

Estrategias tecnológicas para el manejo del cultivo y el beneficio del cacao



Estrategias tecnológicas para el manejo del cultivo y el beneficio del cacao

AGROSAVIA:

Ivonne Ximena Cerón Salazar
María Cristina García Muñoz
Eleonora Rodríguez P.
Alfonso Cubillos Varela
Eliseo Polanco Díaz
Martha del Pilar López Hernández
Jorge Mario Moreno
Edinson Bayardo Parra A.

Fedecacao:

Freddy Quiñones Méndez

RESULTADO PROYECTO:



Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA, Centro de Investigación Nataima, Km 9 vía Espinal, Chicoral, Tolima

Federación Nacional de Cacaoteros, Fedecacao, Calle 31 n.º 17-27, Bogotá, Colombia

Universidad del Tolima, Barrio Santa Helena, Calle 42 1-02, Ibagué, Tolima, Colombia

Gobernación del Tolima, Carrera 3A entre calles 10A y 11, Ibagué, Tolima, Colombia

Esta obra fue financiada por la Gobernación del Tolima y la Universidad del Tolima mediante recursos del SGR del convenio número 042-2019, "Desarrollo de estrategias de manejo para potencializar la cadena de cacao en la zona productora de los municipios de Mariquita y Palocabildo (Tolima)", enmarcado en el convenio marco 2077-2017 "Desarrollo de ventajas competitivas mediante actividades I+D+i en, ocho cadenas del sector agropecuario en el departamento del Tolima".

Autores

Ivonne Ximena Cerón Salazar
María Cristina García Muñoz
Leonora Rodríguez Polanco
Alfonso Cubillos Varela
Eliseo Polanco Díaz
Martha del Pilar López Hernández
Jorge Mario Moreno
Edinson Bayardo Parra
Freddy Quiñones Méndez

Editora

Ivonne Ximena Cerón Salazar

AGROSAVIA

Jorge Mario Díaz Luengas
Director ejecutivo
Lorenzo Peláez Suárez
Director C.I. Nataima
Ariel Hurtado Rodríguez
Director administrativo y financiero
Sandra Tatiana Rivero Espitia
Directora de Planeación y Cooperación Institucional
Yecenia Zambrano Urrego
Líder de Seguimiento y Evaluación C.I. Nataima

Fedecacao

Eduardo Ramírez Rincón
Director
Annie Soraya María Zamora
Directora de Investigaciones

Gobernación del Tolima

Ricardo Orozco Valero
Gobernador
Beatriz Valencia Gómez
Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Producción Alimentaria del Tolima
Juan Pablo García Poveda
Secretario de Planeación y TIC
Simón Harrison Bustos Torres
Juan Manuel Rojas Rojas
Supervisores del convenio

Universidad del Tolima

Omar A. Mejía Patiño
Rector
Jonh Jairo Méndez Arteaga
Director Oficina de Investigaciones
Angélica Piedad Sandoval Aldana, I.Q. Ph.D.
Coordinadora general del proyecto marco
Profesor asistente
Facultad de Ingeniería Agronómica

Primera edición: 300 ejemplares, Bogotá, Colombia, julio de 2020
ISBN: 978-958-740-357-2

Coordinación editorial

Astrid Verónica Bermúdez Díaz

Corrección de estilo

Alejandro Ladino

Diseño y diagramación

Juanita Giraldo Polanco

Impresión

DGP Editores

Citación sugerida: Cerón, I. X., García, M. C., Rodríguez, E., Cubillos, A., Polanco, E., López, M., Moreno, J., Parra, E., Quiñones, F. (2020). Estrategias tecnológicas para el manejo del cultivo y el beneficio del cacao. AGROSAVIA, Fedecacao.

Cláusula de responsabilidad

AGROSAVIA y Fedecacao no son responsables de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la

Estrategias tecnológicas para el manejo del cultivo y el beneficio del cacao / Ivonne Ximena Cerón Salazar [y otros ocho] -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2020.

176 páginas (Colección Transformación del Agro)

Incluye referencias bibliográficas, tablas, fotos

ISBN obra impresa: 978-958-740-357-2

1. *Theobroma cacao* 2. Genotipos 3. Anatomía de la planta 4. Plagas de plantas 5. Control de enfermedades de plantas 6. Cosecha.

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al

cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

www.agrosavia.co/

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Gobernación del Tolima y a la Universidad del Tolima por su financiación mediante recursos del SGR derivados del convenio número 042-2019, "Desarrollo de estrategias de manejo para potencializar la cadena de cacao en la zona productora de los municipios de Mariquita y Palocabildo (Tolima)" enmarcado en el convenio marco 2077-2017 "Desarrollo de ventajas competitivas mediante actividades I+D+i en ocho cadenas del sector agropecuario en el departamento del Tolima".

Esta obra no habría sido posible sin el valioso apoyo de los productores Víctor Orlando Linares Ruiz, representante legal de la Asociación Agroecológica de Productores de Cacao, Musáceas y otros – AGROCAMUS, de Palocabildo, Tolima – y a Darío Beltrán Ulloa, representante legal de la Asociación de Productores Agropecuarios de la vereda Camelias – ASOCAMELIAS, de Mariquita, Tolima.

Licencia creative commons



Tabla de contenido

Prólogo	11
Introducción	13

Capítulo 1.	
Caracterización morfológica de genotipos de cacao establecidos en las zonas productoras de los municipios de Mariquita y Palocabildo (Tolima)	17
Introducción	18
Consideraciones generales	19
Clon ICS 95	21
Clon TSH 565	24
Clon EET 8	28
Clon CCN 51	31
Clon ICS 60	35
Clon Gualy regional	38
Clon ICS 1	42
Clon SCC 61	45
Clon IMC 67	49
Híbridos	53
Recomendaciones	57
Referencias	58

Capítulo 2.	
Reconocimiento de síntomas y validación de estrategias para el manejo de la pudrición parda del fruto en cacao	61
Introducción	62
La pudrición parda de la mazorca	63
Distribución e importancia	63
Etiología	64
Desarrollo de síntomas y producción de signos del patógeno	64
Condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad	71
Prácticas de manejo de la enfermedad	72
Prácticas culturales	72
Prácticas químicas	73

Prácticas biológicas	74
Prácticas de empleo de material resistente	74
Validación de estrategias para el manejo integrado de la pudrición parda del fruto	75
Selección de fungicidas	75
Validación de la aplicación conjunta de la remoción de frutos enfermos y fungicidas	81
Referencias	87

Capítulo 3.

Poscosecha del cacao 93

Introducción	94
Factores que afectan la calidad del cacao	94
Cultivo	95
Plagas y enfermedades	96
Cosecha	97
Puntos de acopio	99
Beneficio	99
Componentes fisicoquímicos y organolépticos del grano de cacao	102
Fermentación del cacao	104
Fundamentos de la fermentación	105
Características básicas de la materia prima o granos de cacao	105
Equipos de proceso de fermentación	113
Desarrollo de la fermentación	122
Protocolo para la fermentación del cacao	128
Secado del cacao	139
Fundamentos	139
Factores que afectan el proceso de secado de cacao	140
Tipos de secado	142
Procesos de secado de cacao	144
Comparación de tipos de secadores solares	151
Recomendaciones para llevar a cabo un buen proceso de secado	155
Referencias	163

Autores 173

Listado de figuras

Figura 1. Arquitectura de árboles de ICS 95	21
Figura 2. Forma de las hojas del ICS 95	22
Figura 3. Flores y cojines florales tomadas en campo del ICS 95	23
Figura 4. a. Flor tomada con un estereoscopio; b. Estaminoide floral tomado con un estereoscopio	23
Figura 5. Frutos ICS 95 inmaduros y maduros tomados en campo	23
Figura 6. Corte transversal del fruto de ICS 95	24
Figura 7. Forma de la almendra del ICS 95	24
Figura 8. Corte longitudinal de la almendra del ICS 95	24
Figura 9. Corte transversal de la almendra del ICS 95	24
Figura 10. Arquitectura de árboles de TSH 565	25
Figura 11. Característica de hojas del TSH 565	26
Figura 12. Flores y cojines florales tomadas en campo del TSH 565	26
Figura 13. a. Flor tomada con un estereoscopio. b. Pedúnculo floral tomado con un estereoscopio	26
Figura 14. Frutos inmaduros y maduros tomados en campo del TSH 565	27
Figura 15. Corte transversal del fruto de cacao del TSH 565	27
Figura 16. Forma de la almendra del TSH 565	27
Figura 17. Corte longitudinal de la almendra del TSH 565	27
Figura 18. Corte transversal de la almendra del TSH 565	27
Figura 19. Arquitectura de árboles de EET 8	28
Figura 20. Forma de las hojas del EET 8	29
Figura 21. Flores y cojines florales tomadas en campo EET 8	29
Figura 22. a. Flor tomada con un estereoscopio; b. Ovario de la flor tomada con un estereoscopio; c. Estaminoide vista con un estereoscopio	29
Figura 23. a. Pedúnculo floral tomada con un estereoscopio; b. Óvulos vistos con un estereoscopio	29
Figura 24. Frutos inmaduros y maduros tomados en campo y laboratorio del EET 8	30
Figura 25. Corte transversal del fruto del EET 8	30
Figura 26. Forma de las almendras del EET 8	31
Figura 27. Corte longitudinal de las almendras del EET 8	31
Figura 28. Corte transversal de las almendras del EET 8	31
Figura 29. Arquitectura de árboles de CCN 51	31
Figura 30. Forma de las hojas del CCN 51	32
Figura 31. Flores y cojines florales tomadas en campo CCN 51	33
Figura 32. a. Flor vista con un estereoscopio; b. Ovario de la flor vista con un estereoscopio; c. Pedúnculo visto con un estereoscopio	33

Figura 33. a. Estaminoide vista con un estereoscopio; b. Óvulos vistos con un estereoscopio	33
Figura 34. Frutos inmaduros y maduros tomados en campo CCN 51	34
Figura 35. Corte transversal del fruto del CCN 51	34
Figura 36. Forma de la almendra del CCN 51	34
Figura 37. Corte longitudinal de la almendra del CCN 51	34
Figura 38. Corte transversal de la almendra del CCN 51	34
Figura 39. Arquitectura de árboles de ICS 60	35
Figura 40. Forma de las hojas del ICS 60	36
Figura 41. Flores y cojines florales tomadas en campo ICS 60	36
Figura 42. a. Flor vista a través de estereoscopio; b. Ovario de la flor vista a través de estereoscopio	36
Figura 43. a. Pedúnculo visto a través de estereoscopio; b. Estaminoide visto a través de estereoscopio	36
Figura 44. Frutos inmaduros y maduros de ICS 60	37
Figura 45. Corte transversal de la mazorca de cacao del ICS 60	37
Figura 46. Forma de la almendra del ICS 60	38
Figura 47. Corte longitudinal de la almendra del ICS 60	38
Figura 48. Corte transversal de la almendra del ICS 60	38
Figura 49. Arquitectura de los árboles de Gualy regional	38
Figura 50. Forma de las hojas de Gualy regional	39
Figura 51. Flores y cojines florales tomadas en campo Gualy	40
Figura 52. a. Flor vista con un estereoscopio; b. Ovario visto con un estereoscopio; c. Estaminoide vista con un estereoscopio	40
Figura 53. a. Óvulos vistos con un estereoscopio; b. Pedúnculo visto con un estereoscopio	40
Figura 54. Frutos inmaduros y maduros tomados en campo genotipo Gualy	41
Figura 55. Corte transversal del fruto de Gualy regional	41
Figura 56. Forma de la almendra del Gualy regional	41
Figura 57. Corte longitudinal de la almendra del Gualy regional	41
Figura 58. Corte transversal de la almendra de Gualy regional	41
Figura 59. Arquitectura del árbol de ICS 1	42
Figura 60. Forma de las hojas del ICS 1	43
Figura 61. Flores y cojines florales tomadas en campo ICS 1	43
Figura 62. a. Flor tomada con un estereoscopio; b. Ovario tomado con un estereoscopio	44
Figura 63. a. Pedúnculo floral tomado con un estereoscopio; b. Estaminoide tomado con un estereoscopio	44
Figura 64. Frutos inmaduros y maduros tomados en campo ICS 1	44
Figura 65. Corte transversal del fruto del ICS 1	45
Figura 66. Forma de la almendra del ICS 1	45
Figura 67. Corte longitudinal de las almendras del ICS 1	45
Figura 68. Corte transversal de las almendras del ICS 1	45
Figura 69. Arquitectura del árbol de SCC 61	46
Figura 70. Forma de las hojas del SCC 61	47
Figura 71. Flores y cojines florales tomadas en campo SCC 61	47

Figura 72. a. Flor tomada con un estereoscopio; b. Estaminodio tomado con un estereoscopio	47
Figura 73. a. Ovario tomado con un estereoscopio; b. Pedúnculo floral tomado con un estereoscopio	47
Figura 74. Frutos inmaduros y maduros tomados en campo y laboratorio SCC 61	48
Figura 75. Corte transversal del fruto de SCC 61	48
Figura 76. Forma de la almendra del SCC 61	49
Figura 77. Corte longitudinal de la almendra de SCC 61	49
Figura 78. Corte transversal de la almendra del SCC 61	49
Figura 79. Arquitectura del árbol de IMC 67	49
Figura 80. Forma de la hoja del IMC 67	51
Figura 81. Flores y cojines florales tomadas en campo IMC 67	51
Figura 82. a. Flor tomada con un estereoscopio; b. Ovario tomado con un estereoscopio	51
Figura 83. a. Estaminoide tomado con un estereoscopio; b. Pedúnculo floral tomado con un estereoscopio	51
Figura 84. Frutos inmaduros y maduros tomados en campo IMC 67	52
Figura 85. Corte transversal del fruto de IMC 67	52
Figura 86. Forma de la almendra del IMC 67	53
Figura 87. Corte longitudinal de la almendra del IMC 67	53
Figura 88. Corte transversal de la almendra del IMC 67	53
Figura 89. Arquitectura de árboles híbridos en la región	54
Figura 90. Diversidad de flores de híbridos en la región	55
Figura 91. Diversidad de frutos de híbridos en la región	56
Figura 92. Corte transversal del fruto de híbridos	56
Figura 93. Forma de las almendras de híbridos en la región	57
Figura 94. Estructuras de reproducción asexual de <i>P. palmivora</i> y primeros síntomas de la enfermedad en el fruto. a. Esporangios; b. Liberación de zoosporas producidas dentro de los esporangios; c. Síntomas iniciales: pequeñas manchas necróticas en la superficie del fruto	65
Figura 95. Desarrollo de síntomas en los extremos del fruto. a. Lesión necrótica; b. Crecimiento de la lesión necrótica; c. Esporulación: producción de micelio blanco y escaso donde se forman los esporangios (signos) o estructuras reproductivas de <i>P. palmivora</i>	66
Figura 96. Necrosis con formato de círculo, con borde liso y bien definido. a. Lesión necrótica; b. Crecimiento de la lesión necrótica; c. Esporulación: producción de micelio blanco y escaso donde se forman los esporangios (signos) o estructuras reproductivas de <i>P. palmivora</i>	67
Figura 97. Desarrollo de la necrosis o mancha parda en el fruto. La lesión interna tiene formato idéntico a la lesión externa	68
Figura 98. Crecimiento de la necrosis y cubrimiento total del fruto. a. Necrosis y esporulación total en el fruto; b. Fruto en constante esporulación que permanece en el árbol	68
Figura 99. Síntomas de cáncer en el tronco. a. Lesión cancerosa o necrosis marrón en la corteza; b. Daño interno del tronco	69

Figura 100. Síntomas de cáncer en pedúnculo. a. Lesión cancerosa que compromete el pedúnculo y el fruto; b) Daño interno de la corteza en el punto de unión del pedúnculo al tallo	70
Figura 101. Síntomas de necrosis y muerte de plantas en hojas de plántulas. a. Lesión necrótica o tizón; b. Muerte súbita de la planta	70
Figura 102. Proceso de inoculación y desarrollo de síntomas de <i>P. palmivora</i> en frutos de cacao. a. Selección y embolsado de frutos; b. Aplicación de productos químicos; c. Inoculación de frutos mediante la técnica del disco de papel; d. Síntoma de necrosis	77
Figura 103. Comportamiento de la incidencia de <i>P. palmivora</i> en frutos de cacao. a. Clon CCN 51; b. Clon ICS 95; c. Clon TSH 565	79
Figura 104. Incidencia en los tratamientos MT y MIC de <i>P. palmivora</i> en el clon CCN 51. Tratamientos T1: MT; T2: MIC 7; T3: MIC 14 y T4: MIC 21	83
Figura 105. Mujer realizando limpieza de frutos enfermos en el cultivo	96
Figura 106. Cambios de color durante la madurez del fruto. a. Cambios de color de un fruto verde a amarillo; b. Cambio de color de un fruto morado a naranja	97
Figura 107. Herramientas utilizadas en la cosecha y mantenimiento del cultivo de cacao	98
Figura 108. Métodos de secado de granos de cacao. a. Secado en casa elba; b. Secado en marquesina	102
Figura 109. Variedad en los tipos de cacao, grado de madurez y características	106
Figura 110. Granos de cacao con el mismo tiempo de fermentación, pero diferente grado de fermentación	107
Figura 111. Almacenamiento temporal de los frutos de cacao	109
Figura 112. Ecurrido del cacao en sacos a su máxima capacidad	110
Figura 113. Elementos utilizados en la fermentación de cacao	112
Figura 114. Herramientas y fermentador con residuos o elementos extraños	112
Figura 115. Fermentadores de a. Madera; b. Acero inoxidable; c. Plástico	115
Figura 116. Tipos de fermentadores. a. Tambor; b. Canoa; c. Cajón rectangular	117
Figura 117. Disposición del fermentador: a. En línea; b. En escalera	117
Figura 118. Aislamiento térmico del cajón fermentador. Cubiertas de fibra natural, plástico, para reducir pérdidas de calor al ambiente	118
Figura 119. Sistema de drenaje de lixiviados. a. Orificios en el fondo del fermentador; b. Recolección de lixiviado; c. Lixiviados	119
Figura 120. Ubicación del fermentador. a. Espacios abiertos; b. Cuartos o espacios semiaislados; c. Cuartos cerrados	120
Figura 121. Dinámica de los diferentes grupos de microorganismos presentes en la fermentación y perfil de la temperatura del sistema	124
Figura 122. Evolucion del cacao durante la fermentación. a. Masa de cacao; b. granos de cacao	126
Figura 123. Selección de a. frutos y b. granos de cacao para retirar aquellos que no presenten condiciones de sanidad básicas	129
Figura 124. Protocolo para la preparación y fermentación del cacao	129
Figura 125. Cacao en dos estados de madurez. a. Pintón y b. Maduro	130
Figura 126. Apertura de frutos. a. Apertura del fruto con mazo; b. Apertura del fruto con machete; c. Fruto abierto.	130

Figura 127. Extracción de los granos de cacao. a. Con guantes; b. Con manos limpias; c. Recipiente de recolección de granos	131
Figura 128. Selección de granos. Se retiran los que presentan algún tipo de daño	131
Figura 129. Pesado del cacao en baba	132
Figura 130. Cargue y tapado del fermentador. a. Cargue; b. Llenado parcial; c. Llenado total y tapado	133
Figura 131. Recolección de lixiviados mediante drenado fuera del cuarto de almacenamiento	133
Figura 132. Monitoreo de a. La temperatura de la masa de cacao; b. Los azúcares; c. La acidez; d. El pH; e. La temperatura y humedad relativa en el cuarto de almacenamiento.	134
Figura 133. Homogenización del cacao. a. Volteo; b. Remoción.	136
Figura 134. Prueba de corte. a. Herramientas; b. Muestra de 5 granos	138
Figura 135. Granos con buen grado de fermentación	139
Figura 136. Esquema del mecanismo de secado de cacao	141
Figura 137. Clasificación de secadores solares. a. Secado natural; b. Secado indirecto; c. Secado directo; d. Secado mixto	143
Figura 138. Secado sobre el cemento	146
Figura 139. Secado en mesones levantados con superficie de madera	147
Figura 140. Secado sobre casa elba	148
Figura 141. Secador tipo marquesina	150
Figura 142. Humedad en base húmeda del grano de cacao para cuatro tipos de secadores solares	151
Figura 143. Comparación de temperaturas del aire en el interior de cuatro tipos de secadores solares y temperatura ambiental durante el proceso de secado	153
Figura 144. Comparación de humedades del aire en el interior de cuatro tipos de secadores solares y humedad relativa del ambiente durante el proceso de secado	154
Figura 145. Materiales para manejo del cacao fermentado	155
Figura 146. Báscula para pesaje de cacao	156
Figura 147. Rastrillo para remoción de cacao	156
Figura 148. Marquesina solar	157
Figura 149. Acumuladores de energía	158
Figura 150. Marquesina solar híbrida	159

Listado de tablas

Tabla 1. Genotipos caracterizados en el norte del Tolima en porcentaje (%)	20
Tabla 2. Productos químicos evaluados para el control de <i>Phytophthora palmivora</i> en bioensayos en frutos, clones ICS 95, TSH 565 y CCN 51	76
Tabla 3. Promedio del área de la lesión en frutos de tres clones de cacao inoculados con <i>P. palmivora</i> y con aplicación de fungicidas preventivos, curativos y silicato de potasio	80
Tabla 4. Promedio del área de la lesión en frutos de cacao de tres de sus clones con aplicación de fungicidas preventivos, curativos y silicato de potasio, e inoculados artificialmente con <i>P. palmivora</i>	80
Tabla 5. Frecuencia y dosis de aplicación de los productos químicos en los tratamientos de MT y MIC para el control de <i>P. palmivora</i> en el clon CCN 51	82
Tabla 6. Producción estimada en kilogramos de cacao seco/Ha, en los tratamientos MT y MIC de <i>P. palmivora</i> en el clon CCN 51. Tratamientos T1: MT; T2: MIC 7; T3: MIC 14 y T4: MIC 21	84
Tabla 7. Gastos de implementación del MIC-7, clon CCN 51. Fincas El reposo y El fresnito, Palocabildo (Tolima)	85
Tabla 8. Gastos de implementación del MIC-14, clon CCN 51. Fincas El reposo y El fresnito, Palocabildo (Tolima)	85
Tabla 9. Gastos de implementación del MIC-21, clon CCN 51. Fincas El reposo y El fresnito, Palocabildo (Tolima)	86
Tabla 10. Ganancias/pérdidas en los tratamientos MT y MIC para el control de <i>P. palmivora</i> en el clon CCN 51, fincas El reposo y El fresnito, Palocabildo (Tolima). Tratamientos T1: MT; T2: MIC 7; T3: MIC 14, y T4: MIC 21	86
Tabla 11. Composición química de almendras de cacao	103

Prólogo

Investigación, creatividad y acción para la productividad y la competitividad del departamento del Tolima

Las políticas públicas que prevalecen en el tiempo deben ser la razón de los gobiernos. La construcción institucional y social deben ser orientadas a potenciar las enormes ventajas del departamento para volverlas competitivas. La Gobernación del Tolima ha realizado una gran apuesta sobre ocho cadenas productivas, las cuales son presentadas en esta serie de documentos que, sin duda, representan un gran salto en materia de productividad y competitividad en el mercado nacional e internacional.

Este hecho, junto con el ambicioso plan del gobierno “El Tolima nos une”, de construir el Centro de Investigación Tecnológica, quedaremos a la vanguardia en el país y seremos el departamento con mayores apuestas en CTel (Ciencia, Tecnología e Innovación), lo que permitirá mejorar la competitividad y la calidad de vida de los ciudadanos.

En este documento encontraremos el esfuerzo económico y de recurso humano que ha realizado la Gobernación del Tolima con sus grandes aliados, la academia, los productores y muchos otros actores que han dado lo mejor de sí en este gran proceso de construcción social, creativa y armónica para la competitividad.

José Ricardo Orozco Valero

Gobernador del departamento del Tolima

Introducción

En los últimos años, la producción del grano de cacao en Colombia ha tenido un incremento progresivo. Pasó de 81.302 toneladas en el 2014 a 101.019 toneladas en el 2018 (MADR, 2018). De este total nacional, el departamento del Tolima aporta el 6 %. Por otro lado, el incremento del precio internacional promedio del cacao pasó de 2.307 US\$/tonelada en el 2012 a 3.345 US\$/tonelada en el 2015 (ICCO, 2015), lo que generó altas expectativas respecto al impacto en el pequeño y mediano productor. El crecimiento y la importancia a nivel nacional e internacional del cacao y sus derivados ha generado una demanda de tecnología, tanto para incrementar la productividad del cultivo como para cualificar el producto final. La cadena de cacao en el departamento del Tolima no es ajena a estos requerimientos y los cacaocultores han identificado la necesidad de incorporar tecnología que permita a los productores cerrar la brecha productiva mediante una investigación enfocada en incrementar la oferta de material genético, disminuir la cantidad de enfermedades y garantizar la calidad homogénea del producto con un manejo adecuado de los procesos de beneficio (fermentación y secado).

La calidad final del grano de cacao depende en un 50 % del genotipo del que se originó (Afoakwa, 2016), por lo que es importante conocer los materiales genéticos establecidos en las zonas productoras. La especie *Theobroma cacao* L. tiene una gran diversidad morfológica en flores, frutos y semillas (Motamayor et al., 2002); en particular, la morfología y la composición química de la semilla

afectan de manera directa el proceso de beneficio. En esta medida, tener información sobre los materiales cultivados permite conocer el origen del grano, del cual dependen las características organolépticas finales del chocolate y, en esta medida, su sabor especial, propio de cada zona productora.

Otro aspecto relevante en la producción del cultivo son las pérdidas debidas a la pudrición parda (*Phytophthora palmivora*) de la fruta, las cuales pueden llegar a ser cercanas al 20 % en el país, en condiciones ambientales predisponentes (Ramírez, 2016). Dada la importancia de la enfermedad, se hace necesaria la implementación de esquemas de manejo que integren prácticas culturales y químicas enfocadas en incrementar la sostenibilidad económica y ambiental del cultivo.

El beneficio del cacao es especialmente importante para poder generar un alto valor económico en el grano, pues permite cualificar características como el aroma, el sabor y el color del producto final. La fermentación de los granos del cacao es un proceso que se genera de manera espontánea y en el cual, con la ayuda de diferentes microorganismos, ocurren una serie de cambios bioquímicos en sus compuestos, los cuales permiten el desarrollo de su aroma y sabor (Camu et al., 2007). Por su parte, el secado es un paso fundamental para garantizar una buena calidad sensorial, química y microbiológica, dado que la reducción de humedad permite aumentar la vida útil del producto y terminan de conformarse los compuestos del aroma y sabor del cacao. El desarrollo y la implementación de buenas prácticas para la fermentación y el secado del cacao, de acuerdo con sus materiales genéticos y las condiciones ambientales propias de la región, genera una homogeneidad en la calidad final de producto, la cual se ve representada, a su vez, en un mayor retorno económico para los agricultores.

Este documento fue concebido mediante una alianza realizada por AGROSAVIA y Fedecacao, dentro del marco del proyecto “Desarrollo de estrategias de manejo para potencializar la cadena de cacao en la zona productora de

los municipios de Mariquita y Palocabildo, Tolima”, y enmarcado en el convenio marco 2077-2017, “Desarrollo de ventajas competitivas mediante actividades I+D+I en ocho cadenas del sector agropecuario en el departamento del Tolima”, con el apoyo y financiación de la Gobernación del Tolima y la Universidad del Tolima. Constituye un producto científico en el que se recopila información técnica y académica que relaciona las estrategias para la promoción y el apoyo del crecimiento rural del sector cacaotero del norte del departamento del Tolima. Estas estrategias están enfocadas principalmente en el conocimiento del material genético de la región, el manejo integrado de las enfermedades, en particular, la *Phytophthora*, y protocolos de beneficio que promueven la homogeneidad en la calidad final del producto. Debido a que el productor tiene una participación activa en todas las etapas de cultivo y beneficio del cacao, las recomendaciones realizadas en este documento van dirigidas principalmente a ellos.





Capítulo 1.

Caracterización morfológica de genotipos de cacao establecidos en las zonas productoras de los municipios de Mariquita y Palocabildo (Tolima)

Autores:

Eliseo Polanco Díaz (Agrosavia)

Jorge Mario Moreno (Agrosavia)

Freddy Quiñonez (Fedecacao)

Colaboradores:

Uberley Sánchez Quintero (Fedecacao)

Jhon Jairo Garzón (Fedecacao)

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie que se originó en los bosques húmedos tropicales de América del Sur. Cuenta con una diversidad genética muy amplia y con una capacidad de adaptación a diferentes condiciones agroecológicas. Su diversidad genética se deriva de su condición sexual, ya que la planta es alógama, lo que indica que su polinización es cruzada y centrada en la polinización entomófila. Esta variedad es favorecida por un díptero de la familia Ceratopogonidae, entre los cuales se encuentran especies del género *Forcipomyia*. Debido a esta condición, la semilla de cacao tiene una base genética altamente heterocigótica (variada) y sus genes se combinan libremente, por lo que resultan plantas con características impredecibles y diferentes. Por esta condición, se recomienda el establecimiento de clones de cacao que permitan conservar todas las características de la planta madre y generar poblaciones de plantas homogéneas. La clonación garantiza un buen material para la siembra y la renovación de cultivos, siempre y cuando se clonen árboles de alto rendimiento adaptado a las condiciones agroecológicas de la región. Otro aspecto que se debe tener en cuenta es la compatibilidad sexual de muchos genotipos de cacao, debido a su autocompatibilidad, autoincompatibilidad e intercompatibilidad sexual. Esta diversidad genética es muy importante para realizar trabajos de investigación que permiten realizar recombinaciones genéticas para obtener nuevos genotipos de cacao con atributos frente a factores abióticos, bióticos limitantes y a productividad.

La producción nacional de cacao ha estado concentrada históricamente en el renglón de la economía campesina, y representa una forma de sustento para las familias. Sin embargo, la diversidad genética del cacao en algunas zonas no es favorable, ya que muchos de los cultivares son poco productivos, están expuestos a problemas sanitarios y hay condiciones de incompatibilidad

sexual, por lo que generan alta mano de obra y el retorno de ingresos es muy bajo. Debido a esta realidad, es importante que los productores de cacao tengan un conocimiento adecuado sobre los genotipos que tienen en las fincas, sobre aquellos que deben renovar o a los cuales deben cambiar la copa por medio del método de injerto lateral malayo, además de conocer el manejo agronómico de cada uno de estos. Dichos elementos le permitirán al cultivador cacaotero incrementar la producción en kilogramos por hectárea anual y, de esta forma, incrementar sus ingresos.

Consideraciones generales

África es el mayor productor de cacao a nivel mundial. Costa de marfil, Ghana, Nigeria y Camerún son los países más representativos, con una producción de alrededor de 2.750 toneladas al año (FAO, 2018). En América Latina y el Caribe, la importancia del cultivo de cacao se ve reflejada en el incremento presentado desde el 2006, el cual ha sido de 1,8 millones de hectáreas destinadas para este sistema productivo. Se cultiva desde México hasta Brasil. Colombia participa con el 9 % del total del área (FAO 2018) y se encuentra posicionado a nivel mundial dentro de los 10 primeros países productores de cacao (FAO, 2016). La producción nacional está clasificada como cacao de fino sabor y aroma. En América latina se produce aproximadamente el 80 % del total de la producción con esta característica especial.

Teniendo en cuenta la importancia del cultivo de cacao a nivel nacional, es importante fortalecer este sistema productivo en las diferentes regiones del país, con un conocimiento claro de los genotipos establecidos, la ecofisiología del cultivo, el nivel productivo, la adaptación a las condiciones propias de la región, así como la tolerancia o susceptibilidad a problemas fitosanitarios. Todos estos elementos proveen la información necesaria para que los productores puedan

tomar las mejores decisiones y al final incrementen la producción en kilos de almendra seca por hectárea cada año, mejoren sus condiciones de vida, generen más ingresos y hagan posible una menor deserción del campo.

Con base en este argumento se desarrolló este trabajo, a través del cual es posible consolidar una base de información real para la toma de decisiones por parte de los productores, respecto a qué genotipos deben mantener en sus cultivos para ser productivos y cuáles deben cambiar para que su producción sea homogénea en todas las plantas establecidas, lo que determina a su vez un incremento de sus ingresos por área cultivada.

Después de realizar la evaluación y el análisis de los resultados obtenidos en las 10 fincas seleccionadas —y los 100 árboles marcados para su caracterización en los municipios de Palocabildo, asociación Agrocamus, y en Mariquita, asociación Asocamelias, del norte de Tolima—, teniendo en cuenta descriptores de árbol, hojas, flores, frutos, almendras (Restrepo, et al. 2018), se identificaron los genotipos descritos en la tabla 1. En las dos asociaciones, se agruparon los genotipos en 9 clones de cacao, que corresponden al 76 % de los genotipos establecidos, y un porcentaje significativo de híbridos, que corresponden al 24 % del total de la muestra.

Tabla 1. | Genotipos caracterizados en el norte del Tolima en porcentaje (%)

Genotipo	Palocabildo	Mariquita	Consolidado asociaciones
Híbridos	28 %	20 %	24 %
ICS 95	13 %	12 %	12,50 %
TSH 565	11 %	12 %	11,50 %
EET 8	11 %	10 %	10,50 %
CCN 51	15 %	6 %	10,50 %
ICS 60	6 %	12 %	9 %

Continuación Tabla 1

Genotipo	Palocabildo	Mariquita	Consolidado asociaciones
Gualy Regional	6 %	10 %	8 %
ICS 1	4 %	10 %	7 %
SCC 61	2 %	6 %	4 %
IMC 67	4 %	2 %	3 %
Total	100 %	100 %	100 %

Fuente: Elaboración propia

Clon ICS 95	
País de origen:	Trinidad
Institución que lo seleccionó:	Imperial College (ICS: Imperial College Selection)
Grupo genético/Genealogía:	Híbrido desconocido de trinitario por criollo
Arquitectura del árbol:	Árbol robusto de arquitectura plagiotrópica. Presenta ramas abiertas con gran follaje. Su estructura cierra rápidamente los espacios entre las diferentes líneas o calles entre las hileras de cacao o entre los árboles.

Árbol



Figura 1. |
Arquitectura de árboles de ICS 95
Fotos: Autores

Este genotipo requiere de poda de formación en su primer año de crecimiento y desarrollo, y al menos una poda de mantenimiento al año para darle manejo a su condición plagiotrópica.

Compatibilidad sexual: autocompatible.

Esta condición sexual indica que es posible establecer en campo este genotipo solo, sin asociarlo con otros que le puedan proveer polen, ya que este mismo se puede autopolinizar. A pesar de esta condición, se recomienda establecerlo con máximo dos genotipos que cuenten con esta condición sexual o que sean intercompatibles, tales como TSH 565 y EET 8.

Este genotipo se puede establecer desde 0 hasta 1200 msnm (metros sobre el nivel del mar).

Presenta tolerancia a escoba de bruja (*Crinipellis perniciosa*); es susceptible a *Phytophthora* (*Phytophthora palmivora*), a *Ceratosystis* y a *Roselinia*; y presenta tolerancia mínima a *Monilia* (*Moniliophthora roreri*).

Numero promedio de mazorcas/árbol/año:	60
Número de semillas promedio/mazorca:	33
Índice de grano (g). Peso promedio de un grano seco:	1,40
Indice promedio de mazorca (número de mazorcas para obtener un kilo de cacao seco):	18
Productividad promedio/árbol/año (Kg) (árboles en promedio de 4 años de establecidos):	3,20

Hojas

Forma de la hoja:	Ovalada
Pecíolo de las hojas:	Con pulvinus
Forma base de la hoja:	Aguda
Ápice de la hoja:	Acuminado corto
Longitud promedio de hojas (cm):	30,58
Longitud promedio del pecíolo (cm):	2,42
Ancho promedio de la hoja (cm):	11,29
Longitud promedio desde la base hasta el punto más ancho (cm):	15,71



Figura 2. |

Forma de las hojas del ICS 95

Fotos: Autores

Flores

Promedio de cojines florales/rama:	66,90
Promedio de flores/cojín floral:	10,20
Color de la flor:	rosadas
Color del pedúnculo floral:	rojizo
Promedio número de óvulos en el ovario:	38,74

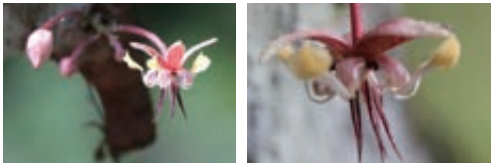


Figura 3. |
Flores y cojines florales tomadas en campo del ICS 95
Fotos: Autores

Estructura floral	Longitud promedio (mm)
Ovario	1,65
Estilo	2,49
Pedúnculo	21,08
Estaminodio	7,56

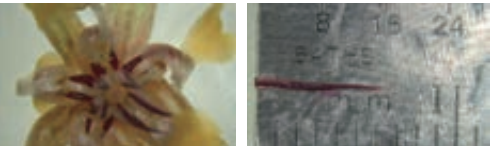


Figura 4. |
a. Flor tomada con un estereoscopio;
b. Estaminoide floral tomado con un estereoscopio
Fotos: Autores

Nivel de antocianina en la estructura floral

- Presenta antocianina en la parte superior del ovario: pigmentaciones rojizas.
- Presenta antocianina en el limbo del pétalo: se evidencian tonalidades rojas.
- Presenta antocianina en sépalos con intensa tonalidad rojiza.
- Presenta antocianina en botón floral con intensa pigmentación.
- Presenta antocianina en estaminoides con intensa pigmentación rojiza.
- Ligera presencia de antocianinas en filamentos del estambre y pigmentación rojiza. Sin embargo, no es abundante y predominan las coloraciones cremas o beige.

Frutos

Color del fruto inmaduro:	Rojo intenso
Color del fruto maduro:	Rojo naranja
Forma del ápice:	Agudo
Forma de constricción basal:	Ausente
Peso promedio de fruto (g):	786,21
Longitud promedio (cm):	20,77
Ancho promedio (cm):	9,24
Relación largo/ancho:	2,19
Número promedio de almendras/fruto:	33,03



Figura 5. |
Frutos ICS 95 inmaduros y maduros tomados en campo
Fotos: Autores

Grosor de cáscara del fruto del genotipo ICS 95



Rugosidad del fruto:	Intermedia
Separación - pares de lomos:	Intermedia
Espesor promedio del caballete del fruto (cm):	1,62
Profundidad promedio del surco (cm):	0,22

Figura 6. |

Corte transversal del fruto de ICS 95

Fotos: Autores

Almendras



Figura 7. |

Forma de la almendra del ICS 95

Fotos: Autores



Figura 8. |

Corte longitudinal de la almendra del ICS 95

Fotos: Autores

Color del cotiledón:	Violeta
Forma de la semilla:	Cilíndrica
Forma corte transversal de la semilla:	Intermedia
Longitud promedio (cm):	2,48
Diámetro promedio (cm):	1,32
Grosor promedio (cm):	0,94
Peso fresco promedio de la semilla:	2,01



Figura 9. |

Corte transversal de la almendra del ICS 95

Fotos: Autores

Clon TSH 565

País de origen:	Trinidad
Institución que lo seleccionó:	Trinidad Selection Hybrida
Grupo genético/Genealogía:	SCA 6 x IMC 67
Arquitectura del árbol:	Arquitectura erecta. En campo presenta buena formación. Este clon requiere de una poda de formación y de mantenimiento anual.

Árbol

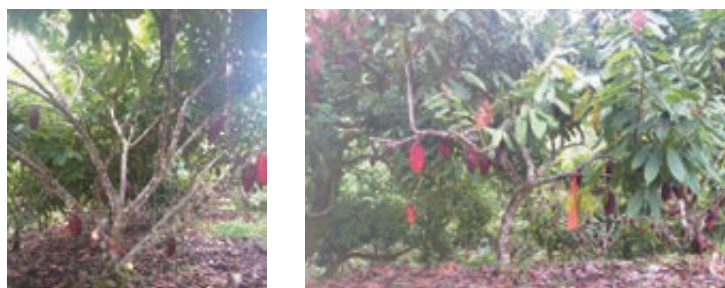


Figura 10. |
Arquitectura de árboles de TSH 565
Fotos: Autores

Este genotipo requiere de poda de formación en su primer año de crecimiento y desarrollo, y al menos una poda de mantenimiento al año para darle formación al árbol.

Compatibilidad sexual: autoincompatible. Su condición de autoincompatibilidad quiere decir que es poco posible su autopolinización. Esto indica que este clon de cacao no se debe establecer en campo solo, sino que requiere de otros genotipos que cumplan la función de padres que le den polen para incrementar su producción. Los genotipos con los que se puede asociar en el campo son el ICS 1, EET 8, CCN 51, IMC 67, FLE 2, FSV 41, FEAR 5.

Se recomienda que este genotipo se establezca entre los 500 hasta los 1.200 msnm (metros sobre el nivel del mar).

Presenta tolerancia a escoba de bruja (*Crinipellis perniciosa*) y a *Ceratosystis*. Es susceptible a *Phytophthora* (*Phytophthora palmivora*), a Roselinia y Monilia (*Moniliophthora roreri*).

Número promedio de mazorcas/árbol/año:	55
Número de almendras promedio/mazorca:	34
Índice de grano (g). Peso promedio de un grano seco:	1,10
Índice promedio de mazorca (número de mazorcas para obtener un kilo de cacao seco):	24
Productividad promedio/árbol/año (kg) (árboles en promedio de 4 años de establecido:	2,50

Hojas

Forma de la hoja:	Oblonga
Pecíolo de las hojas:	Con pulvinus
Forma base de la hoja:	Aguda
Ápice de la hoja:	Acuminado largo
Longitud promedio de las hojas (cm):	30,78
Longitud promedio del pecíolo (cm):	2,40
Ancho promedio de la hoja (cm):	9,21
Longitud promedio desde la base hasta el punto más ancho (cm):	17,02



Figura 11. |
Característica de hojas del TSH 565
Fotos: Autores

Flores

Promedio de cojines florales/rama:	63,27
Promedio de flores/cojín floral:	9,98
Color de la flor:	Crema
Color del pedúnculo floral:	Verde con pigmentación rojiza
Promedio número de óvulos en el ovario:	41,12

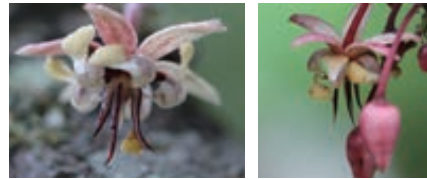


Figura 12. |
Flores y cojines florales tomadas en campo del TSH 565
Fotos: Autores

Estructura floral	Longitud promedio (mm)
Ovario	1,89
Estilo	2,51
Pedúnculo	19,09
Estaminodio	8,36

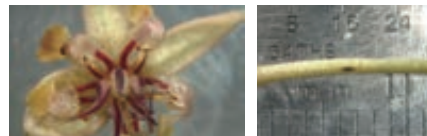


Figura 13. |
a. Flor tomada con un estereoscopio.
b. Pedúnculo floral tomado con un estereoscopio
Fotos: Autores

Nivel de antocianina en la estructura floral

- Presenta antocianina en la parte superior del ovario. Tiene pigmentaciones rojizas.
- Ausencia de antocianina en el limbo del pétalo.
- Muy ligera presencia de antocianina en sépalos. A pesar de su pigmentación rojiza, el color beige o crema es predominante.
- Ligera presencia de antocianina en el botón floral.
- Intensa presencia de antocianina en estaminodios. Pigmentación rojiza en todo el estaminodio.

- Ligera presencia de antocianinas en filamentos del estambre. Su pigmentación rojiza no es abundante y predominan las coloraciones cremas o beige.

Frutos

Color del fruto inmaduro:	Rojo intenso
Color del fruto maduro:	Rojo naranja – rojo intermedio
Forma del ápice:	Apezonado
Forma constricción basal:	Cuello intermedio
Peso promedio de fruto (g):	877,82
Longitud promedio (cm):	23,53
Ancho promedio (cm):	9,39
Relación largo/ancho:	2,35
Número promedio de almendras/fruto:	33,65
Peso promedio semillas/fruto (g):	161,90



Figura 14. |
Frutos inmaduros y maduros tomados en campo del TSH 565
Fotos: Autores

Medición de grosor de cáscara del fruto

Rugosidad del fruto:	Intermedia
Separación - pares de lomos:	Intermedia
Espesor promedio del caballete del fruto (cm):	1,74
Profundidad promedio del surco (cm):	0,59



Figura 15. |
Corte transversal del fruto de cacao del TSH 565
Fotos: Autores

Almendras

Color del cotiledón:	Violeta intermedio
Forma de la semilla:	Oblonga
Forma del corte transversal de la semilla:	Intermedia
Longitud promedio (cm):	2,55
Diámetro promedio (cm):	1,24
Grosor promedio (cm):	0,94
Peso fresco promedio de la semilla:	2,10



Figura 16. |
Forma de la almendra del TSH 565
Fotos: Autores



Figura 17. |
Corte longitudinal de la almendra del TSH 565
Fotos: Autores



Figura 18. |
Corte transversal de la almendra del TSH 565
Fotos: Autores

Clon EET 8

País de origen:	Ecuatoriano
Institución que lo seleccionó:	Estación Experimental Tropical 8
Grupo genético/Genealogía:	Nacional x desconocido
Arquitectura del árbol:	Es un árbol vigoroso y con buena arquitectura. Requiere manejo de podas desde su formación y mantenimiento para favorecer el manejo de la planta.

Árbol



Figura 19. |

Arquitectura de árboles de EET 8

Fotos: Autores

Este genotipo requiere de poda de formación en su primer año de crecimiento y desarrollo, y al menos una poda de mantenimiento al año para darle formación al árbol.

Compatibilidad sexual: autocompatible. Esta condición sexual indica que es posible establecer en campo este genotipo solo, sin necesidad de acompañarlo con otro. A pesar de esta condición, se recomienda establecerlo con máximo dos genotipos más, que cuenten con esta condición sexual o que sean intercompatibles, tales como ICS 1, TSH 565, CCN 51, IMC 67, FLE 3, FEC 2, FSV 41, FEAR 5.

Se recomienda establecerlo entre 800 hasta 1.200 msnm (metros sobre el nivel del mar).

Presenta susceptibilidad a Monilia (*Moniliophthora roreri*).

Numero promedio de mazorcas/árbol/año:	40
Número de almendras promedio/mazorca:	31
Índice de grano (g). Peso promedio de un grano seco:	1,20
Índice promedio de mazorca (número de mazorcas para obtener un kilo de cacao seco):	21
Productividad promedio/árbol/año (Kg) (árboles en promedio de 4 años de establecido):	2,60

Hoja

Forma de la hoja:	Ovalada
Pecíolo de las hojas:	Con pulvinus
Forma base de la hoja:	Aguda
Ápice de la hoja:	Acuminado largo
Longitud promedio de las hojas (cm):	33,04
Longitud promedio del pecíolo (cm):	2,38
Ancho promedio de la hoja (cm):	11,50
Longitud promedio desde la base hasta el punto más ancho (cm):	17,39



Figura 20. |
 Forma de las hojas del EET 8
 Fotos: Autores

Flores

Promedio de cojines florales/rama:	44,30
Promedio de flores/cojín floral:	8,96
Color de la flor:	Crema
Color del pedúnculo floral:	Verde rojizo
Número de óvulos en el ovario:	39

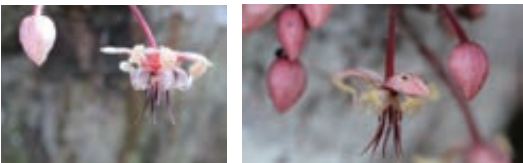


Figura 21. |
 Flores y cojines florales tomadas en campo EET 8
 Fotos: Autores



Figura 22. |
 a. Flor tomada con un estereoscopio; b. Ovario de la flor tomada con un estereoscopio; c. Estaminoide vista con un estereoscopio
 Fotos: Autores

Estructura floral	Longitud promedio (mm)
Ovario	1,85
Estilo	2,37
Pedúnculo	19,44
Estaminodio	7,39



Figura 23. |
 a. Pedúnculo floral tomada con un estereoscopio; b. Óvulos vistos con un estereoscopio
 Fotos: Autores

Nivel de antocianina en la estructura floral

- Presenta antocianina en la parte superior del ovario.
- Presenta antocianina en el limbo del pétalo.
- Presencia intermedia de antocianina en sépalos.
- Ausencia de antocianina en botón floral.
- Intensa presencia de antocianina en estaminodios.
- Ausencia de antocianinas en filamentos del estambre.

Frutos

Color del fruto inmaduro:	Violeta Intermedio
Color del fruto maduro:	Rojo naranja
Forma del ápice:	Apezonado
Forma constricción basal:	Ausente
Peso promedio del fruto (g):	825
Longitud promedio (cm):	21
Ancho promedio (cm):	9,80
Relación largo/ancho:	2,20
Número promedio de almendras/fruto:	31



Figura 24. |

Frutos inmaduros y maduros tomados en campo y laboratorio del EET 8

Fotos: Autores

Medición de grosor de cáscara del fruto

Rugosidad del fruto:	Ligera
Separación - pares de lomos:	Ligera
Espesor promedio del caballete del fruto (cm):	1,32
Profundidad promedio del surco (cm):	0,29



Figura 25. |

Corte transversal del fruto del EET 8

Fotos: Autores

Almendras



Figura 26. |
Forma de las almendras del EET 8
Fotos: Autores



Figura 27. |
Corte longitudinal de las almendras del EET 8
Fotos: Autores

Color cotiledón:	Violeta intermedio
Forma de la semilla:	Oblonga
Forma corte transversal de la semilla:	Aplanada intermedia
Longitud promedio (cm):	2,70
Diámetro promedio (cm):	1,50
Grosor promedio (cm):	0,99
Peso fresco promedio de la semilla por fruto:	85,30



Figura 28. |
Corte transversal de las almendras del EET 8
Fotos: Autores

Clon CCN 51

País de origen:	Ecuador.
Persona que lo seleccionó:	Homero Castro - Colección Castro; naranjal 51.
Grupo genético/Genealogía:	ICS 95 (Trinitario)xIMC67 (Forastero) = F1 xcanelos (Forastero desconocido)= CCN 51
Arquitectura del árbol:	Es un árbol vigoroso de porte bajo y arquitectura ortotrópica. Requiere manejo de podas desde formación y mantenimiento para favorecer el manejo de la planta.

Árbol



Figura 29. |
Arquitectura de árboles de CCN 51
Fotos: Autores

Este genotipo requiere de poda de formación en su primer año de crecimiento y desarrollo, y al menos una poda de mantenimiento al año para darle formación al árbol.

Compatibilidad sexual: autocompatible. Esta condición sexual indica que es posible establecer en el campo este genotipo solo, sin necesidad de acompañarlo con otro. A pesar de esta condición, se recomienda establecerlo con máximo dos genotipos más, que cuenten con esta condición sexual (autocompatible) o que sean intercompatibles. Los genotipos con los que se puede asociar en campo pueden ser TSH 565, IMC 67, FLE 2, FLE 3, FSV 41, FSA 13.

Se recomienda establecerlo entre 0 hasta 1200 msnm (metros sobre el nivel del mar).

Presenta tolerancia a escoba de bruja (*Crinipellis perniciosa*). Es susceptible a pudrición parda y moderadamente susceptible a Monilia.

Número promedio de mazorcas/árbol/año:	45
Número de las almendras promedio/mazorca:	39
Índice de grano (g). Peso promedio de un grano seco:	1,40
Índice promedio de mazorca (número de mazorcas para obtener un kilo de cacao seco):	16
Productividad promedio/árbol/año (Kg) (árboles en promedio de 4 años de establecido:	2,70

Hojas

Forma de la hoja:	Ovalada
Pecíolo de las hojas:	Con pulvinus
Forma base de la hoja:	Aguda
Ápice de la hoja:	Acuminado corto
Longitud promedio de las hojas (cm):	31,45
Longitud promedio del pecíolo (cm):	2,37
Ancho promedio de la hoja (cm):	11,19
Longitud promedio desde la base hasta el punto más ancho (cm):	16,65



Figura 30. |
Forma de las hojas del CCN 51
Fotos: Autores

Flores

Promedio de cojines florales/rama:	41,80
Promedio de flores/ cojín floral:	7,40
Color de la flor:	Rosadas
Color del pedúnculo floral:	Rojizo
Promedio del número de óvulos en el ovario:	41,28

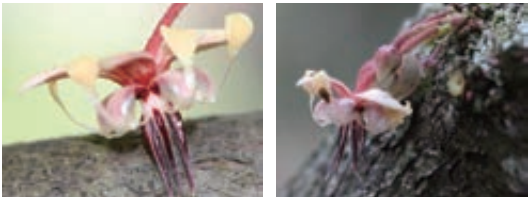


Figura 31. |
Flores y cojines florales tomadas en campo
CCN 51
Fotos: Autores

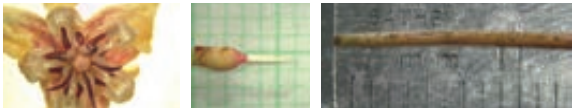


Figura 32. |
a. Flor vista con un estereoscopio; b. Ovario de la
flor vista con un estereoscopio; c. Pedúnculo visto
con un estereoscopio
Fotos: Autores

Estructura floral	Longitud promedio (mm)
Ovario	1,60
Estilo	2,62
Pedúnculo	21,10
Estaminodio	7,42



Figura 33. |
a. Estaminoide vista con un estereoscopio; b.
Óvulos vistos con un estereoscopio
Fotos: Autores

Nivel de antocianina en la estructura floral

- Presencia de antocianina en la parte superior del ovario con pigmentaciones rojizas.
- Presencia de antocianina en el limbo del pétalo y tonalidades rojas.
- Presencia intermedia de antocianina en sépalos en proporciones iguales a las tonalidades beige o crema.
- Ausencia de antocianina en botón floral.
- Presencia intensa de antocianina en estaminodios - pigmentación rojiza en todo el estaminodio.
- Ausencia de antocianinas en filamentos del estambre. Presentan coloraciones cremas o beige.

Frutos

Color del fruto inmaduro:	Rojo intenso
Color del fruto maduro:	Rojo naranja
Forma del ápice:	Atenuado
Forma constricción basal:	Cuello intermedio
Peso promedio del fruto (g):	791,88
Longitud promedio (cm):	22,30
Ancho promedio (cm):	9,60
Relación largo/ancho:	2,26
Número promedio de almendras/fruto:	39,05
Peso promedio de las semillas/fruto (g):	159,60



Figura 34. |
Frutos inmaduros y maduros
tomados en campo CCN 51
Fotos: Autores

Grosor de la cascara del fruto

Rugosidad del fruto:	Fuerte
Separación - pares de lomos:	Amplia equidistante
Espesor promedio del caballete del fruto (cm):	1,58
Profundidad promedio del surco (cm):	0,47



Figura 35. |
Corte transversal del fruto del CCN 51
Fotos: Autores

Almendras



Figura 36. |
Forma de la almendra del CCN 51
Fotos: Autores

Color cotiledón:	Morado
Forma de la semilla:	Oblonga
Forma del corte transversal de la semilla:	Intermedia
Longitud promedio (cm):	2,46
Diámetro promedio (cm):	1,31
Grosor promedio (cm):	0,88
Peso fresco promedio de la semilla:	1,93



Figura 37. |
Corte longitudinal de la almendra del CCN 51
Fotos: Autores



Figura 38. |
Corte transversal de la almendra del CCN 51
Fotos: Autores

Clon ICS 60

País de origen:	Trinidad y Tobago
Institución que lo seleccionó:	Imperial Collage Selection
Grupo genético/Genealogía:	Híbrido de Trinitario x Criollo
Arquitectura del árbol:	Es un árbol vigoroso, de buen porte y arquitectura ortotrópica. Requiere manejo de podas desde su formación y mantenimiento para favorecer el manejo de la planta.

Árbol

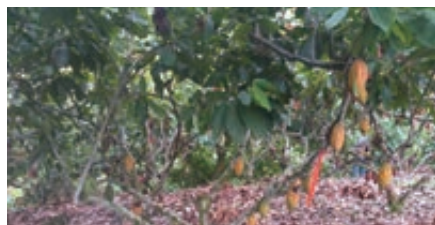


Figura 39. |

Arquitectura de árboles de ICS 60

Fotos: Autores

Este genotipo requiere de poda de formación en su primer año de crecimiento y desarrollo, y al menos una poda de mantenimiento al año para darle manejo a la planta, además del deschuponado.

Compatibilidad sexual: autoincompatible. Su condición de autoincompatible quiere decir que es poco posible su autopolinización. Esto indica que no se debe establecer en campo solo este clon de cacao, sino que requiere de otros genotipos que cumplan la función de padres que le den polen para incrementar su producción. Los genotipos con los que se puede asociar en campo son el ICS 1, ICS 95, TSH 565, CCN 51, IMC 67, FLE 3, FSV 41.

Este genotipo se puede establecer desde 500 hasta 1200 msnm (metros sobre el nivel del mar).

Presenta susceptibilidad a Escoba de Bruja (*Crinipellis perniciosa*). Es susceptible a *Phytophthora* (*Phytophthora palmivora*), *Ceratosystis* y *Roselinia*. Presenta tolerancia a *Monilia* (*Moniliophthora roreri*).

Numero promedio de mazorcas/árbol/año:	52
Número de almendras promedio/mazorca:	28
Índice de grano (g). Peso promedio de un grano seco:	1,30
Indice promedio de la mazorca (número de mazorcas para obtener un kilo de cacao seco):	20
Productividad promedio/árbol/año (kg) (Árboles en promedio de 4 años de establecido:	2,60

Hoja

Forma de la hoja:	Ovalada
Pecíolo de las hojas:	Con pulvinus notable
Forma base de la hoja:	Aguda
Ápice de la hoja:	Acuminado largo
Longitud promedio de las hojas (cm):	30,43
Longitud promedio del pecíolo (cm):	1,93
Ancho promedio de la hoja (cm):	11,24
Longitud promedio desde la base hasta el punto más ancho (cm):	15,71



Figura 40. |

Forma de las hojas del ICS 60

Fotos: Autores

Flores

Promedio de cojines florales/rama:	51,40
Promedio de flores/cojín floral:	10,17
Color de la flor:	Crema
Color del pedúnculo floral:	Verde con pigmentación rojiza
Promedio de óvulos en el ovario:	38,68

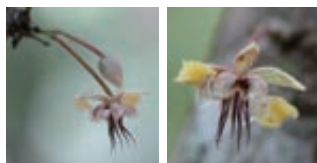


Figura 41. |

Flores y cojines florales tomadas en campo ICS 60

Fotos: Autores

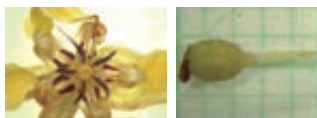


Figura 42. |

a. Flor vista a través de estereoscopio; b. Ovario de la flor vista a través de estereoscopio

Fotos: Autores

Estructura floral	Longitud promedio (mm)
Ovario	1,85
Estilo	2,16
Pedúnculo	19,52
Estaminodio	7,28



Figura 43. |

a. Pedúnculo visto a través de estereoscopio; b. Estaminode visto a través de estereoscopio

Fotos: Autores

Nivel de antocianina en la estructura floral

- Ausencia de antocianina en la parte superior del ovario.
- Presencia de antocianina en el limbo del pétalo.
- Hay presencia muy ligera de antocianina en sépalos; sin embargo, el color beige o crema es predominante.
- Ligera presencia de antocianina en el botón floral.
- Presencia intensa de antocianina en estaminoides.
- Ligera presencia de antocianinas en filamentos del estambre; sin embargo, no es abundante y predominan las coloraciones cremas o beige.

Frutos

Color del fruto inmaduro:	Verde
Color del fruto maduro:	Amarillo intenso
Forma del ápice:	Agudo
Forma constricción basal:	Cuello intermedio
Peso promedio de fruto (g):	936,94
Longitud promedio (cm):	23,55
Ancho promedio (cm):	9,91
Relación largo/ancho:	2,37
Número promedio de almendras/fruto:	28,16
Peso promedio semillas/fruto (g):	162,43



Figura 44. |
Frutos inmaduros y maduros de ICS 60
Fotos: Autores

Grosor de la cascara del fruto

Rugosidad del fruto:	Intermedia
Separación - pares de lomos:	Ligera
Espesor promedio del caballete del fruto (cm):	1,67
Profundidad promedio del surco (cm):	0,34



Figura 45. |
Corte transversal de la mazorca de cacao del ICS 60
Fotos: Autores

Almendras

Color del cotiledón:	Violeta intermedio
Forma de la semilla:	Elíptica
Forma del corte transversal de la semilla:	Intermedia
Longitud promedio (cm):	2,78
Diámetro promedio (cm):	1,63
Grosor promedio (cm):	1,09
Peso fresco promedio de la semilla:	3,20



Figura 46. |
Forma de la almendra del ICS 60
Fotos: Autores



Figura 47. |
Corte longitudinal de la almendra del ICS 60
Fotos: Autores



Figura 48. |
Corte transversal de la almendra del ICS 60
Fotos: Autores

Clon Gualy regional

País de origen:	Colombia
Institución que lo seleccionó:	No se ha estudiado.
Grupo genético/Genealogía:	Desconocido. Los productores lo llaman Gualy regional.
Arquitectura del árbol:	Árbol con arquitectura erecta. Tiene una apariencia ortotrópica. Requiere manejo de podas de formación y mantenimiento para favorecer el manejo de la planta, tanto en lo sanitario como en las cosechas. Este genotipo se considera promisorio para estas condiciones del norte del Tolima. Se deben ampliar los estudios, tanto agronómicos como de poscosecha.

Árbol



Figura 49. |
Arquitectura de los árboles de Gualy regional
Fotos: Autores

Este genotipo requiere de poda de formación en su primer año de crecimiento y desarrollo, y al menos una poda de mantenimiento al año para darle manejo sanitario y de cosecha.

Compatibilidad sexual: Se desconoce. Se deben realizar trabajos de investigación para conocer con mayor profundidad este genotipo.

La altura sobre el nivel del mar donde se puede establecer este genotipo se desconoce. En el norte del Tolima, lugar en el que se encuentra establecido, se comporta muy bien, tanto respecto a la producción como respecto a su respuesta a factores bióticos.

No se cuenta con información referente a la respuesta de este genotipo ante la incidencia de enfermedades limitantes del sistema productivo.

Numero promedio de mazorcas/árbol/año:	Se requieren estudios a profundidad para evaluar producción en el tiempo.
Número de semillas promedio/mazorca:	Se requieren estudios a profundidad para evaluar la producción en el tiempo.
Índice de grano (g) peso promedio de un grano seco:	Se requieren estudios a profundidad para evaluar su producción en el tiempo.
Índice promedio de mazorca (número de mazorcas para obtener un kilo de cacao seco):	Se requieren estudios a profundidad para evaluar su producción en el tiempo.
Productividad promedio/árbol/año (kg) (árboles en promedio de 4 años de establecido):	Se requieren estudios a profundidad para evaluar la producción en el tiempo.

Hoja

Forma de la hoja:	Ovalada
Pecíolo de las hojas:	Sin pulvinus notable
Forma base de la hoja:	Aguda
Ápice de la hoja:	Acuminado largo
Longitud promedio de hojas (cm):	30,0
Longitud promedio del pecíolo (cm):	2,35
Ancho promedio de la hoja (cm):	9,72
Longitud promedio desde la base hasta el punto más ancho (cm):	16,27



Figura 50. |
 Forma de las hojas de Gualy regional
 Fotos: Autores

Flores

Promedio de cojines florales/rama:	47,87
Promedio de flores/ cojín floral:	6,07
Color de la flor:	Crema
Color pedúnculo floral:	Rojizo
Promedio número de óvulos en el ovario:	42,90

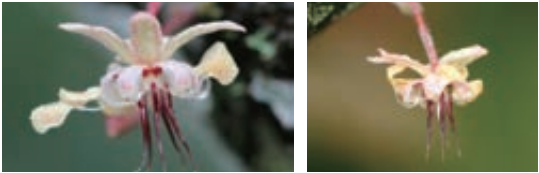


Figura 51. |
Flores y cojines florales tomadas en campo
Gualy
Fotos: Autores



Figura 52. |
a. Flor vista con un estereoscopio; b. Ovario visto
con un estereoscopio; c. Estaminoide vista con un
estereoscopio
Fotos: Autores

Estructura floral	Longitud promedio (mm)
Ovario	2,21
Estilo	2,46
Pedúnculo	23,42
Estaminodio	8,10



Figura 53. |
a. Óvulos vistos con un estereoscopio; b. Pedúnculo
visto con un estereoscopio
Fotos: Autores

Nivel de antocianina en la estructura floral

- Ausencia de antocianina en la parte superior del ovario.
- Presencia de antocianina en el limbo del pétalo. Se evidencian tonalidades rojas.
- Ligera presencia de antocianina en sépalos. A pesar de la presencia de pigmentación rojiza, el color beige o crema es predominante.
- Ligera presencia de antocianina en el botón floral.
- Intensa presencia de antocianina en estaminoides.
- Ausencia de antocianinas en filamentos del estambre.

Frutos

Color del fruto inmaduro:	Verde rojizo
Color del fruto maduro:	Amarillo intermedio
Forma del ápice:	Apezonado
Forma constricción basal:	Cuello intermedio
Peso promedio de fruto (g):	854,27
Longitud promedio (cm):	21,76
Ancho promedio (cm):	9,76
Relación largo/ancho:	2,21
Número promedio de semillas/fruto:	31,12
Peso promedio de las semillas/fruto (g):	142,02



Figura 54. | Frutos inmaduros y maduros tomados en campo genotipo Gualy
Fotos: Autores

Medición de grosor de cáscara del fruto

Rugosidad del fruto:	Intermedia
Separación - pares de lomos:	Ligera
Espesor promedio del caballete del fruto (cm):	1,75
Profundidad promedio del surco (cm):	0,28



Figura 55. | Corte transversal del fruto de Gualy regional
Fotos: Autores

Almendras

Color del cotiledón:	Violeta intermedio
Forma de la semilla:	Oblonga
Forma corte transversal de la semilla:	Intermedia
Longitud promedio (cm):	2,59
Diámetro promedio (cm):	1,35
Grosor promedio (cm):	0,10
Peso fresco promedio de la semilla:	2,39



Figura 56. | Forma de la almendra del Gualy regional
Fotos: Autores



Figura 57. | Corte longitudinal de la almendra del Gualy regional
Fotos: Autores



Figura 58. | Corte transversal de la almendra de Gualy regional
Fotos: Autores

Clon ICS 1

País de origen:	Trinidad y Tobago
Institución que lo seleccionó:	Imperial College Selection
Grupo genético/Genealogía:	Híbrido trinitario
Arquitectura del árbol:	Planta vigorosa con arquitectura erecta. En campo presenta buena formación. Este clon requiere de una poda de formación y de mantenimiento anual para facilitar las tareas de campo.

Árbol



Figura 59. |

Arquitectura del árbol de ICS 1

Fotos: Autores

Este genotipo requiere de poda de formación en su primer año de crecimiento y desarrollo, y al menos una poda de mantenimiento al año para darle manejo a la planta.

Compatibilidad sexual: autocompatible. Esta condición sexual indica que es posible establecer en el campo este genotipo solo, sin necesidad de acompañarlo con otro. A pesar de esta condición, se recomienda establecerlo con máximo dos genotipos más que cuenten con esta condición sexual (autocompatible) o que sean intercompatibles.

Los genotipos con los que se puede asociar en el campo pueden ser: ICS 60, ICS 6, TSH 565, EET 8, CCN 51, IMC 67, FLE 2, FSV 41, FEAR 5.

Este genotipo se puede establecer entre 500 hasta 1.200 msnm (metros sobre el nivel del mar).

Presenta moderada susceptibilidad a Escoba de Bruja (*Crinipellis perniciososa*), a *Ceratosystis* y a *Monilia (Moniliophthora roreri)*, y suceptibilidad a *Phythophthora (Phytophthora palmivora)* y a *Roselinia*.

Numero promedio de mazorcas/árbol/año:	46
Número de almendras promedio/mazorca:	32
Índice de grano (g) peso promedio de un grano seco:	1,30
Indice promedio de mazorca (número de mazorcas para obtener un kilo de cacao seco):	19
Productividad promedio/árbol/año (kg) (Árboles en promedio de 4 años de establecido:	2,50

Hoja

Forma de la hoja:	Ovalada
Pecíolo de las hojas:	Con pulvinus notable
Forma base de la hoja:	Aguda
Ápice de la hoja:	Acuminado corto
Longitud promedio de hojas (cm):	29,48
Longitud promedio del pecíolo (cm):	2,12
Ancho promedio de la hoja (cm):	10,51
Longitud promedio desde la base hasta el punto más ancho (cm):	14,99



Figura 60. |
 Forma de las hojas del ICS 1
 Fotos: Autores

Flores

Promedio de cojines florales/rama:	69,57
Promedio de flores/cojín floral:	10,74
Color de la flor:	Rosadas
Color del pedúnculo floral:	Rojizo
Promedio número de óvulos en el ovario:	43,68

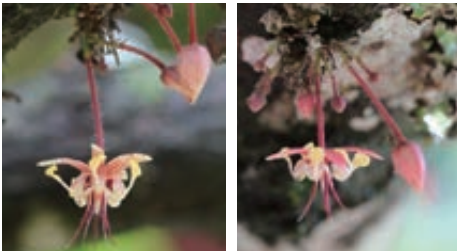


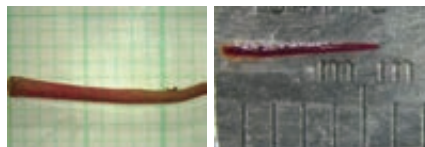
Figura 61. |
 Flores y cojines florales tomadas en campo ICS 1
 Fotos: Autores

**Figura 62. |**

a. Flor tomada con un estereoscopio; b. Ovario tomado con un estereoscopio

Fotos: Autores

Estructura floral	Longitud promedio (mm)
Ovario	1,83
Estilo	2,83
Pedúnculo	18,93
Estaminodio	9,57

**Figura 63. |**

a. Pedúnculo floral tomado con un estereoscopio; b. Estaminode tomado con un estereoscopio

Fotos: Autores

Nivel de antocianina en la estructura floral

- Presencia de antocianina en la parte superior del ovario.
- Presencia de antocianina en el limbo del pétalo.
- Intensa tonalidad de antocianina en sépalos.
- Ligera presencia de antocianina en el botón floral.
- Intensa presencia de antocianina en estaminoides.
- Ligera presencia de antocianinas en filamentos del estambre; sin embargo, predominan las coloraciones cremas o beige.

Frutos

Color del fruto inmaduro:	Rojo
Color del fruto maduro:	Rojo naranja
Forma del ápice:	Atenuado
Forma constricción basal:	Ausente
Peso promedio de fruto (g):	731,66
Longitud promedio (cm):	19,54
Ancho promedio (cm):	9,57
Relación largo/ancho:	2,12
Número promedio de almendras/fruto:	31,93

**Figura 64. |**

Frutos inmaduros y maduros tomados en campo ICS 1

Fotos: Autores

Grosor de la cascara del fruto

Rugosidad del fruto:	Ligera
Separación - pares de lomos:	Ligera
Espesor promedio del caballete del fruto (cm):	1,52
Profundidad promedio del surco (cm):	0,24



Figura 65. |
Corte transversal del fruto del ICS 1
Fotos: Autores

Almendras



Figura 66. |
Forma de la almendra del ICS 1
Fotos: Autores



Figura 67. |
Corte longitudinal de las almendras
del ICS 1
Fotos: Autores

Color del cotiledón:	Violeta intermedio
Forma de la semilla:	Oblonga
Forma corte transversal de la semilla:	Intermedia
Longitud promedio (cm):	2,82
Diámetro promedio (cm):	1,34
Grosor promedio (cm):	0,92
Peso fresco promedio de la semilla:	2,40



Figura 68. |
Corte transversal de las almendras
del ICS 1
Fotos: Autores

Clon SCC 61

País de origen:	Colombia - San Vicente de Chucurí (Santander)
Institución que lo seleccionó:	Corpoica
Grupo genético/Genealogía:	Híbrido trinitario
Arquitectura del árbol:	Árbol vigoroso de arquitectura erecta. En campo presenta buena formación. Este clon requiere de una poda de formación y de mantenimiento anual para facilitar las tareas de campo.

Árbol



Figura 69. |
Arquitectura del árbol de SCC 61

Fotos: Autores

Este genotipo requiere de poda de formación en su primer año de crecimiento y desarrollo, y al menos una poda de mantenimiento al año para darle manejo y arquitectura a la planta.

Compatibilidad sexual: autocompatible. Esta condición sexual indica que es posible establecer este genotipo solo, sin necesidad de acompañarlo con otro. A pesar de esta condición, se recomienda establecerlo con máximo dos genotipos más, que cuenten con esta condición sexual (autocompatible) o que sean intercompatibles. Los genotipos con los que se puede asociar en campo pueden ser ICS 1, CCN 51, IMC 67.

Este genotipo se puede establecer entre 500 hasta 1.200 msnm (metros sobre el nivel del mar).

Presenta tolerancia a Monilia (*Moniliophthora roreri*).

Numero promedio de mazorcas/árbol/año:	137
Número de almendras promedio/mazorca:	35
Índice de grano (g). Peso promedio de un grano seco:	2,10
Índice promedio de mazorca (número de mazorcas para obtener un kilo de cacao seco):	12

Hoja

Forma de la hoja:	Ovalada
Pecíolo de las hojas:	Con pulvinus notable
Forma base de la hoja:	Aguda
Ápice de la hoja:	Acuminado largo
Longitud promedio de hojas (cm):	33,62
Longitud promedio del pecíolo (cm):	2,09
Ancho promedio de la hoja (cm):	11,99
Longitud promedio desde la base hasta el punto más ancho (cm):	16,91



Figura 70. | Forma de las hojas del SCC 61.
Fotos: Autores

Flores

Promedio de cojines florales/rama:	32,25
Promedio de flores/cojín floral:	8,50
Color de la flor:	Rosadas. Flores rojas con pigmentaciones blancas.
Color pedúnculo floral:	Rojizo
Promedio número de óvulos en el ovario:	39,25



Figura 71. | Flores y cojines florales tomadas en campo SCC 61
Fotos: Autores



Figura 72. | a. Flor tomada con un estereoscopio; b. Estaminodio tomado con un estereoscopio
Fotos: Autores

Estructura floral	Longitud promedio (mm)
Ovario	2,07
Estilo	2,21
Pedúnculo	20,11
Estaminodio	12,21



Figura 73. a. | Ovario tomado con un estereoscopio; b. Pedúnculo floral tomado con un estereoscopio
Fotos: Autores

Nivel de antocianina en la estructura floral

- Presencia de antocianina en la parte superior del ovario.
- Presencia intermedia de antocianina en sépalos, en proporciones iguales a las tonalidades beige o crema.
- Ligera presencia de antocianina en el botón floral.
- Presencia intermedia de antocianina en estaminoides, pero a su vez presenta tonalidades cremosas.
- Presencia intermedia de antocianinas en filamentos del estambre y crema o beige en igual proporción.

Frutos

Color del fruto inmaduro:	Rojo ligero
Color del fruto maduro:	Amarillo naranja
Forma del ápice:	Agudo
Forma constricción basal:	Cuello intermedio
Peso promedio de fruto (g):	1031
Longitud promedio (cm):	26,70
Ancho promedio (cm):	10,72
Relación largo/ancho:	2,56
Número promedio de almendras/fruto:	35,17
Peso promedio semillas/fruto (g):	102,48



Figura 74. |

Frutos inmaduros y maduros tomados en campo y laboratorio SCC 61

Fotos: Autores

Grosor de la cascara del fruto

Rugosidad del fruto:	Fuerte
Separación - pares de lomos:	Amplia equidistante
Espesor promedio del caballete del fruto (cm):	2,02
Profundidad promedio del surco (cm):	0,60



Figura 75. |

Corte transversal del fruto de SCC 61

Fotos: Autores

Almendras



Figura 76. |

Forma de la almendra del SCC 61

Fotos: Autores

Color del cotiledón:	Púrpura
Forma de la semilla:	Elíptica
Forma corte transversal de la semilla:	Intermedia
Longitud promedio (cm):	2,63
Diámetro promedio (cm):	1,41
Grosor promedio (cm):	1
Peso fresco promedio de la semilla:	2,62



Figura 77. |

Corte longitudinal de la almendra de SCC 61

Fotos: Autores



Figura 78. |

Corte transversal de la almendra del SCC 61

Fotos: Autores

Clon IMC 67

País de origen:	Perú
Institución que lo seleccionó:	Iquitos Mara��n Collection
Grupo genético/Genealogía:	Forastero del Alto Amazonas
Arquitectura del árbol:	��rbol vigoroso y de arquitectura erecta. En el campo presenta buena formación. Este clon requiere de una poda de formación y mantenimiento anual para facilitar las tareas de campo.

  rbol



Figura 79. |

Arquitectura del árbol de IMC 67

Fotos: Autores

Este genotipo requiere de poda de formación en su primer año de crecimiento y desarrollo, y al menos una poda de mantenimiento al año para darle manejo la planta.

Compatibilidad sexual: autoincompatible. Este genotipo se considera como el dador de polen universal, pero su condición de autoincompatible significa que su autocompatibilidad está por debajo del 30 %, esto significa que en campo no se debe establecer como único genotipo, sino que requiere de otros genotipos intercompatibles que le proporcionen polen para incrementar su producción, lo que hace que sea poco posible su autopolinización. Por ello, no se debe establecer aislado en el campo, sino que requiere de otros genotipos que cumplan la función de padres que le brinden el polen para incrementar su producción. Los genotipos con que se puede asociar son el ICS 1, TSH 565, CCN 51, FSV 41, FEAR 5.

Este genotipo se puede establecer entre 0 hasta 1.200 msnm (metros sobre el nivel del mar).

Presenta susceptibilidad a Escoba de Bruja (*Crinipellis perniciosa*) y Roselinia, y es tolerante a Phythophthora (*Phytophthora palmivora*), Ceratosystis y Monilia (*Moniliophthora roreri*).

Numero promedio de mazorcas/árbol/año:	57
Número de almendras promedio/mazorca:	38
Índice de grano (g). Peso promedio de un grano seco:	1,20
Indice promedio de mazorca (número de mazorcas para obtener un kilo de cacao seco):	21
Productividad promedio/árbol/año (kg) (árboles en promedio de 4 años de establecido:	2,60

Hoja

Forma de la hoja:	Oblonga
Pecíolo de las hojas:	Con pulvinus notable
Forma base de la hoja:	Redondeada
Ápice de la hoja:	Acuminado largo
Longitud promedio de hojas (cm):	31,13
Longitud promedio del pecíolo (cm):	2,18
Ancho promedio de la hoja (cm):	10,92
Longitud promedio desde la base hasta el punto más ancho (cm):	16,26



Figura 80. |
Forma de la hoja del IMC 67
Fotos: Autores

Flores

Promedio de cojines florales/rama:	72,33
Promedio de flores/cojín floral:	11
Color de la flor:	Crema. Flores blancas con pigmentaciones rojizas.
Color pedúnculo floral:	Rojizo
Promedio número de óvulos en el ovario:	39,86

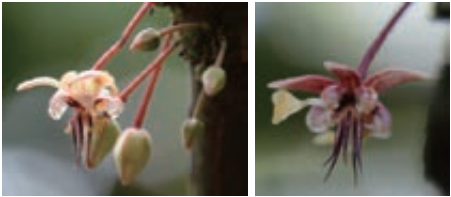


Figura 81. |
Flores y cojines florales tomadas en campo IMC 67
Fotos: Autores



Figura 82. |
a. Flor tomada con un estereoscopio; b. Ovario tomado con un estereoscopio
Fotos: Autores

Estructura floral	Longitud promedio (mm)
Ovario	2,04
Estilo	3,38
Pedúnculo	28,81
Estaminodio	7,32



Figura 83. |
a. Estaminoide tomado con un estereoscopio; b. Pedúnculo floral tomado con un estereoscopio
Fotos: Autores

Nivel de antocianina en la estructura floral

- Ausencia de antocianina en la parte superior del ovario.
- Presencia intermedia de antocianina en sépalos, en proporciones iguales a las tonalidades beige o crema.
- Ausencia de antocianina en el botón floral.
- Intensa presencia de antocianina en estaminoides.
- Ausencia de antocianinas en filamentos del estambre. Tiene coloraciones cremas o beige.

Frutos

Color del fruto inmaduro:	Verde
Color del fruto maduro:	Amarillo intenso
Forma del ápice:	Apezonado
Forma constricción basal:	Ausente
Peso promedio de fruto (g):	639,30
Longitud promedio (cm):	18,88
Ancho promedio (cm):	9,00
Relación largo/Ancho:	2,00
Número promedio de almendras/fruto:	37,61



Figura 84. |

Frutos inmaduros y maduros tomados en campo IMC 67

Fotos: Autores

Medición de grosor de cáscara del fruto genotipo:

Rugosidad del fruto:	Ligera
Separación - pares de lomos:	Ligera
Espesor promedio del caballete del fruto (cm):	1,72
Profundidad promedio del surco (cm):	0,14



Figura 85. |

Corte transversal del fruto de IMC 67

Fotos: Autores

Almendras



Figura 86. |
Forma de la almendra del IMC 67
Fotos: Autores

Color del cotiledón:	Púrpura
Forma de la semilla:	Oblonga
Forma corte transversal de la semilla:	Intermedia
Longitud promedio (cm):	2,30
Diámetro promedio (cm):	1,16
Grosor promedio (cm):	0,81



Figura 87. |
Corte longitudinal de la almendra del IMC 67
Fotos: Autores



Figura 88. |
Corte transversal de la almendra del IMC 67
Fotos: Autores

Híbridos

El 24 % de los genotipos establecidos en los municipios de Palocabildo y Mariquita son llamados híbridos o establecidos mediante semilla sexual, con una variabilidad genética muy amplia, lo que significa que la gran mayoría no han sido caracterizados ni evaluados; además, se desconoce su compatibilidad sexual, su capacidad productiva y la posible susceptibilidad o tolerancia a problemas sanitarios. Consideramos que esta situación afecta significativamente la producción en la región.

Teniendo en cuenta que el mayor porcentaje de genotipos establecidos en los dos municipios del Norte del Tolima son híbridos –Palocabildo con un 28 % y Mariquita con un 20 %–, el productor se enfrenta a un reto para incrementar la producción por área establecida, debido a la diversidad genética y a la segregación de cada una de las plantas establecidas. Cada genotipo es una planta completamente diferente, tanto fenotípica como genotípicamente, por lo que son determinantes los esfuerzos que se realicen en desarrollar procesos de

investigación y los estudios que permitan determinar posibles atributos de alguno de estos genotipos de cacao ante factores bióticos y abióticos que limiten o favorezcan la producción de esta especie.

Damos a conocer parte de la diversidad genética de los híbridos encontrados en los dos municipios.

Árboles



Figura 89. | Arquitectura de árboles híbridos en la región

Fotos: Autores

Flores

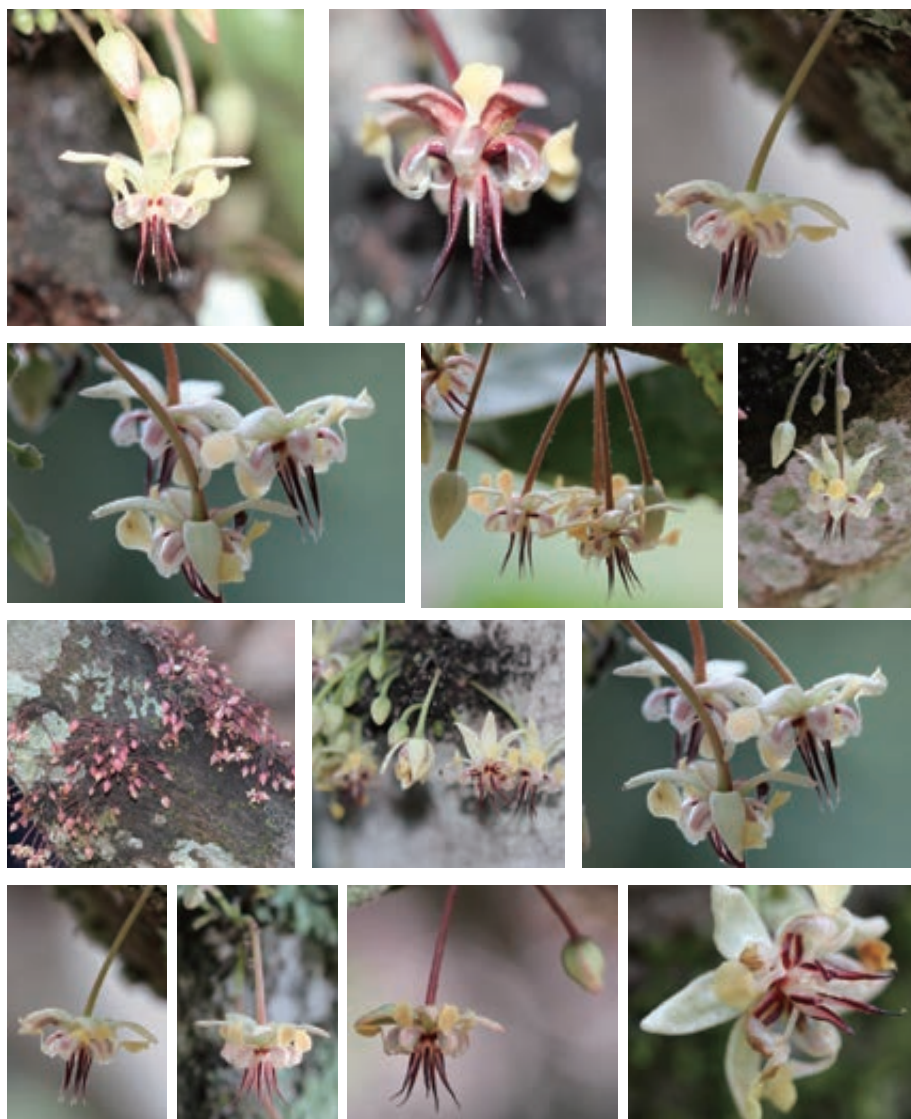


Figura 90. | Diversidad de flores de híbridos en la región

Fotos: Autores

Frutos



Figura 91. | Diversidad de frutos de híbridos en la región

Fotos: Autores



Figura 92. | Corte transversal del fruto de híbridos

Fotos: Autores

Almendras



Figura 93. | Forma de las almendras de híbridos en la región

Fotos: Autores

Recomendaciones

Realizar un proyecto de evaluación de los híbridos establecidos para determinar cuáles no son productivos o son muy susceptibles a problemas sanitarios. A esto se le debe realizar cambio de copa por medio de injertación lateral mayo, con lo que se aprovecha el sistema radical que poseen estos genotipos. Así, es posible pasar de una plantación improductiva a una plantación productiva en un periodo de tiempo de un año, e identificar cuáles presentan atributos de valor frente a las limitantes que se presentan en la región para potenciarlos.

Referencias

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016). Food and agriculture data. [http://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries by commodity](http://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries%20by%20commodity)
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018). FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2018): <http://www.fao.org/news/story/es/item/1143815/icode/>.
- García C. L. (2009). Catálogo de cultivares de cacao. Min agricultura Perú.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2018). Recuperado de: <https://www.agronet.gov.co/estadistica>.
- Mejía, F. L., Arguello, C. O. (2000). Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. Corpoica.
- Motamayor, J. C., Risterucci, A. M., López, P. A., Ortiz, C. F., Moreno, A., & Lanaud, C. (2002). Cacao domestication I: The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89(5), 380–386. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800156>.
- Phillips, M. W., Arciniegas, L. A., Mata, Q. A., Motamayor, A. J. C. CATIE 2012. Catálogo de clones de cacao. Manual técnico n.105
- Ramírez, J. (2016). Pérdidas económicas asociadas a la pudrición de la mazorca del cacao causada por *Phytophthora* spp., y *Moniliophthora roreri* (Cif y Par) Evans et al., en la hacienda Theobroma, Colombia. Colombia. Revista de *Protección Vegetal*, 31(1), 42–49.
- Restrepo, T. I. & Urrego, J. E. (Comps.) (2028). *Protocolo para la caracterización morfológica de árboles élite de cacao (Theobroma cacao L.)*. Compañía Nacional de Chocolates S.A.S.







Capítulo 2.

Reconocimiento de síntomas y validación de estrategias para el manejo de la pudrición parda del fruto en cacao

Autores:

Eleonora Rodríguez Polanco
Edinson Bayardo Parra A.

Colaboradores:

José Dimas Segura
Paula Andrea Bermeo

Introducción

El cacao es un producto importante para la producción agrícola nacional. Participa con el 0,51 % de la producción agropecuaria nacional, equivalente a 56.867 Tm, y ocupa el 3,5 % del área cultivada con 176.050 Has (DNP, 2018). El país cuenta con condiciones agroecológicas favorables para su producción y con una calidad reconocida internacionalmente, pues es referenciado como cacao fino y de aroma. De hecho, casi la totalidad de la producción nacional es absorbida por la industria nacional de chocolates y sus derivados.

En Colombia la producción del grano de cacao se ve seriamente disminuida por el ataque de dos microorganismos patógenos que afectan directamente el fruto y causan enfermedades conocidas como Monilla (*Moniliophthora roreri*) y la pudrición parda (*Phytophthora palmivora*), los cuales comprometen la cantidad y calidad del grano producido, y causan pérdidas superiores al 50 % (Rodríguez et al., 2005; Rodríguez, 2006).

El daño a la producción causada por la mazorca parda es significativamente mayor debido al establecimiento del cultivo en zonas que tienen altitudes superiores a los 900 msnm, en las cuales hay bajas temperaturas en la noche. Esta condición favorece la reproducción del patógeno y lo convierte en la principal limitante sanitaria, incluso mayor a la causada por Monilia (Ramírez, 2016). Esta situación agroecológica favorable a la reproducción del patógeno, unida al incremento en la siembra del clon CCN 51, considerado como el material más susceptible, incrementa aun más las pérdidas, las cuales llegan a ser incluso del 23 % en algunas regiones del país (Ramírez, 2016).

El manejo de la enfermedad basado en la remoción de frutas enfermas, principalmente en el periodo de cosecha –que es por lo regular quincenal–, puede llegar a ser ineficaz. Por ello, se deben validar y seleccionar nuevas estrategias como la aplicación de fungicidas curativos, sistémicos y potencializadores

de resistencia, a través de los cuales se puedan disminuir las pérdidas y reducir la dependencia de la mano de obra, hoy de difícil consecución en las zonas productoras. La validación de estrategias de manejo de la enfermedad, basadas en la aplicación conjunta de prácticas culturales y químicas, permitirá un manejo sostenible y rentable del cultivo.

En este capítulo se presenta un amplio registro fotográfico de los síntomas de la enfermedad en el tronco, la fruta y las plántulas. Puede ser considerado como una herramienta para su oportuna y correcta identificación y complementado con los resultados de la validación de la aplicación conjunta de la remoción de frutas enfermas y fungicidas químicos, con el propósito de disminuir pérdidas e incrementar la sostenibilidad del cultivo.

La pudrición parda de la mazorca

Distribución e importancia

El agente causal de la mazorca parda más ampliamente distribuido a nivel mundial es *Phytophthora palmivora* (*P. palmivora*), aunque muchas especies del patógeno han sido identificadas como causantes de la enfermedad en diferentes regiones productoras en el mundo (Drenth y Guest, 2004). En Colombia solo se reporta la presencia de la especie *palmivora* (Rodríguez y Vera, 2015), la cual origina pérdidas cercanas al 10 %. Existe el riesgo del ingreso de la especie *megakaria*, confinada al continente africano y caracterizada por ser más agresiva o virulenta (Pokou et al., 2008). Es considerada como la principal limitante sanitaria actual para la producción de cacao, pues causa pérdidas cercanas al 30 %, lo que corresponde a 1,5 billones de dólares (IICO, 2015) en la región productora del África, que proporciona el 70 % del total del grano producido en el mundo.

Etiología

El género *Phytophthora* se ubica dentro del reino Chromista (Tyler, 2001), que representa una línea evolutiva única y distante de los hongos verdaderos. Forma parte del orden de los Oomycetos, cuyas características bioquímicas y ultraestructurales los asemejan a las plantas y algas. Son microorganismos caracterizados por poseer reproducción asexual y sexual; la reproducción asexual se realiza por la germinación de estructuras inmóviles (esporangios) o móviles (zoospora), estas últimas poseen flagelos o látigos que les permiten desplazarse utilizando el agua en el suelo como medio de dispersión. En el país no existe aún el reporte de la reproducción sexual de este patógeno.

Desarrollo de síntomas y producción de signos del patógeno

Pudrición o necrosis café del fruto

La infección por *Phytophthora* puede ocurrir en cualquier parte del fruto y en cualquier etapa de su desarrollo, pero por lo general se observa en los extremos de la mazorca, área en la que se acumula más agua, y en los frutos maduros, que son los más susceptibles (McMahon y Purwantara, 2004).

La alta humedad favorece la liberación y germinación de las estructuras reproductivas del patógeno (esporangios o zoospora) y la penetración e infección del tejido (figura 94 a. y b.). Los primeros síntomas se manifiestan aproximadamente 30 horas después de ocurrida la infección, como pequeñas manchas en la superficie de los frutos de apariencia acuosa (Figura 94 c).

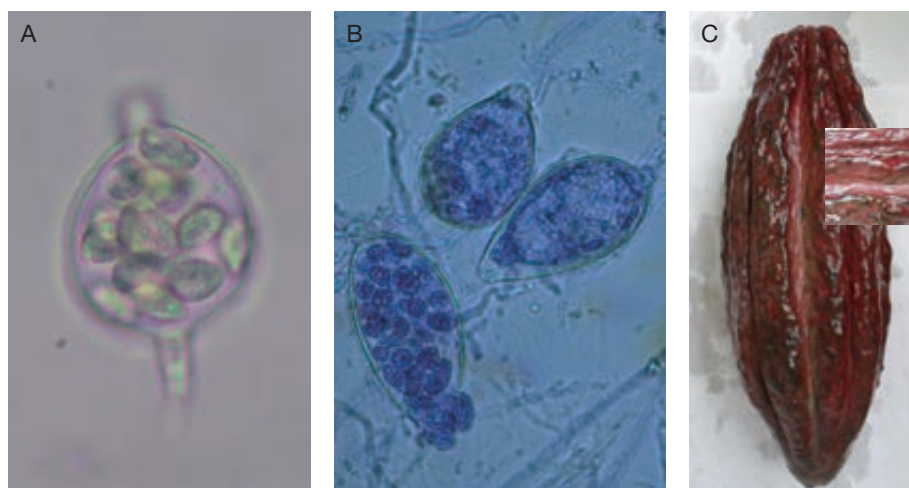


Figura 94. |

Estructuras de reproducción asexual de *P. palmivora* y primeros síntomas de la enfermedad en el fruto. a. Esporangios; b. Liberación de zoosporas producidas dentro de los esporangios; c. Síntomas iniciales: pequeñas manchas necróticas en la superficie del fruto

Fotos: Autores

En condiciones de alta humedad, generalmente en los extremos del fruto, las pequeñas manchas cafés crecen y se desarrollan rápidamente, formando una mancha o lesión necrótica de color café que se observa entre los 3 y 5 días después la aparición de los primeros síntomas (Figura 95 a y b). Cuatro días después de la aparición de la mancha sobre su superficie, se puede observar la presencia de un crecimiento pulverulento poco denso de color blanco formado por el micelio y los esporangios (signos) del patógeno (McMahon y Purwantara, 2004) (Figura 95 c).



Figura 95. |

Desarrollo de síntomas en los extremos del fruto. a. Lesión necrótica; b. Crecimiento de la lesión necrótica; c. Esporulación: producción de micelio blanco y escaso donde se forman los esporangios (signos) o estructuras reproductivas de *P. palmivora*
Fotos: Autores

La mancha o necrosis en los frutos de más de tres meses generalmente se observa en la punta o en el pedúnculo de la mazorca; aunque también es común observar en la zona central del fruto una mancha con apariencia de círculo con bordes lisos (figura 96). Investigaciones previas determinaron que el crecimiento de la mancha o necrosis es de aproximadamente 12 mm por día.



Figura 96. |

Necrosis con formato de círculo, con borde liso y bien definido. a. Lesión necrótica; b. Crecimiento de la lesión necrótica; c. Esporulación: producción de micelio blanco y escaso donde se forman los esporangios (signos) o estructuras reproductivas de *P. palmivora*

Fotos: Autores

La lesión necrótica o mancha externa avanza a la misma velocidad y con el mismo formato a nivel interno creando una lesión idéntica (figura 97). Esta característica permite diferenciarla de la mancha causada por *Monilia*, en la que el formato de la mancha externa es diferente del interno.



Figura 97. |

Desarrollo de la necrosis o mancha parda en el fruto. La lesión interna tiene formato idéntico a la lesión externa

Fotos: Autores

La lesión crece rápidamente y llega a cubrir la totalidad de la superficie del fruto y los tejidos internos, incluyendo los granos, en un periodo aproximado de 10 a 14 días (figura 98 a.). Las mazorcas enfermas permanecen en el árbol y continúan produciendo inóculo por un periodo de más o menos 3 años, hasta su completa momificación (pérdida de agua en los tejidos) (figura 98 b). En condiciones de alta humedad, un fruto enfermo puede llegar a producir hasta 4 millones de esporangios.



Figura 98. |

Crecimiento de la necrosis y cubrimiento total del fruto. a. Necrosis y esporulación total en el fruto; b. Fruto en constante esporulación que permanece en el árbol

Fotos: Autores

Cánceres en tejido leñoso y cojín floral

La infección por *Phytophthora* también aparece en otros órganos de la planta como tallos, ramas y chupones, donde forma lesiones cancerosas o manchas necróticas marrones con presencia de goma; de allí el nombre de gomosis. La *Phytophthora* ataca igualmente cojines florales y destruye completamente las flores (Gregory y Maddison, 1981).

Las lesiones cancerosas o manchas necróticas de color marrón rojizo se observan en la corteza del tallo principal, las ramas secundarias y el pedúnculo del fruto, y producen un exudado o goma rojiza. Al raspar la superficie de la corteza afectada, el tejido expuesto se torna acuoso y pegajoso, y en la corteza interna se observa una lesión rojiza que no penetra profundamente y no se extiende más allá del tejido del *cambium* (figuras 99 a y b; 100 a y b). Esta necrosis del tallo puede avanzar hasta rodear totalmente el tronco principal y causa la muerte súbita del árbol (Erwin y Ribeiro, 1996).



Figura 99. |

Síntomas de cáncer en el tronco. a. Lesión cancerosa o necrosis marrón en la corteza; b. Daño interno del tronco

Fotos: Autores



Figura 100. |

Síntomas de cáncer en pedúnculo. a. Lesión cancerosa que compromete el pedúnculo y el fruto; b) Daño interno de la corteza en el punto de unión del pedúnculo al tallo

Fotos: Eleonora Rodríguez P. y Edinson Bayardo Parra A.

Tizón o necrosis en plantas de propagación

En condiciones de alta humedad, el hongo ataca las plantas en etapa de vivero y origina síntomas como necrosis o tizón de la hoja, pudrición del sistema radical y del tallo principal, y causa la muerte repentina de plántulas (figura 101 a y b).



Figura 101. |

Síntomas de necrosis y muerte de plantas en hojas de plántulas. a. Lesión necrótica o tizón; b. Muerte súbita de la planta

Fotos: Eleonora Rodríguez P. y Edinson Bayardo Parra A.

Condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad

La reproducción de este microorganismo cromista es predominantemente asexual y produce esporangios sobre las lesiones o manchas, entre 3 a 5 días después de su observación. La germinación de los esporangios es favorecida por temperaturas cercanas o superiores a los 25 °C. Las temperaturas bajas, entre 15 a 20 °C, favorecen la germinación directa de las 20 a 30 zoosporas contenidas dentro cada esporangio, por lo que se pueden incrementar más de 20 veces la cantidad de unidades infectivas móviles que causan la enfermedad (Dennis et al., 1994; Erwin y Ribeiro, 1996).

La precipitación es uno de los principales factores para la ocurrencia de brotes repentinos de la enfermedad. Estos se observan de 4 a 5 días después de ocurrida una fuerte lluvia, pues el agua favorece la esporulación, la liberación y, sobre todo, la diseminación de las zoosporas, que son dispersas fácilmente por el salpique de la lluvia e infectan el tallo o los frutos, principalmente en la parte baja de la misma planta o de plantas vecinas (Luz et al., 2001).

La condición agroecológica de las zonas altas, caracterizadas por bajas temperaturas y lluvias frecuentes, favorece la liberación de las zoosporas. Este hecho, junto con la humedad del cultivo, facilitan el desarrollo de epidemias, por lo que se hace ineficiente el control de la enfermedad con las prácticas de remoción de mazorcas enfermas y raspado con cicatrización del cáncer en el tronco. La intensidad del daño puede ser aún mayor por la presencia de materiales altamente susceptibles como CCN 51 e ICS 95 (Rodríguez y Vera, 2015).

Phytophthora es un parásito facultativo, por lo que requiere de estructuras de supervivencia como clamidosporas y oosporas que le permitan subsistir en ausencia de hospederos durante largos periodos de tiempo (Widmer, 2010).

Prácticas de manejo de la enfermedad

Prácticas culturales

En la actualidad, el manejo de la pudrición parda de la mazorca está basado en la realización de prácticas de cultivo (culturales) enfocadas en disminuir la reproducción del microorganismo patógeno y modificar el ambiente dentro de la plantación para hacerlo desfavorable para su desarrollo. Dentro de las prácticas enfocadas en la disminución de la reproducción del patógeno, la más importante es la remoción total, periódica y constante de mazorcas enfermas, sobre todo en estado de mancha antes de la producción de estructuras reproductivas (esporulación). En el país esta práctica está más ligada al control de *Monilia* e indirectamente disminuye el daño por *Phytophthora* (Rondón y Gómez, 1993); aunque su efecto no es el esperado, ya que la remoción debe hacerse con frecuencia semanal para evitar la esporulación, que ocurre entre los tres y cuatro días después de la observación de la mancha o necrosis. La remoción semanal de frutos enfermos debe realizarse especialmente a partir de los cuatro meses de desarrollo hasta la cosecha, tiempo que corresponde a su época de mayor susceptibilidad a *P. palmivora*. La cosecha de mazorcas maduras debe hacerse de forma paralela a la remoción de las enfermas y preferentemente con frecuencia semanal.

Una vez observado el cáncer del tallo debe realizarse un raspado y cicatrización del tejido enfermo con pasta cicatrizante (10 g de Ridomil/I de agua), y repetir esta operación cada quince días después. Esta práctica disminuye la producción de nuevas estructuras infectivas del patógeno y evita la muerte del árbol.

Dentro de las prácticas encaminadas a crear un ambiente desfavorable para el establecimiento y desarrollo del patógeno están:

El manejo de la sombra y del tamaño de la copa de los árboles de cacao y de los maderables asociados, cuyo propósito es permitir la entrada de luz y el flujo de aire a través de la plantación; el control de hormigas, que contribuyen con la diseminación de *P. palmivora* en el dosel, y el plateo al árbol, que se realiza al retirar la hojarasca y las malezas del tallo principal para evitar la humedad.

Prácticas químicas

La aplicación de fungicidas para el control de la pudrición parda de la mazorca es una práctica poco común en el país. En el continente africano su utilización es necesaria para el manejo de *P. megakaria*: se emplean fungicidas a base de cobre, solos o en mezcla con metalaxil, en intervalos de tres a cuatro semanas. Si bien esta es la práctica de manejo más recomendada, el empleo que de esta hacen los pequeños productores depende directamente de la cantidad de grano producido y de su precio en el mercado, por lo que su uso no es frecuente entre ellos (Guest et al., 1994). La remoción de mazorcas enfermas con frecuencia semanal y el empleo conjunto de fungicidas ha resultado más efectivo (Vos et al., 2003; Adejumo, 2005). La evaluación de moléculas de última generación de acción sistémica como el ácido fosforoso y con comprobada efectividad en oomycetos se vislumbra como una estrategia disponible y efectiva en el futuro.

Las lesiones o cáncer del tronco pueden ser tratados raspando el área de la lesión y aplicando una pasta cicatrizante (10 g de ridomil /l de agua o metalaxil® al 0,25 %). La inyección anual al tronco con una sal inorgánica de fosfato de potasio ha sido eficiente en la reducción de cánceres ocasionados por *P. palmivora* y *P. megakarya* en los países productores de África (Guest et al., 1994; Opoku et al., 2007).

Los oomycetes no son hongos verdaderos, por lo que tienen rutas metabólicas diferentes; además, como no sintetizan esteroides, un amplio grupo de fungicidas que interrumpen la biosíntesis del ergosterol no tiene efecto sobre ellos. Este grupo de microorganismos tienen una extraordinaria flexibilidad genética, lo que les permite adaptarse rápidamente, desarrollar resistencia a fungicidas y superar los mecanismos de resistencia genética en plantas. La resistencia al metalaxyl fungicida, ampliamente utilizado en su control, ya ha sido observada en varias especies de oomycetes, entre estos *Phytophthora* (Tyler, 2001).

Prácticas biológicas

La utilización de microorganismos antagonistas (competidores) endófitos nativos con ventajas de adaptación y persistencia dentro de un esquema de manejo integrado de la enfermedad permite disminuir su daño. Se ha observado la supresión del crecimiento de *Phytophthora* por el empleo de *Trichoderma* spp., *Penicillium funiculosum*, *Gliocladium* spp. y *Chaetomium globosum* en bioensayos de laboratorio y campo (Drenth y Guest, 2004). Se ha reportado alta sensibilidad de *P. palmivora* a la mezcla de microorganismos, dentro de los cuales está *Trichoderma* spp (Krauss et al., 2001).

Prácticas de empleo de material resistente

Los genotipos amelonado tipo alto y bajo amazonas han mostrado ser menos susceptibles a *Phytophthora* que los materiales trinitarios, por lo que son empleados en programas de mejoramiento genético. Dentro de los materiales colectados por Pound en 1943, en el alto Amazonas peruano, se han identificado los genotipos scavina 1, scavina 6 y scavina 12 como plantas resistentes. El scavina 6 es considerado hasta hoy como el más resistente, incluso más que las variedades Catongo e ICS 1 (Iwaro et al., 1997; Tahi et al., 2000).

Validación de estrategias para el manejo integrado de la pudrición parda del fruto

Selección de fungicidas

Con el propósito de determinar el efecto de las moléculas de síntesis química en el control de *Phytophthora* en cacao, se inició una revisión bibliográfica de los productos utilizados a nivel mundial y sus resultados en el control de este patógeno en diferentes sistemas productivos. Por ello, se seleccionaron moléculas con diferente modo y mecanismo de acción para su evaluación en bioensayos en frutos de los clones ICS 95, TSH 565 y CCN 51, en plantaciones comerciales.

En lotes comerciales de cacao se seleccionaron frutos de aproximadamente dos meses de desarrollo, los cuales fueron embolsados con el propósito de garantizar su sanidad e inoculados (infectados artificialmente) cuando alcanzaron los cuatro meses de desarrollo en la región central del fruto, de acuerdo con la metodología de Phillips y Galindo (1989) (figuras 102a, b, c y d). Una vez inoculado el fruto, se garantizó la infección al colocar una servilleta humedecida dentro de la bolsa que dos días después fue retirada. La bolsa plástica permaneció durante todo el ensayo para evitar riesgos de dispersión del patógeno en el lote.

Los ensayos fueron establecidos en los clones ICS 95, TSH 565 y CCN 51. Se evaluaron dos fungicidas preventivos (contacto), tres curativos (sistémicos) y un inductor de resistencia (tabla 2). Los productos con mecanismo curativo fueron evaluados también por su posible acción preventiva, por lo que se establecieron diez tratamientos: T1: mancozeb; T2: sulfato de Cu 21 % + sulfato de Ca 18 %; T3: fosfito mono y dipotásico 48 %-curativo; T4: fosfito mono y dipotásico 48 %- preventivo; T5: fosetyl-Al 80 %-curativo; T6: fosetyl-Al 80 %-preventivo; T7: fosetyl-Al 31 % + propamocarb 53 %- curativo; T8: fosetyl-Al 31 %

+ propamocarb 53 %- preventivo; T9: silicio (SiO₂) 25 %, potasio (K₂O) 12 % y T10: testigo absoluto inoculado.). 15 frutos fueron inoculados por tratamiento.

Tabla 2. | Productos químicos evaluados para el control de *Phytophthora palmivora* en bioensayos en frutos, clones ICS 95, TSH 565 y CCN 51

Modo de acción	Nombre comercial		Dosis litro
Preventivo	manzate 200 WP	mancozeb	2,5 gramos
Preventivo	antrasin P.C.	sulfato de Cu+Sulfato de Ca	3 gramos
Curativo	agrifos 400 SL	fosfito mono y dipotásico	5 mililitros
Curativo	fosetal 80 WP	fosetyl-Al	5 gramos
Curativo	prevalor	fosetyl-Al + Propamocarb	2,5 mililitros
Inductor de resistencia	silikum	silicatos de potasio	5 mililitros

Fuente: Elaboración propia

En el caso de los tratamientos de tipo preventivo, se realizó la aplicación del producto y dos días después se realizó la inoculación con *P. palmivora*. Para los ensayos curativos, la metodología fue opuesta, se realizó la inoculación y dos días después la aplicación del producto químico. Para el inductor de resistencia, la aplicación fue realizada cuando el fruto tenía dos meses de desarrollo y seis semanas después se realizó la inoculación. En el caso de la aplicación de los productos químicos a los frutos, se empleó un atomizador plástico y fueron utilizadas las dosis comerciales recomendadas en la etiqueta del producto (tabla 2).

Dos días después de la inoculación y/o aplicación, se inició la toma de datos que comprendía la verificación de la infección, o no, y las medidas del diámetro de la lesión (figura 102 d). Estas lecturas continuaron hasta el octavo día.



Una vez finalizado el ensayo, se obtuvo la incidencia por cada tratamiento mediante la fórmula:

$$\text{Incidencia} = (\text{número de frutos afectados} / \text{número de frutos inoculados}) * 100$$

La severidad o tamaño de la lesión fue calculada empleando la fórmula de la elipse (ya que la lesión se asemejó a este formato).

$$\text{Área de lesión} = a * b * \pi$$

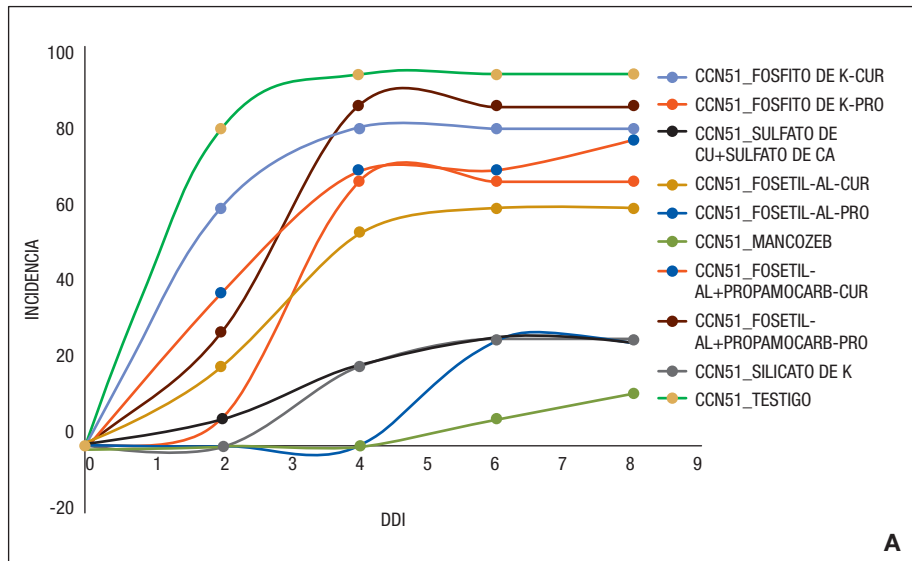
Donde a=semieje de la medida “largo” de la lesión y b=semieje de la medida “ancho” de la lesión.

Los análisis estadísticos de los datos de incidencia y severidad se hicieron empleando Anava y diferencias entre tratamientos establecidas por la prueba LSD-Fisher ($P > 0.05$).

Los resultados de este experimento indicaron que la aparición de síntomas ocurrió entre los dos y cuatro días después de la inoculación (DDI); a partir del sexto y hasta el octavo DDI, los niveles de incidencia se mantuvieron constantes en todos los tratamientos evaluados en cada clon.

Los fungicidas preventivos (manzate y antrasín) presentaron los valores más bajos de incidencia al 8 DDI en los tres clones. Un comportamiento similar fue observado para el silicato de potasio (K_2SiO_3) (figuras 103 a, b y c). Se indica así su efecto fungistático o inhibidor de la germinación, penetración o crecimiento del patógeno.

Los fungicidas curativos evaluados por acción preventiva y curativa mostraron un comportamiento similar para la incidencia en los tres clones con valores de incidencia superiores al 60 %. No se observó acción fungistática entre ellos, como se muestra en las figuras 103 a, b y c.



A

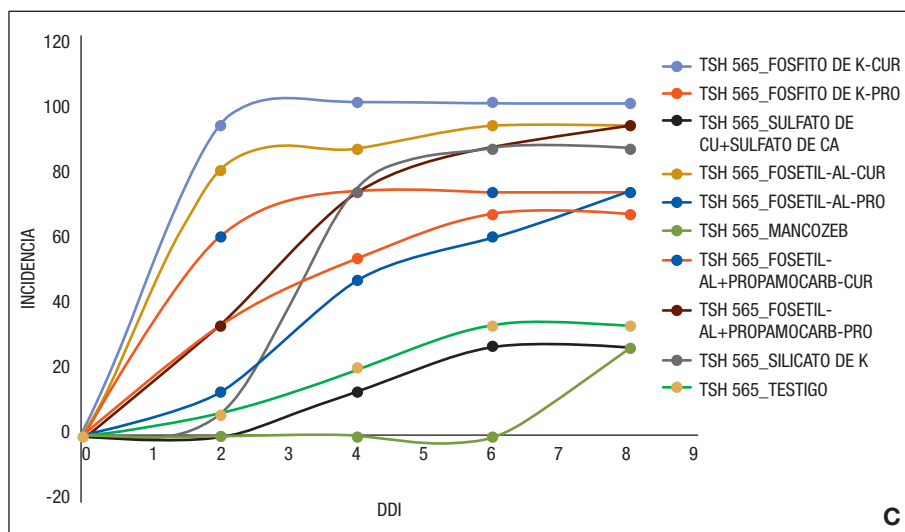
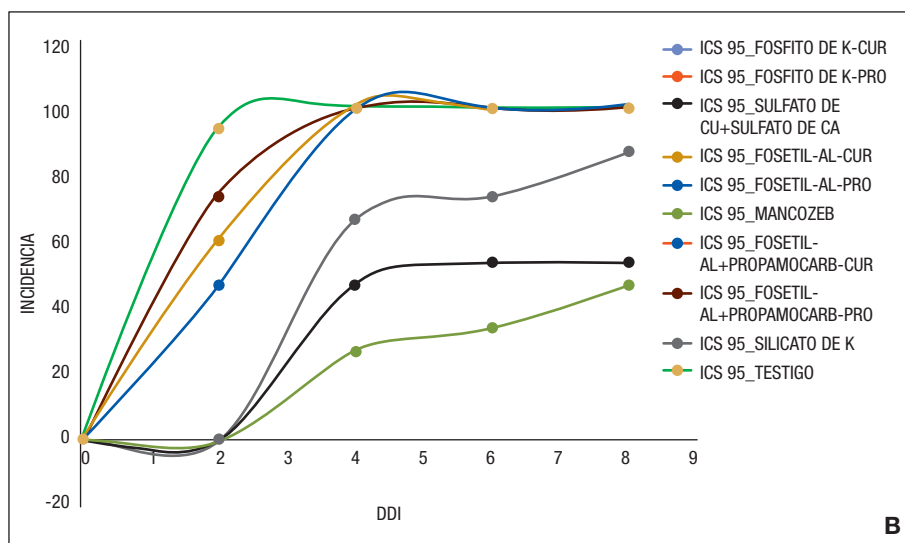


Figura 103. |

Comportamiento de la incidencia de *P. palmivora* en frutos de cacao. a. Clon CCN 51; b. Clon ICS 95; c. Clon TSH 565

Fuente: Elaboración propia

El promedio del diámetro de la lesión para todos los tratamientos evaluados presentó el valor más alto en el clon CCN 51 con 79,40 cm, seguido por el clon ICS95 con 73,64 cm; este resultado mostró la alta susceptibilidad del ICS 95 a *P. palmivora*, ya que el desarrollo de la lesión fue similar a CCN 51 (tabla 3).

Tabla 3. |
Promedio del área de la lesión en frutos de tres clones de cacao inoculados con *P. palmivora* y con aplicación de fungicidas preventivos, curativos y silicato de potasio

Clon	Área de la lesión (cm²) *
CCN 51	79,40 a
ICS 95	73,64 a
TSH 565	54,13 b

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes. Test LSD-Fisher ($P>0.05$).
*Promedio de frutos enfermos por tratamiento en cada clon. T1: Mancozeb; T2: Sulfato de Cu 21 % + Sulfato de Ca 18 %; T3: Fosfito mono y dipotásico 48 %-curativo; T4: Fosfito mono y dipotásico 48 %- preventivo; T5: Fosetyl-Al 80 %-curativo; T6: Fosetyl-Al 80 %-preventivo; T7: Fosetyl-Al 31 % + Propamocarb 53 %- curativo; T8: Fosetyl-Al 31 % + Propamocarb 53 %-preventivo; T9: Silicio (SiO_2) 25 %; Potasio (K_2O) 12 %; T10: testigo absoluto inoculado.

Fuente: Elaboración propia.

Con la aplicación de manzate, silicato de potasio y antrasin se obtuvieron los valores más bajos en el promedio del diámetro de la lesión con 33,75 cm, 37,54 cm y 59,77 cm (tabla 4). Dentro de los fungicidas curativos el fosetal exhibió el mayor efecto curativo al presentar el valor más bajo del promedio del diámetro de la lesión y resultó superior en un 42 % en comparación con manzate (tabla 4).

Tabla 4. |
Promedio del área de la lesión en frutos de cacao de tres de sus clones con aplicación de fungicidas preventivos, curativos y silicato de potasio, e inoculados artificialmente con *P. palmivora*

Tratamiento	Área de la lesión (cm²) *
T1: Mancozeb	33,75 a
T9: Silicio (SiO_2) 25 %, Potasio (K_2O) 12 %	37,64 a
T2: Sulfato de Cu 21 % + Sulfato de Ca 18 %	59,77 ab
T5: Fosetyl-Al 80 %-curativo	78,90 ab
T4: Fosfito mono y dipotásico 48 %- preventivo	81,40 ab
T6: Fosetyl-Al 80 %-preventivo	84,86 b
T8: Fosetyl-Al 31 % + Propamocarb 53%- preventivo	129,17 c

Continuación Tabla 4

Tratamiento	Área de la lesión (cm²) *
T3: Fosfito mono y dipotásico 48 %-curativo	135,83 c
T7: Fosetyl-Al 31 % + Propamocarb 53 %- curativo	137,93 c
T10: testigo absoluto inoculado.	158,34 c

Medias con una letra en común no son significativamente diferentes. Test LSD-Fisher (P>0.05).

* Promedio de frutos enfermos por tratamiento en cada clon.

Fuente: Elaboración propia.

Validación de la aplicación conjunta de la remoción de frutos enfermos y fungicidas

Con el propósito de evaluar el efecto de diferentes frecuencias de remoción de frutas enfermas y la aplicación de fungicidas previamente seleccionados por su mecanismo preventivo, curativo y un potencializador de resistencia, se establecieron dos ensayos experimentales en lotes comerciales de CCN 51, ubicados en el departamento del Tolima, municipio de Palocabildo, vereda El reposo, y las fincas La fortuna y El fresnito.

El diseño de los tratamientos consideró el ciclo de la enfermedad, la época de mayor susceptibilidad del fruto y el mecanismo de acción de los fungicidas. Cuatro tratamientos fueron diseñados de acuerdo con la frecuencia de remoción de frutos enfermos y el tipo de manejo al cultivo, donde T1: MT (manejo tradicional-remoción ocasional de frutos enfermos); T2: MIC 7 (manejo integrado del cultivo-remoción de frutos enfermos cada 7 días); T3: MIC 14 y T4: MIC 21. Cada tratamiento contó con 16 árboles o repeticiones.

El MT incluyó la realización de prácticas como: control mecánico de arvenses, adecuación de drenajes y eliminación mecánica de renuevos. El MIC del cultivo incluyó las practicas empleadas en MT más la poda, purga (eliminación total de frutos en periodo de baja producción), aplicación del inductor de resistencia, fungicida protectante y curativo, más la frecuencia de remoción de cada uno de los tratamientos.

Los fungicidas y el potencializador de resistencia fueron aplicados de acuerdo con la edad del fruto y su mecanismo de acción, asperjando el potencializador cuando el fruto inicia su desarrollo, el preventivo cuando está terminando su máximo crecimiento y el curativo iniciando la maduración, que corresponde al estado de mayor susceptibilidad del fruto (tabla 5).

Tabla 5. |
Frecuencia y dosis de aplicación de los productos químicos en los tratamientos de MT y MIC para el control de *P. palmivora* en el clon CCN51

Orden de aplicación	Edad del fruto (meses)	Producto químico	Dosis (en 20 l de agua)
1	2	silicato de potasio	100 ml
2	3,5	manzate (i.a. Mancozeb.)	50 g
3	4	fosetal (i.a. Fosetyl-Al)	100 g

Fuente: Elaboración propia.

Los productos químicos fueron aplicados con fumigadora a motor Stihl SR 450, para garantizar el máximo cubrimiento de los frutos. Agrotin SL fue adicionado a la mezcla como regulador de pH, y como adherente y dispersante a razón de 1 ml/l de agua.

La incidencia de la enfermedad fue determinada inicial y periódicamente de acuerdo con el tiempo de remoción de los frutos en cada tratamiento; para esto se realizaron conteos de frutos sanos y enfermos de acuerdo con la edad de los frutos: 0-2 meses, 2 a 4 meses, y mayores de 4 meses; los frutos enfermos fueron retirados del árbol. La producción de cada tratamiento fue estimada de acuerdo con el registro de los frutos cosechados por árbol y extrapolada a kilos de cacao seco por Ha con 1.100 árboles. La incidencia fue calculada de forma similar a la empleada en el ensayo de preselección de moléculas químicas.

El análisis estadístico de los datos de incidencia se realizó empleando Anava y diferencias entre tratamientos establecidas por la prueba Tukey ($P>0,05$).

Los resultados de este experimento mostraron la incidencia más alta en los tratamientos MT y MIC 21 con 21,51 % y 20,64 %, respectivamente. Con ellos se indicó que los intervalos de remoción de frutos enfermos cada 21 días, incluso con aplicación de productos químicos, permiten la esporulación del hongo en la fruta con producción de propágulos infecciosos (esporangios o zoosporos), el cual puede causar nuevas infecciones (figura 104).

La incidencia menor y estadísticamente igual fue encontrada en los tratamientos MIC 7 y MIC 14, indicando que la aplicación de productos permite la remoción de frutos enfermos cada 14 días, ya que reduce la producción de propágulos infecciosos (figura 104).

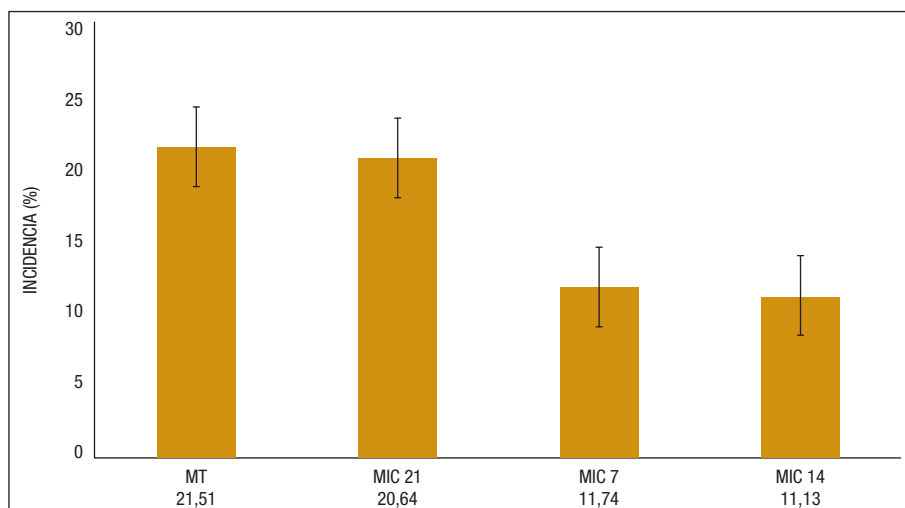


Figura 104. |

Incidencia en los tratamientos MT y MIC de *P. palmivora* en el clon CCN 51. Tratamientos T1: MT; T2: MIC 7; T3: MIC 14 y T4: MIC 21

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de producción en kg de cacao seco/ha en orden decreciente fueron 1625,9; 1323,4; 1237,5 y 618,8, correspondientes a los tratamientos MIC 7, MIC 14, MT y MIC 21, respectivamente (tabla 6).

Tabla 6. |
Producción estimada en kilogramos de cacao seco/Ha, en los tratamientos MT y MIC de *P. palmivora* en el clon CCN 51. Tratamientos T1: MT; T2: MIC 7; T3: MIC 14 y T4: MIC 21

Tratamiento	Frutos cosechados (16 árboles) *	Kg grano seco (16 árboles)	Kg grano seco (hectárea)
MT	360	18	1237,50
MIC 7	473	23,65	1625,90
MIC 14	385	19,25	1323,40
MIC 21	180	9	618,80

*Frutos cosechados: número.

Fuente: Elaboración propia

Para la realización del análisis económico se tuvo en cuenta que los gastos generados por la aplicación de los diferentes esquemas de manejo difirieron únicamente en la mano de obra utilizada para la remoción de frutos enfermos. Los precios de los productos aplicados correspondieron al precio de mercado. El costo de mano de obra en la zona donde se realizó la investigación fue de \$ 50.000 jornal. La remoción de mazorcas enfermas inició cuando la cosecha estaba cuajada (frutos de aproximadamente dos meses de edad) hasta la cosecha de casi la totalidad de los frutos (5 meses después). Un jornal /ha fue empleado en la remoción de frutos enfermos por ha; 12 jornales fueron empleados en remoción semanal; 6 en remoción quincenal y 4 en remoción cada tres semanas. Los gastos empleados para los MIC 7, MIC 14 y MIC 21 días se presentan en las tablas 7, 8 y 9.

Tabla 7. |

Gastos de implementación del MIC 7, clon CCN 51. Fincas El reposo y El fresnito, Palocabildo (Tolima)

Concepto	Cantidad	Total	Valor unitario	Valor total
Mano de obra: aplicación con bomba de espalda. 6 aplicaciones/año	1 jornal/ aplicación	3	50.000	150.000
Mano de obra: remoción de mazorcas enfermas	1 jornal/ poda	12	50.000	600.000
Mano de obra: poda de mantenimiento	4 jornales/ poda	4	50.000	200.000
Silikum (Presentación 4 litros)	1 galón	1	94.300	94.300
Manzate	1 kg	1	15.000	15.000
Fosetal	1 kg	1	36.850	36.850
Total				1.096.150

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. |

Gastos de implementación del MIC 14, clon CCN 51. Fincas El reposo y El fresnito, Palocabildo (Tolima)

Concepto	Cantidad	Total	Valor unitario	Valor total
Mano de obra: aplicación con bomba de espalda. 6 aplicaciones/año	1 jornal/ aplicación	3	50.000	150.000
Mano de obra: remoción de frutos enfermos	1 jornal/ poda	6	50.000	300.000
Mano de obra: poda de mantenimiento	4 jornales/ poda	4	50.000	200.000
Silikum (presentación de 4 litros)	1 galón	1	94.300	94.300
Manzate	1 kg	1	15.000	15.000
Fosetal	1 kg	1	36.850	36.850
Total				796.150

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. |

Gastos de implementación del MIC 21, clon CCN 51. Fincas El reposo y El fresnito, Palocabildo (Tolima)

Concepto	Cantidad	Total	Valor unitario	Valor total
Mano de obra: aplicación con bomba de espalda. 6 aplicaciones/año	1 jornal/aplicación	3	50.000	150.000
Mano de obra: remoción de frutos enfermos	1 jornal/poda	4	50.000	200.000
Mano de obra: poda de mantenimiento	4 jornales/poda	4	50.000	200.000
Silikum (presentación 4 litros)	1 galón	1	94.300	94.300
Manzate	1 kg	1	15.000	15.000
Fosetal	1 kg	1	36.850	36.850
Total				696.150

Fuente: Elaboración propia

El MT se tomó como tratamiento de referencia para el cálculo de las ganancias o pérdidas adicionales en cada tratamiento de MIC. Los kg de cacao seco/ha de cada tratamiento MIC fueron restados a los kg de cacao seco/ha de MT. La ganancia o pérdida neta con relación al MT fue calculada al multiplicar la producción por el precio actual de mercado del grano (COP\$ 4.970) y restar los gastos en cada tratamiento de MIC (tabla 10).

Tabla 10. |

Ganancias/pérdidas en los tratamientos MT y MIC para el control de *P. palmivora* en el clon CCN 51, fincas El reposo y El fresnito, Palocabildo (Tolima). Tratamientos T1: MT; T2: MIC 7; T3: MIC 14, y T4: MIC 21

Tratamiento	Ganancia/pérdida de producción (kg/ha)	Ganancia/pérdida en pesos \$ (valor actual)	Gastos (\$)	Ganancia/pérdida Neta (\$)
MT	0	0	0	0
MIC 7	388,4	1.930.534	1.096.150	834.384
MIC 14	85,9	427.109	796.150	-369.041
MIC 21	-618,8	-307.518,8	696.150	-377.133,8

Fuente: Elaboración propia.

Solamente el MIC 7 presentó ganancia (\$ 834 384) con relación al MT, al presentar un incremento de 388,4 Kg/ha con relación a este tratamiento. Aunque el MIC 14 produjo 85,9 kg/ha más que el MT, estos resultaron insuficientes para compensar los gastos por insumos y mano de obra, con lo que se evidenció una pérdida de \$369.041 con relación a este tratamiento.

En conclusión, nuestros resultados indican que la práctica de remoción de mazorcas debe realizarse cada 7 días, ya que las remociones realizadas cada 14 días permiten la esporulación de las frutas y la producción de propágulos infecciosos que no alcanzan a ser controlados con la aplicación de productos químicos. Se espera que la permanencia en el tiempo de la práctica de remoción de frutas enfermas cada 7 días permita la reducción paulatina de inóculo infeccioso, de tal manera que el MIC 14 llegue a ser rentable.

Referencias

- Adejumo, T. O. (2005). Crop protection strategies for major diseases of cocoa, coffee and cashew in Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 4 (2):143-150.
- Andreu, A. B., & Caldiz, D. O. (2006). Early management of late blight (*Phytophthora infestans*) by using systemic fungicides applied to seed-potato tubers. *Crop Protection* 25, 281-286. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.05.002>
- Dennis, J. J. C., & Konam, J. K. (1994). *Phytophthora palmivora*: Cultural control methods and their relationship to disease epidemiology on cocoa in PNG. In: *Proceedings of the 11th International Cocoa Research Conference* (pp. 953-957). Cocoa Producers Alliance.
- Dercks, W., & Buchenauer H. (1987). Comparative studies on the mode of action of aluminium ethyl phosphite in four *Phytophthora* species. *Crop Protection*, 6, 82-89. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(87\)90104-9](https://doi.org/10.1016/0261-2194(87)90104-9)

- Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2018). Estudios sobre bioeconomía. https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Bioeconomia/Informe%202/ANEXO%201_An%C3%A1lisis%20sector%20agr%C3%ADcola.pdf
- Drenth, A., & Guest, D. I. (2004). *Phytophthora* in the tropics. In A. Drenth & D. I. Guest (Eds.), *Diversity and Management of Phytophthora in Southeast Asia*. *Aciar Monograph*, 114, 238.
- Elliott, M., Shamoun, S. F. & Sumampong, G. (2015). Effects of systemic and contact fungicides on life stages and symptom expression of *Phytophthora ramorum* in vitro and in planta. *Crop Protection* 67, 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.10.008>. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.10.008>
- Erwin, D. C., & Ribeiro, O. K. (Eds). (1996). *Phytophthora Diseases Worldwide*. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Feng, M. J., & Yamaji, N. (2015). A cooperative system of silicon transport in plants. *Trends in Plant Science* 20(7), 1360-1385. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.04.007>
- Guest, D. I., Anderson, R. D., Foard, H. J., Phillips, D., Worboys, S., & Middleton, R. M. (1994). Long-term control of *Phytophthora* diseases of cocoa using trunk-injected phosphonate. *Plant Pathology*, 43, 479-492. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1994.tb01581.x>
- Gregory, P. H., & Maddison, A. C. (1981). *Epidemiology of Phytophthora on Cocoa in Nigeria*. CAB International.
- Guével, M. H., Menzies, J. G., & Bélanger, R. R. (2007). Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. *Plant Pathology*, 119, 429-436. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.6.619>
- Internacional Cocoa Organization (ICCO) (2015). Production of cocoa beans, ICCO Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics 41(2). <http://www.icco.org/statistics/>

- Iwaro, A. D., Sreenivasan, T.N. & Umaharan, P. (1997). Foliar resistance to *Phytophthora palmivora* as an indicator of pod resistance in *Theobroma cacao*. *Plant Dis*, 81 (2): 619-624. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PDIS.1997.81.6.619>. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1997.81.6.619>
- Jiang, J. (1990). Alterations in the host-parasite interface between *Phytophthora* infestans and tomato leaf cells after treatment with fosetyl-A1. *Plant Science*, 71 (2): 267-276. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(90\)90017-I](https://doi.org/10.1016/0168-9452(90)90017-I)
- Krauss, U., & Soberanis, W. (2001). Biocontrol of cocoa pod diseases with mycoparasite mixtures. *Biological Control*, 22(2), 149-158. <https://doi.org/10.1006/bcon.2001.0956>
- Pegg, K. G., Whiley, A.W., Saranah, J.N., & Glass, R. J. (1985). Control of *Phytophthora* root rot of avocado with phosphorous acid. *Australian Plant Pathology*, 14, 25-29. <https://doi.org/10.1071/APP9850025>
- Ramírez, J. 2016. Pérdidas económicas asociadas a la pudrición de la mazorca del cacao causada por *Phytophthora* spp., y *Moniliophthora roreri* (Cif y Par) Evans et al., en la hacienda Theobroma, Colombia. Colombia. *Revista de Protección Vegetal*, 31(1), 42-49.
- Rodriguez, L., Mujica, J., & Cubillos, G. (2005). *Manejo integrado de la moniliasis del cacao*. Corpoica. Litografía La Bastilla Ltda.
- Rodríguez, E. (2006). Técnica de reducción de inóculo para controlar la moniliasis del cacao en Santander. *Rev Corpoica*, 4, 68-78.
- Rodríguez, E., & Vera A. (2015). *Identificación y manejo de la pudrición parda de la mazorca (Phytophthora sp.) en cacao*. Corpoica.
- McMahon, P., & Purwantara, A. (2004). Diversity and management of cocoa in Asia: *Phytophthora* on cocoa. In Drenth, A., & Guest, D.I. (Eds). *Diversity and management of Phytophthora in southeast Asia* (pp.104-115). Aciar, Monograph, 114.

- Luz, E. D., Santos, A.F., Matsuoka, K., & Bezerra, J. L. (2001). *Doenças causadas por Phytophthora no Brasil*. Livraria e Editora Rural Ltda.
- Opoku, I.Y., Akrofi, A.Y., & Appiah, A.A. (2007). Assessment of sanitation and fungicide application directed at cocoa tree trunks for the control of *Phytophthora* black pod infections in pods growing in the canopy. *Plant Pathology*, 117, 167-175. <https://doi.org/10.1007/s10658-006-9082-8>
- Phillips-Mora, W., & Galindo, J.J. (1989). Métodos de inoculación y evaluación de la resistencia a *Phytophthora palmivora* en frutos de cacao (*Theobroma cacao*). *Turrialba*, 39(4), 488-496.
- Pokou, N., Goran, J., Kebe, I., Eskes, A., Tahi, M., & Sangare, A. (2008). Levels of resistance to *Phytophthora* pod rot in cocoa accessions selected on-farm in Côte d'Ivoire. *Crop Protection*, 27, 302-330. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.07.012>
- Rondón, G., & Gómez, R. (1993). Manejo productivo de plantaciones de cacao. *Boletín de Sanidad* n° 3.
- Tahi, G. M., Kébe, I., Eskes, A.B., Ouattara, S., Sangare, A., & Mondeil, F. (2000). Rapid screening of cacao genotypes for field resistance to *Phytophthora palmivora* using leaves, twigs and roots. *European Journal of Plant Pathology*, 106, 87-94. <https://doi.org/10.1023/A:1008747800191>
- Tesfagiorgis, H., & Annegarn, H. (2013). Evaluation of adjuvants for enhanced management of *Podosphaera xanthii* using potassium silicate and biocontrol agents. *Crop Protection*, 48, 69-75. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.03.002>
- Tey, C., & Wood, R. (1983). Effects of various fungicides in vitro on *Phytophthora palmivora* from cocoa. *Transactions of the British Society* 80, 271- 282. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(83\)80010-2](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(83)80010-2)
- Tyler, B. (2001). Genetics and genomics of the oomycete-host interface. *Trends in Genetics* 17, 611-614. [https://doi.org/10.1016/S0168-9525\(01\)02517-3](https://doi.org/10.1016/S0168-9525(01)02517-3)

- Vawdrey, L., Westerhuis, D. (2007). Field and glasshouse evaluations of metalaxyl, potassium phosphonate, acibenzolar and tea tree oil in managing *Phytophthora* root rot of papaya in far northern Queensland, Australia. *Australian Plant Pathology*, 29, 46-51. <https://doi.org/10.1071/AP07016>
- Vos, J., Ritchie, B., & Flood, J. (2003). *Discovery learning about cocoa: an inspiration guide for training facilitators*. http://www.worldcocoafoundation.org/Library/Documents/cabi_cocoa_manual_2003%20.pdf
- Wicks, T.J., & Hall, B. (1988). Preliminary evaluation of phosphorous acid, fosetyl-Al and metalaxyl for controlling *Phytophthora cambivora* on almond and cherry. *Crop Protection*, 7, 314-318. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(88\)90078-6](https://doi.org/10.1016/0261-2194(88)90078-6)
- Widmer, T. (2010). *Phytophthora kernoviae* oospore maturity, germination and infection. *Fungal Biology*, 114, 661-668. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2010.06.001>





Capítulo 3.

Poscosecha del cacao

Autores:

Ivonne Ximena Cerón Salazar
María Cristina García Muñoz
Alfonso Cubillos Varela
Martha del Pilar López Hernández

Colaboradores:

Kelly Johana Pedroza Berrío
Edgar Mauricio Rico
Sergio Duvan Murcia Medina
Lindolfo Galeano Cupita
Manuel Bohórquez Pérez
Jorge Luis Ordoñez
Víctor Manuel Flórez
Adriana Cabezas

Introducción

Colombia ha sido considerado como un país productor de cacao fino de aroma (Sosa, 2019). A pesar de que el material genético es el responsable en gran medida de este reconocimiento, si no se hace un buen proceso de beneficio esta ventaja comparativa se puede perder y el país podría pasar a ser uno de los tantos productores de cacao corriente, en un mercado más competitivo y con menor valor.

La generación de valor en el cacao se da principalmente durante su proceso de beneficio, es decir, en las etapas de fermentación y secado; sin embargo, hay factores pre cosecha y cosecha que también son determinantes en la calidad y, por lo tanto, en el valor del cacao (Kongor et al., 2016). Antes de entrar a identificar estos factores es necesario definir a qué se le denomina cacao de calidad, qué características lo determinan y de qué depende su precio. Este documento se ha dividido en tres secciones: en la primera, se identificarán los parámetros que afectan la calidad del cacao; en la segunda, los principales aspectos que deben ser tenidos en cuenta durante su fermentación, y, en la tercera, los principales aspectos a tener en cuenta durante el secado. En cada una de estas secciones se realizan algunas recomendaciones que contribuyen a asegurar la calidad del cacao final.

Factores que afectan la calidad del cacao

El cacao es la materia prima en la producción de chocolate y un insumo en la industria cosmética. Con el aumento del consumo de chocolate con un alto porcentaje de cacao, aumenta a su vez la demanda de granos de excelente calidad, por lo que resulta fundamental una mayor comprensión de los factores que influyen sobre ella. La calidad del grano de cacao es la acumulación de varios factores: sabor, aroma, composición nutricional y calidad fermentativa. A su vez, estos

son resultado de diversos procesos en los que intervienen diferentes actores (cacaocultor, transportador e industria) (Aguilar, 2016). A continuación se detallan algunas causas y consecuencias relativas a la calidad del grano en las actividades que involucran al cacaocultor, que es el protagonista de este proceso.

Cultivo

El desarrollo del sabor depende, principalmente, del material sembrado, la composición química del suelo, la edad del árbol y las condiciones ambientales. Los procesos de poscosecha (fermentación y secado) e industriales (tostión, descascarillado, molienda, conchado, etc.), por su parte, ayudan a expresar su potencial (Kongor et al., 2016). Por ello es fundamental el cuidado especial en el momento de seleccionar los materiales sembrados en la finca, así como en los procesos de fertilización y manejo agronómico de los árboles.

Universalmente se conocen tres grandes variedades de cacao: forastero, criollo y trinitario. El forastero es nativo de la cuenca del Amazonas y representa el 95 % de la producción mundial de cacao (Saltini et al., 2013). Es cultivado, principalmente, en África occidental, y sus semillas se caracterizan por ser planas, astringentes y de color violeta, debido a la presencia de antocianinas. Los árboles son muy productivos y se consideran moderadamente resistentes a plagas y enfermedades (Lima et al., 2011). Diversos estudios han demostrado que después de los procesos de fermentación y secado, los granos de este material poseen un pH más alto en comparación con los granos de un material criollo.

Los criollos son materiales originarios del continente americano. Su semilla se caracteriza por ser de color blanco, marfil o púrpura muy pálido, debido a un gen inhibidor de antocianinas (Beckett, 2009). Los árboles son de baja productividad y susceptibles a enfermedades y plagas. El pH de los granos es bajo, lo que afecta fácilmente el perfil del sabor (Ortiz de Bertorelli et al., 2009).

El trinitario es originario de Trinidad y Tobago, producto de la hibridación de los materiales criollo y forastero. Las semillas son de color variable y los árboles muestran susceptibilidad a plagas y enfermedades.

Los chocolates producidos a partir de los materiales criollo y trinitario son considerados “finos”, y la participación a nivel mundial es inferior al 5 % (Kongor et al., 2016).

Plagas y enfermedades

Aproximadamente el 30 % de las pérdidas en el cultivo de cacao son causadas por plagas y enfermedades (Parra et al., 2009). Las principales enfermedades que afectan el cultivo son: *Phytophthora sp.*, Escoba de Bruja (*Moniliophthora perniciosa*) y moniliasis del cacao (*Moniliophthora roreri*) (Pabón, 2016).

En muchos casos, el manejo de plagas y enfermedades es realizado por control químico (Suárez y Hernández, 2010); sin embargo, el agricultor puede reducir la incidencia de plagas y enfermedades mediante prácticas culturales (limpieza, variedades resistentes, podas) o la utilización de alternativas verdes como la instalación de barreras verdes y control biológico (Estrada et al., 2011). Estos cuidados permitirían, además, la incorporación de dicho producto a los mercados orgánicos, los cuales están dispuestos a otorgar un valor adicional por kilogramo de cacao.



Figura 105. |
Mujer realizando limpieza de
frutos enfermos en el cultivo
Foto: Autores

Cosecha

Punto óptimo de cosecha

La recolección de los frutos de cacao debe realizarse en un momento óptimo, pues, como en los frutos inmaduros los azúcares no se han desarrollado completamente, el proceso de fermentación resulta ineficiente, al no contar con suficiente sustrato (glucosa y fructosa) para los microorganismos que actúan en la etapa inicial (levaduras); por el contrario, si se cosechan los frutos sobremaduros, las semillas germinadas no permitirían cumplir a cabalidad el objetivo de la fermentación y se generarían sabores desagradables, sin tener en cuenta que pueden llevar consigo enfermedades o estar deteriorados por plagas que generen condiciones de contaminación en la masa fermentable (Quiroz, 2012).

En la mayoría de los casos, se recomienda como indicador de la madurez del fruto de cacao el cambio de color. Se ha generalizado que cuando el fruto en su estado inmaduro es verde, en el momento de la maduración se torna amarillo (figura 106 a), y cuando es morado, se torna de color naranja brillante en la madurez (figura 106 b) (Martínez, 2016).



Figura 106. |

Cambios de color durante la madurez del fruto. a. Cambios de color de un fruto verde a amarillo; b. Cambio de color de un fruto morado a naranja

Foto: Autores

Herramientas de cosecha

La cosecha de los frutos de cacao tradicionalmente se realiza con las siguientes herramientas:

- Tijeras de podar
- Pica o media luna
- Tijeras de cuerda o cadena

Se aconseja que dichas herramientas estén limpias para realizar de manera óptima esta labor.

No es recomendable utilizar machete, pues se corre el riesgo de lastimar el árbol e incluso desprender cojines florales.

Así mismo, para cosechar los frutos se recomienda contar con una carretilla en terrenos planos o costales que permitan transportar los frutos (Moreno, L. & Sánchez, 1989).



Figura 107. |

Herramientas utilizadas en la cosecha y mantenimiento del cultivo de cacao

Fotos: Autores

Puntos de acopio

Con el propósito de evitar el transporte de los frutos hasta los sitios de beneficio, los cuales generalmente se encuentran lejos del cultivo, se recomienda realizar el acopio y el posterior fraccionamiento de los frutos en sitios equidistantes dentro del cultivo. Con esta práctica se favorece la polinización del cacao, que es llevada a cabo exclusivamente por dípteros *Ceratopogonidae* (Bravo et al., 2011), pues, como se ha comprobado, estos prefieren como sustrato la cáscara de los frutos de cacao (Montero-cedeño et al., 2019).

Beneficio

Los tratamientos de poscosecha son fundamentales para lograr la calidad final del grano. Aunque se tenga un material genéticamente apto para un perfil sensorial sobresaliente, un mal proceso de poscosecha lo dañaría; por el contrario, un material considerado de bajo perfil sensorial, con un buen proceso poscosecha, llegaría a ocupar puestos sobresalientes en el tema sensorial.

Apertura de mazorcas: El proceso de apertura de la mazorca debe ser realizado de la manera más limpia posible, utilizando guantes de látex para proteger tanto la integridad del operario como la de la masa del cacao. Como se indicó anteriormente, este proceso se realiza en campo; sin embargo, la masa es recogida en canecas completamente limpias y secas, con tapas que protejan la masa hasta el punto de acopio en el área de beneficio. Así mismo, se recomienda que durante este proceso se evite la presencia de animales como perros o gallinas.

En fincas donde la producción es baja, se utilizan las siguientes herramientas para la apertura de las mazorcas:

- Machete
- Mazo

El lugar destinado para abrir las mazorcas debe estar limpio. Además, se debe evitar almacenar fertilizantes o plaguicidas que puedan contaminar los frutos.

De igual manera, los puntos de acopio deben tener unas tarimas o estibas que protejan los frutos del contacto directo con el suelo o con animales.

Selección de granos: Los granos provenientes de frutos enfermos, verdes o sobremaduros deben ser separados, así como los granos partidos y germinados, para alcanzar una fermentación uniforme y de calidad

Preacondicionamiento: La cantidad excesiva de pulpa en los granos de cacao durante la fermentación conduce a una alta producción de ácido y afecta su calidad sensorial. Este proceso lleva al cambio de las propiedades de la pulpa antes de la fermentación. Dichos cambios implican la alteración en el contenido de la humedad, las azúcares y el volumen de la pulpa, así como cambios del pH y la acidez de la misma. Se ha evidenciado que al eliminar una porción de la pulpa, se produce menos ácido durante la fermentación (granos menos ácidos) (Emmanuel et al., 2012), así como fermentaciones más cortas y de mayor eficiencia. Otra de sus ventajas es la oportunidad del uso del lixiviado en la fabricación de mermeladas, jugos, vinos o refrescos.

Prácticas de fermentación: La fermentación es una actividad determinante en la calidad del grano de cacao. A través de esta se producen reacciones bioquímicas que reducen su amargor y astringencia, y se desarrollan compuestos precursores del aroma y sabores específicos como el del chocolate. En Colombia existen diversas prácticas alrededor de este proceso, por lo que el cacao producido no es homogéneo y afecta su calidad. Dentro de los métodos más utilizados se encuentran: cajón de madera sencillo, costales de fique y fibra plástica,

cajón de madera en escalera, arrumes, cajón plástico y cajón de cemento. En cuanto al tiempo y la remoción de la fermentación se ha encontrado igualmente gran diversidad, con procesos que van desde 3 hasta 8 días, y remociones cada 24 h; otros esperan las 48 h para el primer volteo e, incluso, se encuentran productores que no realizan remociones y evaden la etapa denominada “aeróbica”, en la que se oxigena la masa fermentable (Cardona et al., 2004).

Prácticas de secado: Realizar el secado del grano de cacao es fundamental para mejorar su vida útil, reducir el costo de empaque, el peso del envío, mejorar la apariencia, encapsular el sabor original, mantener el valor nutricional y, al disminuir la humedad, inhibir el crecimiento de bacterias, levaduras y mohos (Koua et al., 2019).

En el proceso de secado continúan las reacciones bioquímicas que comenzaron en la fermentación. Con el objetivo de favorecer las reacciones responsables del sabor y aroma del grano se debe prestar especial atención a este proceso. Alean et al. enfatizan que el proceso de secado debe realizarse lentamente, a una temperatura controlada inferior a 60 °C y, según la NTC 1252, se debe alcanzar un porcentaje de humedad inferior al 7 % (2016).

Una alternativa de secado del cacao es la forma artificial, la cual requiere mucha atención para no alterar la calidad. Aunque al utilizar este método generalmente se obtiene una calidad superior a otros tipos de secado, también se considera su alto costo en la instalación e implementación respecto a otros métodos para aumentar la temperatura como calderas, hornos o calentadores eléctricos (Castro & Zambrano, 2020).

El secado natural es el más utilizado. Consiste en el efecto de la radiación solar sobre el grano de cacao. Tiene la desventaja de depender de las condiciones climáticas de la zona o la región. Actualmente existen varias formas de implementar este método, dentro de las cuales se encuentra el secado a cielo abierto

en las denominadas “casa elba”, en marquesinas que consisten en sitios cubiertos tipo invernadero o sencillamente en el suelo sobre costales (Salgado, 2016).



Figura 108. |

Métodos de secado de granos de cacao. a. Secado en casa elba; b. Secado en marquesina

Fotos: Autores

Prácticas de almacenamiento: La NTC (Norma Técnica Colombiana) (2010) recomienda empacar los granos de cacao en sacos limpios, secos y en buen estado, de cabuya o yute, exclusivos para el almacenamiento del producto. Estos sacos con el producto se deben almacenar en lugares limpios, con techos y paredes, secos y ventilados, separados del piso y las paredes; no se debe almacenar con productos como otros granos, desechos orgánicos, etc. El periodo de almacenamiento debe ser tan corto como sea posible para evitar la infestación de plagas y hongos, y, por supuesto, el incremento de humedad del grano, el cual no debe superar el 7 %, según lo establecido en la NTC (2012).

Componentes fisicoquímicos y organolépticos del grano de cacao

Existen parámetros visibles que determinan la calidad comercial de los granos de cacao. La NTC (2012) especifica los parámetros para que una muestra sea catalogada como “premio” a través de los siguientes requisitos: contenido máximo

de humedad de 7 %; impurezas o materias extrañas del 0 %; granos mohoso internos del 2 %; grano dañado por insectos y/o germinados de 1 %; contenido de pasilla del 1 %; peso (g/100 granos) de 120; granos bien fermentados de 65 %; granos insuficientemente fermentados de 25 %, y granos pizarrosos del 1 %.

Existen dos índices que caracterizan el fenotipo de cacao: el índice de grano y el índice de mazorca. El índice de grano se define como peso promedio de 100 granos de cacao seco y fermentado, y el índice de mazorca es el número promedio de mazorcas para obtener 1 kg de cacao seco y fermentado, lo cual es determinante en el momento de la siembra de materiales en los predios. A continuación se muestra la composición proximal del grano de cacao (Torres-Moreno et al., 2015).

Tabla 11. | Composición química de almendras de cacao

Componente		Media ± SD por kg
Proximales	Humedad (g)	59,51 ± 0,04
	Cenizas (g)	40,32 ± 0,03
	Proteína total (g)	127,91 ± 0,03
	Carbohidratos por diferencia (g)	337,85 ± 0,24
	Fibra dietaria (g)	194,03 ± 0,28
	Grasa total (g)	434,56 ± 0,25
Minerales	Calcio, Ca (mg)	1225,55 ± 18
	Magnesio, Mg (mg)	3075,24 ± 0,01
	Potasio, K (mg)	12486,21 ± 0,05
	Fósforo, P (mg)	4231,43 ± 0,01
	Hierro, Fe (mg)	146,47 ± 12
	Manganeso, Mn (mg)	21,64 ± 0,50
	Cobre, Cu (mg)	26,10 ± 1,40
	Zinc, Zn (mg)	44,65 ± 0,21
	Sodio, Na (mg)	261,05 ± 0,34
	Selenio, Se (µg)	2,80 ± 0,03

Fuente: Torres-Moreno et al., 2015.

Las características organolépticas del grano de cacao incluyen parámetros que se pueden ver, oler, tocar y probar. Se han identificado cuatro sabores básicos: dulce, amargo ácido y astringente, y sabores específicos como cacao, floral, frutal, nuez, entre otros. Los perfiles sensoriales son desarrollados a partir de la evaluación sensorial del licor de cacao, realizados por un panel de evaluadores, quienes califican la muestra en una escala de 0 a 10 para cada uno de los atributos mencionados. Colombia cuenta con la categoría de cacao fino, de sabor y aroma, la cual se debe conservar para garantizar el comercio a nivel internacional.

Fermentación del cacao

El beneficio contempla todo el tratamiento aplicado a las almendras, desde la recolección de los frutos maduros hasta los procesos de fermentación, secado, almacenamiento y tostado, para obtener las notas aromáticas que le dan mayor valor. La calidad aromática de los productos del cacao está relacionada con el origen genético de las almendras (Aranzazu, et al., 2009) y con su beneficio (fermentación, secado y tostado) (Lares et al., 2013). Este aroma está constituido por una fracción proveniente de la almendra fresca, otra fracción desarrollada durante la fermentación y secado, y una fracción importante formada durante el tostado, a partir de los compuestos formados durante la fermentación y el secado (Lares et al., 2013). Por lo tanto, la fermentación puede catalogarse como la etapa más importante del beneficio, dado que es en ella donde se desarrollan la mayor parte de los componentes que serán la base del aroma y sabor de cacao obtenido. Teniendo en cuenta la importancia de esta operación, en la siguiente sección se hace un recorrido rápido por los cambios ocurridos en esta etapa y se identifica cómo se pueden controlar para lograr un buen desarrollo de la

fermentación; estos cambios se reflejarán en un cacao de alta calidad, caracterizado por una buena presencia de precursores del sabor y el aroma.

Fundamentos de la fermentación

La fermentación es sin duda alguna un proceso de beneficio del cacao determinante en la calidad del cacao, aunque cada etapa a lo largo de la cadena de producción y transformación va aportando su grano de arena en la consecución o formación de la calidad del cacao. Durante este proceso, como se verá en el desarrollo del capítulo, se operan una gran cantidad de transformaciones e interacciones de todos estos compuestos, que dan origen a los llamados “precursores” de sabor y aroma, los cuales se desarrollan completamente durante las etapas posteriores de secado y tostado. Por ello, si la fermentación no se lleva a cabo adecuadamente estos precursores no se formarán, y así el secado y el tostado se lleven a cabo bajo las mejores condiciones, no se generarán las notas especiales que le dan su valor agregado al cacao, lo que implicaría perder la ventaja de fino aroma y entrar a un mercado de commodities o cacaos corrientes sin ningún valor agregado.

El presente capítulo se centra en el proceso de fermentación. Se realiza una presentación inicial sobre aspectos generales de la fermentación, desde su preparación, el preacondicionamiento del grano, los equipos y herramientas, los factores a tener en cuenta durante su desarrollo, así como el seguimiento y control de la misma.

Características básicas de la materia prima o granos de cacao

Para asegurar el éxito de la fermentación es necesario seguir una serie de recomendaciones que operan desde el momento mismo de la preparación del grano. La planificación para la producción de cacao de alta calidad debería iniciar,

idealmente, desde el momento de la siembra. Se deberían, entonces, seleccionar materiales con características genéticas especiales que incluyan no solo resistencia o tolerancia a las principales enfermedades, sino buena adaptación a las condiciones agroclimáticas de la región, buen balance de producción y calidad, así como compatibilidad con los otros tipos de cacao. Adicionalmente, estudios realizados a cabo por Agrosavia (Horta, et al., 2019) han mostrado que cuando a la fermentación se llevan materiales similares en cuanto a tipo (criollo, forastero o trinitario), tamaño de grano, grado de madurez, entre otros parámetros, la masa de fermentación tiene un desarrollo más uniforme, por lo que se adquiere un producto más homogéneo y de mejor calidad. Sin embargo, esta condición pocas veces ocurre y, de hecho, en los lotes de cacao se tiene una gran cantidad de materiales e híbridos que dificulta la obtención de granos homogéneos para la fermentación (figura 109).



Figura 109. |

Variedad en los tipos de cacao, grado de madurez y características

Foto: Autores

Realizar una clasificación de los granos, al menos de acuerdo con su tamaño, sería muy útil, pues los granos pequeños tienden a fermentar más rápido que los

grandes. En este caso, si se mezclan, mientras unos alcanzan un desarrollo satisfactorio, otros, o están sobrefermentados o presentan una fermentación incompleta. Esta variabilidad en las características del grano fermentado demerita su calidad.

El otro aspecto para tener en cuenta es su estado de madurez. De manera similar al tamaño de los granos, el grado de madurez del cacao determina el contenido de la pulpa, los azúcares, los polifenoles, las proteínas, la actividad de las enzimas, entre otros parámetros que determinan la dinámica de la fermentación. De esta forma, si los granos presentan diferente grado de madurez, esta se verá reflejada en una ausencia de homogeneidad en las características de los granos al final de la fermentación (figura 110), pues cada grano es un reactor en el que se llevan a cabo las reacciones bioquímicas necesarias para dar origen a los precursores de aroma y sabor.



Figura 110. |

Granos de cacao con el mismo tiempo de fermentación, pero diferente grado de fermentación

Foto: Autores

La velocidad y alcance de cada una de estas reacciones depende de las condiciones del grano y del ambiente que lo rodea, es decir, de la temperatura, del pH, y, por supuesto, de la presencia y la concentración de cada uno de los compuestos (proteínas, enzimas, polipéptidos, polifenoles, azúcares reductores, ácidos, alcaloides, etc.) del grano. Por esta razón es muy importante la homogenización de la materia prima, para que toda la masa en fermentación tenga las mismas condiciones y así todos los granos alcancen el mismo grado de fermentación

En resumen, entre más homogéneos estén los granos en cuanto a tamaño y grado de madurez, más homogénea será la fermentación y más homogéneo el cacao fermentado. No obstante, esta recomendación es difícil de seguir, pues aún no se tienen indicadores de madurez precisos para los diferentes tipos de cacao, y tampoco se cuenta con una herramienta que permita la fácil clasificación por tamaño. No obstante, si las diferencias de tamaño son muy grandes, deberían fermentarse de manera separada.

Preacondicionamiento de los granos: Esta práctica busca homogenizar las características del grano, especialmente en cuanto al contenido de la pulpa y de los azúcares iniciales. En cuanto a la pulpa, se ha identificado que puede absorber gran cantidad de la energía liberada por la fermentación, con lo cual no se logra la temperatura deseada, y se afecta drásticamente el avance de la fermentación; por otro lado, cuando el contenido de azúcares de la pulpa es alto, el cacao obtenido puede ser ácido, demeritando su calidad. Aunque esta es la razón por la cual los fermentadores cuentan con drenajes, también existen alternativas complementarias de preacondicionamiento de los granos. Estas alternativas se describen a continuación.

- *Almacenamiento de los frutos.* Una práctica común en esta cadena es la cosecha y almacenamiento temporal de los frutos. Se dejan uno o dos días sin

abrir y se espera a que sus características estén homogéneas (figura 111). La efectividad de esta práctica no está comprobada, pero lo que se puede afirmar es que el fruto comienza a perder peso por la pérdida de su humedad –que proviene principalmente de la pulpa–, por lo cual puede resultar útil para disminuir en alguna medida el contenido de la pulpa. Sin embargo, hasta donde algunos estudios han demostrado, el cacao no es un fruto climatérico, por lo que no se puede esperar que su composición o sus demás características cambien favorablemente una vez cosechado; puede que los azúcares se degraden para liberar una energía que le permita al fruto continuar con sus procesos metabólicos básicos. Otros estudios (Nazaruddin, et al 2006) han demostrado que cosechar los frutos y almacenarlos sin abrir por quince días, para luego llevarlos a fermentación, genera un producto final con menor contenido de acidez, polifenoles e índice de fermentación.



Figura 111. |

Almacenamiento temporal de los frutos de cacao

Foto: Autores

- *Escurreo de la pulpa.* Esta es otra práctica de acondicionamiento del cacao previo al proceso de fermentación. Tiene un objetivo similar al almacenamiento

temporal de los frutos, es decir, la reducción de la pulpa y el contenido de los azúcares. De acuerdo con estudios de preacondicionamiento de los granos mediante su escurrido –realizados por Agrosavia (2020)–, el desgranado y el posterior escurrido o drenado de la pulpa por un tiempo de 12 horas resulta benéfico para la calidad del cacao, lo cual se refleja en el índice de fermentación y en el análisis sensorial del cacao obtenido. Este escurrido se puede hacer en las lonas o en canastillas plásticas; solo se requiere que estén limpias, que tengan una buena área libre (huecos) –que facilite el drenaje de la pulpa– y llenarlas al 50 o 60 % de su capacidad, para que el líquido pueda fluir y drenar fácilmente. Se deben disponer en lugares limpios, alejados de cualquier fuente de contaminación, como lugares de disposición de residuos o frutos en mal estado, aguas estancadas, mascotas de la finca, etc., preferiblemente en un ambiente protegido de la lluvia y el sol directo, pero con buena ventilación. La figura 112 muestra el drenaje del cacao en sacos o lonas con una área libre adecuada, pero con la capacidad al 100 %, y en el segundo caso, dispuestos verticalmente, lo cual dificulta el movimiento y la salida de los jugos o pulpa.



Figura 112. |

Escurreo del cacao en sacos a su máxima capacidad

Fotos: Autores

El estudio llevado a cabo por Agrosvia (2020) demostró que el escurrido del cacao en canastillas o en lonas es eficaz cuando la altura del cacao no supera los 10 cm. Esto implica que el cacao debe ser dispuesto de manera horizontal para lograr una mayor capacidad por cada lona.

Pesado del grano y alistamiento de elementos y equipos: Una vez el cacao ha sido seleccionado (durante la apertura de los frutos) y escurrido, es importante pesarlo para poder tener información sobre el rendimiento de la fermentación, la conversión de cacao en baba a cacao fermentado y cacao seco. De hecho, se debería contar también con el peso de los frutos recogidos del cacao en baba sin escurrir y del cacao con daños, pues esto permite tener información sobre el rendimiento, no solo del proceso de fermentación sino de todo el sistema, de tal manera que se pueda realizar una evaluación económica y determinar su rentabilidad.

Una vez pesado y seleccionado el cacao, el siguiente paso es alistar los equipos o herramientas que se requieren para llevar a cabo la fermentación.

- *Elementos.* Entre los elementos que se utilizan en la fermentación del cacao están la pala o los baldes, los cuales facilitan el movimiento o traslado de la masa de cacao para homogenizarla y airearla (figura 113). Estos elementos, así como el fermentador, no deben transferirle al cacao ningún olor o aroma extraño, o algún tipo de contaminante. La pala que generalmente se utiliza es de madera, y también debe estar limpia y ser desinfectada, al menos al final de cada fermentación. En el caso de los baldes, también deberían lavarse y desinfectarse después de cada fermentación, pues si esto no se hace, los residuos de pulpa o cacao que queden en él pueden ser focos de contaminación para el nuevo lote de cacao a fermentar.



Figura 113. |
Elementos utilizados en la fermentación de cacao
 Fotos: Autores

Estas herramientas, así como los fermentadores o lugares en los que se vaya a manipular el cacao, deben estar limpios, sin elementos extraños como herramientas, ropa, empaques, agroquímicos, insectos, residuos de mascotas, frutos, cacotas o granos de cacao contaminados (figura 114), de lo contrario, podría alterarse la masa a fermentar o el normal desarrollo de su fermentación, generar olores y sabores extraños, o cambiar la dinámica de la misma.



Figura 114. |
Herramientas y fermentador con residuos o elementos extraños
 Fotos: Autores

Cabe anotar que en el alistamiento de herramientas y equipos es imprescindible el buen estado del fermentador, y no solamente que esté libre de elementos o materiales extraños. Dado que el fermentador es el principal equipo utilizado en el proceso de beneficio del cacao, este requiere de mayor atención, por lo que en la siguiente sección será descrito junto con sus requerimientos.

Equipos de proceso de fermentación

Todos los equipos o herramientas que estén en contacto con el cacao no deben transferirle sabores y aromas extraños o interactuar con su materia prima. Entre estos, el más importante es el fermentador, ya que se encarga de albergar no solo la masa de cacao sino también el operario o agente más importante de este proceso, los microorganismos. Sobre la función de estos se discutirá más adelante; por ahora es importante saber que requieren condiciones especiales para su correcto desarrollo en el momento adecuado. Aunque sobre ellos no se puede tener un control total, pues la microbiota que participa en este proceso es endógena (Papalexandratou et al., 2011), es decir, proviene de los frutos del medio donde se desarrolla el cacao, de las herramientas que se utilizan para abrirlo, de las manos de los trabajadores, entre otras fuentes, si se puede guiar su dinámica, y esto se hace a través del manejo de las condiciones de proceso en el fermentador. Para direccionar la dinámica de la microbiota hacia la secuencia recomendada de los grupos microbiológicos (levaduras, bacterias ácido lácticas y ácido acéticas) (Hamdouche et al., 2015) y lograr un buen desarrollo de la fermentación es importante disponer de un buen equipo de proceso, prácticas adecuadas de manejo del sistema, así como equipos básicos de control que permitan monitorear el proceso.

Algunos estudios se han centrado en el diseño de un inóculo (De Melo et al., 2012; Meersmana et al., 2015) para reducir la aleatoriedad que pueda tener la microbiota endógena y lograr un mejor control del proceso. No obstante, esto

exige mayores requerimientos para el equipo de fermentación, pues este debería poder limpiarse y desinfectarse con el fin de asegurar que el sistema esté libre de la presencia de cualquier otro tipo de microorganismos que pueda interferir con el buen desempeño del inóculo. En cualquiera de los dos casos, uso del inóculo o fermentación espontánea, el fermentador juega un papel decisivo en la calidad final del producto.

Fermentador

Para favorecer el desarrollo de las especies o grupos de microbiota adecuados y en la secuencia correcta, el fermentador debe cumplir ciertas características como retener el calor generado durante la fermentación, permitir el drenaje de la pulpa y exudados provenientes del proceso, facilitar la homogenización de la masa, así como evitar o reducir los factores de contaminación de la masa de granos y, en general, del sistema. Basados en estos requerimientos para el diseño del fermentador, es importante tener en cuenta tanto su material como su operación.

Materiales

De acuerdo con los anteriores requerimientos y teniendo en cuenta que el proceso se desarrolla prácticamente en condiciones ácidas, la madera parece ser el material ideal para el desarrollo de la fermentación, ya que no se oxida y es de fácil consecución, además de ser de bajo costo. Es ideal, también, por la facilidad para trabajarla y lograr un diseño ideal; por el drenaje y la posibilidad de adecuarla a la capacidad que se requiera, y porque presenta una baja conductividad térmica que permite mantener la temperatura del sistema (figura 115 a). Aunque su estructura porosa puede “guardar” el inóculo o microbiota deseados para el buen desarrollo de la fermentación como un proceso de curado, también puede albergar microbiota perjudicial que demerita la calidad del grano. Esta es

la principal desventaja que presenta la madera, pues la desinfección y secado de la misma no es tan sencillo. Frente a esta dificultad, el acero inoxidable (figura 115 b) se presenta como una buena opción (De Melo et al., 2013), pues es fácil de limpiar, desinfectar y secar, y es el material más recomendado para la manipulación de alimentos; sin embargo, su principal desventaja está en su alta capacidad de transferir el calor, por lo que, si no se aísla térmicamente, difícilmente puede alcanzar la temperatura necesaria para el buen desarrollo de la fermentación, y generar cacaos ácidos con un pobre perfil aromático.

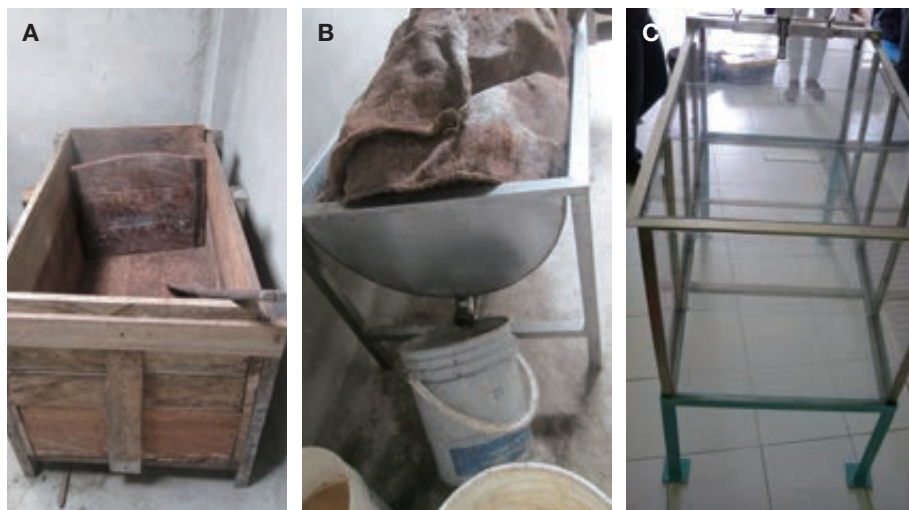


Figura 115. |
Fermentadores de a. Madera; b. Acero inoxidable; c. Plástico
Fotos: Autores

Otro de los materiales que no resulta tan común en el país es el plástico (polietileno o poliestireno) (figura 115c). Este tiene algunas ventajas como su fácil consecución, limpieza y baja conducción de calor, pero que no ha recibido tanta acogida porque se dice que puede modificar la composición de los granos transfiriendo aromas y sabores extraños.

Tipos de fermentadores

Para esta operación existen diferentes alternativas, desde los de tambor hasta los de madera, en forma de prisma rectangular (cajones), dispuestos en línea o en escalera, entre otras opciones. Entre los criterios a tener en cuenta para la selección del mejor tipo de forma y disposición de los fermentadores está la facilidad de manipulación: cargue, descargue, homogenización y aireación de la masa, drenaje y conservación del calor, entre otros.

- *Tambor*: Entre las ventajas que presenta el tambor está la facilidad para la mezcla y homogenización de la masa, además de poder ser construido en madera o en acero inoxidable; sin embargo, el sistema de cargue y descargue puede presentar algún inconveniente, y el alcance y mantenimiento de condiciones de alta temperatura con baja y alta oxigenación es un poco más compleja de manejar, dado el volumen de la masa que se puede manejar y el volumen libre que se debe dejar. Además, requiere una estructura de soporte fuerte que puede significar mayores gastos e inconvenientes en caso de que llegue a fallar.
- *Canoas o bateas*. Estas formas presentan una relación alta de longitud a ancho o diámetro de la canoa. En este caso, la masa de cacao queda más extendida, por lo que el calor que se genera se pierde más fácil y se dificulta el alcance y mantenimiento de la temperatura requerido para el buen desarrollo de la fermentación.
- *Cajones rectangulares de madera*. Este es uno de los diseños más utilizados porque, además de que la madera presenta una baja conducción térmica, la forma rectangular del contenedor hace que la masa este más aglomerada y pueda alcanzar la temperatura deseada y mantenerse.

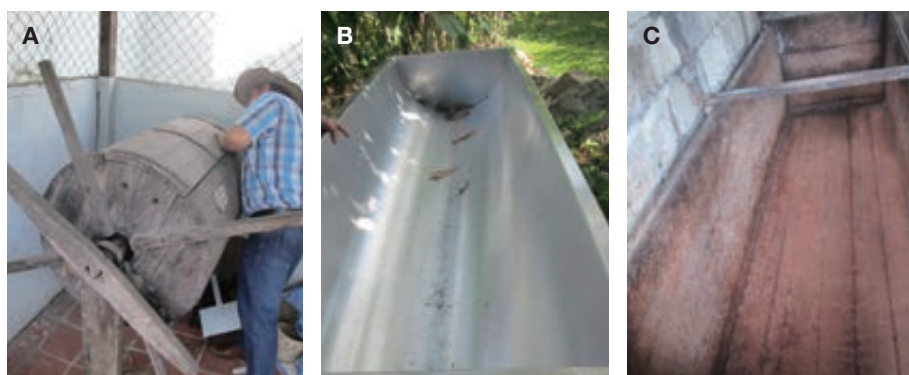


Figura 116. |

Tipos de fermentadores. a. Tambor; b. Canoa; c. Cajón rectangular

Fotos: Autores

Disposición de los fermentadores

Lineal y en escalera. Para facilitar la homogenización y aireación de la masa a lo largo del proceso, se acostumbra a dividir el fermentador en secciones, lo cual permite trasladar la masa de una sección a otra. Estas secciones pueden dejarse en línea o en escalera, dependiendo del espacio y los recursos con los que se cuente. La disposición lineal requiere de un mayor esfuerzo físico que el de escalera, ya que en este se aprovecha la gravedad para mover la masa; sin embargo, resulta más económico, pues los requerimientos de construcción son menores.

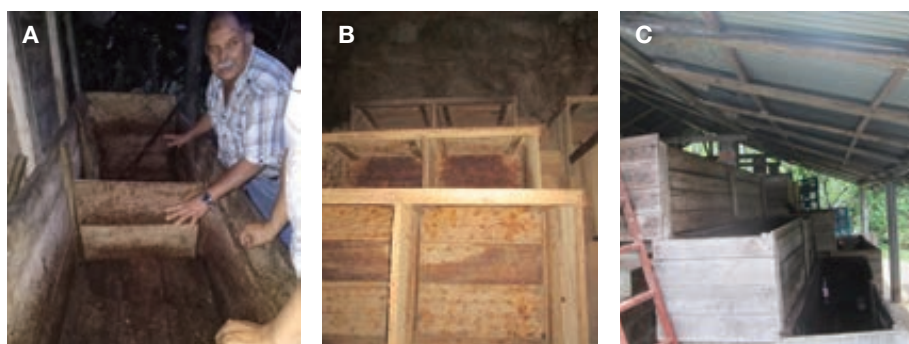


Figura 117. |

Disposición del fermentador: a. En línea; b. En escalera

Fotos: Autores

Características de diseño

- **Aislamiento térmico:** Es indispensable que el fermentador mantenga la energía que se libera durante la fermentación para aumentar la temperatura de forma ideal y controlar de esta forma la microbiota indeseada, así como el desarrollo de la microbiota deseada. Aunque este requerimiento ha sido contemplado en el material, es importante que el diseño, la disposición y la ubicación reduzcan al máximo las pérdidas de energía de la masa de cacao en el ambiente. No obstante, también es importante reducir al máximo las pérdidas de calor, por lo cual el fermentador debe ser cerrado, cubierto o tapado con elementos de baja conducción térmica como la madera. En la práctica se acostumbra a utilizar al menos dos capas: la primera, compuesta por materiales propios de la región (por ejemplo, hojas de musáceas como el banano y el plátano, o lonas de fique), las cuales a su vez son cubiertas con plástico (polietileno) (figura 118). Es importante que el plástico no quede en contacto con el cacao, pues este material ha sido asociado con la transferencia de aromas y sabores indeseables al cacao.



Figura 118. |

Aislamiento térmico del cajón fermentador. Cubiertas de fibra natural, plástico, para reducir pérdidas de calor al ambiente

Fotos: Autores

- **Drenaje:** Independientemente de la forma y el diseño del fermentador, es importante que este cuente con una buena capacidad de drenaje, es decir, que permita la salida de los lixiviados para que no se acumulen en el sistema. Es importante el drenaje de los lixiviados porque, dado su alto contenido de azúcares y ácidos, interfieren en el aumento de la temperatura al absorber la energía liberada durante la fermentación, por lo que podrían cambiar el rumbo de la fermentación hacia otro tipo de compuestos no deseados. Por ello, es recomendable que el fondo de los contenedores del cacao tenga perforaciones o espacios libres entre los listones, para que los lixiviados puedan salir del sistema (figura 119). Las perforaciones o espacios libres deben tener un diámetro menor al diámetro de los granos de cacao para evitar que estos salgan del sistema y, sin embargo, facilitar la salida de los lixiviados. Aunque deben haber suficientes perforaciones (alrededor del 1 % del área total de la base), tampoco deben ser demasiadas para evitar la pérdida de calor. El diseño del fermentador debe incluir el mecanismo o sistema de colecta de estos lixiviados, no solo para aprovecharlos sino también para evitar que este lixiviado quede en el cuarto o lugar de fermentación y se vuelva un foco de contaminación, dado el alto contenido de azúcares que contiene.



Figura 119. | Sistema de drenaje de lixiviados. a. Orificios en el fondo del fermentador; b. Recolección de lixiviado; c. Lixiviados

Fotos: Autores

- **Ubicación:** Otro aspecto clave relacionado con los fermentadores es su ubicación. Estos deben ser localizados en lugares retirados de cualquier fuente de contaminación, aguas estancadas, acopio de basuras, almacenamiento de agroquímicos, elementos o herramientas de trabajo, mascotas, árboles o estructuras que les hagan sombra, retengan humedad o restrinjan la ventilación (figura 120). El fermentador debe estar ubicado, preferiblemente, en un cuarto separado, en el que el acceso sea restringido y esté protegido de la lluvia; preferiblemente con techo y encerrado con paredes para evitar pérdidas de calor en el ambiente, pues, como se ha visto, mantener la temperatura alta es clave para lograr un buen desarrollo de la fermentación. Sin embargo, debe contar con ventanas que permitan la ventilación en el momento adecuado para retirar el CO₂ vapor de agua, y el ácido acético, entre otros compuestos gaseosos liberados durante la fermentación.



Figura 120. | Ubicación del fermentador. a. Espacios abiertos; b. Cuartos o espacios semiaislados; c. Cuartos cerrados

Fotos: Autores

- *Operación y monitoreo:* El manejo del fermentador también es clave para el buen desarrollo de la fermentación. Es importante en qué momento se debe abrir, en qué momento voltearlo, con qué frecuencia, qué mediciones se deben hacer periódicamente, cuáles son los indicadores de buen desarrollo de la fermentación, cuáles son los indicadores de problemas y qué medidas se deben tomar en caso de que el sistema no esté respondiendo como se espera. Para esto es importante conocer muy bien el proceso y realizarle un monitoreo periódico. Esto implica tener una idea de cuánto tiempo toma la fermentación alcohólica (48 horas); cuál debe ser el comportamiento de los sólidos solubles (azúcares); cuál es su temperatura (aumento de 26 a 42 °C); cuánto tiempo toma la fermentación acética (96 horas); cómo se comporta la temperatura (aumenta hasta los 50 °C), y cómo cambia el pH en el interior del grano (disminuye hasta cerca de 4,5 en estas 96 horas y luego incrementa hasta cerca de 5,2). Las condiciones señaladas entre paréntesis son las ideales, pero pueden presentar pequeñas variaciones de acuerdo con los materiales de cacao en fermentación, su estado de madurez, entre otros factores. Así, durante la fermentación estás son las condiciones que se deberían monitorear. En caso de que no respondan a lo esperado, se deben tomar medidas que nos lleven a obtenerlas.
- *Volteo y remoción.* De acuerdo con la experiencia de los productores y estudios previos, se ha encontrado que la masa de cacao debe ser volteada y oxigenada al cabo de las primeras 48 horas y posteriormente removida cada 24 horas, para asegurarse de que toda la masa haya estado en movimiento. Normalmente se habla de volteo cuando el cacao se transfiere de un compartimento a otro, y remoción cuando simplemente se mueve en el mismo compartimento para mezclarlo y homogenizarlo bien. Cuando se tiene un solo fermentador y este no tiene divisiones, el volteo se dificulta, pues asegurar

que se pueda mover todo el cacao y facilitar su oxigenación es difícil de realizar en un solo cajón o contenedor. Para facilitar esta tarea, especialmente en el primer volteo, en el cual se pasa de una condición anaerobia (sin oxígeno) a una aerobia, se requiere bastante movimiento del cacao. Se recomienda tener al menos dos cajones, o uno grande con una división de madera, por lo que el cacao se carga en un solo compartimento y, cuando llega la hora del primer volteo (generalmente 48 horas), se pasa al compartimento vacío. La otra alternativa que resulta más fácil desde el punto de vista del esfuerzo físico es el cajón en escalera, en el cual el cacao se carga en el cajón superior o más alto, y, para el primer volteo, se transfiere al segundo cajón, el cual se encuentra a menor altura que el primero.

Desarrollo de la fermentación

Como se mencionó previamente, la fermentación de los granos de cacao es posiblemente la operación más relevante en la formación de la calidad del cacao. Es en esta parte del proceso donde se forman los precursores del aroma y el sabor que le dan un valor agregado. El buen desarrollo de la fermentación y, por ende, de los precursores del sabor y el aroma, son determinados por la dinámica o los cambios en la temperatura, el pH y la disponibilidad de oxígeno en el fermentador (Kongor et al., 2016, Peláez et al., 2016); además, está relacionado con la dinámica poblacional de la microbiota, que afecta estos parámetros al desarrollarse y genera un sistema dinámico con cambios permanentes, tanto en el perfil microbiológico del sistema como en el perfil de T, pH y acidez del grano. Este último, a su vez, genera una serie de cambios bioquímicos trascendentales en la generación de los precursores de sabor y aroma. Por lo tanto, se puede decir que la formación de estos precursores está dada, tanto por la acción de los diferentes grupos de microorganismos sobre la pulpa o mucílago que rodea

el grano (Hatmi et al, 2015) como por los cambios bioquímicos que esta actividad microbiológica suscita en su interior.

Cambios microbiológicos durante la fermentación del cacao

En el proceso de fermentación se pueden observar tres etapas bien definidas: la primera corresponde a la llamada fermentación alcohólica, que se da generalmente en las primeras 48 horas del proceso. Esta etapa se caracteriza por la baja presencia de oxígeno en el sistema, dado que la masa de cacao es lo suficientemente compacta como para limitar la presencia de oxígeno. Esta condición, además del alto contenido de azúcares en la pulpa y su bajo pH, favorecen el desarrollo de las levaduras, las cuales toman los azúcares además de liberar etanol y energía en forma de calor, aumentando la temperatura del sistema por encima de los 37 °C. Las enzimas pectinolíticas liberadas por las levaduras generan la licuefacción de la pulpa, por lo que esta se vuelve más líquida y se favorece el drenaje del sistema. De otra parte, las bacterias ácido-lácticas también se multiplican y utilizan el ácido cítrico y los azúcares residuales para liberar ácido láctico, acético y manitol, además de CO₂ y agua. A medida que la temperatura aumenta, las levaduras van reduciendo su multiplicación. Cuando la temperatura ha superado los 40 °C, su crecimiento es menor, y, cerca del segundo día (48 horas), el proceso de fermentación comienza a hacerse más lento. Cuando la temperatura supera los 45 °C, tanto las levaduras como las bacterias acidolácticas detienen prácticamente su crecimiento, como se puede observar en la figura 121, dado que hay menos ácido cítrico y azúcares disponibles y el oxígeno ha comenzado a entrar al sistema en los espacios que la pulpa ha dejado al drenar. La acción combinada de la entrada de oxígeno, el aumento de la temperatura y la presencia de las bacterias ácido-lácticas detienen la multiplicación de las levaduras, favorecen la multiplicación de las

bacterias ácido-ascéticas y dan inicio a una segunda etapa, la cual se desarrolla en presencia de oxígeno, lo que se conoce como la fase aerobia de la fermentación. Esta etapa se inicia generalmente al tercer día y se extiende hasta el final de la fermentación, por lo que es muy importante mantener una buena aireación del medio (Lefeber et al., 2011), tanto para mantener la oxigenación como para retirar el CO_2 que se genera y eliminar el ácido acético residual. Estas bacterias aerobias consumen el etanol liberado por las levaduras y liberan ácido acético, CO_2 , agua y energía, de tal manera que continúa incrementando la temperatura del sistema hasta bordear los 50°C o superarlo. Este aumento se alcanza generalmente en los primeros 4 días (96 horas) de fermentación. En la figura 121, se puede observar la tendencia tanto en la dinámica de la microbiota como del perfil de temperatura y del pH mediante la representación de la presencia relativa de las diferentes especies (Ardhana y Fleet, 2003; De Vuyst y Weck, 2016; Lambert S.,s.f; Papalexandratou et al., 2011; Papalexandratou et al., 2019), además del perfil de temperatura y de pH del grano (López et al., 2019; Peláez, 2016), los cuales han sido asociadas con una buena calidad final del grano.

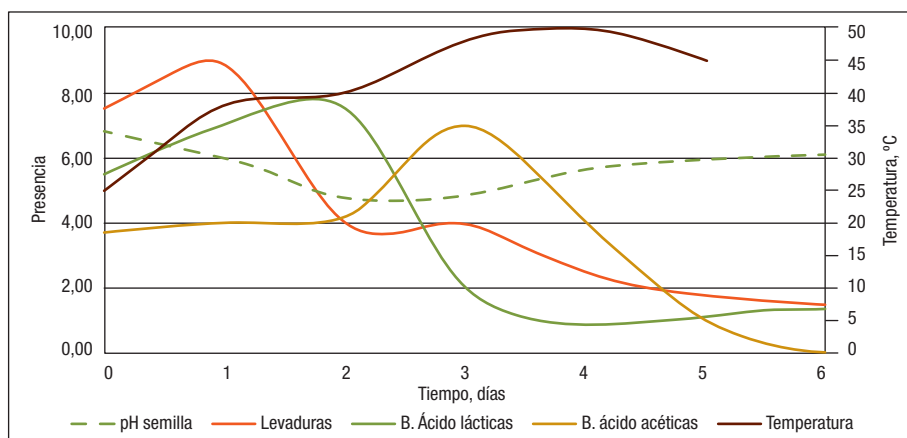


Figura 121. |

Dinámica de los diferentes grupos de microorganismos presentes en la fermentación y perfil de la temperatura del sistema

Fuente: Elaboración propia con base en Lambert S., s.f.; López et al., 2019 y Peláez et al., 2016.

Después del cuarto día, aproximadamente, se inicia la etapa tres, en la cual la entrada de los ácidos orgánicos al grano y el aumento de temperatura matan el embrión y desencadenan una serie de reacciones bioquímicas que dan origen a los compuestos precursores de aroma y sabor; además de la disminución del sabor amargo y astringente del grano, ocurren el cambio de color de violeta a marrón y el cambio de la estructura del grano a más arriñonado (Aroldo, 2016).

Cambios bioquímicos

La entrada de los ácidos y el etanol al interior del grano, además de inhabilitar o matar el embrión, e iniciar toda una serie de cambios bioquímicos asociados con la activación de enzimas, también desintegran las membranas celulares y permiten la liberación e interacción –o reacción– de los compuestos presentes en los diferentes compartimentos celulares. Entre las reacciones bioquímicas más importantes que se dan al interior del grano está la liberación de las enzimas proteolíticas (asparticendoproteinasa y una carboxipeptidasa), y su acción sobre las proteínas de almacenamiento conocidas como Vicilin; la liberación de las polifenil oxidasa y la invertasa, y su acción sobre los polifenoles; la degradación enzimática de las proteínas en polipéptidos y aminoácidos, y la liberación de azúcares reductores, las cuales contribuyen a la formación de precursores de aroma y sabor. Otras reacciones de interés involucran los polifenoles responsables del sabor astringente y amargo del cacao, pero también contribuye a los olores verde y afrutado, por una parte, y a la capacidad antioxidante propia del cacao. Por lo tanto, tanto la exudación como la oxidación de los polifenoles reducen la astringencia del mismo. De otra parte, la degradación de los alcaloides conduce a la reducción del amargor del cacao (Vázquez-Ovando, et al., 2016); la degradación de las antocianinas reducen el color violeta; mientras que la síntesis de quinonas conduce a la formación de colores marrones, lo que contribuye a una mejor calidad de cacao

(Vásquez-Ovando et al., 2016) (figura 122). De acuerdo con lo anterior, es importante generar las condiciones de operación apropiadas (temperatura, pH) para la acción de las enzimas y toda esta serie de reacciones que contribuyen al desarrollo de estos precursores de aroma y sabor, que son los que le confieren notas diferenciales asociadas con un alto valor del cacao.



Figura 122. |

Evolución del cacao durante la fermentación. a. Masa de cacao; b. granos de cacao

Fotos: Autores

Seguimiento y control de la fermentación: Dada la importancia de cada una de estas etapas durante el proceso de fermentación, es importante hacerles un seguimiento preciso, de tal manera que se pueda controlar y conducir hacia un desarrollo ideal, que permita alcanzar las características diferenciadoras de calidad del cacao. El mejor indicador del desarrollo de la fermentación, tanto por el papel que juega como por la facilidad para su monitoreo a lo largo de todo el proceso es la temperatura. En los primeros días, el contenido de sólidos solubles de la pulpa también puede ser un buen indicador; no obstante, después

del tercer día, su seguimiento no es tan determinante como el del pH del grano, y este es más complejo de seguir in situ. Diversos estudios han monitoreado estos parámetros y han establecido un perfil de pH y de temperatura que puede ser utilizado como guía para evaluar el buen desarrollo de la fermentación (Lares et al., 2013). A partir de este monitoreo han logrado identificar algunos de los problemas que se pueden presentar durante la fermentación y cómo se podrían superar. Si el sistema no presenta un aumento de la temperatura durante las primeras 48 horas puede ser porque el contenido de azúcares de la pulpa es muy bajo ($< 15^{\circ}$ Brix) y las levaduras no encuentran suficiente sustrato para desarrollarse; o porque el fermentador no está bien aislado y se está perdiendo mucho calor en el ambiente; o porque el sistema de drenaje no está funcionando y el lixiviado no está saliendo del fermentador; o porque hay mucho oxígeno en la masa que se está fermentando y, entonces, no se está dando la fermentación alcohólica. Por ende, si no hay etanol en el medio, las bacterias ácido-acéticas no podrían metabolizar ácido acético para matar al embrión; en este caso, la semilla podría germinar y cambiaría completamente el destino del cacao. De otra parte, si el sistema no se oxigena bien en la segunda fase, las bacterias ácido-lácticas podrían prevalecer sobre las acéticas, liberar otro tipo de metabolitos y generar aromas y sabores extraños, con lo que se impediría un buen desarrollo de la fermentación ligado a un pobre perfil aromático. En caso de que la multiplicación de las bacterias ácido-acéticas no sea controlado, puede conducir a una sobrefermentación, alta acidez, pobre perfil aromático y sabores o aromas extraños que castigan la calidad del grano y, con ello, el precio recibido por el producto (Lefeber et al., 2011). En resumen, el control de este proceso es de vital importancia para lograr un cacao de buena calidad.

Final de la fermentación

La fermentación se extiende entre 5 y 7 días para cacao forastero, y para criollo, entre 3 y 4 días (Amores et al., 2006). La estructura interna del grano puede ser utilizado como parámetro para determinar el fin de la fermentación, ya que el interior de la fermentación se torna café y acanalado o arriñonado; la temperatura decrece y esto es crítico, ya que la baja temperatura permite la proliferación de bacterias que generan putrefacción, aromas desagradables, los cuales son típicos indicadores de sobrefermentación y de mala calidad del grano. Por lo tanto, la temperatura, el pH y la prueba de corte son parámetros claves para determinar el final de la fermentación y por lo cual se recomienda que estos parámetros sean monitoreados a lo largo de este proceso (Amores et al., 2006).

Protocolo para la fermentación del cacao

Una vez se sabe cómo se desarrolla el proceso de fermentación del cacao, se puede establecer una serie de pasos o recomendaciones que permitirán tener un mayor control sobre este. A continuación, se resumen los pasos a seguir para el alistamiento y fermentación del cacao:

- **Selección:** El cacao que se lleva a fermentación debe estar maduro y en buen estado, sin ningún tipo de daño, especialmente biológico, como ataque de *Monilia* o *Phytophthora*, daños por insectos, pájaros, entre otros (figura 123). Por ello, el primer paso debe ser seleccionar los frutos, retirando todos aquellos que presenten algún daño biológico. Estos frutos con daño deben ser desgranados aparte, para asegurarse de la calidad de sus granos antes de mezclarlos con los demás.



Figura 123. |
Selección de a. frutos
y b. granos de cacao
para retirar aquellos
que no presenten con-
diciones de sanidad
básicas
Fotos: Autores

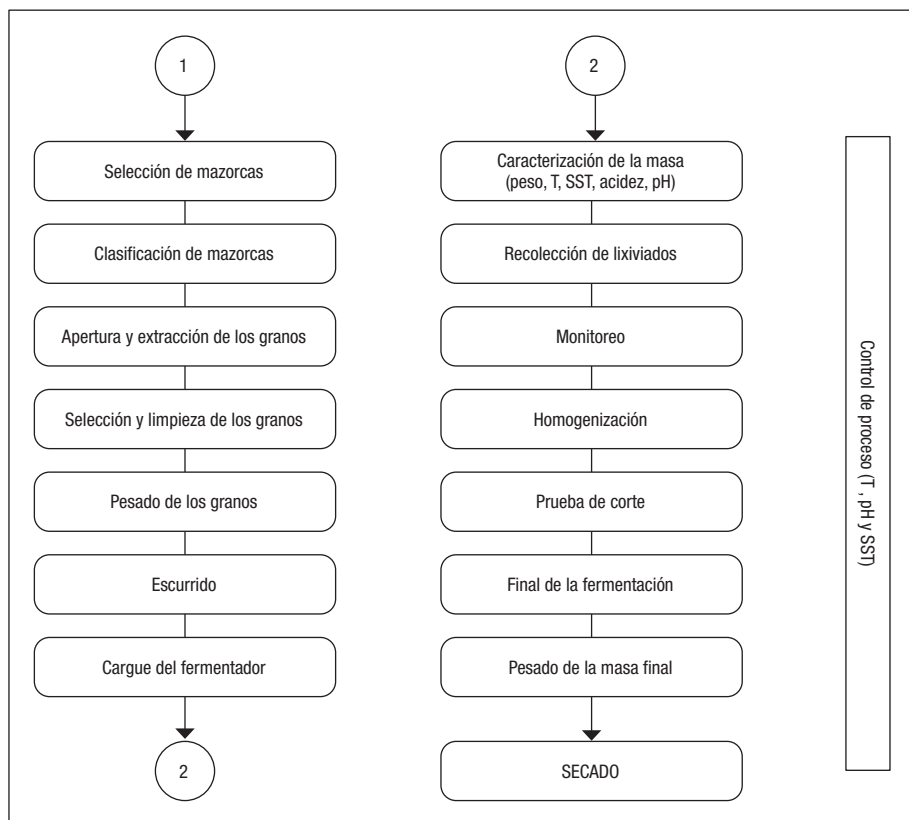


Figura 124. |
Protocolo para la preparación y fermentación del cacao
Fuente: Elaboración propia

- *Clasificación:* Se recomienda clasificar los frutos de acuerdo con el grado de madurez (figura 125). Se retiran aquellos que estén aún verdes o sobremaduros, pues tendrán un comportamiento diferente en la fermentación, lo que determinará características que reduzcan su calidad.



Figura 125. |
Cacao en dos estados de madurez. a. Pintón y b. Maduro
Fotos: Autores

- *Apertura de frutos y remoción de los granos:* Una vez seleccionados y clasificados, los frutos se deben abrir cuidadosamente (figura 126) para evitar cortar los granos. Se deben utilizar herramientas limpias para evitar la contaminación de los granos. Estos pueden ser un machete o un mazo.



Figura 126. |
Apertura de frutos. a. Apertura del fruto con mazo; b. Apertura del fruto con machete; c. Fruto abierto
Fotos: Autores

Todos los que participan en esta tarea deben utilizar guantes o hacerlo con las manos limpias, pues los granos se extraen directamente, halándolos con la mano y depositándolos directamente en un recipiente limpio (figura 127) para facilitar su posterior manipulación.

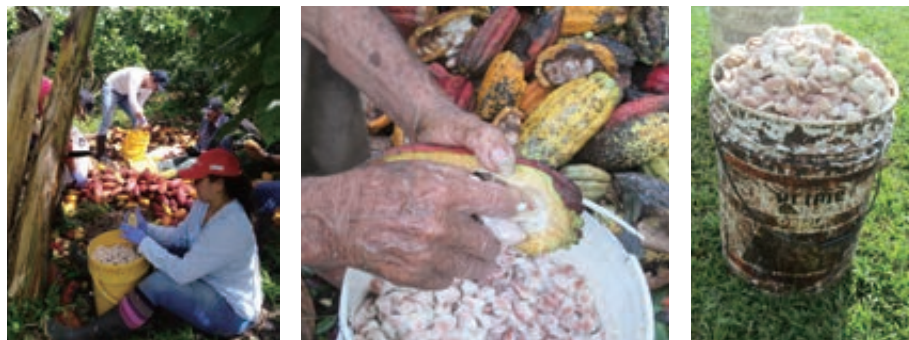


Figura 127. |

Extracción de los granos de cacao. a. Con guantes; b. Con manos limpias; c. Recipiente de recolección de granos

Fotos: Autores

- *Selección de los granos:* Retirar los granos que presenten algún tipo de daño. No se puede permitir que granos en descomposición (figura 128) o algún tipo de daño sean llevados a la fermentación, pues generarán aromas y sabores extraños al cacao, reduciendo su calidad.



Figura 128. |

Selección de granos. Se retiran los que presentan algún tipo de daño

Foto: Autores

Se deben retirar todas las impurezas o elementos extraños (hojas, material vegetal, etc.) que puedan caer en los recipientes de recolección para evitar cualquier tipo de contaminación de los granos.

- *Pesado:* Una vez se tienen todos los granos seleccionados, se debe pesar la masa total de cacao que se llevará al fermentador (figura 129), con el fin de mantener un control más preciso del rendimiento y la eficiencia del proceso.

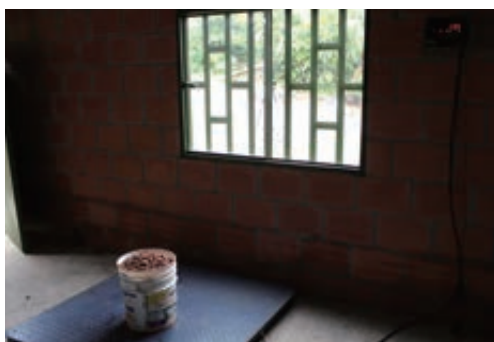


Figura 129. |
Pesado del cacao en baba
Foto: Autores

- *Ecurrido:* Esta es una práctica clave para el buen desarrollo de la fermentación, y es indispensable en casos en los que el contenido de pulpa sea muy alto, pues además de disminuir la eficiencia energética del proceso, también puede afectar la calidad final del cacao, por el alto contenido de azúcares al inicio de la fermentación. Se recomienda escurrir en canastillas o lonas sobre soportes que permitan la salida del lixiviado, y que la altura de la masa de cacao durante su escurrido no supere los 10 cm, con lo cual en 12 horas de escurrido estará listo para ser llevado al fermentador. Esto implica que la lona no debe estar dispuesta de manera vertical sino horizontal, para lograr un mayor aprovechamiento de la lona y un mejor escurrido.
- *Cargue del fermentador:* Pesar la masa de cacao escurrido y disponerla en el fermentador limpio, asegurándose de que quede bien distribuida y el fermentador

bien cubierto (figura 130); así se evitan fugas de calor del sistema que limiten el aumento de la temperatura y, por lo tanto, el desarrollo de la fermentación. Esto quiere decir que no debe tomar más de 30 minutos el llenado del fermentador.



Figura 130. |
Cargue y tapado del fermentador.
a. Cargue; b. Llenado parcial; c.
Llenado total y tapado
Fotos: Autores

- *Recolección de lixiviados.* Contar con un sistema para la recolección de los lixiviados, ya sea un canal o recipiente (figura 131).



Figura 131. |
Recolección de lixiviados mediante drenado fuera del cuarto de almacenamiento
Foto: Autores

- *Caracterización de la masa:* Registrar peso y hora de cargue del cacao, temperatura inicial, contenido de sólidos solubles (el cual es un indicador del contenido de azúcares de la pulpa y se expresa en ° Brix), pH y acidez de la masa. Estas variables permiten hacer un buen seguimiento y control de proceso, y tener la trazabilidad del sistema en caso de que algún evento se presente.
- *Monitoreo:* En caso de contar con un datalogger, registrar cada hora la temperatura de la masa, ubicando en su centro la sonda. En caso contrario, registrar la temperatura de la masa cada 12 horas, y cada 24, los sólidos solubles (° Brix), la acidez y el pH, para evitar abrir con frecuencia el sistema, pues esto reduce la temperatura (figura 132).



Figura 132. |

Monitoreo de a. La temperatura de la masa de cacao; b. Los azúcares; c. La acidez; d. El pH; e. La temperatura y humedad relativa en el cuarto de almacenamiento

Fotos: Autores

Registrar la temperatura del cuarto de fermentación es especialmente útil cuando se presentan problemas de baja temperatura en el fermentador y se requiere identificar la causa. Registrar la temperatura y en lo posible el pH del grano permite tener un conocimiento más preciso del progreso de la fermentación. El

perfil de la temperatura es muy útil, pues, dependiendo de la variedad de cacao, de su grado de madurez y composición, entre otros factores, puede presentar diferente tiempo en cada una de las fases. El seguimiento de la temperatura de la masa en fermentación permite tener una idea del avance de la misma. Así, cuando la temperatura supera los 38 °C, se puede pensar que está finalizando la fase anaeróbica, la cual ocurre, generalmente, entre las 48 y 72 horas de fermentación. Alrededor de las 96 horas alcanza los 50 °C y el pH desciende hasta alrededor de 5,5. Estas son condiciones que favorecen un buen desarrollo de los precursores de aroma y sabor (Biehl, et al., 1993; Kratzer et al., 2009; y Voigt et al., 1994).

- *Homogenización del cacao:* Como se mencionó previamente, al final de la etapa anaerobia es imprescindible hacer el volteo del cacao. Dicho momento ocurre generalmente alrededor de las 48 horas (dependiendo del tipo de cacao, grado de madurez y composición), cuando la temperatura alcanza los 38 °C - 40 °C de la fermentación. En este momento debe realizarse el volteo, el cual debe ser riguroso con el fin de homogenizar la masa, favorecer su aireación (oxigenación), eliminar el CO₂ y otros gases y aromas generados durante la fermentación alcohólica. La buena distribución del cacao en el cajón –que este quede suelto– es útil para facilitar la interacción con el oxígeno; además, se debe cubrir adecuadamente, para evitar la pérdida de calor. Esta primera homogenización se denomina también volteo, ya que generalmente el cacao se pasa completamente de un cajón a otro, o de una sección a otra, para lograr una completa oxigenación y romper los posibles grumos de cacao que se hayan formado. Posterior a este volteo, se debe remover de manera periódica y cada 24 horas. Esta es una homogenización menos intensa que la primera y se puede realizar en el mismo cajón. En tal caso, se debe procurar que las condiciones en cualquier parte del fermentador sean las mismas

y que no se formen focos de mayor temperatura o menor oxigenación, pues pueden generar granos con diferente grado de fermentación (figura 133). Además de eliminar del sistema el CO_2 , el vapor de agua y el ácido acético generado, también se favorece la oxigenación del sistema, pues muchas de las reacciones bioquímicas que suceden en esta fase son de oxidación.



Figura 133. |
Homogenización del cacao. a. Volteo;
b. Remoción
Fotos: Autores

- *Control del proceso:* A lo largo del proceso, se debe llevar a cabo el monitoreo y control del mismo, con el fin de suministrar la información básica necesaria para conocer su avance y, en caso de que no se ajuste, tomar las medidas pertinentes para dirigirlo hacia la obtención de un cacao de excelente calidad. Para esto es importante revisar el registro de los datos periódicamente para asegurarse de que la fermentación va bien. Si al iniciar la fermentación,

la temperatura aumenta poco pero los sólidos solubles (azúcares) disminuyen, puede que el fermentador no esté bien aislado y esté perdiendo calor. Si la temperatura no aumenta y los azúcares no disminuyen sensiblemente, puede que las levaduras no se estén desarrollando, ya sea porque hay pocos azúcares disponibles o porque el medio está muy ácido o muy frío.

- *Prueba de corte:* A partir del cuarto día (96 horas), se debe tomar una muestra de granos de cacao (20 granos) a diario y hacer la prueba de corte para determinar el avance de la fermentación. En esta prueba, los 20 granos se parten con una guillotina o con un cuchillo para inspeccionar su color y su grado de agrietamiento o arriñonamiento (figura 134). Estos granos tienen que ser tomados de diferentes partes del fermentador para que sean representativos de toda la masa en fermentación. Pueden tomarse 5 granos del fondo, 5 del centro, 5 de la superficie sobre la misma línea vertical y 5 de una de las esquinas de la base del fermentador. Se pueden analizar separadamente o en conjunto. Para hacerlo en conjunto, se observan y analizan los 20 granos tomados de las 4 muestras, se cuentan los que están con color marrón, acanalados o arriñonados, y este valor se multiplica por 5. Este resultado representa el % de cacao que ya está bien fermentado. Si se analiza de manera individual cada grupo de 5 granos, es posible obtener una idea de la homogeneidad de la fermentación en el cajón. Si el número de granos bien fermentados en cada grupo es diferente, indica que la remoción del cacao no ha sido la mejor y que la homogenización no ha sido la más adecuada.



Figura 134. |

Prueba de corte. a. Herramientas; b. Muestra de 5 granos

Fotos: Autores

- *Final de la fermentación:* Cuando el porcentaje de la fermentación muestra un valor mayor a 80, se puede detener la fermentación. Si no se detiene, para que los que no han completado su proceso de fermentación la completen, puede que los ya fermentados se sobrefermenten y esto tenga consecuencias negativas sobre la calidad del cacao. Lo mejor es hacer una buena homogenización mediante el movimiento o la remoción periódica de la masa de cacao (figura 135). Sin embargo, no hay que olvidar que el tamaño del grano también incide; por ello, si hay grandes diferencias en este aspecto, muy seguramente los granos pequeños fermentarán primero que los grandes, a pesar de que se realice una buena remoción.

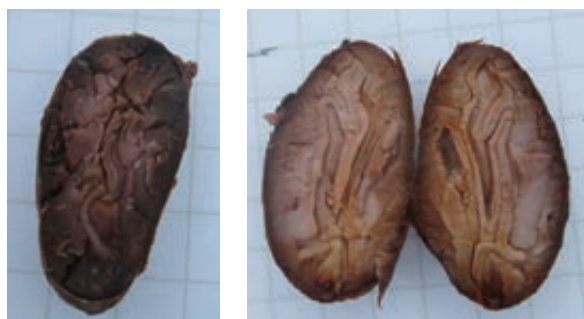


Figura 135. |
Granos con buen grado
de fermentación
Foto: Autores

- *Pesado de la masa fermentada:* Una vez se determina el final de la fermentación, el cacao debe ser retirado del sistema y pesado, para lo cual puede ser dispuesto en recipientes limpios de gran capacidad como canecas, canastillas o lonas que permitan pesarlo con una menor manipulación y luego llevarlo al área de secado. El peso total del cacao, el día y la hora de salida del fermentador también debe ser reportado en la hoja de monitoreo del proceso. Una vez fermentado y pesado, el cacao se lleva a secado.

Secado del cacao

Fundamentos

El secado es la última etapa donde se completa el proceso de poscosecha y es un paso fundamental para garantizar una buena calidad sensorial, química y microbiológica. El principal objetivo del proceso de secado es reducir la humedad del grano al 7 %, de acuerdo con lo establecido en la NTC 1252 (Norma Técnica Colombiana). Si se obtienen valores mayores de humedad, el grano de cacao es susceptible a contaminación microbiológica; mientras que si se obtienen valores menores, puede disminuir la calidad sensorial, debido a que el producto es

más susceptible a fracturas y pérdidas relevantes de los componentes de aroma y sabor, y puede afectar el valor comercial, el cual depende del peso del grano. Durante el proceso de secado continúan las reacciones responsables de la formación del sabor y aroma, tales como las de oxidación que empiezan en la fermentación, la degradación de los polifenoles, la evaporación del ácido acético y la formación de los pigmentos resultado de la condensación de las quinoonas y síntesis de los aldehídos (Utrilla-Vázquez et al., 2020) (Alean et al., 2016).

El proceso de secado debe ser lento y llevarse a cabo a temperatura controlada. Cuando se realiza por debajo de 60 °C, se obtiene una buena calidad con una acidez del grano baja y de buen sabor. Cuando se realiza por encima de los 60 °C, el secado es más rápido (arrebataado) y se genera una capa superficial seca endurecida, mientras que el interior se mantiene aún húmedo, lo que impide la salida de los ácidos volátiles de la almendra. Además, el secado a altas temperaturas hace que las enzimas de la hidrólisis de las antocianinas se inactiven antes de que se hayan completado los cambios físicos dentro del grano y que haya una mayor degradación de los fenoles por la temperatura. Por consiguiente, la calidad del grano baja, y se generan sabores finales ácidos, amargos y astringentes (Gil et al., 2020) (Alexis Zambrano, Álvaro Gómez, Gladys Ramos, Carlos Romero, 2010).

Factores que afectan el proceso de secado de cacao

El proceso de secado del cacao se puede representar como se muestra en la figura 136.

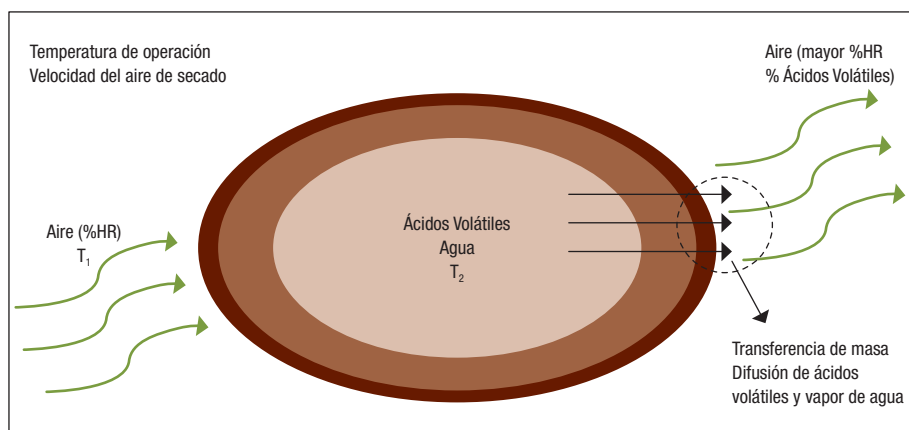


Figura 136. |
Esquema del mecanismo de secado de cacao

Fuente: Elaboración propia

El proceso de secado del grano de cacao es gobernado por los fenómenos de transferencia de masa y de calor, en los cuales se intercambia masa (humedad, ácidos volátiles, aromas) y energía (calor) entre los distintos cuerpos o medios (del producto - cacao al aire o viceversa). Estos dependen de factores externos y factores internos.

Factores externos: Son regidos por las condiciones externas del medio de secado, tales como las condiciones medioambientales: temperatura ambiente, presión ambiente, humedad ambiente y velocidad del aire, los cuales son bien conocidos por el agricultor y de fácil medición.

Factores internos: Estos factores son algo más complejos, pues tienen en cuenta tanto los fenómenos de transferencia de masa y calor dentro del grano como los fenómenos de degradación enzimática y oxidativa. Entre los más importantes se encuentran: resistencia del producto a la transferencia de calor; resistencia del producto a la migración de agua y solutos (ácidos volátiles, compuestos de aroma y sabor) en el interior del grano; velocidad de reacción de degradación enzimática y oxidativa; velocidad de reacción de compuestos de

aroma y sabor, y tendencia de formación de capas impermeables o endurecidas (costra) en la superficie del producto. Estos factores afectan la velocidad de secado con la que se aporta calor, los cuales dependen de la temperatura del medio, la velocidad superficial del medio de secado y la resistencia del producto a la transferencia de masa y calor.

Tipos de secado

Secado al sol: Se utilizan las condiciones medioambientales (radiación solar y velocidad del aire) para eliminar el agua del grano de cacao. Los métodos de secado solar son usualmente clasificados en cuatro, los cuales dependen del mecanismo de transferencia de energía al producto (El-Sebaï & Shalaby, 2012).

- *Secadores solares naturales*: El material que se va a secar es dispuesto a la intemperie, directamente bajo la influencia de la radiación solar y otras condiciones climáticas como la temperatura ambiente, la humedad, etc.
- *Secadores solares directos*: En estos secadores, el material que se va a secar es confinado en recipientes con techos o paneles laterales traslucidos, los cuales cuentan con aberturas que permiten el movimiento del aire. El calor transferido de la radiación evapora el agua y promueve la circulación natural del aire de secado.
- *Secadores solares indirectos*: La radiación calienta en primera instancia el aire en una cámara, posteriormente el aire es conducido a la cámara donde se encuentra el material para secar.
- *Secadores solares mixtos*: La radiación actúa directamente sobre el material que se desea secar y el aire de secado en cámaras separadas; los dos procesos suministran la energía requerida para llevar a cabo el proceso de secado (El-Sebaï & Shalaby, 2012).

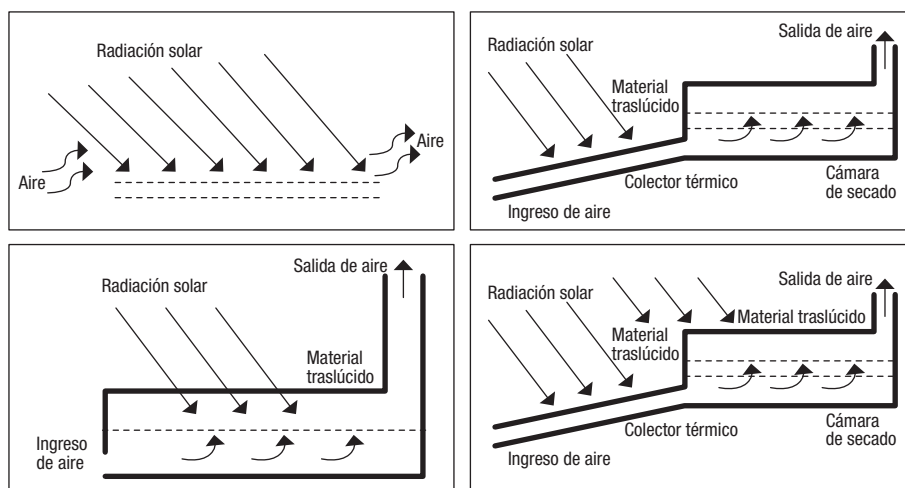


Figura 137. |
Clasificación de secadores solares. a. Secado natural; b. Secado indirecto; c. Secado directo; d. Secado mixto

Fuente: Elaboración propia con base en Prakash et al., 2017.

Secadores artificiales o asistido: El secado también se puede realizar de manera artificial o asistida, es decir, el aire es previamente calentado con fuentes de energía diferentes al sol antes de entrar a la cámara de secado. Generalmente se utilizan resistencias eléctricas o un quemador que emplea gas propano o natural, briquetas, carbón, biogás u otra fuente, con el fin de generar energía y calentar el aire. Además, los sistemas para el secado artificial están constituidos por un ventilador que mueve el aire y que lo fuerza a pasar por la masa de granos. Si el proceso se realiza de forma adecuada, se obtiene un producto final de óptima calidad.

Secadores híbridos: Son aquellos secadores solares que funcionan con la ayuda de una fuente externa de energía, la cual puede ser suministrada por la red eléctrica u otra fuente de energía para calentar el aire o movilizarlo (Fudholi et al., 2010) (Kumar et al., 2016).

Los secadores también se pueden clasificar de acuerdo con el flujo del aire dentro del dispositivo. Si se realiza por convección natural, los fenómenos de transporte de masa y calor no son generados por fuentes externas como

ventiladores. Este tipo de secadores se llaman *secadores pasivos*. Si se realiza por convección forzada, es decir, con ayuda de una fuente externa que imprime el flujo (ventilador, chimenea, etc.), se denominan *secadores activos*.

El tipo de secado que debe adaptarse en una finca cacaotera depende tanto de las necesidades del producto a secar como de las condiciones ambientales, sociales y económicas del productor, lo cual genera variaciones en la construcción, costo y funcionamiento de los dispositivos de secado.

Procesos de secado de cacao

Al finalizar el proceso de fermentación, el grano de cacao tiene una humedad de entre 60 % y 70 %, la cual debe disminuir hasta el 7 % con el fin de limitar el desarrollo de microorganismos, concluir los procesos enzimáticos que desarrollan los precursores del aroma y el sabor, y proporcionar un almacenamiento seguro. Las condiciones óptimas para que se realice un buen secado son:

- Temperatura de secado por debajo de los 55 °C.
- Baja humedad relativa en el aire.
- Flujo de aire continuo que permita renovación del aire de secado.
- Capa suficientemente delgada del grano sobre la cama de secado, que permita que este quede expuesto al aire.
- Remoción diaria de los granos.

Un secado lento asegura que salgan los ácidos que se encuentran dentro del grano (ácido acético y ácido láctico) y no generen resistencia para salir a la superficie o encostramiento. Sin embargo, si se realiza demasiado lento, se pueden formar hongos internos y externos, lo que implica que la calidad del cacao se pierda. Por otro lado, se recomienda usualmente realizar una buena

remoción con el fin de dar homogeneidad de secado a todos los granos de cacao, de manera que todos se sequen al mismo tiempo.

Existen diferentes infraestructuras para el secado de cacao que pueden ser sencillas o dispendiosas, las cuales tienen eficacia, inocuidad y costo diferentes. Las más utilizadas para secar granos de cacao son: suelo sobre cemento; mesones levantados con superficie de madera; lonas de polipropileno; casa elba y tipo invernadero, entre otros.

Secado sobre el cemento: Los granos de cacao después de la fermentación se extienden directamente sobre una plancha de cemento. Las principales ventajas de este método son:

- El costo de infraestructura es bajo.
- Requiere poca mano de obra y mantenimiento.
- La infraestructura tiene una larga duración.

Este método de secado tiene los siguientes inconvenientes:

- Presenta temperaturas de secado altas debido a la capacidad que tiene el cemento de retener el calor.
- La velocidad de secado es alta por acción de la temperatura, lo que genera un alto riesgo de acidez residual fuerte en el grano.
- Presenta baja inocuidad. Se pueden contaminar fácilmente los granos por estar extendidos en el suelo y expuestos a posibles animales que rondan el área.
- Corre el riesgo de humedecerse fácilmente por lluvias repentinas.
- Tiene alto riesgo de contaminación por olores no deseados.



Figura 138. |
Secado sobre el cemento
Foto: Autores

En algunas ocasiones, se colocan los granos sobre lonas de polipropileno extendidas previamente en el suelo. Este método tiene la facilidad de que se recoge el cacao en la noche para evitar que se humedezca.

Secado en mesones levantados con superficie de madera: El producto se extiende sobre grandes mesas de madera, generalmente de guadua, caracolí o nogal cafetero. El propósito de las mesas es separar el producto del suelo y facilitar su manejo e inocuidad. Las principales ventajas de este método son:

- La temperatura de secado es igual a la del medio ambiente debido a que la madera no tiene una fuerte capacidad de retener calor.
- La velocidad de secado es media, por lo que hay un riesgo medio-alto de acidez residual en el grano.
- Requiere poca mano de obra y mantenimiento.

Este método de secado tiene los siguientes inconvenientes:

- Presenta una inocuidad media, ya que se puede contaminar fácilmente por posibles animales que sobrevuelan el área.

- La infraestructura tiene una corta duración.
- Tiene riesgo de contaminación por olores no deseados.
- Los granos pueden pegarse debido a la velocidad media de secado.
- Presenta el riesgo de humedecerse fácilmente por lluvias repentinas.



Figura 139. |
Secado en mesones le-
vantados con superficie
de madera

Foto: Autores

Secado en casa elba: Pueden ubicarse en el techo de la casa o en una infraestructura específica. La primera consta de una superficie en madera con techo corredizo que permite exponer el grano al sol y al viento durante el día, y protegerlo en la noche o en época de lluvias. La cubierta generalmente es de tejas metálicas y el espacio entre la superficie de secado y el techo suele ser de 80 cm máximo, con el fin de conservar el calor. La infraestructura propia consta de mesones de madera corredizos, dispuestos para colocar un nivel debajo del otro. Se extienden para exponer el grano al sol y al viento, y se recogen en la noche o en la época de lluvia. Esta infraestructura está cubierta con tejas metálicas. Las principales ventajas de este sistema son:

- La temperatura de secado es igual a la del medio ambiente, debido a que la madera no tiene una fuerte capacidad de retener calor.
- La velocidad de secado es media, por lo que genera riesgo medio-alto de acidez residual en el grano.

- Requiere poca mano de obra.
- La infraestructura presenta larga duración.

Este método de secado tiene los siguientes inconvenientes:

- Presenta una inocuidad media. Se puede contaminar fácilmente por posibles animales que sobrevuelen el área.
- La infraestructura requiere mantenimiento continuo.
- Tiene riesgo medio de contaminación por olores no deseados.
- Los granos pueden pegarse debido a la exposición directa al sol.
- Presenta el riesgo de humedecerse fácilmente por lluvias repentinas.
- Alto riesgo de rehumedecimiento nocturno.



Figura 140. |
Secado sobre casa elba
Fotos: Autores

Secado tipo invernadero: Generalmente son mesones de madera cubiertos de un plástico que resiste la continua exposición al sol. Algunos cacaoteros tienen malla con aperturas de 0,4 x 0,4 cm en lugar de madera sobre los mesones. La temperatura, velocidad y humedad del aire dentro del sistema de secado se manipulan subiendo o bajando las pestañas o cortinas laterales del invernadero. Cuando los secadores tipo invernadero son grandes, mayores a

5 metros, se recomienda que tengan una apertura superior para permitir una ventilación adecuada (Pérez-Beltran, 2017). Este tipo de infraestructuras tiene la ventaja de que se obtienen mayores temperaturas al interior del sistema en comparación con la del medio ambiente, y que permiten un movimiento positivo del aire (de afuera hacia adentro). Esta dinámica hace que exista una renovación permanente de aire frío y con menor humedad relativa, desplazando el aire caliente y con alta humedad, y generando mayor capacidad de absorberla. Si no se abren las cortinas lo suficiente, el aire dentro del sistema puede saturarse de humedad y generar rocío, lo que ocasiona problemas de secado y un crecimiento microbiano no deseado. En caso contrario, si se dejan las cortinas abiertas, no existirá diferencia entre la temperatura interna y externa, y disminuirá la ventilación forzada generada al obligar al sistema a una renovación del aire. Para que se dé esta condición se debe levantar un mínimo el área de las cortinas de plástico y cumplir el índice de ventilación lateral mínimo del 15 %, de acuerdo con la siguiente ecuación (Pérez-Beltran, 2017).

$$\text{Índice lateral mínimo} = \frac{\text{área de apertura lateral}}{\text{área total de superficie}} \geq 15 \%$$

Si el índice lateral mínimo es menor al 15 %, se recomienda aumentar la apertura de las cortinas laterales para disminuir la saturación del aire. Además, debe existir una diferencia mínima de 4 °C entre la temperatura interna y la externa para asegurar un buen secado.

Las principales ventajas de este sistema son:

- La temperatura de secado es mayor a la del medio ambiente debido al efecto invernadero.

- La velocidad de secado es media baja y genera riesgo bajo de acidez residual en el grano.
- Tiene bajos inconvenientes de inocuidad.
- Presenta bajo porcentaje de granos partidos y pegados.
- No hay riesgo de humedecimiento por lluvias repentinas.
- Bajo riesgo de contaminación por olores y rehumedecimiento nocturno.
- La infraestructura presenta larga duración.

Este método de secado tiene los siguientes inconvenientes:

- La infraestructura requiere mantenimiento continuo.
- Requiere uso de mano de obra mayor que en los otros sistemas.
- El costo de la inversión inicial es alto.



Figura 141. |
Secador tipo marquesina

Fotos: Autores

Comparación de tipos de secadores solares

Cada tipo de secador solar tiene sus ventajas y desventajas, como se describió en la sección anterior. Pero, desde el punto de vista de termodinámico: ¿cuáles son las diferencias?; ¿en cuál se logra una mayor temperatura?; ¿en cuál se seca más rápido el cacao? Estas son algunas de las inquietudes que se pretenden resolver en esta sección.

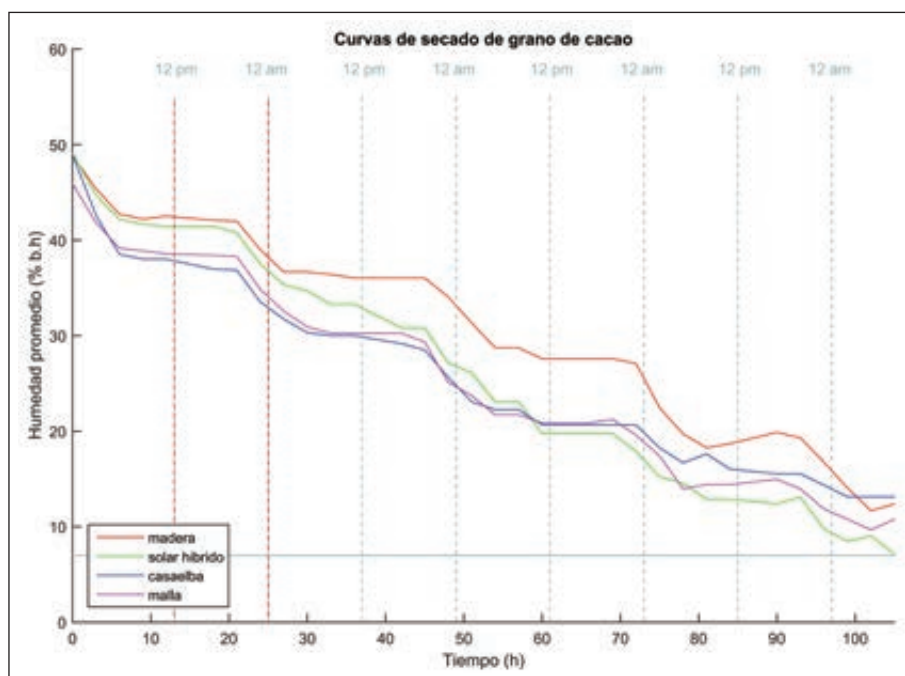


Figura 142. | Humedad en base húmeda del grano de cacao para cuatro tipos de secadores solares

Fuente: Elaboración propia

La figura 142 presenta las curvas de humedad del grano de cacao secado en cuatro tipos de secadores diferentes:

- *Madera*: secador tipo marquesina con base en madera.
- *Malla*: secador tipo marquesina con base en malla.

- *Casa elba*: secador tipo casa elba.
- *Solar híbrido*: una propuesta de secador solar tipo marquesina con adecuaciones adicionales. Los detalles del secador solar híbrido se presentan en la siguiente sección.

Todos los experimentos se realizaron con granos obtenidos del mismo proceso de fermentación y de forma simultánea con el fin de que sean afectados por las mismas condiciones ambientales.

De esta figura se puede concluir:

- Al comenzar el proceso de secado, la casa elba y el secador tipo marquesina con base de malla son los que realizan el secado más rápido. Esto quiere decir que estos secadores pueden reducir la posibilidad de formación de hongo en el grano, pero también generar un secado muy agresivo (“arrebataado”) en la primera parte del proceso.
- La menor humedad final se obtiene en el secador solar híbrido, debido a que en este se adiciona más energía para realizar el secado, luego en el secador de base en malla y luego en el de base en madera. La humedad final más alta se obtiene en el secador tipo casa elba. Esto quiere decir que en el secador tipo marquesina con base de malla se obtiene una menor humedad final que en el secador de marquesina con base en madera.

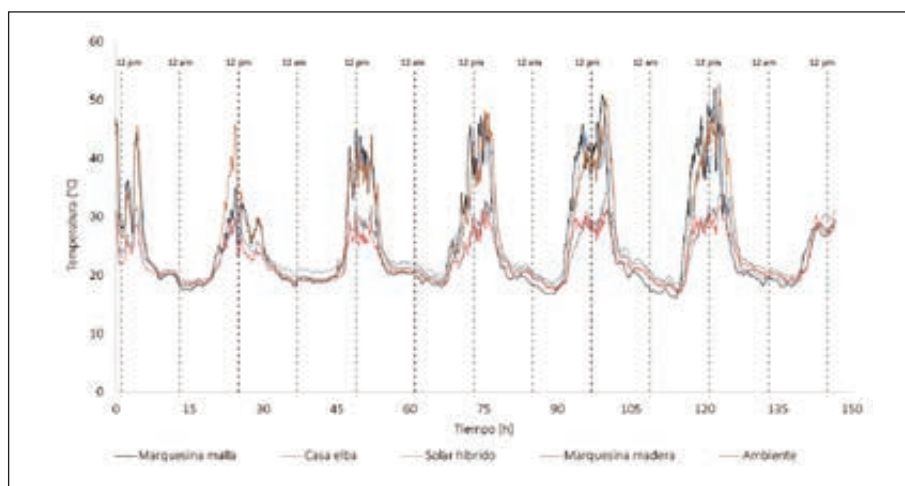


Figura 143. |
Comparación de temperaturas del aire en el interior de cuatro tipos de secadores
solares y temperatura ambiental durante el proceso de secado

Fuente: Elaboración propia

La figura 143 compara la temperatura del aire en el interior de cada uno de los cuatro tipos de secadores evaluados. En la figura se aprecia cómo durante las horas del día (12 a.m.) los secadores tipo marquesina presentan una mayor temperatura del aire de secado. En cambio, la temperatura en el casa elba es prácticamente igual a la temperatura del ambiente durante el día. En horas de la noche (12 p.m.), la mayoría de los secadores presentaron la misma temperatura, con una pequeña diferencia de más en el secador solar híbrido, debido a que en las noches se contaba con un sistema de calefacción del aire al interior de este tipo de secador.

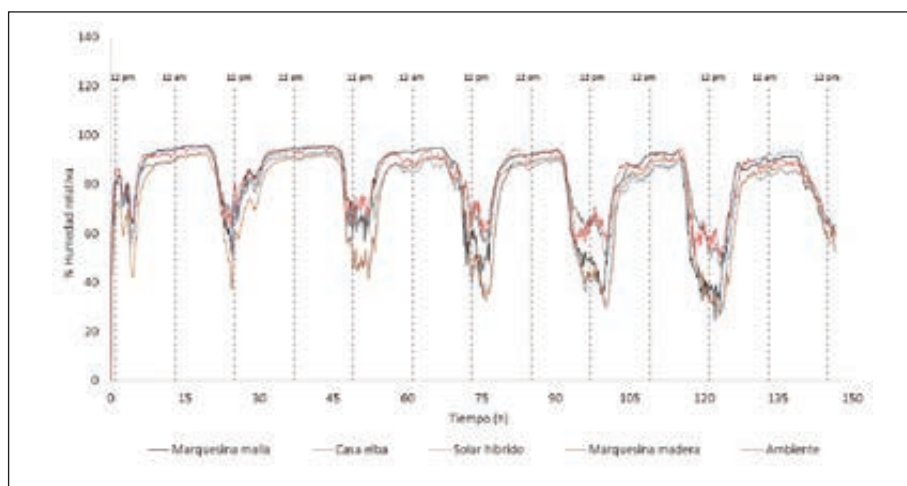


Figura 144. |

Comparación de humedades del aire en el interior de cuatro tipos de secadores solares y humedad relativa del ambiente durante el proceso de secado

Fuente: Elaboración propia

La figura 144 presenta la comparación de la humedad relativa del aire en el interior de cada uno de los secadores. La humedad relativa es importante porque cuando es muy alta, la capacidad de secado se reduce. Es decir, es más fácil secar el grano cuando la humedad relativa es baja. En contraste, si la humedad relativa se sube demasiado, es probable que el grano de cacao se rehidrate, es decir, que aumente su humedad. En la figura se puede apreciar que durante las horas del día (12 a.m.) tienen la menor humedad relativa el secador de marquesina con base en malla y el secador solar híbrido. Durante la noche (12 p.m.) se aprecia una menor humedad relativa en el secador de marquesina con base en malla, en el secador solar híbrido y en el secador tipo casa elba. Esto quiere decir que, tanto en el día como en la noche el secador tipo marquesina con base en malla presenta una menor humedad relativa del aire en el interior del secador.

De las comparaciones realizadas se concluye que el secador tipo marquesina con base en malla tiene mejor desempeño que el mismo secador de marquesina con base en madera. Esto debido a que el secador con base en malla

tiene una menor humedad relativa tanto en el día como en la noche. Además, se aprecia en la curva de cambio de humedad que el grano se seca más rápido en el secador con base en malla que en el que tiene base en madera.

Cuando se analizan las diferencias entre el secador de marquesina en malla respecto al secador solar híbrido, se encuentra que en este último la humedad final es menor que en el secador con base en malla. Por otro lado, se aprecia que la temperatura en las noches es mayor en el secador solar híbrido y, además, la humedad relativa es menor.

Recomendaciones para llevar a cabo un buen proceso de secado

Las recomendaciones de secado que se realizan en este documento son para el sistema de secado en marquesina. Sin embargo, pueden considerarse en otros sistemas de secado.

Materiales y herramientas

Transporte del cacao fermentado: El cacao fermentado debe ser transportado desde los cajones de fermentación al sistema de secado. Para ello, se pueden utilizar carretillas limpias, sacos o canastillas que faciliten su pesaje.



Figura 145. |
Materiales para manejo del cacao fermentado
Foto: Autores

Pesaje y registro: El peso de los sacos o canastillas del cacao fermentado se considera restando el peso de los empaques. Se debe registrar el peso neto, fecha, días de fermentación, nombre del productor, nombre de la finca, contacto del productor y día de inicio del secado. De igual manera, cuando el cacao alcance un 7 % de humedad debe recogerse en sacos, pesarse y registrarse. Este registro es básico para hacer el control de costos y de trazabilidad.



Figura 146. |
Báscula para pesaje de cacao

Foto: Autores

Remoción de cacao: El cacao debe ser removido frecuentemente con el fin de evitar la formación de hongos, obtener un secado uniforme y evitar que los granos se aglutinen (peguen). Para esto se recomienda utilizar un rastrillo de madera.



Figura 147. |
Rastrillo para remoción de cacao
Fotos: Autores

Empaque de cacao seco: Al finalizar el proceso de secado, es decir, cuando el cacao alcance un 7 % de humedad, este debe recogerse en sacos, pesarse y registrarse en el formato correspondiente. En todo el proceso se debe asegurar una limpieza de todas las herramientas y utensilios usados con el fin de que el cacao no se contamine con olores extraños. Se debe tener cuidado de que el cacao no esté cerca de animales, humo o motores encendidos, pues, como el cacao es una matriz grasosa, absorbe fácilmente todo tipo de olores, lo que puede reducir su calidad final.

A continuación, se presentan dos tipos de marquesina para las recomendaciones:

Marquesina solar: Esta acomodación de marquesina puede usarse siempre que hayan buenas condiciones medio ambientales, es decir, temperaturas cercanas a 30 °C y sin lluvia.

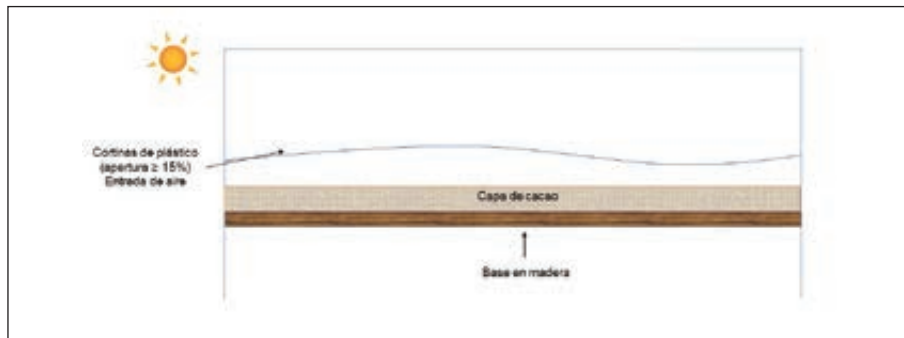


Figura 148. |
Marquesina solar

Fuente: Elaboración propia

- Se recomienda que las cortinas de plástico de la marquesina (pestañas) tengan una apertura mínima del 15 % del área durante el día, con el fin de garantizar buena ventilación y una diferencia de temperatura; además, deben permanecer cerradas durante la noche para evitar el rehumedecimiento.

- La ubicación de la marquesina debe tener el lado más largo alineado en una dirección este-oeste con el fin de obtener una mayor incidencia de los rayos del sol; en este sentido, se debe ubicar en un lugar donde no existan sombras o arbustos.
- Es importante dejar un espacio libre entre los bordes de la superficie de la marquesina y los granos de cacao, ya que en este punto generalmente se empiezan a formar los hongos superficiales, debido a las gotas de rocío que se forman en el proceso.

Marquesina solar híbrida: Es un secador solar tipo prototipo, modificación del secador tradicional tipo marquesina, que se recomienda para las épocas de lluvias. De igual manera, puede usarse de manera aún más eficiente en época seca. Cuenta con los siguientes elementos:

- Una base de madera para evitar pérdidas de calor a través de la parte inferior de la marquesina durante la noche.
- Un sistema de acumuladores de energía conectados entre sí, los cuales constan de contratubos con parafina y agua. El tubo exterior está relleno de parafina, mientras que en su interior transita agua caliente, con el fin de aumentar la temperatura de la parafina y que esta se mantenga. El efecto final será que el aire que transita alrededor de los tubos se mantenga caliente.

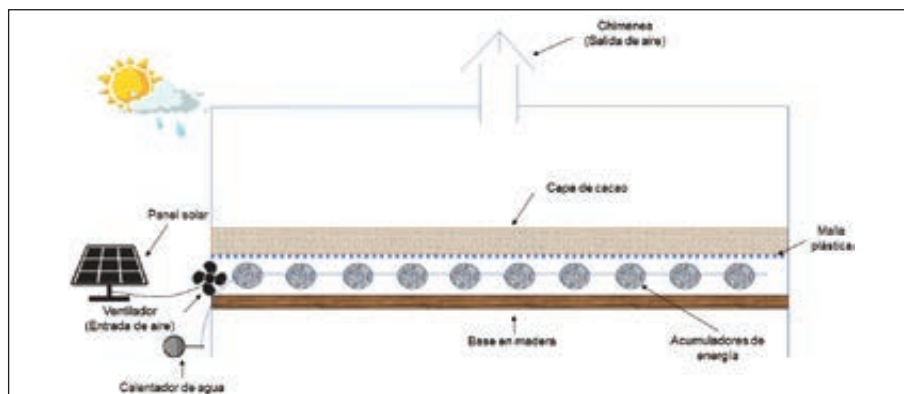


Figura 149. |
Acumuladores de energía
Fotos: Autores

- Un sistema de calentamiento de agua a gas, en el que el agua caliente circula por dentro del sistema de acumulación de energía. Se recomienda encender este sistema cuando la temperatura de aire que rodea los acumuladores de energía esté por debajo de los 30 °C y apagarlo cuando alcance los 35 °C.
- Un sistema de panel solar con batería, con el fin de dar energía al ventilador y almacenarla para la noche.
- Un ventilador. Permite que el aire ingrese por el espacio dejado entre la malla y la base de madera, con el propósito de garantizar que el aire pase primero por el sistema de acumulación de energía, se caliente y luego pase a través del grano. Se recomienda encenderlo cuando la temperatura del aire que rodea el grano de cacao alcance una temperatura de 35 °C.
- Una chimenea para la salida del aire húmedo.
- El cacao es dispuesto sobre una malla plástica de 0,4 x 0,4 cm con el fin de que el aire caliente pase por ella sin inconvenientes.



Figura 150. |
Marquesina solar híbrida
 Foto: Autores



Se recomienda:

- Para época de lluvias, se recomienda tener siempre las cortinas de plástico cerradas y encendido el ventilador y calentador de agua.
- Para la época seca, se recomienda que las cortinas de plástico de la marquesina (pestañas) tengan una apertura mínima del 15 % del área durante el día, con el fin de garantizar buena ventilación y una diferencia de temperatura; además, se debe tener el ventilador y calentador de agua apagado durante el día, pero encendido durante la noche, para evitar el rehumedecimiento.
- La marquesina debe tener el lado más largo alineado en una dirección este-oeste con el fin de tener mayor incidencia de los rayos del sol y estar ubicada en un lugar donde no existan sombras o arbustos.
- El ángulo de inclinación de los paneles solares debe ser máximo de 15 grados hacia el sur (casi horizontal debido a que nos encontramos en la línea ecuatorial).
- Es importante dejar un espacio libre de 5 cm, aproximadamente, entre los bordes de la superficie de la marquesina y los granos de cacao, ya que en este punto generalmente se empiezan a formar los hongos superficiales, debido a las gotas de rocío que se forman en el proceso.

Protocolo para secado de cacao

Día 0: Luego de realizar el protocolo establecido de fermentación y una vez haya salido la masa del cajón fermentador, esta debe ser pesada y dispuesta sobre la superficie de la marquesina. Se recomienda colocar 15 kg de cacao fermentado/m². Es importante asegurarse de que el grano quede bien distribuido en una sola capa (entendiéndose que tiene la altura de un solo grano) y esté alejado de los bordes de la marquesina.

En las primeras 24 horas, se busca un secado lento, para que salga la mayor cantidad de ácido acético del interior del grano. Las remociones deben hacerse cada hora durante las horas de luz, y si la humedad relativa es baja, se debe aumentar la frecuencia.

La remoción debe asegurar una buena homogeneidad del grano. Para lograrlo, el grano debe ser recogido con el rastrillo y ser llevado de un extremo a otro de la marquesina. Este procedimiento se debe repetir esparciendo el grano a una misma altura, asegurándose de dejar un espacio libre entre el borde de la marquesina y el grano de cacao.

A continuación, se toman los datos de temperatura y humedad relativa dentro de la marquesina utilizando un termohigrómetro.

Siguientes días de secado: Se recomienda efectuar las remociones cada 3 horas durante las horas luz del día (4 remociones/día). Las remociones se deben realizar de la misma forma que se explicó anteriormente. Si el sol es muy fuerte, se recomienda aumentar el número de remociones para evitar un encostramiento del grano, el cual ocurre debido a un secado rápido. Se deben tomar diariamente los datos de la temperatura y la humedad relativa dentro de la marquesina. Se recomienda tomar la humedad del grano y, cuando este registre el 7 %, terminar el proceso.

Empaque y almacenamiento: Para el empaque y almacenamiento es necesario seguir las siguientes recomendaciones (Mahecha & Revelo, 2020):

- El empaque del grano de cacao se debe realizar en sacos de fique limpios y cuando se enfríe, pues si se recoge caliente es posible que gane algo de humedad.

- Los sacos de fique deben colocarse sobre tablas o guadua para su almacenamiento, en un lugar techado y con buena ventilación, destinado únicamente para este fin.
- Nunca se deben disponer los bultos sobre el suelo o cerca de las paredes, ya que pueden perder calidad y humedecerse. Se recomienda dejar espacio suficiente para que pueda circular una persona entre la pared y los bultos de cacao.
- Se debe evitar la entrada de animales al lugar de almacenamiento del cacao, ya que estos pueden contaminar el grano.
- Se deben evitar la entrada de gases de vehículos al lugar de almacenamiento para que no vayan a contaminar el grano.

Seguimiento y registro de datos

El seguimiento y monitoreo permite conocer el comportamiento de cada uno de los procesos con el fin de optimizar su funcionamiento. Se puede usar el siguiente formato:

Nombre del productor:		Finca:		Departamento – Municipio:				
Contacto del productor:				Nombre de la vereda:				
FERMENTACIÓN								
Peso cacao en baba inicial (kg):		Fecha (día de escurrido):		Hora: (inicio de escurrido)		Peso del cacao en baba después de escurrido (kg)		
Día de fermentación	Fecha	Hora de volteo	Tcajón (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Humedad ambiente (°C)	Observación		
0								
1		No aplica						
2		No aplica						
3								
4								
5								
6								
7								
8								
SECADO								
Peso del cacao al final de la fermentación (kg)			Fecha (inicio de secado):			Hora: (inicio de secado)		
Día de secado	Fecha:	Temperatura ambiente	Humedad ambiente	Temperatura dentro de la marquesina	Humedad dentro de la marquesina	Volteos por día	Frecuencia de volteo (horas)	Humedad del grano
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
Peso del cacao al final del secado (kg)			Humedad final del cacao		Fecha de almacenamiento		Fecha de venta	
Kilogramos empacados por bulto	Cantidad de Bultos		Humedad ambiente (almacenamiento)		Temperatura ambiente (almacenamiento)		Precio de cacao por kilogramo	
Observaciones:								

Referencias

Agrosavia (2020). *Desarrollo de estrategias de manejo para potencializar la cadena de cacao en la zona productora de los municipios de Mariquita y Palocabildo* (Tolima.) Proyecto 8 cadenas. Universidad del Tolima, Gobernación del Tolima.

Aguilar, H. (2016). *Manual para la evaluación de la calidad del grano de cacao*. Editorial FHIA.

- Alean, J., Chejne, F., & Rojano, B. (2016). Degradation of polyphenols during the cocoa drying process. *Journal of Food Engineering*, 189, 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.026>
- Alexis Zambrano, Álvaro Gómez, Gladys Ramos, Carlos Romero, C. L. y E. R. (2010). Caracterización de parámetros físicos de calidad. *Agronomía Tropical*, 60(4), 389–396. http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2010000400009
- Amores, F., Butler, D., Ramos, G., Sukha, D., Espin, S., Gómez, A., Zambrano, A., Hollywood N., Van Loo, R. & Seguíne, E. (2006). *Project Completion Report to determine the physical, chemical and organoleptic parameters to differentiate between fine and bulk cocoa*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (Iniap).
- Aranzazu F., Martínez, N., Palencia G., Coronado R., & Rincón D. (2009). *Manejo del recurso genético para incrementar la producción y productividad del sistema de cacao en Colombia*. Fedecacao, Corpoica, MADR.
- Ardhana, M., & Fleet G. (2003). The microbial ecology of cocoa bean fermentations in Indonesia. *International Journal of Food Microbiology*, 86, 87- 99. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00081-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00081-3)
- Aroldo, D. (2016). *10 consejos para lograr cacao de calidad*. FHIA, C.H., Helvetas, Confédération Suisse.
- Beckett, S. T. (2009). Industrial chocolate manufacture and use. <https://doi.org/10.1002/9781444301588>
- Biehl B., Voigt J., Heinrichs H., Senjuk V., & Bytof, G. (1993). pH dependent enzymatic formation of oligopeptides and amino acids, the aroma precursors in raw cocoa beans. In Lafforest J. (Ed.), *Xlth International Cocoa Research Conference* (pp. 717-722). Cocoa Producers' Alliance.

- Bravo, J., Somarriba, E., & Arteaga, G. (2011). Factores que afectan la abundancia de insectos polinizadores del cacao en sistemas agroforestales. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 28(1), 119–131.
- Cardona, L., Rodriguez, E., & Cadena, E. (2004). Diagnóstico de las prácticas de beneficio del cacao en el departamento de Arauca. *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1), 94–104. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492016000100009&lang=es
- Castro, I. C. G., & Zambrano, T. Y. M. (2020). Cocoa drying system using ancestral sliding. *International Journal of Life Sciences*, 4(1 SE-Research Articles). <https://doi.org/10.29332/ijls.v4n1.392>
- De Melo Pereira G. V., da Cruz M., Pedrozo M., Lacerda C., & Freitas, R. (2012). Microbiological and physicochemical characterization of small-scale cocoa fermentations and screening of yeast and bacterial strains to develop a defined starter culture. *Applied and Environmental Microbiology*, 78 (15), 5395–5405. DOI: 10.1128/AEM.01144-12
- De Melo Pereira G. V., Teixeira K., Gonzaga E., da Silva I., & Freitas R. (2012). Spontaneous cocoa bean fermentation carried out in a novel-design stainless steel tank: Influence on the dynamics of microbial populations and physical–chemical properties. *International Journal of Food Microbiology*, 161(2), 121-133. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.11.018>
- De Vuyst & Weckx. S. (2016). The cocoa bean fermentation process: from ecosystem analysis to starter culture development L. *Journal of Applied Microbiology*, 121, 5-17. <https://doi.org/10.1111/jam.13045>
- El-Sebaï, A. A., & Shalaby, S. M. (2012). Solar drying of agricultural products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.134>

- Emmanuel, O. A., Jennifer, Q., Agnes, S. B., Jemmy, S. T., & Firibu, K. S. (2012). Influence of pulp-preconditioning and fermentation on fermentative quality and appearance of ghanaian cocoa (theobroma cacao) beans. *International Food Research Journal*, 19(1), 127–133.
- Estrada, W., Romero, X., & Moreno, J. (2011). *Guía técnica del cultivo de cacao manejado con técnicas agroecológicas*. http://biblioteca.catie.ac.cr/descargas/Estrada_et_al_Guia_Tecnica_Cacao.pdf.
- Felperlaan, A. (1997). *Cocoa quality in relation to pre-harvest conditions*. Department of Agronomy and Integrated Food Science Group, Wageningen Agricultural University, FCIA.
- Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, M. H., Alghoul, M. A., & Sulaiman, M. Y. (2010). Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.032>
- Gil, M., Ruiz, P., Quijano, J., Londono-Londono, J., Jaramillo, Y., Gallego, V., Tessier, F., & Notario, R. (2020). Effect of temperature on the formation of acrylamide in cocoa beans during drying treatment: An experimental and computational study. *Heliyon*, 6(2), e03312. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03312>
- Hamdouche Y., Guehi T., Durand N., Brou K., Kedjebo D., Montet D., & Meile J.C. n(2015). Dynamics of microbial ecology during cocoa fermentation and drying: Towards the identification of molecular markers. *Food Control*, 48: 117e122. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.031>
- Horta-Tellez H., Sandoval P. A., Garcia M. C., & Ceron S. I. (2019). Evaluation of the fermentation process and final quality of five cacao clones from the department of Huila, Colombia. *Revista Dyna*, 86(210), 233-239. <http://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.75814>

- International Cocoa Organization (ICCO) (2016). *Panel recognizes 23 countries as fine and flavour cocoa exporters*. ICCO. Org Consultado febrero 2020.
- Kongor, J. E., Hinneh, M., de Walle, D. Van, Afoakwa, E. O., Boeckx, P., & Dewettinck, K. (2016). Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile - A review. *Food Research International*, 82(1), 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>
- Koua, B. K., Koffi, P. M. E., & Gbaha, P. (2019). Evolution of shrinkage, real density, porosity, heat and mass transfer coefficients during indirect solar drying of cocoa beans. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(1), 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.01.002>
- Kratzer U, Frank R, Kalbacher H, Biehl B, Wöstemeyer J., & Voigt J. (2009). Subunit structure of the vicilin-like globular storage protein of cocoa seeds and the origin of cocoa- and chocolate-specific aroma precursors. *Food Chemistry*, 113, 903–913. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.017>
- Kumar, M., Sansaniwal, S. K., & Khatak, P. (2016). Progress in solar dryers for drying various commodities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 346–360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.158>
- Lares M., Pérez E., Sira, Álvarez C., Fernández, J., González F., & Sandra El Khor. (2013). Cambios de las propiedades físico-químicas y perfil de ácidos grasos en cacao de Chuao, durante el beneficio. *Agronomía Trop*, 63(1-2): 37-47.
- Lefeber T., Gobert W., Vrancken G, Camu N., & De Vuyst L. (2011). Dynamics and species diversity of communities of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria during spontaneous cocoa bean fermentation in vessels. *Food Microbiology*, 28 (2011), 457–464. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.10.010>
- Lima, L. J. R., Almeida, M. H., Nout, M. J. R., & Zwietering, M. H. (2011). *Theobroma cacao* L. “The food of the gods”: Quality determinants of commercial cocoa beans with particular reference to the impact of fermentation.

- Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(8), 731–761. <https://doi.org/10.1080/10408391003799913>
- López M., Criollo J., Hernández S., & Lozano D., 2019. Physicochemical and microbiological dynamics of the fermentation of the CCN51 cocoa material in three maturity stages. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 41(3), e-010. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452019010>
- Mahecha, R., & Revelo, J. (2020). *Tecnología : Empaque y almacenamiento del cacao en finca*. <https://fundesyram.info/biblioteca-agroecologica/>
- Martínez Guerrero, N. C. (2016). *Evaluación de componentes físicos, químicos, organolépticos y del rendimiento de clones universales y regionales de cacao (Theobroma cacao L.) en las zonas productoras de Santander, Arauca y Huila*. <http://www.bdigital.unal.edu.co/52543/>
- Meersmana, E., Steensels J., Struyf N., Paulus T., Saels V., Mathawan M., Allegaert L., Vranckenc G., & Verstrepen K. (2015). Tuning chocolate flavor through development of 2 thermotolerant *Saccharomyces cerevisiae* starter cultures 3 with increased acetate ester production. 4 Running title: Yeast starters for aromatic chocolate. *Applied and Environmental Microbiology*. doi:10.1128/AEM.02556-15
- Montero-cedeño, S. L., Sánchez, P., Solórzano-faubla, R., Pinargote-borrero, A., & Gonzalo, E. (2019). Floración y diversidad de insectos polinizadores en un sistema monocultivo de cacao flowering and diversity of pollinator insects in a cacao monoculture system. *Revista Espamciencia Para El Agro*, 10, 1–7.
- Moreno, L. & Sánchez, J. (1989). Beneficio del cacao. *Fundación Hondureña de Investigaciones Agrícolas*, 6, 26. https://www.academia.edu/11178170/Beneficio_del_Cacao
- Nazaruddin R., Seng L., Hassan O., & Said M. (2006). Effect of pulp preconditioning on the content of polyphenols in cocoa beans (*Theobroma Cacao*)

- during fermentation. *Industrial Crops and Products* 24, 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.03.013>
- NTC 5811. Buenas prácticas agrícolas para cacao. Recolección y beneficio. Requisitos generales, 24 (2010).
- NTC 1252. Cacao en Grano, 11 (2012).
- Ortiz de Bertorelli, L., Graziani De Farinas, L., & Rovedas L., G. (2009). Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol. *Agronomía Tropical*, 59(2), 119–127.
- Pabón, M. (2016). Caracterización socio-económica y productiva del cultivo de cacao en el departamento de Santander (Colombia). *Revista Mexicana de Agronegocios*, 38, 283–294.
- Papalexandratou Z., Camu N., Falony G., & De Vuyst L. (2011). Comparison of the bacterial species diversity of spontaneous cocoa bean fermentations carried out at selected farms in Ivory Coast and Brazil. *Food Microbiology* 28, 964–973. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.01.010>
- Papalexandratou, Z., Kaasik, K., Kauffmann, L. Villagra, Skorstengaard, A., Bouillon, G., Espensen, J. Leth, Hansen, L. H, Jakobsen, R. Riemer, Blennow, A., Krych, L., Castro-Mejía, J. L., & Nielsen, D. Sandris. (2019). Linking cocoa varietals and microbial diversity of Nicaraguan fine cocoa bean fermentations and their impact on final cocoa quality appreciation. *International Journal of Food Microbiology*, 304, 106-118. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2019.05.012
- Parra, D., Pérez, S., Sosa, D., Rumbos, R., Gutiérrez, B., & Moya, A. (2009). Avances en las investigaciones venezolanas sobre enfermedades del cacao Advances in venezuelan researches on cacao diseases. *Revista de Estudios Transdisciplinarios*, 1.
- Peláez, P., Guerra, S., & Contreras, D. (2016). Changes in physical and chemical characteristics of fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans with manual

- and semi-mechanized transfer, between fermentation boxes. *Scientia Agropecuaria*, 7(2), 111-119. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2016.02.04
- Pérez-Beltrán, M. (2017). Guía de buenas prácticas de cosecha, fermentación y secado para la producción de cacao especiales. *Swiss Contact Colombia*, 33.
- Prakash, O., & Kumar, A. (2017). *Solar Drying Technology*. Green Energy and Technology.
- Quiroz, J. (2012) Influencia de la agronomía y cosecha sobre la calidad del cacao. INIAP.
- Salgado, G. A. B. (2016). Incidencia de las prácticas de fermentación y secado sobre la calidad del grano de cacao producido en el Occidente Antioqueño. *Encuentro Sennova Del Oriente Antioqueño*, 0(0 SE-Artículos), 102-112. <http://revistas.sena.edu.co/index.php/Encuentro/article/view/2195>
- Saltini, R., Akkerman, R., & Frosch, S. (2013). Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. *Food Control*, 29(1), 167-187. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.05.054>
- Seguine, E. (2004). Guittard chocolate testing -An experience in cacao flavor Diversity. En Taller internacional Calidad Integral del cacao. Noviembre 15-17. Estación experimental Pichilingue Ecuador.
- Torres-Moreno, M., Torrecasana, E., Salas-Salvadó, J., & Blanch, C. (2015). Nutritional composition and fatty acids profile in cocoa beans and chocolates with different geographical origin and processing conditions. *Food Chemistry*, 166, 125-132. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2014.05.141>
- Utrilla-Vázquez, M., Rodríguez-Campos, J., Avendaño-Arazate, C. H., Gschaedler, A., & Lugo-Cervantes, E. (2020). Analysis of volatile compounds of five varieties of Maya cocoa during fermentation and drying

- processes by Venn diagram and PCA. *Food Research International*, 129(July 2019), 108834. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108834>
- Vázquez-Ovando, A., Ovando-Medina I., Adriano-Anaya L., Betancur-Ancona D., Salvador-Figueroa M. 2016. Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*, 66, 3.
- Voigt J, Heinrichs H, Voigt G, Biehl B. 1994. Cocoa-specific aroma precursors are generated by proteolytic digestion of the vicilin-like globulin of cocoa seeds. *Food Chemistry*, 50(2), 177-184. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)90117-1](https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)90117-1)

Autores

Ivonne Ximena Cerón Salazar

Ingeniera química con maestría en Ingeniería Química y doctorado en Ingeniería Automática con énfasis en Agroindustria. Tiene conocimientos en el diseño de procesos agroindustriales, generación de valor agregado y biorrefinerías. Además, cuenta con 7 años de experiencia en el desarrollo de proyectos de investigación de desarrollo en procesos agroindustriales. Cuenta con experiencia como docente en instrumentación y control de procesos agroindustriales de la Universidad del Tolima. Miembro del comité de evaluación de Colciencias. icerons@agrosavia.co; ixcerons@unal.edu.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9122-7221>.

María Cristina García Muñoz

Ingeniera química de la Universidad Nacional de Colombia. Doctorado en Microbiología y Biotecnología, con conocimientos en metabolómica, fermentación en estado sólido, desarrollo de procesos y productos. Tiene 15 años de experiencia en procesos de cosecha, poscosecha de frutas, caña de azúcar y cacao. Miembro del Comité de Normalización de Frutas, Hortalizas y Tubérculos Frescos. mcgarcia@agrosavia.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7099-4838>

Eleonora Rodríguez Polanco

Ingeniero agrónomo de la Universidad del Tolima con maestría en Ciencias Agrarias –énfasis en Fitopatología– de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, y doctorado en Fitopatología de la Universidad Federal de Vicosa,

MG-Brasil. Investigador de la Red de Frutales de Agrosavia, C. I. Nataima. Principales líneas de investigación desarrolladas: micología (etiología y biología de hongos); mecanismo de resistencia a nivel microscópico y bioquímico; alteraciones en la fotosíntesis y en el metabolismo antioxidativo de plantas afectadas por patógenos o stress abiótico; evaluación de estrategias para el manejo de enfermedades con énfasis en inductores de resistencia (silicio); resistencia genética del huésped, biomoléculas y fungicidas. Irodriguezp@agrosavia.co
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8553-2449>.

Alfonso Cubillos Varela

Ingeniero mecánico con maestría en Automatización Industrial y doctorado en Ingeniería Mecánica y Mecatrónica. Trabajó más de 10 años en la academia universitaria dirigiendo cursos e investigaciones relacionadas con el diseño de maquinaria, mecatrónica y automatización. Posee varios años de experiencia en el diseño de máquinas y equipos para el sector agrícola y alimenticio. Además, figura como inventor de dos patentes de invención otorgadas a nivel nacional y una tercera en evaluación, además de ser autor y coautor de varios artículos científicos. Trabaja desde hace más de tres años en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), sede Tibaitatá, como investigador PhD, liderando proyectos relacionados con el diseño, fabricación y evaluación de equipos para la producción agrícola y poscosecha. acubillos@agrosavia.co

Eliseo Polanco Díaz

Ingeniero agrónomo. Candidato al máster en Fisiología Vegetal de la UPTC y profesional de investigación en AGROSAVIA. Tiene experiencia en trabajos relacionados con el desarrollo rural en organizaciones productoras campesinas y en temáticas sobre finca campesina, agroecología y ecología humana, así como

en comunidades afrodescendientes y cabildos indígenas. Ha liderado proyectos de producción de semillas de frijol, aguacate y seguridad alimentaria. Ha investigado sobre temáticas como la mosca del cultivo de la piña (*Melanoloma vixatrix* H), evaluación de genotipos de cacao y pruebas de evaluación agronómica (PEA). Cuenta con conocimientos y experiencia en el cultivo de cacao, su manejo agronómico, su producción y la de la semilla sexual y asexual. Ha participado en alianzas interinstitucionales en diferentes temáticas. epolanco@agrosavia.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9229-4074>.

Martha del Pilar López Hernández

Ingeniera agroindustrial de la Universidad del Tolima. Tiene una maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de Colombia, con énfasis en calidad de los alimentos. Ha trabajado en la extracción y caracterización de aceite de semilla de mango; en la caracterización morfoagronómica de materiales de mango y cacao; en la evaluación del efecto del estado de madurez de materiales de cacao sobre la calidad del grano en los valles interandinos secos, y en el seguimiento de la dinámica microbiológica y fisicoquímica en la fermentación de cacao. mdlopez@ut.edu.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4214-0306>.

Edinson Bayardo Parra Alferes

Ingeniero agrónomo egresado de la Universidad de Pamplona (Colombia). Profesional con 8 años de experiencia en investigación, identificación, diagnóstico y control de enfermedades mediante esquemas de manejo integrado (control cultural, químico, biológico y genético), manejo agronómico de sistemas productivos frutales como cacao, guayaba, aguacate, marañón, passifloras y cítricos, así como en el área de agroforestería. En AGROSAVIA, se desempeña en las

líneas de investigación de fitopatología, mejoramiento genético y manejo agronómico. ebayardo@agrosavia.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2494-0120>

Jorge Mario Moreno Turriago

Administrador de empresas agropecuarias egresado de la Universidad del Tolima. Tecnólogo profesional en Producción Pecuaria del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), con 7 años de experiencia apoyando procesos de investigación en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), enfocados en el estudio y la determinación de atributos de valor, caracterización de diferentes genotipos de la especie *Theobroma cacao* L, evaluación de diferentes especies forrajeras propias de clima cálido para alimentación bovina y reconocimiento y estudio de la dinámica poblacional de diferentes plagas en cultivos transitorios de algodón, arroz y maíz. jmorenot@agrosavia.co. Orcid <https://orcid.org/0000-0003-2618-6053>.

Freddy Quiñones Méndez

Ingeniero agrónomo egresado de la Universidad de los Llanos. Tiene un diplomado en Extensión Rural de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA). Vinculado a Fedecacao (FNC) hace 13 años como jefe de la Unidad Técnica de Fedecacao para el Tolima con sede en Chaparral. Cuenta con una amplia experiencia y conocimientos certificados en el manejo integrado del cultivo de cacao en las áreas de investigación, transferencia de tecnología, comercialización y catación del grano. Ha realizado cursos en agricultura intensiva en zonas áridas y semiáridas con el Ministerio de Agricultura del gobierno de Israel e implementador de buenas prácticas agrícolas. Coordinador y director de campañas y proyectos de fomento, renovación, manejo fitosanitario y modernización de la caacocultura en el departamento del Tolima. chaparral_unidad@fedecacao.com.co

RESULTADO PROYECTO:

