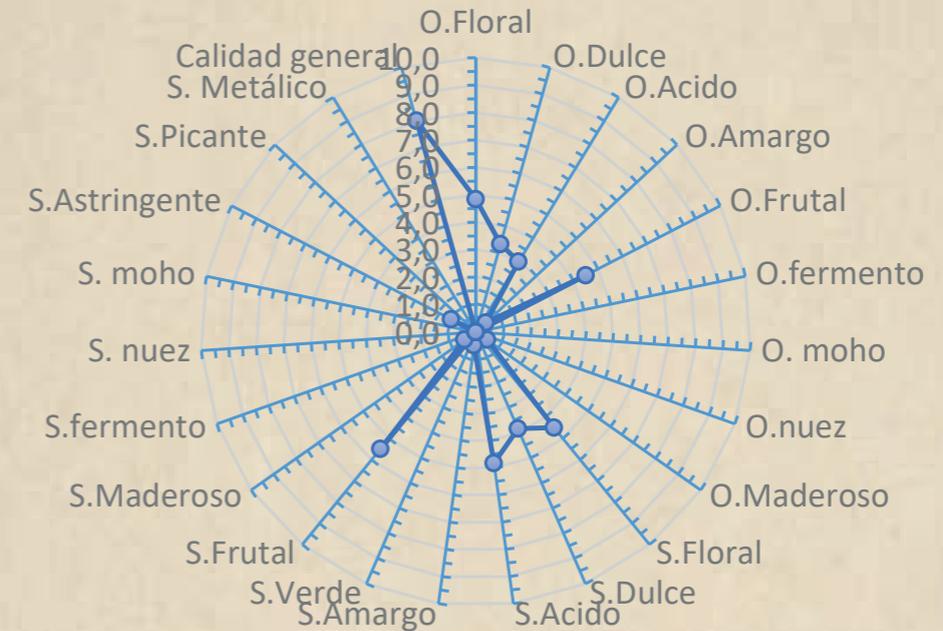


Realizando ejercicios de análisis sensorial con productos que tenga en casa o en la finca como: azúcar, panela, miel reconocerá el sabor dulce; con el jugo de limón y el vinagre el sabor ácido; con café sin endulzar, el sabor amargo y con la sal, el sabor salado. De igual manera utilice las frutas que tenga para reconocer y memorizar sus olores y sabores y luego búsquelas en el cacao.

Perfil de olor y sabor del cacao

Los perfiles, radares o gráficos realizados por catadores de cacao, permiten mostrar los atributos sensoriales y las intensidades que se perciben en el olfato y gusto de los cacaos según la variedad y región, estos dan un valor agregado en el comercio nacional e internacional para ofrecer los cacaos finos

de aroma y sabor, como aquellos que tiene atributos sensoriales exquisitos de frutas y flores. En cada subregión se pueden encontrar gran variedad de descriptores frutales y florales, que aportan a la selección de árboles con características sobresalientes en sabor y aroma.



Relación de la calidad sensorial y química en los frutos

Por medio de la investigación de la composición química, se ha demostrado que la complejidad del sabor del chocolate está asociada al manejo de producto, durante la precosecha, e industrialización, pero también está fuertemente influenciado por su genotipo y su origen (Afoakwa, 2015; Brunetto et al. 2009; Quiroz, 2012). Para entender las diferencias entre las variedades de cacao se hace necesario: identificar, cuantificar y comprender la correlación de los compuestos químicos que se encuentran en el fruto, de esta forma poder generar un conocimiento más amplio frente a la calidad de la materia prima para sus posibles usos, ya que se ha renovado

ampliamente el uso de los granos de cacao sin fermentar, utilizados como ingrediente para la industria de la alimentación saludable, que busca productos con un amplio contenido de polifenoles, los cuales son compuestos antioxidantes que tienen efectos positivos en la salud de los consumidores (Kongor et al. 2016; Misnawi et al. 2011; Rodríguez, 2011; Zapata et al. 2013).

A continuación, revisaremos los compuestos químicos más importantes e indicaremos cómo estos influyen la calidad final del grano de cacao

El contenido de proteínas puede asociarse a la capacidad de generar los precursores de aroma durante la fermentación del cacao bajo condiciones óptimas al contener aminoácidos como: lisina, asparagina, valina y la metionina. Específicamente, la lisina y asparagina son importantes considerando la inocuidad del producto ya que pueden ser precursores de contaminantes térmicos, altamente nocivos. Por su parte, la valina y metionina se han relacionado con el aporte al desarrollo del sabor, en conjunto con los azúcares reductores glucosa y fructuosa presentes en el mucilago, que durante la fermentación, secado y etapas de industrialización reaccionan para formar compuestos volátiles, responsables de las notas florales, frutales y características a chocolate.

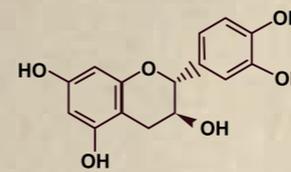
El porcentaje de proteínas en un grano de cacao sin fermentar esta en promedio entre 11 % y 17 %, aunque en el producto terminado no es una fuente significativa de proteínas y la disponibilidad de aminoácidos esenciales es reducida, ya que estos generan los precursores para dar lugar a la reacción de Reacción de Maillard (Araujo et al. 2014; Kongor et al. 2016).

Extracto Etéreo %EE es responsable de la textura, la plasticidad, el sabor, el brillo y la fusión del chocolate en la boca para productos de cacao y sus derivados y es ampliamente utilizado en la industria cosmética. En granos de cacao, se espera un contenido de extracto etéreo superior a 50 % (Dorota et al. 2018; Gil et al. 2019).

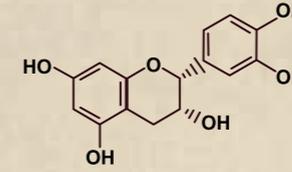


Los flavonoides del cacao tienen acción antioxidante, antiinflamatoria, antihipertensiva, anticancerígena y cardioprotector. El contenido inicial de esta determinado por la variedad del cacao, como respuesta de la planta a las condiciones agroclimáticas en las cuales se desarrolló el fruto. Estos compuestos también son responsables de impartir sensaciones astringentes. En cacao, se esperan valores altos en las pruebas que se realizan para medir la concentración y la acción de estos compuestos en la salud de los consumidores. Para determinar la eficiencia en la acción de este antioxidante se realiza la prueba ORAC y se esperan resultados mayores a 60.000 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ y para medir la cantidad de polifenoles se realiza la prueba de Folin, en la que se esperan resultados mayores a los 10.000 GAE (mg /100 g). Además, se pueden medir los antioxidantes más importantes como son, la catequina y las epicatequinas (Carrillo et al. 2014; Mayorga-Gross et al. 2016).

Flavonoides



Catequina



Epicatequina



Cafeína

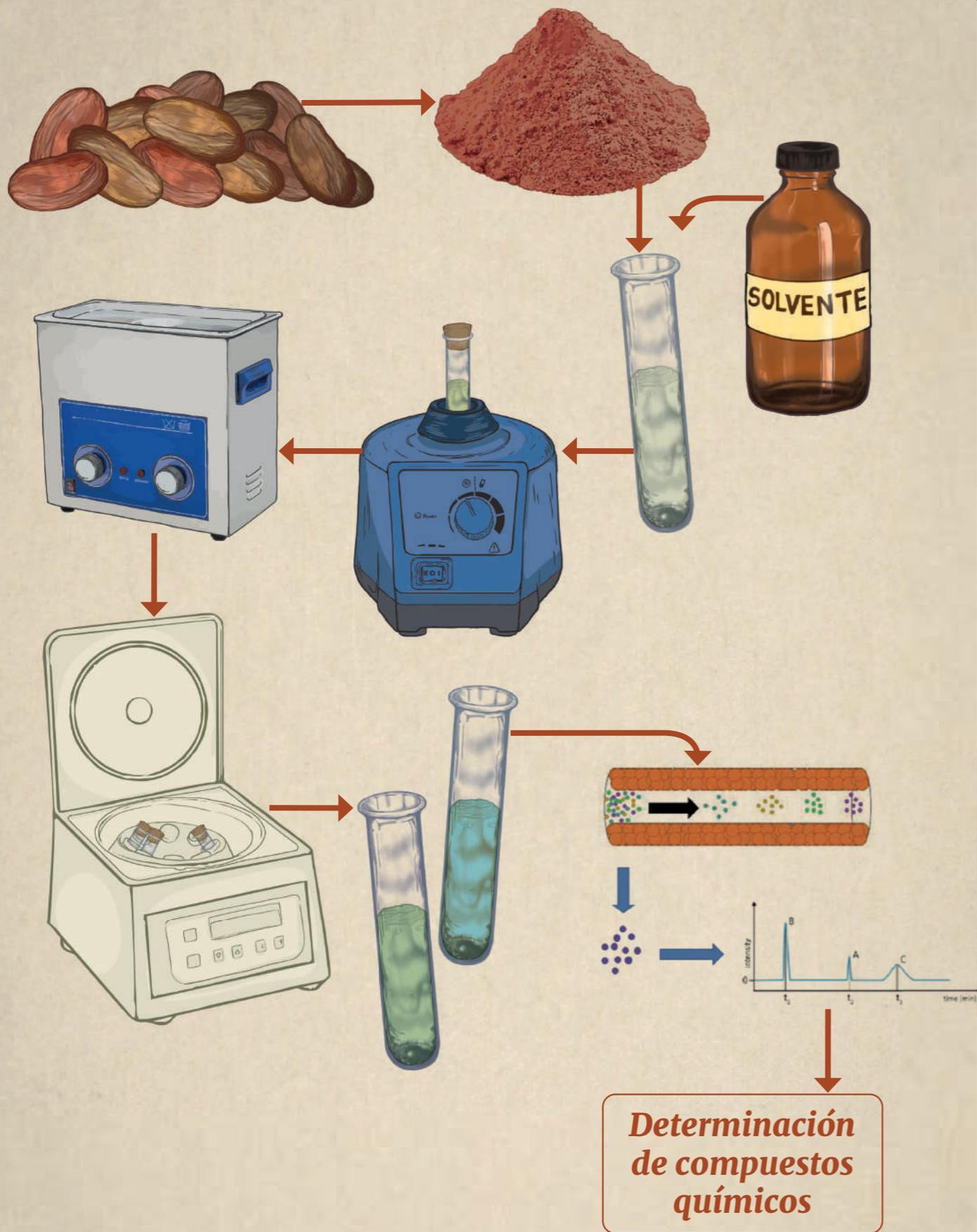


Teobromina

Los alcaloides principales en el cacao son la teobromina y la cafeína, los cuales son estimulantes del sistema nervioso central. El sabor amargo es causado por la sinergia de las reacciones entre estos alcaloides los cuales imparten sabores amargos al chocolate, se espera encontrar entre 12 y 35 mg Teobromina/g cacao en base seca, sin grasa y entre 1 y 8 mg cafeína /g cacao en base seca, sin grasa. Finalmente, aunque la relación cafeína/teobromina se ha asociado a la variedad del grano, en las investigaciones de los últimos años se han determinado mas variedades de cacao (Criollo, forastero y trinitario) (Carrillo et al. 2014; Gil et al. 2019; Kongor et al. 2016)



El contenido de antocianinas y el índice de color en granos crudos ayudan a determinar si son variedad Forasteros o Trinitarios, ya que los cacaos Criollos tienen un gen inhibidor de las antocianinas. Además, su degradación en la fermentación es indicador de calidad. Tradicionalmente, los cacaos criollos tienen tonalidades que van del amarillo pálido al naranja intenso y los cacaos forasteros presentan colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo (Kongor et al. 2016).



Referencias

El suelo, base del desarrollo del cultivo Análisis Microbiológicos

Hannula, S. E., Ma, H. K., Pérez-Jaramillo, J. E., Pineda, A., & Bezemer, T. M. (2020). Structure and ecological function of the soil microbiome affecting plant-soil feedbacks in the presence of a soil-borne pathogen. *Environmental microbiology*, 22(2), 660-676.

-Inbaraj, M. P. (2021). Plant-Microbe Interactions in Alleviating Abiotic Stress—A Mini Review. *Frontiers in Agronomy*, 28(3), 1-11.

-Jaraba, C. A. B., Buritica, L. A. J., Vega, G. F. N., Urrego, P. J. E., Bautista, M. J. F., Puerta, R. J. A., Yepes, H. J. E., Herrán, R. L. A., López, G. M., Ardila, D. N., Hincapié E. O. D., Hernández P. P. E., Martínez, G. S., Gallo, C. Y. A. 2021. Modelo productivo para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) Nutrición y fertilización. Compañía Nacional de Chocolates

-Mohamed, H.I., Sofy, M. R., Almoneafy, A. A., Abdelhamid, M. T., Basit, A., Ahmed R. Sofy, A. R., Lone, R., Abou-El-Enain, M.M. (2021) Role of Microorganisms in Managing Soil Fertility and Plant Nutrition in Sustainable Agriculture. In: Mohamed H.I., El-Beltagi H.ED.S., Abd-Elsalam K.A. (eds) Plant Growth-Promoting Microbes for Sustainable Biotic and Abiotic Stress Management. Springer, Cham.

-Valliere, J. M., Wong, W.S., Nevill, P. G., Zhong, H., & Dixon, K. W. (2020). Preparing for the worst: Utilizing stress-tolerant soil microbial communities to aid ecological restoration in the Anthropocene. *Ecological Solutions and Evidence*, 1(2), 1-12.

-Winowiecki, L. 2007. Nutrición del cacao y sus necesidades de abonamiento y fertilización. Universidad de Idaho.

La planta, su biología, genética y la producción de frutos

Fang W., Meinhardt L.W., Mischke S., Bellato C.M., Motilal L., Zhang D. (2013). Accurate Determination of Genetic Identity for a Single Cacao Bean, Using Molecular Markers with a Nanofluidic System, Ensures Cocoa Authentication. *J Agric Food Chem*. [Epub ahead of print].

FEDECACAO. (2016). Guía Técnica para el Cultivo del Cacao. 28 - 195.

FEDECACAO, UIS. (2013). Características de Calidad del Cacao de Colombia, Catalogo de 26 Cultivares. 19-20.

Illic K., D. Zhang, X. Wang, R.C. Jones, L. Meinhardt, J. Wang. (2012). Cacao Germplasm Characterization with 48-SNP Genotyping Panel using Fluidigm® SNPtype™ Assays and Dynamic Array™ Integrated Fluidic Circuits. [Poster], P0196. PAG January 14-18. San Diego, California.

Liu K., Muse S.V. (2005). PowerMarker: an integrated analysis environment for genetic marker analysis. *Bioinformatics*. 21(9): 2128-2129.

Lodish, H., Berk A., Kaiser, C., Krieger, M, Bretscher, A., et al., (2005). *Biología celular y molecular* (5a. Ed.). Buenos aires: Panamericana. Capítulo 10, pág 405 - 415.

Motamayor J. C., Lachenaud P., da Silva e Mota J. W., Loor R., Kuhn D. N., Brown J. S., Schnell R. J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L.). *PLoS ONE* 3(10): e3311.

Quintero C., Zapata Y., Silva E. (2015). Guía Práctica para genotipado de SNPs usando el sistema EP1 y SNP type Assays de Fluidigm versión F_03. Manual interno del Laboratorio de Genética Molecular y Cultivo de Tejidos MGTCL del CIAT.

Romero-estévez, D., Yáñez-jácome, G. S., Simbaña-farinango, K., & Navarrete, H. (2019). Content and the relationship between cadmium, nickel, and lead concentrations in Ecuadorian cocoa beans from nine provinces. *Food Control*, 106(May), 106750. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106750>

Soledad, H., Albarracín, R., Enrique, A., Contreras, D., & Henao, M. C. (2019). Geoderma Regional Spatial regression modeling of soils with high cadmium content in a cocoa producing area of Central Colombia. *Geoderma Regional*, 15, e00214. <http://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00214>

Sereno M.L., Albuquerque P.S.B., Vencovsky R.; Figueira A. (2006). Genetic diversity and natural population structure of cacao (*Theobroma cacao* L.) from the Brazilian Amazon evaluated by microsatellite markers. *Conservation Genetics* 7: 13-24.

Watson, J. D., Baker, T. A., Bell, S. P., Gann, A., Levine, M., & Losick, R. M. (2004). *Molecular biology of the gene*. 5ª ed. Pág. 5-13.

El fitopatógeno: *Moniliophthora roreri* y el control biológico

- Alarcón, J.J., Arevalo, E., Díaz, A.L., Galindo, J.R., Rosero, A.A. (2012). Manejo fitosanitario del cultivo de cacao. <https://www.ica.gov.co/getattachment/c01fa43b-cf48-497a-aa7f-51e6da3f7e96/>

- Bailey, B.A., Evans, H.C., Phillips-Mora, W., Ali, S.S., & Meinhardt, L.W. (2018). *Moniliophthora roreri*, causal agent of cacao frosty pod rot. *Molecular Plant Pathology*, 19(7): 1580-1594.

-Cubillos, G. (2017). Frosty Pod Rot, disease that affects the cocoa (*Theobroma cacao*) crops in Colombia. *Crop Protection*, 96: 77-82.

-Mendoza, S. M. M., Martínez A. O. L., Ardila, C. M. P., & Lizarazo-Medina, P.X. (2022). Bioprospecting of indigenous yeasts involved in cocoa fermentation using sensory and chemical strategies for selecting a starter inoculum. *Food Microbiology*, 101: 1-9.

-Mendoza, S. M. M., & Lizarazo-Medina, P.X. (2021). Assessment of the fungal community associated with cocoa bean fermentation from two regions in Colombia. *Food Research International*, 149: 1-8.

- Torres-Palacios C., Ramirez-Lepe M. (2016). Expression of Hydrolytic Enzymes During Interaction of *Moniliophthora roreri*, Causal Agent of Frosty Pod Rot and *Theobroma cacao* Pods. *Plant Pathology Journal*, 15 (2): 49-56.

Los frutos, la calidad sensorial

Brunetto, M.; C. Y. Delgado, L. Gutiérrez, R. S. Clavijo, Y. Contreras, M. Allignani, A. Zambrano, A. Gómez And G. Ramos. (2009). Headspace gas chromatography-massspectrometry determination of alkylpyrazines in cocoa liquor samples. *Food Chemistry*, 112 (1): 253-257.

E.O. Afoakwa, J. K.-b. (2015). Changes in biochemical and physico-chemical qualities during drying of pulp preconditioned and fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *Journal of Nutritional Health & Food Science*, 1-8.

Fadel, H. M.; M. A. Abdel Mageed, A. M. Abdel Samad And S. N. Lotfy. (2006). Cocoa substitute: evaluation of sensory qualities and flavor stability. *European Food Research and Technology*, 223 (1): 125-131.

ICONTEC. (2012). Norma Técnica Colombiana NTC 3501. Análisis Sensorial. Vocabulario.

ICONTEC. (2014). GTC 165: Análisis sensorial. Metodología. Guía general.

ICONTEC. (2017). GTC 280. Análisis Sensorial. Directrices para la selección, entrenamiento seguimiento de evaluadores sensoriales seleccionado y experto.

Kongor, J. E., Hinneh, M., Van de Walle, D., Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile – A review. *Food Research International*, 44-52.

Misnawi, J. And B. T. S. Ariza. (2011). Use of gas chromatography-olfactometry in combination with solid phase micro extraction for cocoa liquor aroma analysis. *International Food Research Journal* 18: 829-835.

Portillo, E.; L. Graziani de Fariñas y E. Cros. (2006). Efecto de algunos factores post-cosecha sobre la calidad sensorial del cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao* L.). En: *Revista Facultad de Agronomía*, 23: 49-57.

Quiroz, J. (1 de Enero de 2012). Influencia de la agronomía y cosecha sobre la calidad del cacao. INIAP, Gobierno Nacional de la República de Ecuador, Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. Ecuador: Boletín Técnico No. 147. Recuperado el 3 de octubre de 2019, de <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2049/1/iniaplsbt147i.pdf>

Ramos G., González N., Zambrano A., Gómez Á. (2013). Olores y sabores de cacaos (*Theobroma cacao* L.) venezolanos obtenidos usando un panel de catación entrenado. *Revista Científica UDO Agrícola* 114 13 (1): 114-127.

Rodríguez, J. (2011). Estudio de los compuestos volátiles de *Theobroma cacao* L., durante el proceso de tradicional de fermentación, secado y tostado. Tesis doctoral. México D. F.: Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas.
Voight, J., Biehl, B., Heinrichs, H., Kamaruddin, S., Marsoner, G., & Hugl, A. (1994). Un-vitro formation of cocoa-specific aroma precursors: Aroma-related peptides generated from cocoa-seed protein by cooperation of an aspartic endoprotease and acarboxypeptidase. *Food Chemistry*, 173-180.

Zapata, B. S., Tamayo, T. A., y Rojano, A. (2013) Efecto de la fermentación sobre la actividad antioxidante de diferentes clones de cacao colombiano. En: *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, p. 391-404

Los frutos, la calidad química

Araujo, Q. R., Fernandes, C. A. F., Ribeiro, D. O., Efrain, P., Steinmacher, D., Lieberei, R., ... Araujo, T. G. (2014). Cocoa Quality Index e A proposal. *Food Control*, 46, 49-54. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.003>

Carrillo, L. C., Londoño-Londoño, J., & Gil, A. (2014). Comparison of polyphenol, methylxanthines and antioxidant activity in *Theobroma cacao* beans from different cocoa-growing areas in Colombia. *Food Research International*, 60, 273-280. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.019>

Dorota, Ž., Oracz, J., Antolak, H., Kr, D., & Kaczmarska, M. (2018). The effect on bioactive components and characteristics of chocolate by functionalization with raw cocoa beans, 113(July), 234-244. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.017>

Gil, M. A., Llano, S. M., Jaramillo, Y., Quijano, J., & Londono, J. (n.d.). Matrix effects on sugars and mannitol developed during postharvest of cocoa: an alternative for traceability of aroma precursors by liquid chromatography with an evaporative detector. *Journal of Food Science and Technology*

Henao, A. maria, Vasquez, de la H., Ospina Osorio, T. M., Atehortúa, L., & Trujillo, U. (2018). *Scientia Horticulturae* Evaluation of the potential of regeneration of different Colombian and commercial genotypes of cocoa (*Theobroma cacao* L.) via somatic embryogenesis. *Scientia Horticulturae*, 229(October 2017), 148-156. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.040>

Kongor, J., Hinneh, M., Walle, D. Van De, Ohene, E., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile – A review. *Food Research International*, 82, 44-52. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>

Mayorga-gross, A. L., Quirós-guerrero, L. M., Fourny, G., & Vaillant, F. (2016). An untargeted metabolomic assessment of cocoa beans during fermentation. *FRIN*, 89, 901-909. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.017>

Motamayor, J. C., Lachenaud, P., da Silva E Mota, J. W., Loor, R., Kuhn, D. N., Brown, J. S., & Schnell, R. J. (2008). Geographic and genetic population differentiation of the Amazonian chocolate tree (*Theobroma cacao* L.). *PloS One*, 3(10), e3311.

Agradecimientos

Los investigadores agradecemos a los cultivadores de cacao, a sus familias por entregar su vida al cuidado de arboles y frutos para ser transformados en productos que nos dan notas de sabor, aroma y alegría a todos los consumidores. Agradecemos a los cultivadores de las subregiones antioqueñas de Bajo Cauca, Magdalena Medio, y Urabá por su conocimiento y experiencia y por los frutos sanos y enfermos que ofrecieron para el desarrollo de los experimentos que nos permitieron entender científicamente como se desarrolla en nuestra región el cultivo de cacao, conocer y saborear frutos de árboles no explorados para determinar aboles promisorios por características no solamente de tolerancia a enfermedades y alta productividad sino también por sus caracteres moleculares, químicos y sensoriales. Gracias porque con su ayuda aprendimos sobre la genética y fitopatología de *Moniliophthora roreri*, creando un Colección Biológica de aislados antioqueños y se estableció una estrategia potencial para el uso de microorganismos para el biocontrol de este fitopatógeno.

Esperamos que nuestros resultados regresen a ustedes en forma de mejor calidad de vida, óptimos materiales vegetales y buen precio del grano seco para que en la cadena de cacao su trabajo sea valorizado en la justa medida como la valiosa contribución que hacen para el desarrollo de un sector económico de nuestro país.

Agradecemos a todos los técnicos en campo, a los estudiantes, e investigadores que con su trabajo y amor contribuyeron para el desarrollo de esta investigación. Agradecemos al ente financiador, el Sistema General de Regalías, a la Gobernación de Antioquia, y los aliados en el desarrollo de la investigación la Corporación Universitaria Lasallista, la Federación Nacional de Cacaoteros (FEDECACAO) y la Universidad de Antioquia, por la labor administrativa que permitió invertir y ejecutar a satisfacción estos recursos públicos.

Poner tu corazón, mente y alma en todos tus actos garantiza ofrecer calidad y amor en tu quehacer diario





Gracias cultivadores de cacao

Convenio especial cooperación N° 4600003348
celebrado entre el Departamento de Antioquia – Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural,
Universidad de Antioquia, Corporación Universitaria Lasallista y Fedecacao

Unilasallista★
Corporación Universitaria
Vigilado Mineducación

**FEDERACION
NACIONAL DE
CACAOTEROS**

SGR
Sistema General de Regalías

**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**
1826

GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA

UNIDOS

Proyecto Sistema
General de Regalías

Conformación de la colección elite de cacaos especiales
para el Departamento de Antioquia